

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Las vías terrestres son un factor fundamental dentro de la infraestructura física de un país, estas influyen directamente en el crecimiento del Producto Interno Bruto nacional, agilizan el mercado, comunican poblaciones, mejoran la calidad de los servicios públicos y la calidad de vida de sus beneficiarios.

La buena planeación, construcción y supervisión de una vialidad tendrá por resultado una buena obra de calidad, pero no siempre una obra de calidad va de la mano con la economía de dicha obra. En ciertas ocasiones las obras se encarecen, pues no en todos los lugares se encuentran materiales útiles para la construcción, la mayoría de las ocasiones es necesario transportar materiales desde kilómetros ya que son los que reúnen los requisitos solicitados por la normatividad vigente. Además de hacer uso de materiales de banco, generalmente es necesario retirar gran parte del material del lugar de desplante de la vialidad.

El funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras de los pavimentos.

Al Hacer un control de los materiales en la etapa de construcción aplicando criterios de calidad queremos obtener mejores resultados en la ejecución de carreteras de pavimento rígido de igual manera utilizaremos los indicadores que es la medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de las diferentes actividades, es decir la forma particular (normalmente numérica) en la que se mide o evalúa cada uno de los criterios.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En el presente trabajo análisis de los criterios e indicadores de desempeño en pavimentos rígidos, se empleará un proceso constructivo, aplicando una metodología (procedimiento) de control de calidad de materiales. Por qué se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede conservar y mejorar utilizando adecuadamente los materiales de construcción.

El trabajo es para dar conocer los criterios e indicadores de desempeño pavimentos rígidos, así como los requerimientos y acciones necesarias para llevar a cabo su implementación, de tal forma que se aprovechen al máximo los recursos que actualmente se destinan a este fin y se beneficie a un mayor número de usuarios de las vialidades. Además para proporcionar a los usuarios pavimentos de mayor seguridad, con los menores costos de operación, molestias e interrupciones por la frecuencia de reconstrucciones o mantenimientos.

Este trabajo está dirigido a todas las personas interesadas sobre el tema, pero especialmente a los funcionarios públicos y técnicos responsables de los trabajos de diseño, construcción, utilizando criterios e indicadores de desempeño en pavimentos e infraestructura vial complementaria de la ciudad de Bermejo, esperando que con la difusión de lo desarrollado en este documento se logre tener una esperada vida útil del sistema vial.

Debido a que los pavimentos rígidos presentan fallas no previstas, antes de completar su tiempo de servicio, que podían ser debidos a causas que provienen de su construcción se hace necesaria la realización de criterios de calidad utilizando indicadores en la que se recopilen los procedimientos para realizar un buen control y aseguramiento de la calidad de pavimentos rígidos y de esta manera reducir o procurar eliminar los deterioros exhibidos en este tipo de pavimentos.

Este trabajo aportara académicamente con conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en diferentes asignaturas de la carrera de ingeniería civil.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

La infraestructura de pavimentos, es básica para el desarrollo de cualquier ciudad, por lo que debe darse la importancia que merece; tanto a la planeación y construcción.

Los pavimentos rígidos se hacen con diferentes materiales con diferente metodología, diferente maquinaria, con diferente proceso de ejecución con estos podemos lograr diferentes resultados podemos ver si será adecuado o no al diseñar la carretera de pavimento rígido con esto se quiere controlar la calidad y el desempeño que va tener el pavimento cuantificando con valores para poder comparar el desempeño de hormigón en cuanto a su duración.

Esto va depender del control que se hace, de los materiales, de los indicadores de desempeño y de todo lo que se medirá para cuantificar de cómo se va a desempeñar el hormigón.

Ante la problemática de realizar el diseño tenemos mal uso de materiales, mal ejecución en obra, maquinaria no apta, etc. Esto hace posible que la carretera tienda fácilmente a tener fallas, como solución no se plantea eliminar algunos parámetros de diseño a lo contrario se debe realizar un análisis de criterios de calidad e indicadores de desempeño para poder resolver estas fallas. Siendo inexistente el uso de esta técnica en nuestro país, surge una oportunidad de comenzar a desarrollarlas para un buen funcionamiento de las carreteras de pavimento rígido.

Desde este punto de vista y con la problemática en redes de pavimentos rígidos urbanos motivan principalmente el desarrollo de esta aplicación metodológica. Análisis de los criterios e indicadores de desempeño pavimentos, es con la finalidad de mejorar la infraestructura vial y de transporte urbano en la ciudad de Bermejo.

#### **1.3.2. PROBLEMA**

¿Es posible que a través de indicadores de desempeño para el control de la ejecución e inspección de obras viales que utilicen criterios de calidad permita que las obras puedan tener un menor riesgo de fallas en la ejecución en pavimentos rígidos?

## **1.4.OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Analizar los criterios e indicadores de desempeño en pavimentos rígidos empleando un proceso de control de calidad a los materiales utilizados en el pavimento rígido urbano de las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo para evitar futuras fallas en el pavimento.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer los aspectos generales sobre pavimentos rígidos desde su conceptualización, características, propiedades que son aplicables en nuestro medio.
- Investigar sobre los criterios de calidad e indicadores de desempeño en pavimentos rígidos con la finalidad de mejorar el control de calidad de una carretera de pavimento rígido.
- Identificar la zona de estudio donde se hará la aplicación.
- Realizar los ensayos de laboratorio, para conocer la calidad de los materiales de la subrasante y de la capa sub-base.
- Realizar el control de calidad de los materiales utilizados en la losa de pavimento (agregados, agua y cemento).
- Realizar estudios no destructivos (esclerometria) en las calles pavimentadas antes del presente estudio.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en la aplicación.

## 1.5. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

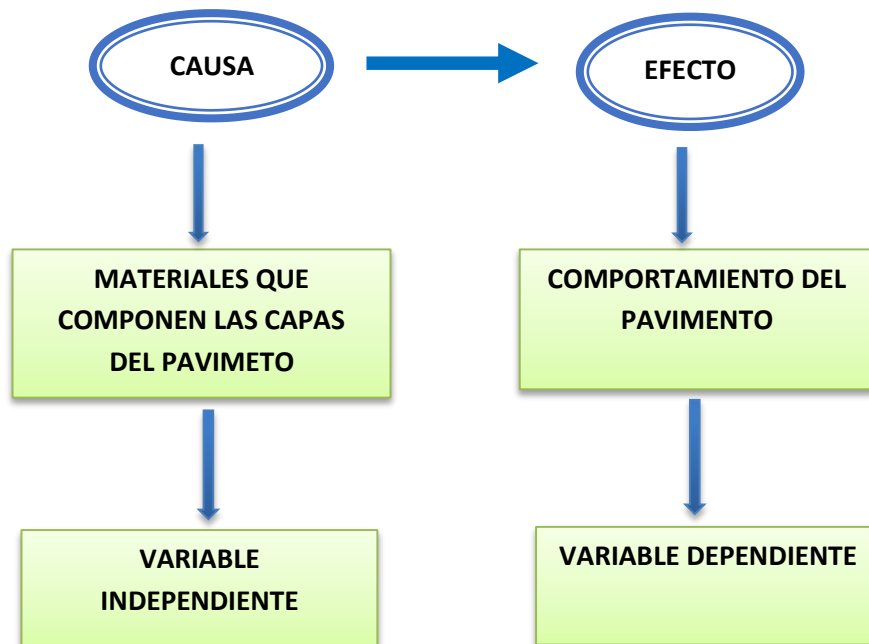
### 1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Materiales que componen las capas de pavimento.

### 1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Comportamiento del pavimento Rígido.

### 1.5.3. CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES



**Variable independiente:** Es aquella propiedad o característica de una realidad o fenómeno, que tiene la capacidad de influir, incidir o afectar a otras variables.

Materiales que componen el pavimento se escogió esta como variable independiente ya que no depende de otros factores para estar presente en esa realidad de estudio.

**Variable Dependiente:** Es aquella característica, propiedad de una realidad o evento que estamos investigando. Es el objeto de estudio, sobre la cual se centró la aplicación y de esta manera se tomó como variable dependiente el comportamiento

del pavimento ya que nos mostrara el desempeño durante su vida útil para el cual fue diseñado.

## **1.6. ALCANCE**

El alcance del presente proyecto de grado titulado "Análisis de los criterios de calidad e indicadores de desempeño en pavimentos rígidos en las 180 cuadras de la ciudad de Bermejo" parte de una descripción general del tema así también la justificación del porque se está efectuando, planteándose objetivos medibles y cuantificables para solucionar el problema que dio lugar para realizar esta aplicación en la parte metodológica nos permite plantear los métodos, técnicas y procedimientos a utilizar, para cumplir las metas trazadas.

Para empezar a ver lo más importante del contenido de este proyecto se abordara aspectos centrales en pavimentos rígidos como características generales de los pavimentos rígidos donde se podrá observar las características superficiales, durabilidad, apertura de circulación, conservación y rehabilitación, como también veremos los materiales que componen el pavimento rígido agregado grueso agredo fino, cemento. Y de esta manera también conocer la ejecución del pavimento rígido donde se podrá ver la fabricación del hormigón, transporte, puesta en obra, acabado textura y curado.

El fundamento teórico se desarrollara basándose en la información sobre el análisis de los criterios e indicadores de desempeño para que a través de esta información se llegue a los puntos fundamentales de lo que se trata el estudio de esta aplicación. En la parte de criterios de calidad que es uno de los puntos más importantes se hará un control de calidad a los materiales de las diferentes capas del pavimento rígido. En la parte de los indicadores que es la medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de las diferentes actividades, es decir la forma particular (normalmente numérica) en la que se mide o evalúa cada uno de los criterios.

En la parte práctica del trabajo sobre el análisis de los criterios e indicadores de desempeño. Se realizara la ubicación del tramo, de esta manera se obtendrá la información técnica, los datos generales del lugar. En el procedimiento constructivo veremos las condiciones de la subrasante, de la capa sub base y de la loza de pavimento para obtener una buena ejecución del pavimento ya que de estos dependerá que la carretera tenga un buen estado. En la parte del control de calidad del hormigón haremos ensayos rotura de probetas a compresión, y rotura de vigas a flexión.

A partir de todas las pruebas realizadas se efectuara el análisis de los resultados obtenidos y se establecerán las conclusiones y las recomendaciones sobre el tema desarrollado.

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS RÍGIDOS

#### 2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS

Pavimento es la capa o conjunto de capas comprendida entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resiste al tránsito de vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Estructuralmente un pavimento tiene la función de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial.

Entre las principales funciones que desempeñan los pavimentos son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (Esfuerzos Cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

Un pavimento es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural. El pavimento funciona como sustento de seres vivos, está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es, principalmente, por la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas: ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos; en segundo lugar debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garantice un tráfico en buenas condiciones.



## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

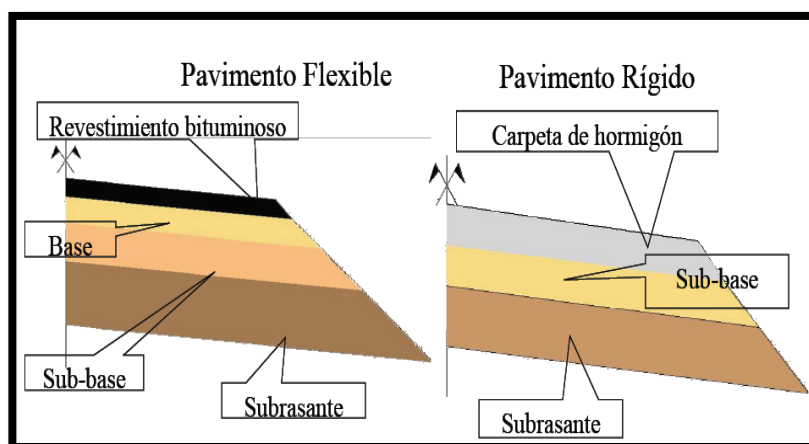
En nuestro medios los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles y rígidos.

- ❖ **Pavimentos flexibles:** Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser vías, aceras o parkings.

- ❖ **Pavimento rígido:** son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante.

**Figura 2.1.** Clasificación de pavimentos



Fuente: [Pavimentosrigidos.blogspot.com](http://Pavimentosrigidos.blogspot.com)

### **2.3. PAVIMENTO RÍGIDO**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

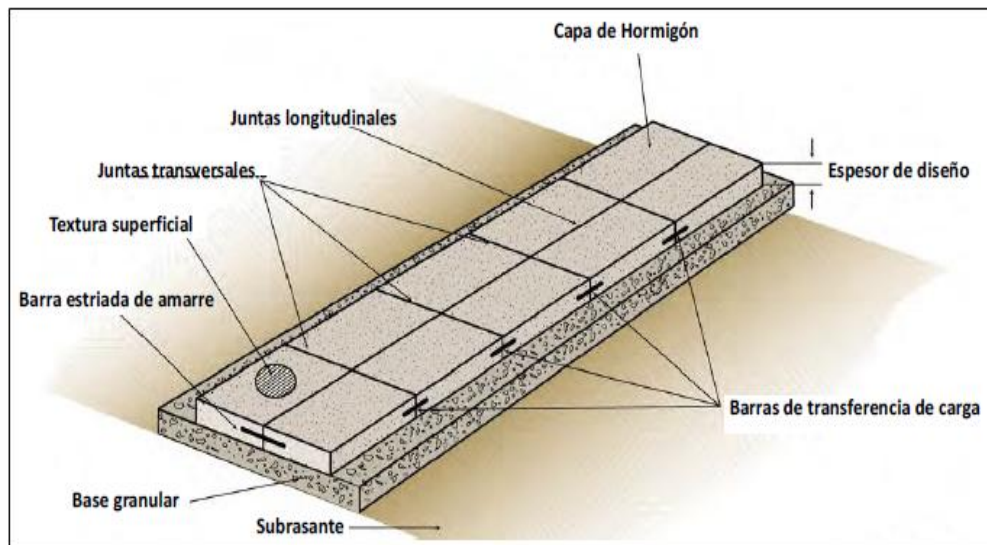
Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y por consecuencia resultan los más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle un grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la comparación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, este se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

### **2.4. CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

Los pavimentos de concreto cuentan con una serie de capas que se sostienen desde la subrasante hasta la carpeta de rodadura. La calidad de los materiales que conforman las capas va mejorando a medida que se aproximan a la carpeta de rodadura así poder tener mejor soporte durante su vida útil.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, sub-base y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

**Figura 2.2.** Elementos principales de un pavimento de hormigón



Fuente: Adaptado de ACPA PAVEMENT CONSTRUCTION

#### 2.4.1. Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Sus propiedades físicas son usadas para la selección de materiales.

Es el suelo de cimentación del pavimento pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado, o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

Antes de ser empleado debe ser perfilado y compactado entre el 95 y 100% de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo proctor estándar AASHTO T-99.

En el caso de presentar suelo natural conformado por suelos finos y plásticos como CL, MH, CH, CL – ML, con LL entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlos reduciendo su LL para mejorar así el IP.

Si el suelo natural está conformado por suelos tipo MH, CH y OH con LL de 100% será reemplazado por material de préstamo en un espesor mínimo de 30 cm.

#### **2.4.2. Sub base**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante compuesta por materiales granulares de buena gradación. También deberá ser perfilada y compactada entre el 95 y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de sub-base implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una

reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

El empleo de materiales granulares entre la subrasante y la carpeta de rodadura se debe entender desde el punto de vista de protección de la subrasante ante la pérdida de finos y para hacer más homogéneo el soporte donde se colocará la carpeta de rodadura de concreto.

### **2.4.3. Losa (superficie de rodadura)**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

## **2.5. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

### **a) La sub-base**

La capa de sub-base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub-base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub-base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.
- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia

del material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua se penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulares a través de las losas.

- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

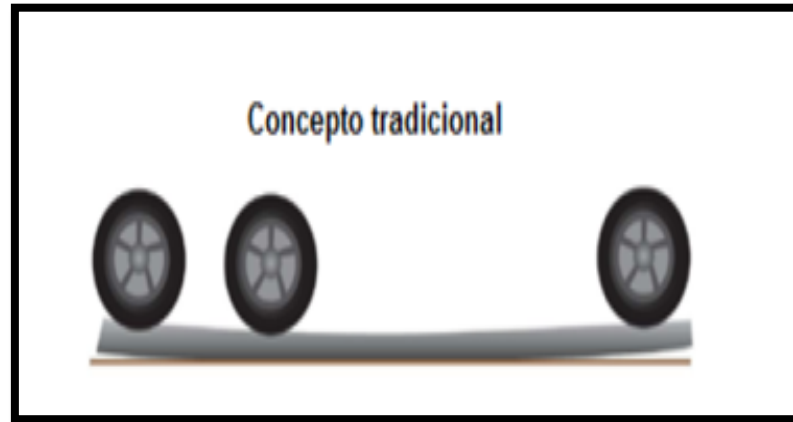
#### **b) Losa de concreto**

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen. Existe a su vez dos métodos de emplear las losas de concreto para pavimento: método convencional o tradicional y losas cortas.

- Proporcionar una superficie de rodamiento segura y cómoda.
- Soportar las cargas aplicadas por el tránsito y transmitir a la capa de apoyo. esfuerzos cuya magnitud no exceda su capacidad de soporte
- Resiste los efectos abrasivos del tránsito.
- Impedir la penetración del agua superficial.
- Propiedades de deflexión luminosa, importante para la conducción nocturna.
- Desagüe superficial rápido para limitar el espesor de la película de agua.

En la figura 2.3 se puede observar cómo funciona el método de losas cortas, en donde su principal función es reducir los costos de los pavimentos, pues debido a que funciona mejor estructuralmente.

**Figura 2.3.** Losas mediante la posición de las cargas



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón (ICH), Chile 2012.

**c) Subrasante**

Funciones que debe cumplir son:

- Constituye la capa superior de la terracería
- Absorber las cargas que la transmiten la sub base y transmitir las a un nivel adecuado al cuerpo del terraplén.
- Absorber cambios volumétricos de las capas inferiores.
- Constituye el elemento de apoyo del pavimento.
- Resiste los esfuerzos transmitidos, en condiciones severas de humedad.

**d) Cuerpo del terraplén**

- Proporciona los niveles que requiere la estructura.
- Es de espesor variable y en muchos casos se construye con material del terreno natural.
- Resiste las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos.
- Constituye el elemento de apoyo del pavimento.
- Absorbe cambios volumétricos de las capas inferiores.
- Resiste esfuerzos.

## **2.6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Sobre el pavimento de hormigón recae la responsabilidad estructural y funcional mientras que las capas inferiores tienen por misión asegurar su apoyo uniforme y estable. El espesor de la losa de hormigón puede ser inferior a 20cm si el tráfico es muy ligero o llegar a 40cm en algunas pistas de aeropuerto. El hormigón, constituido por áridos adecuados, 300 - 350kg/m<sup>3</sup> de cemento, una relación agua/cemento relativamente baja y los aditivos necesarios, se fabrica, transporta, extiende, compacta y cura para conseguir un material homogéneo, resistente a la fatiga por flexión, al desgaste por el tráfico y a los eventuales efectos de la helada y de las sales fundentes que puedan emplearse. Se examinan a continuación sus características más relevantes.

### **2.6.1. Rigidez del pavimento**

Los hormigones tienen un comportamiento, bajo las acciones del tráfico, fundamentalmente elástico; incluso en condiciones severas de tráfico pesado, intenso y lento y elevadas temperaturas, no experimentan deformaciones viscoplásticas. Con un módulo de Young que fácilmente supera los 40 000MPa y los espesores de losa indicados, los pavimentos de hormigón son estructuras muy rígidas con una gran capacidad de disipación de las tensiones verticales producidas por las cargas: la tensión máxima que le llega al apoyo uniforme y resistente a la erosión, tanto bajo el tráfico de obra como en servicio.

### **2.6.2. Juntas**

En las losas de un pavimento rígido se presentan diversas clases de esfuerzos. Los más elevados son generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, los cuales se controlan con el correcto diseño del espesor de las losas, con la selección adecuada de la resistencia del concreto y con una calidad en la construcción tal que las propiedades determinadas durante el diseño se cumplan.

Otros esfuerzos generados en el pavimento se deben a los movimientos de contracción o expansión del concreto y a las diferencias en la temperatura, o en la



humedad, entre la superficie y el apoyo de la losa. Estos esfuerzos se controlan con una adecuada selección de las dimensiones superficiales de las losas, en otras palabras, diseñando las juntas del pavimento.

Las juntas transversales y longitudinales, se construyen para impedir que se presente figuración del pavimento.

Además, los análisis de los esfuerzos generados en las losas, por cargas colocadas, en diferentes posiciones, han demostrado que estos son mayores en las cercanías de los bordes de las losas y, aun mas, en sus esquinas, de lo cual se concluye que las juntas inducen en el pavimento rígido unas zonas de debilidad relativa, por lo que en su concepción se deben diseñar los mecanismos o tomar las precauciones necesarias para mantener su integridad estructural.

### **2.6.3. Sensibilidad de Agentes Externos**

Los pavimentos de hormigón no se ven afectados por eventuales depósitos de aceites y combustibles en su superficie, ventaja que puede tener importancia en estacionamientos y en rampas. En zonas sometidas a heladas y cuando se prevea el empleo de sales fundentes en invierno, será necesario incorporar al hormigón un aireante y asegurarse de una efectiva presencia de aire ocluido.

### **2.6.4. Características Superficiales**

La resistencia al deslizamiento se puede conseguir empleando una proporción apreciable de una arena silíceo y dando al hormigón fresco una textura superficial adecuada mediante el arrastre de una arpillera y posterior cepillado, estriado o ranurado. Otras texturas, más parecidas a las de los pavimentos bituminosos, son las obtenidas por la incrustación de gravillas no pulimentables en el hormigón fresco (engravillado) o por eliminación del mortero superficial (denudación) al que se le impide fraguar mediante un riego de agua con sacarosa. Se ha comprobado que, a igualdad de coeficiente de rozamiento, las texturas longitudinales dan lugar a unos niveles sonoros relativamente reducidos.

La calidad de la rodadura viene marcada por la regularidad superficial obtenida. En ella influyen factores tales como la puesta a punto de la pavimentadora y de sus elementos de acabado, la homogeneidad del hormigón, el camino de rodadura de la maquinaria, los elementos de guiado y la regularidad del ritmo de puesta en obra.

- **Durabilidad**

La resistencia mecánica del hormigón aumenta con el tiempo de pavimento ha sido correcto, su índice de servicio disminuye lentamente. La fatiga a flexión del hormigón es la que determinara finalmente el agrietamiento generalizado del pavimento y la necesidad de su esfuerzo o reconstrucción. En este fenómeno influyen factores tales como el espesor de la losa, la resistencia a flexotracción del hormigón, la intensidad y el número de aplicaciones de las cargas, el clima, la forma y las condiciones de su base de apoyo.

- **Apertura de la Circulación**

En general, la apertura a la circulación ordinaria no debe realizarse antes de siete días de la terminación del pavimento. La apertura al tráfico de obra requiere por su parte que la resistencia alcanzada por el hormigón sea al menos 80 por 100 de la exigida a 28 días. La limitación de plazo no suele ser relevante en obras nuevas, dado que las tareas de terminación, señalización y obras auxiliares suelen durar más tiempo, pero si tiene una incidencia fundamental en obras de refuerzo o reconstrucción de vías existentes con tráfico de difícil o imposible desvío. Para este fin se han desarrollado los pavimentos denominados fast-track o de apertura rápida al tráfico con los que, gracias al empleo de un hormigón superplastificado de muy alta resistencia inicial, se pueda reducir el plazo a 6-24 horas.

- **Conservación y Rehabilitación**

Un pavimento de hormigón correctamente proyectado y construido requiere poca conservación: eventual sellado de juntas y grietas, reconstrucción de alguna losa, restauración de la macrotextura, etc. Estas operaciones se han simplificado notablemente gracias al empleo de nuevos materiales (resinas sintéticas, hormigones

superplastificados, tratamientos superficiales) y pequeñas herramientas específicas (serradoras, fresadoras, escarificadoras).

## **2.7. MATERIALES QUE COMPONEN LA LOSA DEL PAVIMENTO**

### **RÍGIDO**

#### **2.7.1. Agregados**

##### **2.7.1.1. Gruesos**

Los agregados gruesos que se utilizan con más frecuencia en el concreto de cemento portland incluyen la piedra triturada, la grava y la escoria de los altos hornos. También pueden emplearse otros materiales inertes; y los materiales listados se pueden usar solos o en combinación de unos con otros. Los requerimientos específicos en relación con los agregados gruesos que se utilizan para este fin, se pueden dividir en cinco grupos: sustancias nocivas, porcentaje de desgaste, solidez, peso por pie cubico (escoria) y granulometría.

La capacidad de los agregados gruesos para resistir la abrasión se controla en general mediante las especificaciones sobre un porcentaje máximo permisible de desgaste en la prueba de abrasión de los ángeles.

Los materiales deben estar limpios libre de agentes externos porque de esto dependerá su calidad.

**Figura 2.4.** Agregados gruesos



Fuente: Ingeniería de Pavimentos Alfonso Montejá Fonseca

**Tabla 2.1.** Límites para sustancias nocivas y propiedades físicas del agregado grueso para el concreto

Máximos permisibles (porcentaje)				
Usos típicos	Exposición al intemperismo	Arcillas en terrones y partículas desmenuzables	Roca silícea (densidad relativa inferior a 2.4 SSD)	Suma de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y roca silícea
Cubierta de puentes y otros usos en donde es inaceptable que la superficie tenga ampollas	severa	2.0	3.0	3.0
	Moderada	3.0	3.0	5.0
	Insignificante	5.0	5.0	7.0
Pavimentos, capas de base y banquetas donde se puede aceptar un número limitado de protuberancias	severa	3.0	3.0	5.0
	Moderada	5.0	5.0	7.0
	Insignificante	5.0	8.0	10.0
Concreto oculto no expuesto a la intemperie	Todos los tipos	10.0		

Fuente: AASHTO Materials, Part I, Specifications, American Association of State

Necesidades generales para todos los tipos de construcción y regiones de intemperismo:

Material máximo permisible más fino que la malla núm. 200 (0.075mm)=1.0%

Carbón y lignito máximos permisibles = 0,5%

Desgaste máximo, prueba de abrasión Los Ángeles = 40%

Perdida máxima, prueba de solidez del sulfato de magnesio (cinco ciclos) = 12%.

### **2.7.1.2.Finos**

La arena es el agregado fino que, por lo general, tiene mayor utilización en el concreto (tanto natural como manufacturada) y está compuesta por granos fuertes, duros y durables.

La limpieza de la arena que se desea utilizar se puede controlar estableciendo requerimientos relativos a las cantidades máximas de varias clases de sustancias nocivas que puedan estar presentes en una forma similar a lo ya indicado para los agregados gruesos. Con frecuencias se les da un énfasis particular al porcentaje máximo de ´limo ´ (material que pasa la malla núm. 200) que puede estar contenido en el agregado fino. En general, esta cantidad no debe exceder de 2 a 5% del total. Por lo regular, para las arenas se establecen normas adicionales de limpieza que señalan que no deben estar presentes cantidades excesivas de impurezas orgánicas. La cantidad de material orgánico se controla generalmente sometiendo el material a la prueba colorimétrica para impurezas orgánicas (AASHTO Denominación T21).

Otras normas para las arenas comprenden condiciones como la solidez. La solidez de estos materiales se controla especificando la pérdida máxima que se permitirá en cinco ciclos alternados de humedecimiento y secado en la prueba de solidez del sulfato de sodio. Una especificación típica consiste en que la pérdida de esta prueba no exceda de 10% También, las especificaciones modernas incluyen con frecuencia condiciones que tienen el propósito de controlar el potencial de la reactividad alcalina de los agregados finos.

Los requerimientos de granulometría relativos a los agregados finos establecidos por los diversos organismos de carreteras son un poco más uniformes que los similares en

relación con los agregados gruesos. Muchos de los departamentos de carreteras estatales utilizan requerimientos de granulometría que son los mismo, o muy similares, a los que están dados en las “Standard Specifications for Fine Aggregate for Portland Cement Concrete”, AASTHO, denominación M6 (véase la tabla 2.2).

**Tabla 2.2.** Granulometría del agregado fino (AASHTO Denominación M6-93)

Dimensiones de la malla	Porcentaje que pasa (en peso)
3/8 de pulg (9.5mm)	100
Núm. 4 (4,75mm)	95 - 100
Núm. 8 (2,36mm)	80 - 100
Num.16 (1,18mm)	50 - 85
Num.30 (0,60mm)	25 - 60
Num.50 (0,30mm)	10 - 30
Num.100 (0,150mm)	2 - 10

Fuente: Paul H. Wright – Karen Dixon. Ingeniería de carreteras 2da edición México: Limusa Wiley, 2011. Pág. 822

### 2.7.1.3. Agua

En la elaboración del concreto de cemento Portland se puede utilizar casi cualquier tipo de agua. Es frecuente que las especificaciones para este material solo requieren que el agua que se usa en la mezcla sea adecuada para beber, aun cuando se puedan utilizar en algunas ocasiones otras aguas, si se ha demostrado en pruebas de laboratorio o en experiencias de campo que son adecuadas para este propósito. El agua que se emplea no debe tener un exceso de álcalis, ácidos, aceite o materia orgánica. Los detergentes en el agua provocan contenido alto de aire. En algunas

mezclas de concreto ha dado resultados satisfactorios el agua de mar, aun cuando no se ha usado por lo común en operaciones de pavimentación.

#### 2.7.1.4.Cemento Portland

El cemento Portland se produce en cinco categorías básicas, designadas como tipos I a V. En la construcción de carreteras se usan por lo general tres de estas clases de cemento: los tipos I, IIA Y IIIA, respectivamente. La AASHTO ha publicado especificaciones (1) para cemento portland que dan los requerimientos para propiedades como finura, solidez, resistencia, tiempo de fraguado y contenido de aire del mortero. La AASHTO también ha publicado métodos estándar para el muestreo y pruebas del cemento portland con el objeto de clasificarlo y controlar la calidad (2).

En algunas áreas no se encuentran fácilmente los cementos que concuerdan con las especificaciones de todos estos tipos. El ingeniero deberá determinar si el tipo propuesto está disponible antes de especificar cualquier tipo de cemento Portland que no sea tipo I.

Para cualquier proyecto se debe presentar un certificado de calidad del cemento a ser utilizado además de la fecha de fabricación.

**Figura 2.5.** Materiales para la construcción de pavimentos rígidos



Fuente: Materiales para la construcción Carlos Kramer.com

## **Aditivos**

Por aditivo se entiende, en este caso cualquier sustancia diferente de los agregados, agua o cemento Portland, que puede incorporar a una mezcla de concreto. Un gran número de aditivos se pueden utilizar junto con los ingredientes estándar del concreto de cemento Portland para diferentes propósitos y en diversas formas. Solo unos pocos de estos aditivos son de importancia en la construcción de carreteras. Posiblemente los aditivos más importantes que se pueden agregar a los concretos que se utilizan en la construcción de carreteras son los que dan lugar a los concretos portadores de aire. Son numerosos los materiales que se pueden emplear como agentes portadores de aire, entre estos se incluyen las resinas de madera natural, las grasas, diversos hidrocarburos sulfonados y los aceites. Algunos de estos materiales son insolubles en agua y deben saponificarse antes de emplearse como aditivos. La ASTM C233 da un programa de pruebas para la evaluación de los materiales que podrían servir como agentes que arrastran aire, en tanto que la ASTM C260 es una especificación tentativa para estos materiales. Otro aditivo que es de importancia es el cloruro de calcio, el cual se usa en general como un agente acelerador. Es decir, que el cloruro de calcio disminuye realmente el tiempo de endurecimiento del cemento y, lo tanto, ayuda a incrementar la rápida resistencia de la mezcla de concreto. La cantidad de cloruro de calcio se limita, por lo común, a menos de 2% del peso del cemento estándar.

### **2.8. DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (ESPESOR DE DISEÑO)**

El propósito de esta sección es analizar la determinación del espesor de diseño de un pavimento Rígido. Varios factores intervienen en la determinación del espesor, los cuales quedaran resumidos en las secciones siguientes: No obstante, se puede adelantar que en lo básico, el pavimento debe tener un espesor adecuado para soportar cargas a las que estará sujeto durante la vida útil o que el diseño debe ser económico.

Muchas organizaciones y personas han prestado atención al problema del diseño de espesores de los pavimentos de concreto durante las décadas pasadas.



### 2.8.1. Método de la Portland Cement Asociación

#### Criterios de diseño

El método de diseño de la PCA se basa en los siguientes criterios de diseño:

- **De fatiga**, para mantener a los esfuerzos en el pavimento resultantes de cargas repetidas dentro de límites aceptables con el fin de evitar el agrietamiento por fatiga.
- **De erosión**, para limitar los efectos de las deformaciones del pavimento en las juntas y esquinas de las losas con objeto de controlar la erosión de los materiales de cimentación y de esta manera minimizar la falla de las juntas.

El análisis de fatiga se basa en el esfuerzo de orilla entre las juntas transversales. Como la carga está cerca del punto medio de la losa, la presencia y tipos de juntas (de plano debilitado de clavija) no tienen prácticamente ningún efecto sobre el esfuerzo de orilla. Por otro lado, si se usa un acotamiento de concreto que se une con el pavimento troncal, la magnitud del esfuerzo crítico se reduce sustancialmente.

El número permisible de repeticiones depende de la relación del esfuerzo de flexión desarrollado en la losa como resultado del grupo específico entre el esfuerzo de flexión del concreto. Este número aumenta a medida que disminuye la relación de esfuerzo. Los estudios muestran que si la relación de esfuerzo es menor que 0,55, el concreto soportara virtualmente un número ilimitado de repeticiones de esfuerzos sin causar la falla del concreto. Desde un punto de vista conservador, el PCA redujo esta relación a 0,5.

El otro criterio de diseño usado en el método de diseño de PCA es el análisis por erosión que considera el efecto de la deflexión excesiva en la esquina por las imperfecciones del pavimento, tales como el bombeo, la erosión de la cimentación y la falla de la junta. El tipo de junta (plano debilitado o clavija) y el hecho de que haya un acotamiento de concreto unido, afectaran a la deflexión de la esquina del pavimento y, por tanto, afectaran al análisis por erosión.

Se sabe que solo un pequeño porcentaje de camiones transitan con las ruedas exteriores colocadas en la orilla, y que la mayoría de los choferes de camión manejan con las ruedas exteriores colocadas aproximadamente a 2 pies (0,6m) de la orilla del pavimento.

### **Factores de diseño**

El diseño del pavimento de concreto por el método de PCA está determinado por cuatro factores de diseño:

- **Módulo de ruptura del concreto**

La resistencia a flexión o módulo de ruptura del concreto se determina para una viga de concreto de 6 x 6 x 20 plg apoyada con un claro de 18 plg y sujeta a carga en los puntos tercios. PCA recomienda el uso de ensayos de resistencia a 28 días para caminos y calles.

- **Soporte de la subrasante y de la sub-base**

El soporte de la subrasante de la sub-base se define mediante el modulo k de reacción de la subrasante, descrito en la sección 20-3. Puesto que la prueba de placa de asiento para determinar el valor de k toma mucho tiempo y es onerosa, el valor de k se estima mediante una correlación con pruebas más sencillas, tal como la prueba de california, o directamente de las clasificaciones de suelos que se muestran en la figura 20-5. Por lo general, no es económico usar la sub-base como objeto de incrementar los valores de k y por tanto reducir el espesor de la losa de concreto. Si se usa una sub-base.

Con objeto de reducir aspectos como el bombeo y la erosión, habrá un incremento del valor de k que deberá usarse en el diseño del espesor. Pueden usarse las tablas 2 y 3 para estimar los valores de k combinados.

**Tabla 2.3.** Efecto de la sub-base sin tratar sobre los valores de k

Valor de k de la subrasante kPa/mm(lb/plg <sup>2</sup> /plg)	Valor k de la sub-base, kPa/mm				Valor k de la sub-base, lb/plg <sup>2</sup> /plg			
	102 mm	152 mm	228 mm	305 mm	4 plg	6plg	9plg	12plg
14 (50)	18	20	23	30	( 65 )	( 75 )	( 85 )	( 110 )
27 (100)	35	38	43	51	( 130 )	( 140 )	(160 )	( 190 )
54 (200)	59	62	73	86	( 220 )	( 230 )	( 270 )	( 320 )
81 (300)	86	89	100	226	( 320 )	( 330 )	( 370 )	( 430 )

Fuente: Thickness Desing for Concrete Highway and Street Pavements, Portland cement Association (1984)

**Tabla 2.4.** Valores de diseño de k para sub-bases tratadas con cemento

valor de k de la subrasante kPa/mm(lb/plg <sup>2</sup> /plg)	valor k de la sub-base, kPa/mm				Valor k de la sub-base, lb/plg <sup>2</sup> /plg			
	102 mm	152 mm	228 mm	305 mm	4 plg	6plg	9plg	12plg
14 (50)	46	62	84	105	(170)	(230)	(310)	(390)
27 (100)	76	108	140	173	(280)	(400)	(520)	(640)
54 (200)	127	173	224	-	(470)	(830)	(830)	-

Fuente: Thickness Desing for Concrete Highway and Street Pavements, Portland cement Association (1984).

- **Vida de diseño**

Comúnmente se ha empleado una vida de diseño de 20 años en el diseño de pavimentos; sin embargo, hay circunstancias en las cuales puede justificarse el uso de una vida de diseño menor o mayor.

## **2.9.EJECUCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

La ejecución de un pavimento de hormigón consta esquemáticamente de las siguientes fases:

- Preparación de la superficie de apoyo de las losas.
- Fabricación del hormigón.
- Transporte.
- Puesta en obra.
- Acabado, texturado
- Curado
- Corte de juntas.

### **2.9.1. Preparación de la Superficie de Apoyo de las Losas**

La preparación de la subrasante sobre la cual descansa un pavimento rígido es, por su puesto, un paso muy importante en el proceso de construcción total. Es esencial que se proporcione una subrasante de apoyo uniforme para el pavimento terminado y que dure a lo largo de su vida útil, y que aquel se encuentre libre de otros efectos nocivos asociados con suelos de subrasantes no satisfactoria. Entre los problemas que se encuentran con mayor frecuencia, y que están relacionados con el carácter y condición del suelo de la subrasante, se tiene el bombeo y la acción congelante, en tanto que otras dificultades se pueden volver evidentes cuando se encuentran suelos que tienen una inadecuada resistencia al cortante, suelos con elevados cambios en el volumen, suelos orgánicos, suelos alcalinos, suelos que tienen dificultades para su drenaje y otros. Se deben tomar las medidas adecuadas para eliminar estos efectos en la subrasante antes de que se coloque el pavimento. En algunos casos, el suelo de la subrasante existente puede ser totalmente adecuado como cimiento y, por lo tanto,

solo requerir de compactación y de un drenaje adecuado antes de una colocación de una losa de concreto. En otros casos, se puede utilizar una capa de suelo traída de otro sitio, la cual se coloca entre el suelo existente y la losa, o bien, se puede estabilizar el suelo existente, con cemento portland o materiales granulares. Es muy común estipular la colocación de una capa de `aislamiento` de un material granular adecuado entre el suelo y el concreto. Se utilizan diversos materiales para formar esta capa o sub-base, entre los que se incluyen grava, arena, arena y grava, roca triturada, etc. El espesor del tratamiento varía desde un mínimo de 3 a 6 pulg (75 a 150mm) más o menos si el interés principal es el bombeo.

### 2.9.2. Fabricación del Hormigón

Para el buen funcionamiento del proceso de fabricación del hormigón es preciso constar con unos acopios suficientes de los diferentes componentes. Es deseable que al comienzo de las obras este acopiada una buena parte del volumen total de áridos a utilizar. En cuanto al cemento, se debe tener acopiado en todo momento un volumen superior al necesario para un día de fabricación. Finalmente, no debe olvidarse que el suministro del agua puede construir una dificultad en las regiones secas. Todos los componentes del hormigón deben poder dosificarse ponderalmente, salvo el agua y los aditivos líquidos, que pueden dosificarse volumétricamente.

**Figura 2.6.** Elaboración de la mezcla de concreto



Fuente: Construcción de pavimentos rígidos módulo 16

### 2.9.3. Transporte

Solo en obras muy pequeñas se puede realizar el amasado en camiones hormigonera, fundamentalmente por la lentitud en la descarga de hormigones secos. En general el transporte del hormigón a obra se realiza con camiones volquete. Para proteger al hormigón de la lluvia o de la desecación durante el transporte se emplean lonas o cobertores.

**Figura 2.7.** Transporte del hormigón



Fuente: diseño de pavimentos-de concreto

### 2.9.4. Puesta en Obra

La puesta en obra de los pavimentos de hormigón vibrado se realizaba hasta hace unos años con trenes de hormigonado constituidos por unas máquinas que ruedan sobre encofrados metálicos afianzados y niveladoras. Estos trenes constan de una o dos extendedoras, de una o dos terminadoras transversales con elementos de igualación, vibración y alisado y, a veces, de una terminadora longitudinal o diagonal, con una regla oscilante en este sentido. A esta maquinaria hay que añadir la eventualmente necesaria para la introducción de los pasadores, la formación de juntas, la pulverización del producto de curado, etc.

**Figura 2.8.** Puesta en obra del hormigón



Fuente: Diseño de pavimentos-de-concretos

### **2.9.5. Acabado y Texturado**

El acabado del hormigón fresco suele requerir el empleo de unos fratases anchos de mango largo para la eliminación de la lechada superficial. En carreteras de alta velocidad de circulación, la macrotextura superficial más frecuentes en España se obtiene mediante un estriado longitudinal, por el paso de unos cepillos metálicos o de plástico (previamente se arrastra una arpillera para seguir una microtextura áspera en toda la superficie); la textura de los arcenes, en cambio, suele ser transversal.

**Figura 2.9.** Acabado y texturado del hormigón



Fuente: Diseño de pavimentos-de-concretos

### **2.9.6. Curado**

El curado de una losa de pavimento de concreto es necesario con el objeto de que el concreto pueda fraguar en forma adecuada. Debe tenerse en cuenta que el agua es absolutamente necesaria para que el cemento tenga una hidratación apropiada y que el fraguado del concreto no es un proceso de secado. Por lo tanto, se deben dar los pasos necesarios para prevenir la pérdida de humedad del concreto durante el periodo de curado. Algunos departamentos relacionados con carreteras requieren el curado húmedo preliminar, y el periodo de este varía de 1 a 3 días. El tiempo total de curado según lo indica el periodo que debe transcurrir antes de abrir el pavimento al tráfico, varía por lo regular entre 7 y 14 días con frecuencia, la apertura del pavimento al tránsito se basa en que el concreto endurecido alcance ciertas resistencias a la flexión mínima y no en que transcurra un periodo arbitrario.



## CAPITULO III

### CRITERIOS DE CALIDAD E INDICADORES DE DESEMPEÑO EN PAVIMENTOS RIGIDOS

#### 3.1. GENERALIDADES

##### a) Criterios de Calidad

Los criterios de calidad son un aspecto relevante que resume en la medida la posible calidad de la actividad o proceso que pretendemos evaluar.

Los criterios que debemos tomar en cuenta son los que vienen desde las especificaciones técnicas y normas establecidas.

- b) **Indicador:** Es la medida cuantitativa que puede usarse como guía para controlar y valorar la calidad de las diferentes actividades, es decir la forma particular (normalmente numérica) en la que se mide o evalúa cada uno de los criterios:

Características que deben cumplir:

- Validez: Asegura que la herramienta mide realmente lo que queremos evaluar.
  - Fiabilidad: Se define como el grado de reproductibilidad de los resultados para los mismos casos y situaciones cuando el indicador es utilizado por observadores diferentes.
  - Apropiado: Un indicador debe ser útil, para que los resultados de la aplicación puedan derivarse acciones de mejora.
- c) **Desempeño:** El desempeño del pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su periodo de diseño.
- d) **Control de calidad:** Es el conjunto de los mecanismos, acciones y herramientas realizadas para detectar la presencia de errores. La función principal del control de calidad es asegurar que los productos o servicios cumplan con los requisitos de calidad.

### 3.2. CONTROL DE CALIDAD EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

El control de calidad es un conjunto de actividades destinado a verificar la condición del producto terminado y en base a los resultados obtenidos, aceptar o rechazar el producto.

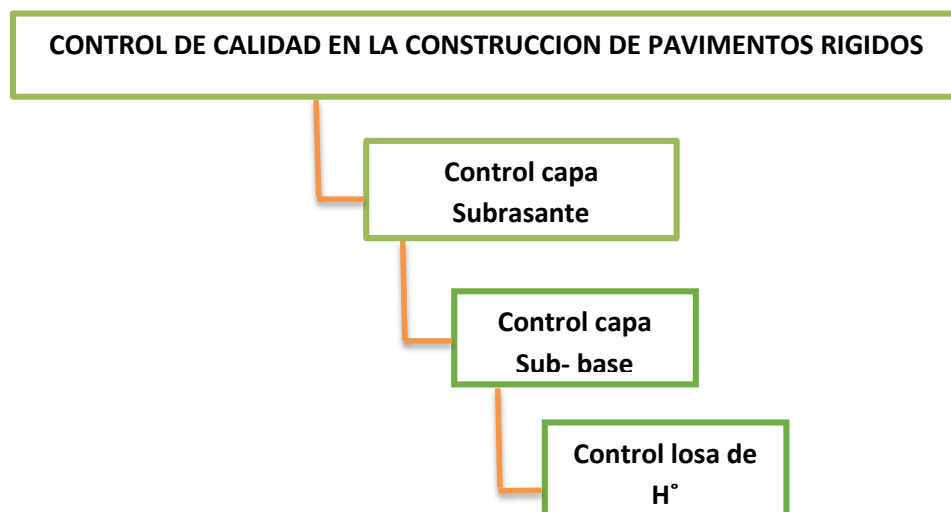
En términos generales el término calidad está asociado a las necesidades y satisfacción del cliente y usuario; pero cuando se trata del proyecto y ejecución de las obras viales, la calidad supone una serie de elementos interrelacionados que conducen a pesar en un sistema de ``control de calidad``. Esto significa que realizar alguna actividad con calidad no es una tarea fácil ya que intervienen varios factores y recursos.

La calidad de pavimentos rígidos depende de numerosos parámetros. Las condiciones de proyecto, construcción y durabilidad de las obras hacen necesario que productos como el hormigón sea completamente homogéneo y que propiedades tales como la resistencia cumplan con ciertos límites preestablecidos en las especificaciones.

#### 3.2.1. Organización para el Control de Calidad

La figura 3.1 “Organización del control de calidad”, muestra en forma esquemática el ordenamiento de las actividades y su relación con el control de calidad, durante la ejecución.

**FIGURA 3.1.** Esquema de control de calidad



### 3.2.2. Instrumentos de Control

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

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

Es a través de estas que se establecen:

- e) Los parámetros que definen el nivel de calidad
- f) Los procedimientos y equipos para lograrlo
- g) Los ensayos y su interpretación para comprobarlo.

### 3.2.3. Etapas en el Proceso Constructivo

Llamamos proceso constructivo al conjunto de actividades que secuencialmente permiten el desarrollo de una obra determinada hasta su total conclusión.

De esta manera, la construcción propiamente dicha es el producto de una serie de actividades las cuales pueden ser agrupadas en tres etapas fundamentales: concepción, ejecución y aplicación.

- **Concepción.-** Esta etapa es la correspondiente a la concepción de la obra, en la que básicamente participan el propietario y el proyectista, el primero plantea las necesidades y requerimientos en tanto que el segundo las posibles soluciones.
- **Ejecución.-** Esta etapa corresponde a la construcción de la obra en la que intervienen la selección de los materiales y la misma ejecución de la obra como actividades secuenciales.
- **Aplicación.-** Es la actividad en la que intervienen dos actividades que debieran ser simultáneas: uso y mantenimiento.

### 3.2.4. Requerimiento en el Proceso de Control de Calidad

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

Los elementos que se consideran importantes de la ejecución del control de calidad, son el factor humano y el procedimiento de muestreo.

- **Factor humano.-** Las principales fallas en la construcción en general se deben al factor humano, que en el futuro deberá ser objeto de mayor atención al tener una importancia capital en el resultado final del proceso constructivo.
- **Muestreo.-** El criterio de muestreo tradicional señala el muestreo como la toma de las partes “representativas” del conjunto, donde el muestreo lo realiza el inspector con determinada experiencia y criterio como para escoger la muestra que represente la calidad media del total del conjunto.

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

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

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

### 3.2.5. Elementos del Control de Calidad

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

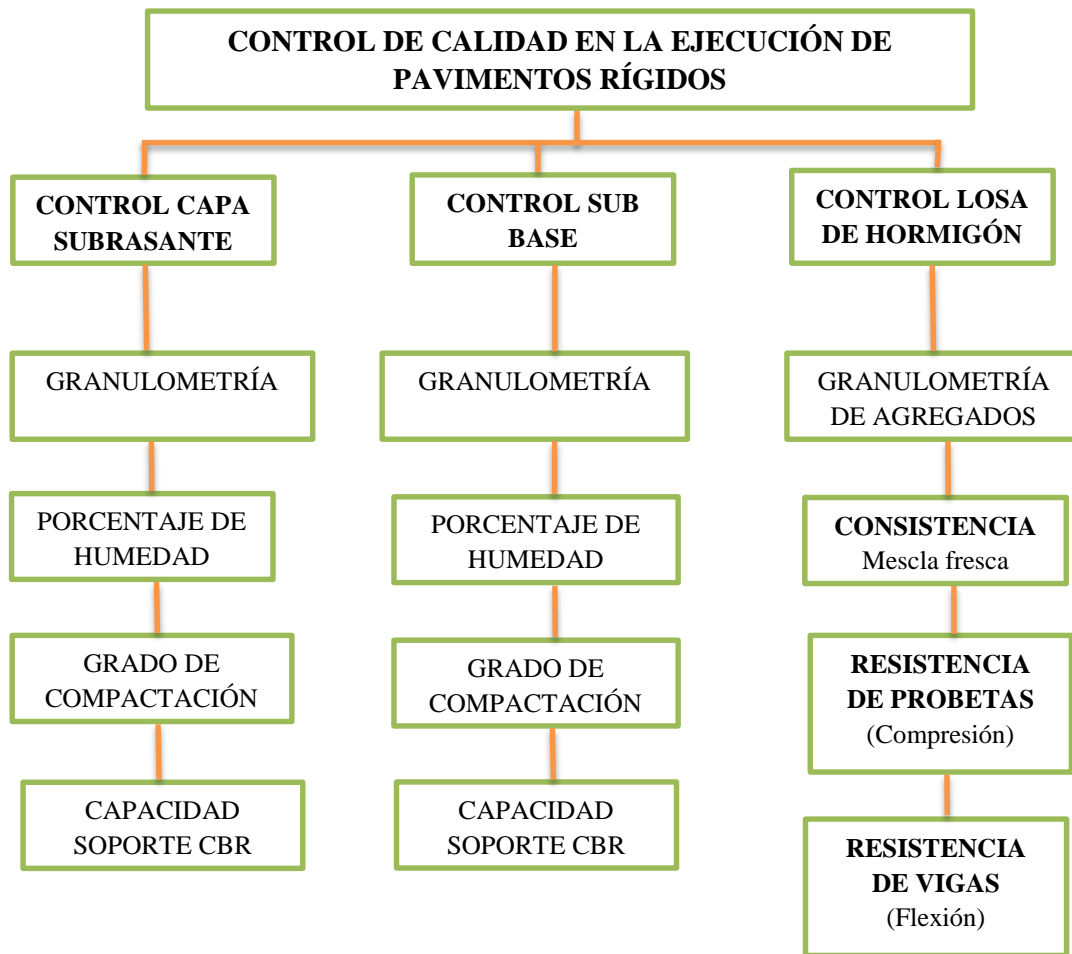
Este elemento del control de calidad es el que define las características esenciales de durabilidad y seguridad de la obra, otorgando de acuerdo con criterios previamente establecidos, las alternativas de decisión para la respectiva aceptación o rechazo del ítem ejecutado.

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

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

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

**Figura 3.2. Criterio de control de calidad**



### 3.3. CONTROL CAPA SUBRASANTE

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

– **Requisitos de las capas de apoyo:**

Las capas de apoyo del pavimento de concreto podrán ser los suelos naturales o terreno natural, siempre y cuando estos sean de buena calidad. Si no cumpliera con los requisitos de calidad se debe mejorarla, a fin de que cumpla una función estructural, y de esta manera los espesores de la losa requeridos se reduzcan. Esta

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

– **Verificación del material del terreno natural:**

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

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

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

- Humedad natural
- Granulometría
- Limite liquido
- Limite plástico
- Índice de plasticidad
- Clasificación de suelos
- Ensayos Proctor modificado
- Capacidad portante CBR

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

- **Control Tecnológico de la capa subrasante.-** El control tecnológico en la conformación de la subrasante deberá constar principalmente de los elementos que se especifican a continuación.
- **Densidad Máxima y Humedad Óptima.-** El control de la densidad máxima obtenida a óptima humedad, representa el problema típico en la ejecución de

una obra vial. Con el cálculo de la densidad máxima determinada en laboratorio a una humedad óptima, se podrá evitar discusiones innecesarias a diferentes criterios. El control a ejercer sobre la humedad óptima está basada en las especificaciones técnicas establecidas por el proyecto.

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

De acuerdo a las especificaciones Técnicas del proyecto los suelos para una subrasante deben ser suelos de los tipos A-1, A-2 o A-3 de acuerdo a la clasificación de la AASHTO M-145, con una graduación tal que todas las partículas del mismo pasen la criba de 3 pulgadas y no más del 25% pase por el tamiz N° 200. La porción de material que pase el tamiz N° 40 deberá tener un índice plástico no mayor de 10, tal como se determina en la especificación AASHTO MT-91. Su expansión será menor a 4%. El CBR mínimo será 6% establecido en las secciones tipo de pavimento para las zonas del proyecto.

La densidad de las capas de subrasante mejorada será del 95% de la densidad máxima determinada según el ensayo AASHTO T-180 D.

### **3.4.CONTROL CAPA SUB-BASE:**

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

Los materiales a ser empleados en la sub-base deben presentar un Índice de Soporte de California (CBR) igual o mayor a 60% y una expansión máxima de 1% determinados con la energía de compactación de la AASHTO T-180 D. Los requisitos de plasticidad son: Límite Líquido < 25 % e índice Plástico > 6 %.

El agregado retenido en el tamiz N° 10 debe estar constituido por partículas duras y durables, la fracción fina que pase el tamiz N° 10 deberá estar constituida por arena natural, o arena obtenida por trituración. La fracción que pase el tamiz 200 será no mayor de los 2/3 de la fracción que pase el tamiz N° 40.



El diámetro máximo de agregado no será menor de 7.5 cm ni mayor que la mitad del espesor de la capa compactada.

La sub-base será efectuada con materiales que cumplan con las siguientes granulometrías:

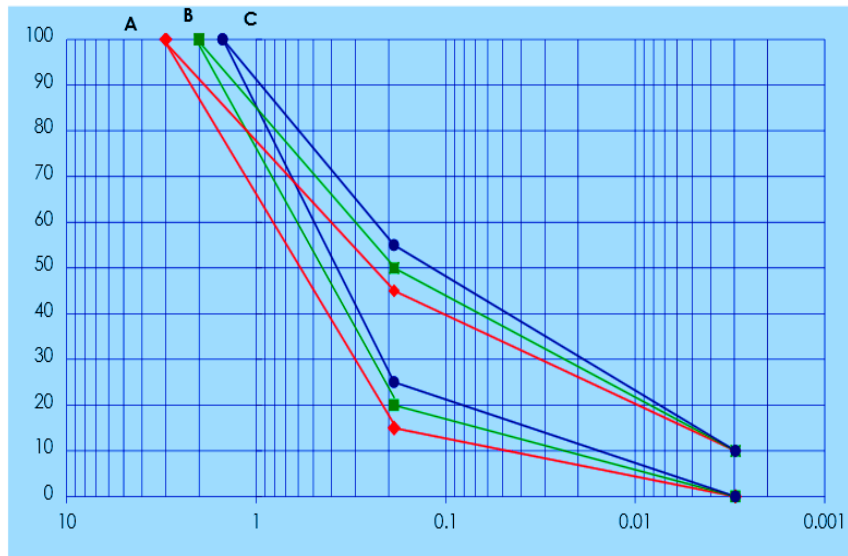
**Tabla 3.1** Gradaciones para materiales de sub-base

TAMAÑO DE LA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	GRADACIÓN			
	TIPO "A"	TIPO "B"	TIPO "C"	TIPO "D"
3"	100		.....	.....
2"	.....	100	.....	.....
1 ½"	.....	90 - 100	100	.....
1"	.....	.....	.....	.....
¾"	.....	60 - 90	.....	100
Nº 4	30 - 70	30 - 70	30 - 70	40 - 80
Nº 200	0 - 15	0 - 15	0 15	05 -20

Fuente: Normas AASTHO

Los materiales para sub-bases tendrán las características granulométricas que se establecen en la tabla 3.1. Considerando que el tamaño máximo de sus partículas no será mayor a de 25% del espesor de la sub base con los requisitos de calidad las gradaciones utilizadas en este control fueron del tipo B ya que el material entraban en su faja de control.

**Figura 3.3.** Faja de gradación A, B y C para sub-base



Fuente: Normas AASTHO

- **Control tecnológico de la capa sub-base.-** En la conformación de la sub-base las actividades en las que se realiza el control de calidad, de los cuales depende su aceptación o rechazo.
- **Granulometría.-** Este factor permitirá establecer, si el material analizado es apto o no para su empleo como capa sub-base.

En forma complementaria y siguiendo los requerimientos establecidos; los datos de la fracción que pasa el tamiz N° 200 serán analizados como atributos del material que serán determinados para cada muestra a fin de poder corregir la dosificación en caso de presentarse un exceso de material fino.

De la misma manera, los límites de consistencia serán considerados como atributos los cuales definirán a la fracción que pasa el tamiz N° 40 plásticos o no plásticos para la correspondiente aprobación o rechazo.

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

Con el cálculo de la densidad máxima determinada en laboratorio a una humedad óptima se podrá aplicar el criterio de análisis de comparación de las humedades obtenidas en campo con respecto a la humedad de referencia determinada en laboratorio, las cuales están basadas en las especificaciones técnicas del proyecto.

- **Control de compactación.-** Es uno de los más importantes procedimientos del estudio y control de calidad del terreno. A través de él es posible determinar la compactación máxima del suelo en relación con su grado de humedad.
- A mayor grado de compactación mayor estabilidad, disminución de la contracción del suelo y disminución del asentamiento

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

Además de acuerdo con las normas AASTHO y las especificaciones técnicas debe cumplir las siguientes características.

**Tabla 3.2.** Características que debe cumplir la sub-base

Limite liquido (LL)	25%	Max
Índice de plasticidad (IP)	6%	Max
Poder de soporte (CBR)	60%	Min
Desgaste de los Ángeles	40%	Max
Finos que pasan malla N° 200	15%	Max

Fuente: Normas AASTHO

### **3.5. CONTROL LOSA DE HORMIGÓN**

Las pruebas de control de calidad para el concreto se efectúan para garantizar y comprobar que este cumple con los requerimientos de las especificaciones deseadas.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto los materiales para la elaboración de la carpeta de H° deben cumplir las siguientes condiciones.

#### **3.5.1. Cemento:**

El material ligante a utilizar será Cemento Portland Normal o Cemento Portland con Adiciones, de marca aprobada que reúna estrictamente las condiciones exigidas por las Normas correspondientes NB 011 y NB 096, dictadas por el IBNORCA.

El control de cemento generalmente lo realizan las empresas productoras que se rigen a la normatividad internacional y nacional. Para proyectos comunes, también se realizan análisis químicos en laboratorio. Siempre y cuando no se indique lo contrario, se empleará cemento portland disponible en el país o (Clase I- ASTM)

Para cualquier proyecto se debe presentar un certificado de calidad del cemento (preferentemente nacional) a ser utilizado, además de la fecha de fabricación. Las muestras de hormigón preparadas con este cemento, serán convenientes especificadas, fraguadas y almacenadas para su posterior ensayo.

Con el objeto de conseguir información de la resistencia del cemento, se aceptarán ensayos de acuerdo a normas. Los trabajos de hormigonado podrán comenzar después de que los ensayos hayan dado resultados satisfactorios.

#### **3.5.2. Agregados:**

Los agregados utilizados deben cumplir con las normas de elaboración del concreto: de agregado fino y agregado grueso. Para controlar la calidad de los agregados, es conveniente visitar a los bancos de préstamo, para conocer la disposición de los agregados antes de que sean transportados a los lugares de almacenamiento o a la obra. Esto es para evitar variaciones en las calidades de los materiales extraídos. Los agregados necesarios para la elaboración del hormigón (arena y grava), deberán

cumplir los requisitos de las normas Bolivianas CHB-87. Las características indicadas a continuación para los agregados son los más comunes y de mayor utilización dentro del campo de la construcción de pavimentos rígidos.

Y de acuerdo a las especificaciones del proyecto los parámetros que deben cumplir son los siguientes:

### 3.5.2.1. Agregado Fino

#### Origen, naturaleza y características:

El agregado fino a emplearse estará constituido por arenas naturales o artificiales o una mezcla de ellas. Arenas naturales son aquellas cuyas partículas son redondeadas y provienen de la disgregación de las rocas por la acción de los agentes naturales.

#### Granulometría del agregado fino:

El agregado fino será bien graduado y su composición granulométrica deberá responder a las siguientes exigencias:

Como se puede observar en la tabla 3.3 son las exigencias que nos piden las especificaciones técnicas del proyecto.

**Tabla 3.3.** Granulometría del agregado fino

Tamiz Serie US Standard	% Que Pasa	Peso
3/8"	100	9,5 mm
N° 4	95 -100	4,8 mm
N° 16	45 - 80	1,2 mm
N° 50	10 - 30	297 u
N° 100	2 - 10	149 u

Fuente: Normas AASTHO

### 3.5.2.2. Agregado Grueso

El agregado grueso será piedra triturada, o grava, u otro material inerte aprobado por el Ingeniero. Se compondrá de partículas duras, resistentes y durables libres de cualquier cantidad perjudicial de capas o materias adheridas, arcilla y materias extrañas.

No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes límites:

**Tabla 3.4.** Límites de sustancias perjudiciales en los agregados

<b>Terrones de arcilla</b>	<b>0.25 %</b>
<b>Partículas blandas</b>	5.00 %
<b>Finos que pasen el tamiz N° 200</b>	5.00 %
<b>Sales solubles, partículas cubiertas por partículas superficiales</b>	5.00 %
<b>Desgaste de los Ángeles Máximo</b>	40.00 %

Fuente: Normas AASTHO

El agregado grueso responderá, en general a las siguientes exigencias en lo que a sus características petrográficas se refiere:

- Durabilidad con sulfato de sodio. La pérdida luego de cinco (5) ciclos no excederá el 12 % (doce por ciento).
- Absorción de agua (24 horas) no excederá del 2 % en peso.
- Resistencia al desgaste: En el ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles, admitirá una pérdida máxima del 40 % (cuarenta por ciento)

- **Granulometría del agregado grueso**

La granulometría de la base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados por abertura de mayor a menor.

El agregado grueso estará graduado de manera apropiada, para evitar la segregación se recomienda un tamaño máximo no mayor a 1 1/2".

La verificación granulométrica será diaria y se realizarán los ajustes necesarios en la mezcla si fuera necesario. El ingeniero podrá exigir que el agregado grueso que responda a esta granulometría se obtenga por mezcla en obra de dos o más agregados de distintas clasificaciones granulométricas, en cuyo caso se procederá a sus acopios y mezclas.

**Tabla 3.5.** Granulometría recomendada para el agregado grueso

TAMIZ N°	% QUE PASA
2 1/2"	100
2"	95 - 100
1"	35 - 100
1/2"	10 - 30
N° 4	3 - 5

Fuente: Normas AASTHO

Con esta granulometría recomendada se pudo verificar que el material utilizado en proyecto de las 180 cuadras cumpla con las especificaciones técnicas y así obtener mejores resultados durante el control de calidad.

### **3.5.2.3. Agua**

El agua que se utilice en la elaboración del concreto debe estar libre de impurezas, aceite, etc., siempre que sea posible deberá usarse agua potable, con un  $\text{PH} \geq 5$  El grado de pureza del agua para el preparado del hormigón deberá de ser buena calidad, no contener sustancias corrosivas, ni que contaminen el cemento, ni influyan en ningún proceso para la obtención de un buen hormigón.

La cantidad de agua deberá ser medida cuidadosamente para el hormigón fresco, bastante como para obtener hormigones trabajables y mínima para la obtención de hormigones compactos. Para hormigones ya endurecidos, el agua debe ser abundante y de buena calidad por su acción prolongada.

### **3.5.3. Control de Resistencias**

Se hablara con cierto detalle del control de la resistencia del hormigón, porque como es lógico es un tema de gran importancia y que puede tener repercusiones económicas considerables en una obra de pavimentación.

#### **– Control de resistencia a compresión.-**

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

La resistencia a compresión del concreto es la medida más común de desempeño. Se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto tiene que cumplir una resistencia mayor a  $250\text{kg/cm}^2$ .

#### **– Control de resistencia a la flexión del concreto.-**

La consideración de la resistencia la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga que controla el agrietamiento del pavimento bajo la repetición de cargas.

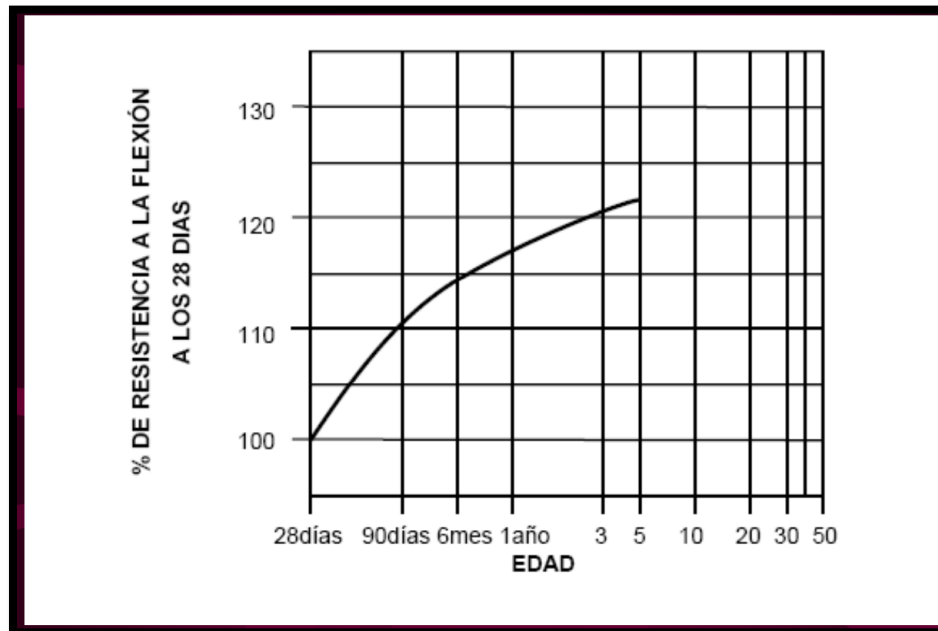


De acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto nos pide una resistencia de 4,3 Mpas.

Los resultados a los 28 días se han usado, generalmente, para el diseño de autopistas y calles; mientras que los resultados de 90 días son usados para el diseño de aeropistas.

Sabemos que el concreto continúa ganado resistencia con el paso de tiempo como muestra la figura 3.3. Esta ganancia de resistencia es mostrada en la curva que representa valores de módulo de ruptura (MR) promedios para varias series de pruebas de laboratorio.

**Figura 3.4.** Curva de desarrollo de resistencia a la flexión a través del tiempo



Fuente: Pavimento rígido PCA-Documentos

El control de resistencia se lo hace mediante ensayos. Para que dicho control sea lo más preciso posible es aconsejable dividir los ensayos en tres grupos que son:

- Ensayos previos (con la mezcla de prueba)
- Ensayos característicos
- Ensayos de control en obra

– **Ensayos Previos:**

Los ensayos previos se realizaran en laboratorio con la muestra de prueba, para verificar, que la dosificación calculada, cumpla con las resistencias que necesitan obtener en obra como se exige en el proyecto. Se debe tratar de crear dosificaciones que cumplan las exigencias, con holgura especialmente en cuanto a sus resistencias.

Ello porque las resistencias que se obtienen en el laboratorio son siempre superiores a las que luego se obtienen en obra, por lo que una dosificación se puede considerar aceptable cuando en laboratorio se alcanzan resistencias del orden de un 20% o 30% superiores a las exigencias del proyecto.

– **Ensayos característicos:**

Una vez realizados estos ensayos previos en laboratorio hay que realizar en obra los denominados ensayos característico; es decir, que con las dosificaciones que se ha estimado en laboratorio, se puede pasar a realizar un tramo de ensayo, del que se saca testigos para controlar si las resistencias son las correctas, además de verificar el buen funcionamiento del equipo que se utiliza para el amasado del hormigón y la construcción del pavimento.

– **Ensayos de control en obra:**

Una vez que se tiene aprobado el tramo de ensayo, y ya con la obra en marcha hay que realizar unos ensayos de control obligatorio que son los que sirven de información para verificar si las resistencias requeridas por el proyecto están siendo cumplidas.

#### **3.5.4. Ensayos Standard en Hormigón**

A continuación se indicara la serie de ensayos Standard que se realiza para el control de calidad y resistencias del hormigón, los cuales se pueden hacer algunos en laboratorio.

La ejecución de ensayos en distintas etapas del proceso de construcción de la losa de hormigón se puede agrupar de la siguiente forma:

- Estudio previo de los materiales y de las mezclas de hormigón
- Determinación de las propiedades de la mezcla fresca
- Control de calidad del hormigón elaborado en base a ensayos mecánicos

Los ensayos son los siguientes:

- 1) Determinación de la consistencia del hormigón de cemento basándose en el asentamiento
- 2) Determinación de peso unitario, rendimiento y porcentaje de vacíos del hormigón de cemento
- 3) Preparación y curado de especímenes en el laboratorio para los ensayos de compresión y de flexión.
- 4) Determinación de la resistencia a la compresión de cilindro de hormigón
- 5) Determinación de la resistencia del hormigón a flexión

De referencia el control de resistencia con base en las resistencias a la flexión se realizara mediante vigas ensayadas con cargas a los tercios medios.

### **3.6.JUNTAS EN PAVIMENTOS**

En las losas de un pavimento rígido se presentan diversas clases de esfuerzos. Los más elevados son generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, los cuales se controlan con el correcto diseño del espesor de las losas, con la selección adecuada de la resistencia del concreto y con una calidad en la construcción tal que las propiedades determinadas durante el diseño se cumplan.

Otros esfuerzos generados en el pavimento se deben a los movimientos de contracción o expansión del concreto y a las diferencias en la temperatura, o en la humedad, entre la superficie y el apoyo de la losa. Estos esfuerzos se controlan con una adecuada selección de las dimensiones superficiales de las losas, en otras palabras, diseñando las juntas del pavimento.

Las juntas transversales y longitudinales, se construyen para impedir que se presente fisuración del pavimento.

Además, los análisis de los esfuerzos generados en las losas, por cargas colocadas, en diferentes posiciones, han demostrado que estos son mayores en las cercanías de los bordes de las losas y, aun más, en sus esquinas, de lo cual se concluye que las juntas inducen en el pavimento rígido unas zonas de debilidad relativa, por lo que en su concepción se deben diseñar los mecanismos o tomar las precauciones necesarias para mantener su integridad estructural.

### 3.6.1. Finalidad de las juntas

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias por las siguientes razones:

- **Por requisitos de construcción.** Lo más frecuente es construir los pavimentos rígidos por carriles, generándose juntas longitudinales, con una separación determinada mediante un diseño realizado con criterios técnicos.

Además de la junta longitudinal descrita, se presentan juntas de construcción transversales, cuando se suspenden las labores de colocación de concreto, bien sea por la finalización de la jornada laboral, por alguna interrupción en el suministro del material o por averías en algunos de los equipos empleados para su producción, transporte o colocación.

Pero esa interrupción debe ser tan larga como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final. El tiempo en que esto sucede depende de las propiedades del concreto, del empleo o no de aditivos retardantes y de las condiciones climáticas.

- **Retracción del concreto.** El concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco, debido fundamentalmente a las reacciones de la hidratación que ocurre durante el fraguado y, en forma secundaria, al enfriamiento producido por el desprendimiento de calor originado en dicha reacción.

La retracción lineal de un elemento de concreto es tanto mayor cuanto menor sea la relación entre su volumen y su área superficial, en el caso de las losas de un pavimento esta relación es muy pequeña, debido al bajo espesor de ellas

comparado con su superficie y, por lo tanto, se presenta una retracción longitudinal considerable.

- **Dilatación térmica.** El aumento de temperatura en el concreto ocasiona, en ausencia de restricciones, un incremento en su volumen; y por ser las losas del pavimento elementos de poco espesor en relación con su área superficial, este aumento de volumen es más notorio en su dimensión longitudinal. Si existe confinamiento (es decir, si se impide el aumento de longitud), se introducen necesariamente esfuerzos de compresión, los cuales, aunque son bien resistidos por el concreto, tienen efectos secundarios perjudiciales, como producir alabeo en las placas e introducir esfuerzos en las estructuras colocadas dentro del pavimento.
- **La aparición de fisuras.** Por alabeo tienen su origen cuando el concreto se ha endurecido, y se somete a los cambios diarios de las condiciones climáticas, entonces se inducen esfuerzos debido a los gradientes de humedad y temperatura. En un día caluroso, la superficie del pavimento tiene mayor temperatura que su apoyo, obligando a las losas a levantarse en el centro y apoyarse en los extremos, lo que produce esfuerzos que pueden generar nuevas fisuras.

Para minimizar el efecto de la dilatación térmica de las losas de concreto se han desarrollado las juntas de expansión, que son discontinuidades transversales en las losas, con una separación suficiente como permitir el movimiento longitudinal de estas.

### 3.6.2. Elementos de la junta

Las principales funciones que debe cumplir una junta son:

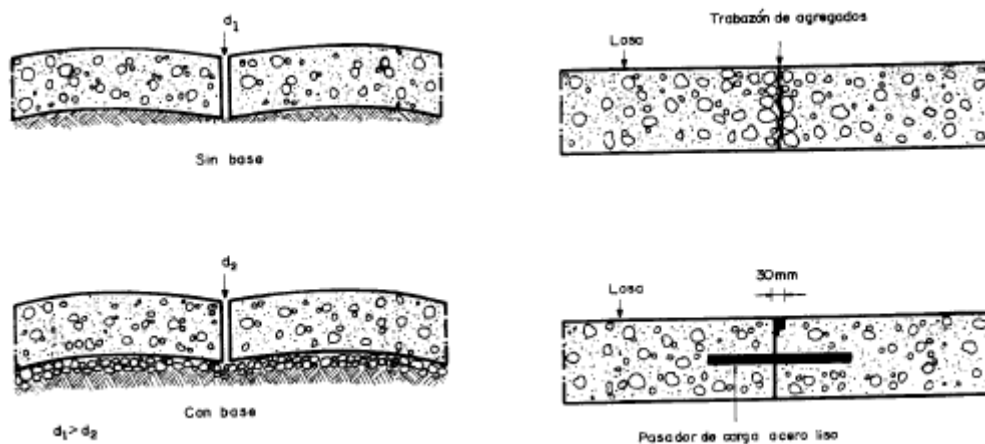
- Localización adecuada, de tal manera que se controle eficazmente el agrietamiento potencial causado por cualquiera de los factores descritos.
- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdidas en la calidad del rodamiento.

- Protección adecuada de la subrasante contra el agua, la junta debe ser impermeable, tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

De acuerdo con esta función las juntas deben estar provistas de lo siguiente:

Un mecanismo de transmisión de carga. Los mayores esfuerzos en las losas de concreto, generados por la circulación de los vehículos, se presentan en las esquinas; pero lo más frecuentes y los que generalmente controlan el diseño del espesor son los de borde. Los sistemas de mecanismo de transferencia de carga, los cuales se explicaran a continuación:

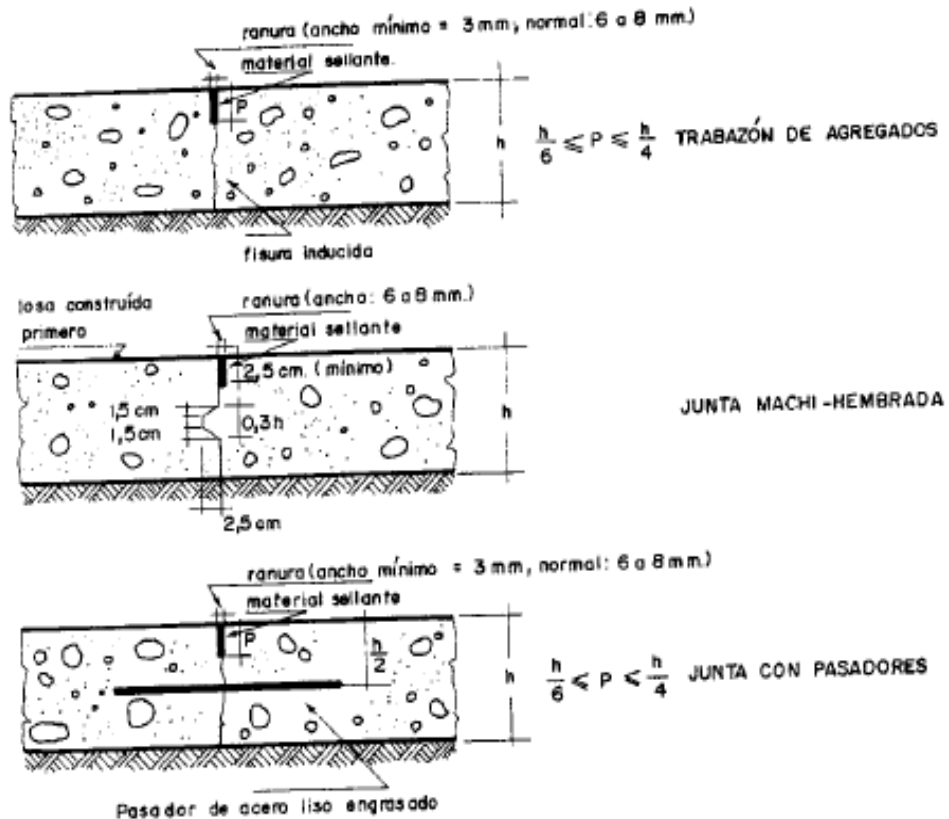
**Figura 3.5** Sistema de transferencia de cargas



Fuente: Pavimento rígido PCA-Documentos

- **Pasadores:** En condiciones de tráfico pesado y/o clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de los agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominadas pasadores, que conectan entre si las losas separadas por juntas. Este tipo de mecanismo transmite tanto fuerzas de cizalladura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea.

**Figura 3.6.** Mecanismo de transmisión de carga y sellado de las juntas



Fuente: Pavimento rígido PCA-Documentos

- **Trabazon de agregados.** Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a una reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendadura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa a las losas vecinas, debido a la trabazón de agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro.

### 3.6.3. Tipos de juntas

#### 3.6.3.1. Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa.

Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima afectan la máxima separación esperada entre juntas transversales. Otras investigaciones que indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa (L) con el radio de rigidez relativa ( $\rho$ ) y la fisuración transversal. El radio de rigidez relativa es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa. El radio de rigidez relativa tiene una dimensión lineal y es determinado por la siguiente ecuación:

$$\rho = \left[ \frac{Eh^3}{12k(1-\mu^2)} \right]^{0.25}$$

Donde:

$\rho$  = Radio de rigidez relativa (pulgadas)

E = módulo de elasticidad del hormigón (psi)

h = Espesor del pavimento (pulgadas)

$\mu$  = relación de Poisson del pavimento

k = módulo de reacción de la subrasante (pci)

Datos de estas investigaciones indican que hay un incremento en la fisuración transversal cuando el radio  $L/\rho$  excede 5.0. Usando el criterio de que el máximo radio  $L/\rho$  es de 5.0, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.



El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias. Usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa. Es importante también mantener las losas lo más cuadradas posibles. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Cuando se diseñan barras para juntas, AASHTO recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a  $1/8$  del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45 cm. Las barras para juntas se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30 cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15 cm de la orilla de la losa. Estas varillas deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión. Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento, pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, pueden ocasionar agrietamientos.

### **3.6.3.2. Juntas transversales de construcción**

Son juntas construidas al final del día de trabajo u otra interrupción de colocado si se produce un lapso mayor a 60 minutos en clima cálido y 90 minutos en clima frío, este tiempo es medido desde la elaboración del hormigón hasta su puesta en obra y posterior acabado. Cuando es posible, estas juntas deben ser construidas coincidiendo con una junta de contracción, en el caso de que esto no sea posible, su ubicación deberá ser dentro del tercio medio de la longitud de la losa y siempre en forma perpendicular a la línea central.

Estas juntas, al igual que las transversales de contracción, requieren pasajuntas lisas para proporcionar la transferencia de carga necesaria, siguiendo todas las recomendaciones ya mencionadas. Sólo en el caso de que la junta se localice en el tercio central de la losa y ya existan losas adyacentes se deberán colocar barras de acero corrugado, para evitar que esta junta se refleje en las losas adyacentes. Se recomienda que estas barras sean del mismo diámetro de las barras lisas.

Para la construcción de estas juntas, se debe usar un encofrado de cara plana, perforando espacios para alojar las barras pasajuntas.

### **3.6.3.3. Juntas longitudinales**

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la fisuración y en algunos casos delimitan las líneas de tráfico.

Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte, sin embargo, se recomienda además el colocado de barras corrugadas, diseñadas en base a las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO o más fácilmente con el software DIPAV. Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen sub-bases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

En el caso que se realice el vaciado por carriles y se tenga pensado el uso de barras de amarre, éstas deberán colocarse de forma manual en el caso de que no se tenga un insertador automático. Se deberá tener cuidado de no hacer coincidir estas barras con las pasajuntas transversales para evitar golpes y desalineamientos.

Es recomendado que las juntas longitudinales sean cortadas y selladas para evitar la infiltración de agua.

### **3.6.3.4. Juntas de separación y expansión**

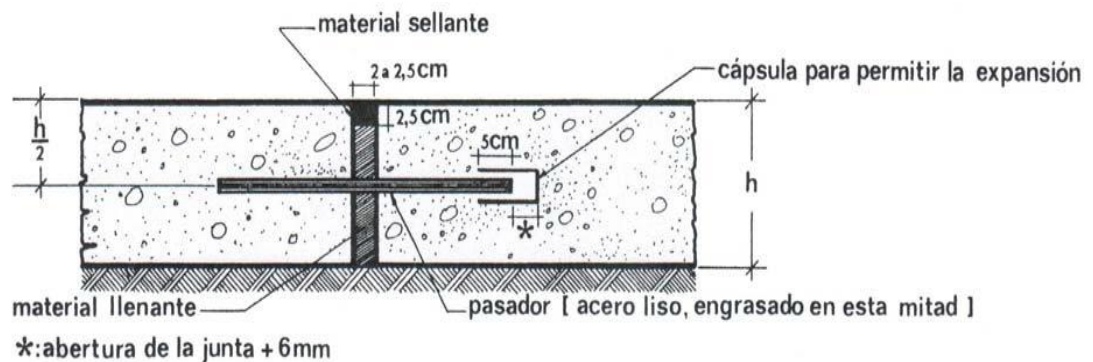
Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas.

Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo su necesidad de empleo.

El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción.

Debido a que estas juntas tienen una separación de 2 cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado, constituido por un material flexible, no extraíble y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5 cm debajo de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

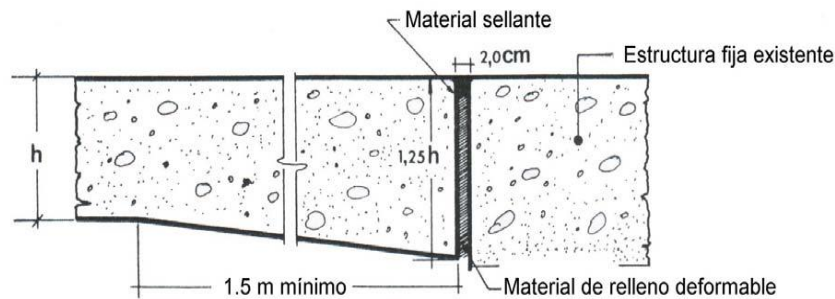
**Figura 3.7.** Junta de expansión tipo 1



Fuente: Pavimento rígido PCA-Documents

El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la imagen 6. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión. Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocado de barras pasajuntas con anterioridad.

**Figura 3.8.** Junta de expansión tipo 2



Fuente: Pavimento rígido PCA-Documents

### 3.7. TÉRMINOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

La estadística es intrínseca en el proceso constructivo del concreto 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.

- **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 de los agregados y la calidad de producción (granulometría, límites, índice plástico, resistencias).

#### 3.7.1. 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.

- **Desviación estándar**

La expresión matemática es análoga al de rotación de una sección estructural y resulta ser la raíz cuadrada positiva de la variación ( $\sigma^2$ ), tanto la variación ( $\sigma^2$ ) como la variación estándar ( $\sigma$ ) 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.

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

- **Coefficiente de variación**

Es una de las medidas suficientemente útil, esto nos sirve para ver que tanto varían los datos uno del otro en la gráfica 3.1 se puede observar los rangos de aceptación o rechazo de datos.

$$CV = \frac{Sx}{X}$$

**Cuadro 3.1.** Rangos del coeficiente de variación

PRUEBAS DE CAMPO		EN PRUEBAS DE LABORATORIO	
0 < CV < 15%	Bueno	0 < CV < 10%	Bueno
15 % < CV < 25%	Aceptable	10 % < CV < 15%	Aceptable
25% < CV	Desechable	15% < CV	Desechable

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993

### 3.8. 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.

#### 3.8.1. Nivel de Confianza

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las sollicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de una manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo sollicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles. Para elegir el valor de este parámetro se considera la importancia del camino, la confiabilidad de resistencia de cada una de las capas.

**Cuadro 3.1.** Valores del nivel de confianza Z de acuerdo al tipo de camino

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 - 99,9	80 - 99,9
Carreteras de primer orden	80 - 99	75 - 95
Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Caminos Vecinales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993

**Cuadro 3.2.** Aforo de vehículos

HORA	FECHA					
	12/01/2011	14/01/2011	15/01/2011	16/01/2011	17/01/2011	19/01/2011
DE 07:00 A 09:00	1	4	4	8	1	4
DE 11:00 A 13:00	16	1	16	4	12	12
DE 17:00 A 19:00	12	20	20	24	8	12
<b>PROMEDIO</b>	10	8	13	12	7	9

Fuente: Empresa Procosur

Para determinar el nivel de confianza de resultados se aplicó el método  $\text{CHI}^2$  con la distribución normal.

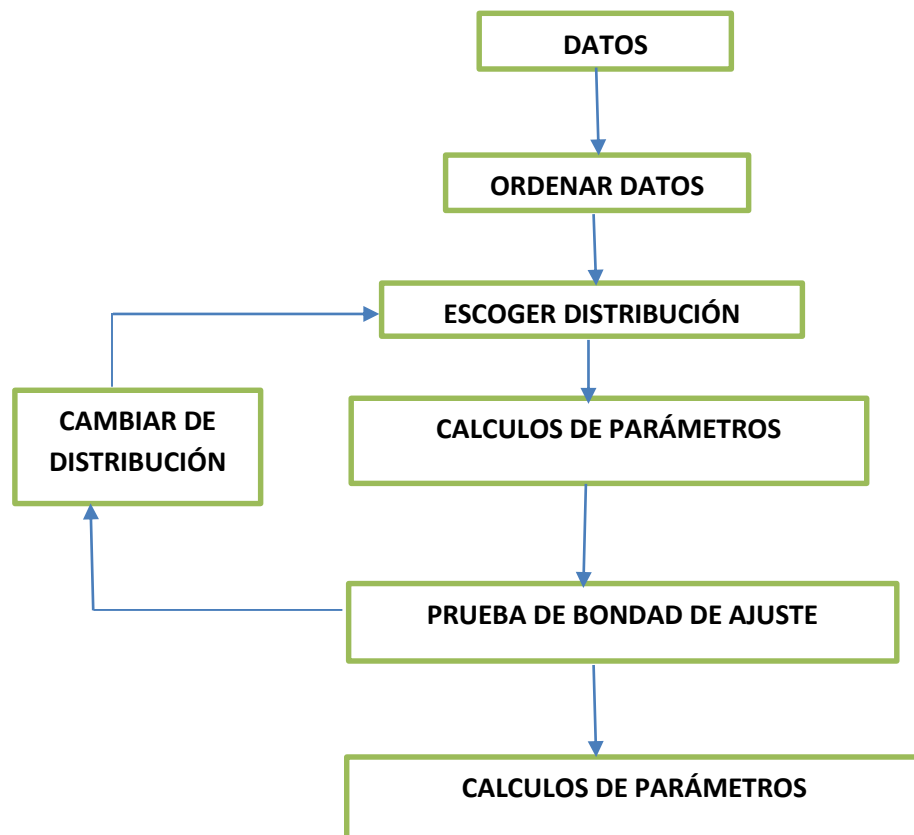
### 3.8.2. Distribución CHI-cuadrado (n)

La Chi-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.

#### METODO DE AJUSTE POR EL $\text{CHI}^2$

Método utilizado para determinar si los resultados se ajustan o no a una distribución teórica

**Figura 3.9.** Flujo grama que se recomienda aplicar



Fuente: Peña D. Modelos y Métodos

## **CAPITULO IV**

### **APLICAR LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD E INDICADORES DE DESEMPEÑO EN EL PAVIMENTO RÍGIDO URBANO DE LAS 180 CUADRAS DE BERMEJO.**

#### **4.1. ENFOQUE GENERAL DE LA APLICACIÓN**

La base de este proceso de aplicación se fundamentara en todos los ensayos que definen las características de cada uno de los materiales que forman parte del estudio, en base a normas y estudios ya efectuados.

De acuerdo al criterio de calidad e indicadores se verificara si los materiales utilizados en obra cumplan con las normas de carreteras y especificaciones técnicas del proyecto en ejecución haciendo los respectivos controles de calidad en la subrasante, sub base y el concreto y de esta manera verificar el cumplimiento porque de esto dependerá el desempeño del pavimento durante su vida útil.

#### **4.2. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO A REALIZAR**

El tramo de aplicación son las 180 cuabras de la ciudad de Bermejo, ubicada en La ciudad de Bermejo Capital de la Segunda Sección de la Provincia Arce situada al sud del Departamento de Tarija.

Bermejo, se encuentra a 213 km. de la ciudad de Tarija (Capital del Departamento), fue creado por Decreto Ley del 7 de Diciembre de 1956, con una extensión aproximada de 1200 km<sup>2</sup>, actualmente su influencia socioeconómica alcanza un área de 4.595,00 km<sup>2</sup> (denominado Triángulo del sur) que representa el 12.30 % de la superficie total del departamento. El centro de la ciudad se encuentra a 409 m.s.n.m.

Como se puede observar en la figura 4.1 se muestra la ubicación de la ciudad de Bermejo donde se realizó el trabajo de control de calidad.



Figura 4.1 Localización del área de estudio



Fuente: ASTM Gobierno municipal de Tarija

**Figura 4.2.** Ubicación satelital de Bermejo



Fuente: google earth

### **4.3. CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE APLICACIÓN**

#### **a) Características generales de la ciudad de Bermejo**

La ciudad de Bermejo Capital de la Segunda Sección de la Provincia Arce situada al sud del Departamento de Tarija, se encuentra ubicada a los 22° 42' de latitud sud y 64° 21' de longitud oeste.

La micro localización del proyecto se encuentra en la Ciudad de Bermejo, concretamente en los barrios: Luis de Fuentes, San José, Lapacho, 1° de Mayo, Avaroa, Municipal, Miraflores, Aeropuerto, Santiago, San Juan, Las Palmeras, Azucarero, 21 de Diciembre, 15 de Abril, Barrio Lindo, Bolívar, 27 de Mayo, Moto Méndez, Barrio Central, Aniceto Arce, San Bernardo, San Antonio y 2 de Agosto.

**Límites Territoriales:**

Los límites del Municipio de Bermejo son los siguientes: al norte, con la serranía de San Telmo y la comunidad Colonia Ismael Montes (San Telmo Río Tarija), al sur con el río Bermejo y la República Argentina, al este con el río Grande de Tarija y la República Argentina y al oeste con la comunidad de San Telmo, río Bermejo y la República Argentina.

**Extensión:**

La extensión del municipio de Bermejo es de aproximadamente de 380,90 Km<sup>2</sup>, la misma que se divide en área urbana y rural.

**Clima****a) Condiciones climáticas:**

Existe una zona climática predominante: la zona de clima cálido semihúmedo que comprende toda el área del municipio.

Para la determinación de los parámetros climáticos se ha recurrido a las estaciones climatológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología regional Tarija (SENAMHI - TARIJA) ubicadas en Bermejo, Yacuiba y Salinas.

**Temperatura:**

En general la temperatura, puede alcanzar valores máximos de hasta 47°C en los meses de octubre, noviembre y diciembre; y mínimos extremos de hasta - 3°C en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, cuando se presentan los denominados “surazos”.

**Estructura política y administrativa del municipio**

El Municipio de Bermejo está estructurado política y administrativamente de la siguiente manera: La ciudad de Bermejo, capital del municipio tiene 27 barrios reagrupados en 5 distritos. El área rural está conformada por cuatro cantones que constituyen 4 distritos que aglutinan a 24 comunidades rurales.

#### 4.4. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE PROYECTO

##### Condiciones de la Subrasante

De acuerdo a la información obtenida del estudio geotécnico los suelos para la subrasante que se encontraban a 0,60 m en el área de estudio tenían un elevado índice de plasticidad donde no cumplían con las normas establecidas como se puede observar en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Clasificación de suelos Naturales

<b>RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS</b>	
<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>%</b>
A - 4	29.78
A - 6	64.48
A - 7 - 6	5.74

Fuente: Diseño del Proyecto

El proyecto de las 180 cuadras de la ciudad de bermejo comprende en el diseño una carpeta de pavimento rígido de espesor  $e = 18$  cm. De sobre de una capa sub base de  $e = 22$ cm

**ESPESORES DE PAVIMENTOS EN mm. (PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS)**

<b>TRAMO</b>	<b>k ADOPTADO</b>	<b>SUB BASE (mm.)</b>	<b>ESPELOR DE LOSA (mm.)</b>
I	40	220	180

Fuente: Diseño del Proyecto

Para desarrollar el presente diseño se tomaron las siguientes consideraciones:

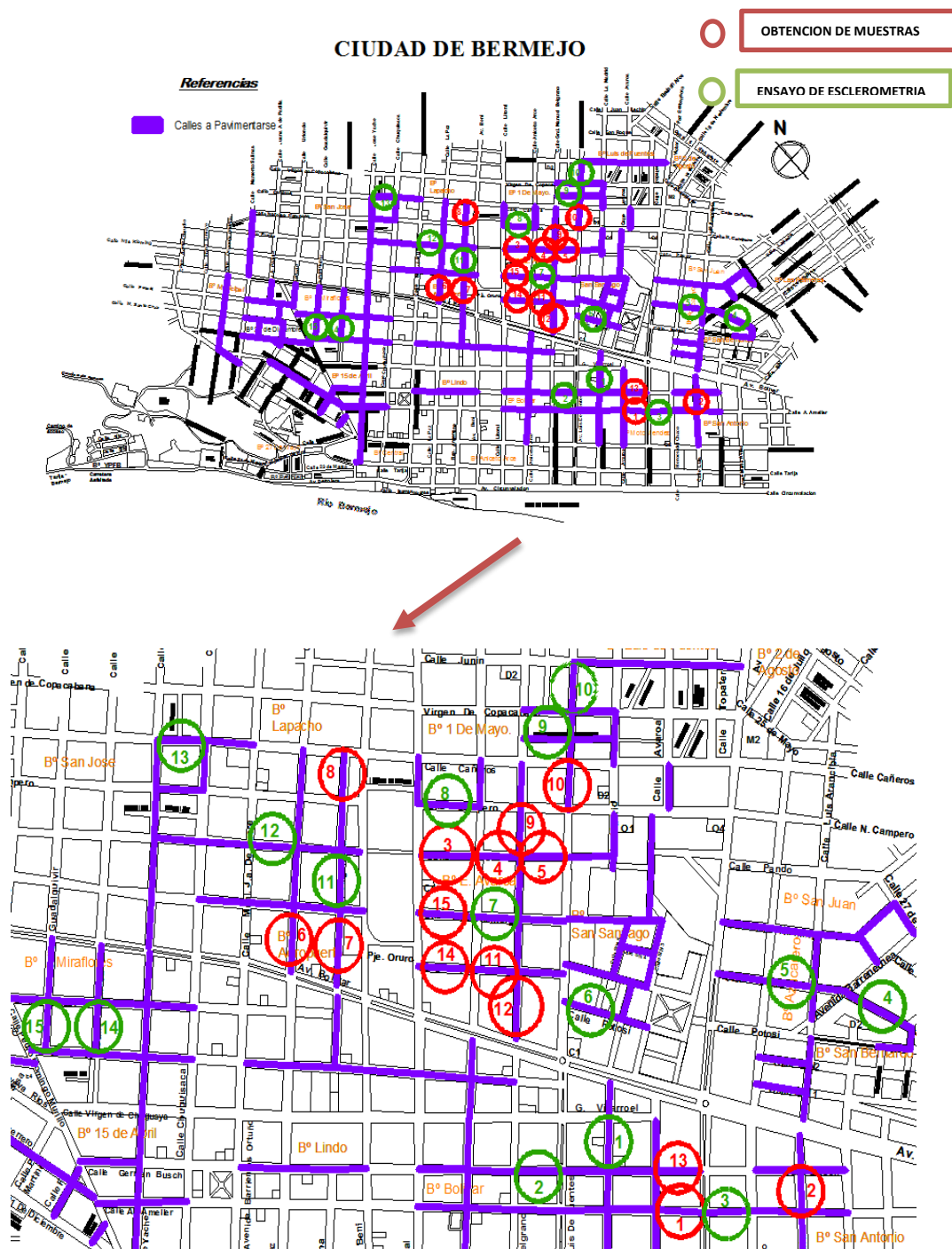
- Diseño de hormigón para un ancho de 3m
- Módulo de ruptura a compresión 250kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de ruptura del hormigón a la flexión a los 28 días es de 4,30 Mpa.

#### **4.5. UBICACIÓN DE LAS CALLES PARA REALIZAR EL CONTROL DE CALIDAD A LAS DIFERENTES CAPAS.**

1. Ameller E/Avaroa y Topater
2. Luis Arancibia E/ Amellar y Buch
3. Pando E/Aniceto Arce y Litoral
4. Pando E/Arce y Belgrano
5. Pando E/ Luis de Fuentes y Belgrano
6. La Paz E/Bolívar y Kleming
7. Argentina E/Bolívar y kleming
8. Argentina E/ Campero y Cañeros
9. Belgrano E/Campero y Pando
10. Luis de fuentes E/Campero y Cañeros
11. Oruro E/Arce y Belgrano
12. Belgrano E/ Oruro y Bolívar
13. Buch E/Avaroa y Topater
14. Oruro E/ Litoral y Arce
15. Kleming E/ Litoral y Arce
16. Méndez E/Santa Cruz y Potosí
17. Potosí E/ Luis de fuentes y la Madrid
18. Campero E / Litoral y Aniceto Arce

**Nota:** El control de calidad se hizo a 15 calles en la ciudad de Bermejo ya que la empresa ejecutora por falta de pago dejo de realizar los trabajos, por este motivo para cumplir el muestreo mínimo se incrementaron 3 Calles los datos de estas calles se obtuvieron de la empresa Procosur. Se hicieron igual ensayos de resistencia a 15 calles con un método no destructivos (esclerómetro), para verificar si estas cumplen con las resistencias exigidas de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto.

Figura 4.3. Ubicación de las calles de extracción de muestras



Fuente: Empresa PROCOSUR

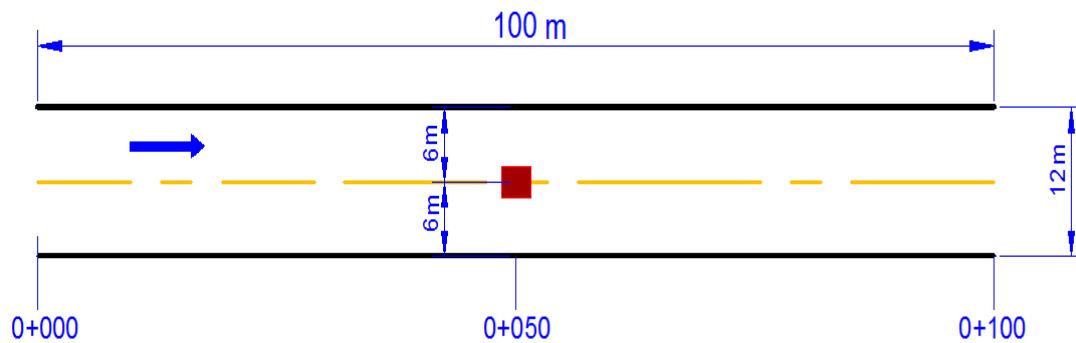
Los planos más a detalle se encuentran en el ANEXO VII

#### 4.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL EN LAS CALLES RESPECTIVAS

- **Material para la subrasante**

Las muestras para la subrasante se obtuvieron de las 15 calles en estudio en campo.

**Figura 4.4.** Esquema de la obtención del material



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.5.** Material de la Subrasante

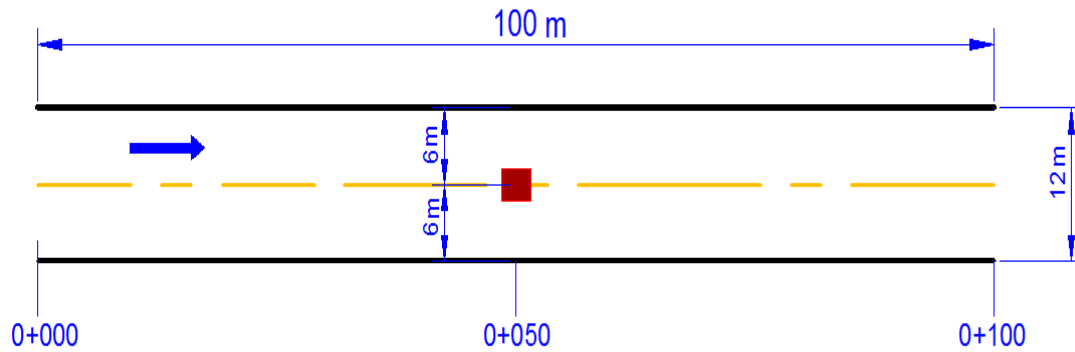


Fuente: Elaboración Propia

- **Material para la sub-base**

Las muestras para la sub base se obtuvieron de las 15 calles en estudio en campo.

**Figura 4.6.** Esquema Para la Obtención de la muestra Sub- base



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.7.** Material de la Sub-base



Fuente: Elaboración Propia



- **Material para vigas y probetas**

El Material para las vigas y probetas se obtuvo de campo en el momento de vaciado.

**Figura 4.8.** Material para vigas y probetas



Fuente: Elaboración Propia

El método seleccionado para determinar la cantidad de muestras que fueron analizadas en este proyecto es el siguiente:

**Muestreo probabilístico de tipo aleatorio estratigráfico**, el cual consiste en considerar categorías típicas diferentes entre sí (estratos) que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica. Lo que se pretende con este tipo de muestreo es asegurarse de que todos los estratos de interés estarán representados adecuadamente en la muestra. Cada estrato funciona independientemente, pudiendo aplicarse dentro de ellos el muestreo aleatorio simple o el estratificado para elegir los elementos concretos que formarán parte de la muestra.

La distribución de la muestra en función de los diferentes estratos se denomina afijación, y puede ser de diferentes tipos:

**Afijación Simple:** A cada estrato le corresponde igual número de elementos muestrales.

**Afijación Proporcional:** La distribución se hace de acuerdo con el peso (tamaño) de la población en cada estrato.

**Afijación Óptima:** Se tiene en cuenta la previsible dispersión de los resultados, de modo que se considera la proporción y la desviación típica. Tiene poca aplicación ya que no se suele conocer la desviación.

#### **4.6.1. Criterio para la obtención de la muestra en campo**

Los procedimientos de muestreo son las técnicas que se aplican para obtener muestras de suelo, alteradas o inalteradas durante una exploración del suelo.

- **Muestra alterada.-** Una muestra alterada se define como aquella donde parte de ella o toda, ha sufrido una alteración tal, que ha perdido la estructura que poseía in-situ. En general las muestras alteradas se usan para la identificación del suelo como ser:
  1. Análisis granulométrico
  2. Determinación de los límites líquido y plástico
  3. Peso específico de los sólidos del suelo
  4. Determinación del contenido orgánico
  5. Clasificación del suelo
- **Muestra inalterada.-** Es aquella muestra que preserva, en la medida de lo posible, la estructura y el contenido de humedad para que represente realmente las condiciones de campo.

Para este trabajo de Tesis de Grado, las muestras con la que se trabajan son de tipo alterada o perturbadas debido a que los ensayos que se realizan son de tipo identificativo, para esto se someten a estudios de caracterización mediante el cual se determinan sus propiedades físicas y mecánicas.

Un procedimiento adecuado de muestreo, facilitará la correlación de los respectivos datos con propiedades ingenieriles.

Los estudios de caracterización son de vital importancia para conocer al material, así también es importante conocer las propiedades del material que se adicionarán, por lo tanto se recurre a pruebas de laboratorio para conocer las características del suelo, para así tener un criterio más amplio del comportamiento de un suelo tratado.

#### **4.7. CRITERIOS DE CALIDAD E INDICADORES DE DESEMPEÑO EN LA EJECUCION DE PROYECTO.**

##### **4.7.1. Criterios de Calidad e Indicadores Analizados**

Los criterios de calidad e indicadores ya vienen dados desde el diseño ya que estos se basan en normas ya establecidas (AASHTO Y ASTM), lo que se hace es cumplir porque de esto dependerá el desempeño del pavimento ya terminado.

Lo que debemos hacer para ver que se está cumpliendo los criterios es hacer un control de calidad a las diferentes capas del pavimento haciendo los respectivos ensayos de laboratorio y en campo.

**Cuadro 4.1.** Criterios e indicadores

<b>CRITERIOS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>VALOR ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>
Periodo de diseño	Años	20 años
Suelo	<b>Subrasante</b>	
	Limite liquido	40 máx.
	Índice Plástico	12 máx.
	CBR (%)	20 min
	Expansión (%)	≤ 4
	<b>Sub base</b>	
	Desgaste de los Ángeles (%)	40 máx.
	Limite liquido	25 máx.
	Índice Plástico	6 máx.
	CBR (%)	≥ 60
	Expansión (%)	1 máx.

Concreto	Asentamiento	2-5 cm
	Módulo de rotura a (flexión)	4,3(Mpas)
	Rotura a (Compresión)	250 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.2. PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD LAS DIFERENTES CAPAS DE PAVIMENTO

##### 4.7.2.1. Control tecnológico de la subrasante

El control tecnológico se lo realizo en base a los siguientes ensayos mencionados en el cuadro 4.2.

Para poder verificar el cumplimiento de los valores obtenidos en campo con las especificaciones técnicas del proyecto.

**Tabla 4.2.** Dosificación y clasificación para la subrasante

Dosificación 1		Dosificación 2	
40% ligante		50% ligante	
60% granular		50% granular	
pasa n° 200	17,2	pasa n° 200	22
limite liquido	19,19	limite liquido	20,4
índice de plasticidad	6,0	índice de plasticidad	6,8
clasificación	a-1-b (0)	clasificación	A-2-4 (0)

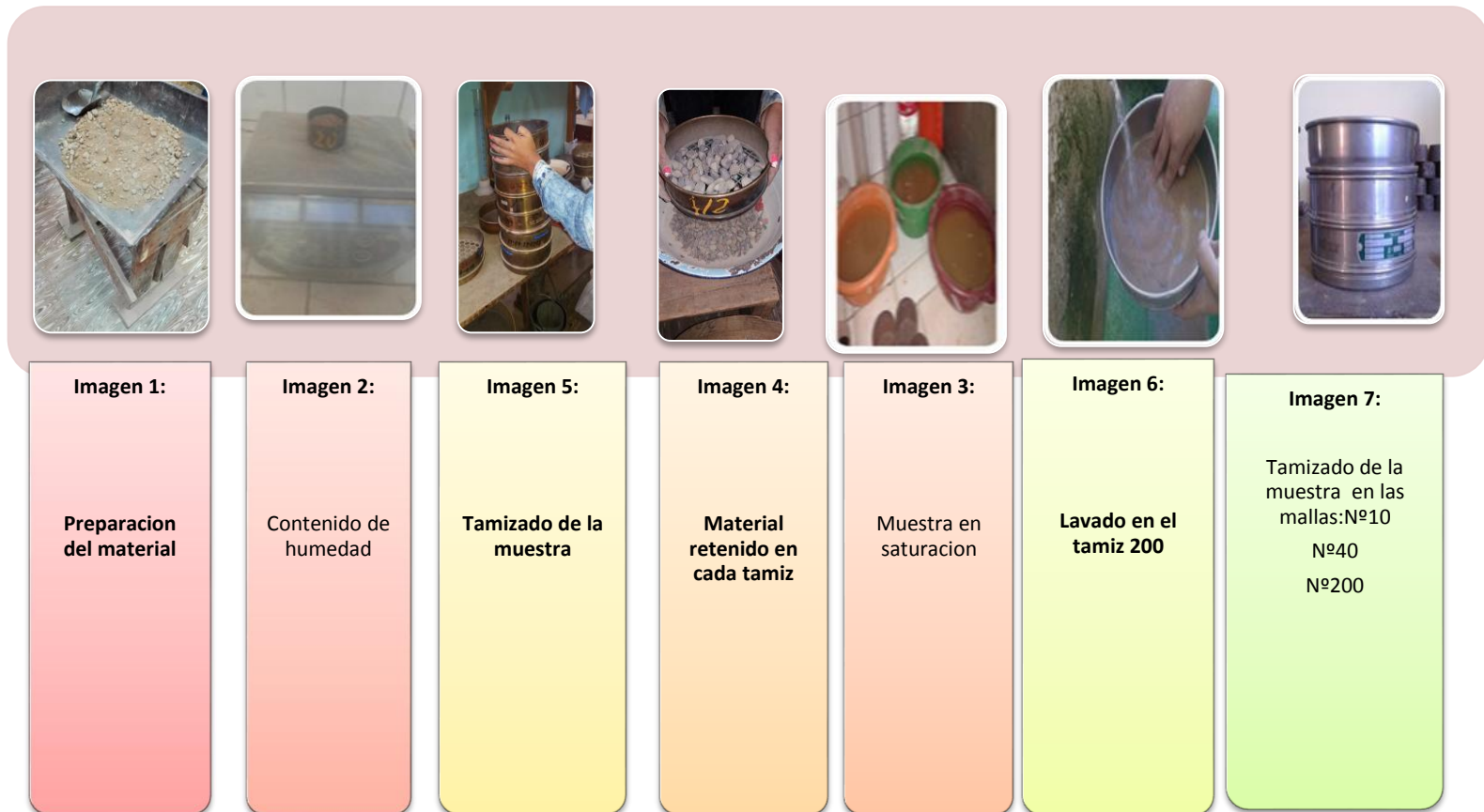
Fuente: Empresa Procosur

**Cuadro 4.2.** Ensayos para el control de calidad de la subrasante y sub-base

CARACTERIZACIÓN	ENSAYO	NORMATIVA
Física	Contenido de humedad	ASTM D2216
	Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422 AASHTO T88
	Determinación del límite líquido	ASTM D4318 AASHTO T89
	Determinación del límite plástico e índice de plasticidad	ASTM D4318 AASHTO T90
Mecánica	Ensayo de compactación método (Proctor modificado)	ASTM D422 AASHTO T180
	Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio (CBR de laboratorio)	ASTM D1883 AASHTO T193








Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 4.3.** Práctica de granulometría ASTM D422 AASHTO T88



Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 4.4.** Práctica de Límites (ASTM D4318 AASHTO T89, AASHTO T90)

						
<b>Imagen 1:</b>  <b>Muestra</b>	<b>Imagen 2:</b>  Preparacion de muestra tamizando en malla N° 40	<b>Imagen 3:</b>  Muestra pasante Tamiz N° 40 para limites	<b>Imagen 4:</b>  Elaboracion del Limite Liquido en la maquina de Casagrate	<b>Imagen 5:</b>  Elaboracion del Limite Plastico	<b>Imagen 6:</b>  Peso de muestra húmeda para su posterior secado en horno.	<b>Imagen 7:</b>  Pesos de muestras secas de límite líquido y plástico

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 4.5.** Práctica de Compactación (ASTM D422 AASHTO T180)

					
<p><b>Imagen 1:</b></p> <p>Material utilizado para la realización de la práctica</p>	<p><b>Imagen 3:</b></p> <p>Mezcla del material y la cantidad de agua para conseguir una densidad máxima.</p>	<p><b>Imagen 4:</b></p> <p>Mezclado para obtener una muestra homogénea</p>	<p><b>Imagen 5:</b></p> <p>Compactación Método Modificado T-180, consiste en la compactación de 5 capas cada una con 56 golpes</p>	<p><b>Imagen 6:</b></p> <p>Muestras de humedad para cada uno de los puntos que generan la curva de compactación.</p>	<p><b>Imagen 7:</b></p> <p>Pesos de muestras más molde de cada % de agua que se le agrega a la muestra para obtener la curva de compactación. En total se realiza 4 puntos.</p>

Fuente: Elaboración Propia



- **Determinación de la Relación de Soporte de la subrasante (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193).**

Para determinar el CBR se realiza de acuerdo al método tradicional.

#### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a) Se prepara la Muestra en una fuente

**Figura 4.9.** Muestra para realizar el CBR



Fuente: Elaboración Propia

- b) Con el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima compactada de acuerdo al ensayo de Proctor, se compacta 3 moldes o probetas a la densidad máxima compactada seca determinada anteriormente.
- c) Se mezcla homogéneamente con agua cada una de las tres muestras por ensayar. Agregando la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad

Óptima determinada en “Relación humedad-densidad”. Una vez logrado el mezclado homogéneo, se extrae una muestra del suelo para determinar el contenido de humedad real en el momento de compactado del CBR.

**Figura 4.10.** Preparación del material para el CBR y muestras para Contenido de Humedad



Fuente: Elaboración Propia

- d) Para cada molde se coloca el disco espaciador sobre la placa base. Fijar el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro sobre el espaciador.
- e) Compactar cada una de las porciones en el molde, en un número de 5 capas. Cada probeta se debe compactar con distinta energía, de 12, 25 y 56 golpes. Luego se retira el collar, y se enrasa cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde.
- f) Posteriormente se saca el disco espaciador y sobre la base perforada se coloca papel filtro, invertir el molde y fijarlo a dicha placa y pesar.

**Figura 4.11.** Compactación de la muestra con diferentes energías



Fuente: Elaboración Propia

- g) Finalmente se coloca el vástago ajustable sobre el molde de muestra compactada, para poder controlar la expansión que sufrirá durante el tiempo de inmersión.
- h) Dejar sumergidas durante 96 horas los moldes. Durante este período se debe mantener la muestra sumergida a un nivel de agua constante. Una vez concluido el tiempo de inmersión se retira los moldes del agua dejando drenar la probeta durante 15 min. Retirar el vástago con las cargas, para pesar el molde compactado después de la inmersión.

### Penetración

- i) Aplicar la carga en el pistón de penetración. Anotar las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18; 3,81; 4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7mm. Anotar la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce. El ensayo debe realizarse hasta alcanzar una penetración mínima de 7,62mm (0,300pulgadas)

**Figura 4.12.** Lectura del CBR



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.7.2.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA SUB BASE**

El control de calidad en base a límite líquido, límite plástico, granulometría y compactación tiene el mismo procedimiento que se dio a conocer en parte del control de la subrasante. Por lo tanto para no ser repetitivos en este subtítulo se colocara directamente el procedimiento del desgaste de los Ángeles este ensayo es de suma importancia porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá el material granular.

**Tabla 4.3.** Material para la sub-base

PASA Nº 200	6,4
LIMITE LIQUIDO	18,1
INDICE DE PLASTICIDAD	5,40
CLASIFICACION	A-1-a(0)

Fuente: Fuente Elaboración Propia

- **Ensayo de Desgaste de los Agregados grueso por medio de la máquina de los Ángeles (ASTM C131 AASHTO T96)**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½”), por medio de la máquina de los ángeles.

**Cuadro 4.6.** Tabla de pesos del agregado grueso y N° de esferas para el Desgaste de los Ángeles.

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

Fuente: NORMA ASTM, C131.

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a) El material debe ser tamizado según las mallas que se indican teniendo un material de tamaños máximo de  $1\frac{1}{2}$ " y mínimo de  $\frac{1}{2}$ ". Mezclar las cantidades que el método indique según la tabla anterior.
- b) La muestra de ensayo y la carga que son 12 esferas, se colocara en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Se utilizara la gradación tipo A para este ensayo; la maquina se hará girar 500 revoluciones, para las gradaciones.
- c) Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se tamiza por la malla N°12.

**Figura 4.13.** Colocado de la muestra en la máquina de los ángeles con el N° de esferas correspondiente.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.14.** Muestra después del ensayo en la máquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.15.** Peso de la muestra retenida en el tamiz N°12



Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje de desgaste es la relación entre el material que pasa el tamiz N° 12 y el peso inicial.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{final}} \times 100$$

MATERIAL	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
Granular	5000	3840	24,2	40% MAX

Fuente: Elaboration Propia

### 4.7.2.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA LOSA DE PAVIMENTO

#### 4.7.2.3.1. Determinación de la Resistencia a Compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39 AASTHO T22).

En el momento de la puesta en obra se tomó los controles respectivos como se muestra en la imagen 4.15. Control de asentamiento de la mezcla de hormigón fresco y el vaciado de las probetas respectivas para el ensayo a compresión.

La consistencia del hormigón será determinada por medio del cono de asentamiento según Norma Boliviana 589 91.

Se realizó bajo un asentamiento de 4 y 5,5 cm, en algunas calles no cumplían pero no había mucha diferencia es por eso que hay que tener en cuenta la cantidad de agua que se echara en el momento del hormigonado 2 a 5 cm.

**Figura 4.16.** Vaciado del hormigón en las calles de estudio



Fuente: Elaboración Propia



**Figura 4.17.** Realizando la medición de Asentamiento



Fuente: Elaboración Propia

El llenado de las probetas se realiza en 3 capas, se coloca hormigón hasta cubrir la tercera parte de la altura del molde cada vez. Una vez colocada cada capa, se la compacta con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre la superficie. La primera capa, los golpes deben atravesarla íntegramente pero no golpear el fondo del molde.

**Figura 4.18.** Varillado al hormigón



Fuente: elaboración Propia

### **Curado de probetas**

Las probetas deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 horas, pero se permite un margen entre las 20 y 48 horas después de elaborados.

Transcurriendo este tiempo procede a transportarlos al laboratorio a una condición húmeda hasta el momento del ensayo. Disponer los cilindros en una pileta con agua.

**Figura 4.19.** Curado de probetas



Fuente: Elaboración Propia

- **Ensayo de resistencia a compresión.**

El objetivo final de la fabricación de probetas es el control de la calidad del hormigón a través del ensayo a compresión de las mismas. El valor de resistencia es un indicador concreto a la hora de proyectar estructuras.

Este ensayo se realiza por medio de una prensa que comprime la probeta hasta provocarle la rotura a la misma, obteniendo de esta manera el valor último de carga (llamado carga de rotura) para ese tipo de hormigón fabricado. El tiempo que transcurre entre la preparación de las probetas y la edad de ensayo son 28 días.

Se realizó ensayos a las probetas a los 7, 14, y 28 días.

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión.

**Figura 4.20.** Probeta en la prensa



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.21.** Rotura de la probeta a los 28 días

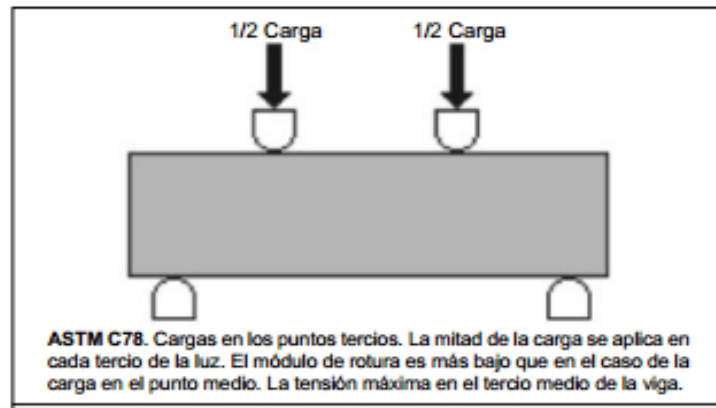


Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.2.3.2. Determinación de la Resistencia a Flexión de las vigas (ASTM C78 AASTHO T97)

Esta norma tiene por objeto establecer los procedimientos que deben seguirse en la determinación de la resistencia a la flexión de un pequeño espécimen de concreto.

**Figura 4.19:** Diagrama de un equipo para el ensayo de flexión usando una viga simplemente apoyada, cargada en los tercios de la luz.



Fuente: Norma INV E-616-13

**Figura 4.22.** Preparación de las vigas



Fuente: Elaboración Propia

### **Curado de las vigas**

Los especímenes deberán retirarse de los moldes entre las 24 y 48 horas después del moldeado y se curarán de la misma manera que los cilindros. Se los somete a una piscina con agua para luego realizar el ensayo de flexión.

**Figura 4.23.** Curado de Vigas



Fuente: Elaboración Propia

El objetivo final de la fabricación de las vigas es el control de la calidad del hormigón a través del ensayo a flexión de las mismas. El valor de resistencia es un indicador concreto a la hora de proyectar estructuras.

**Figura 4.24.** Rotura de la viga



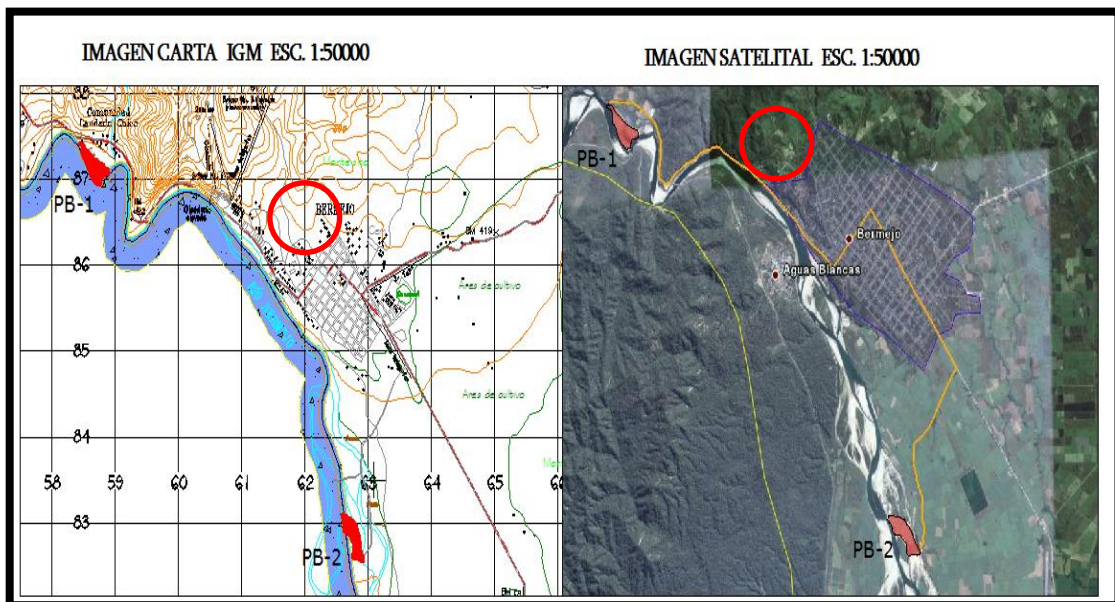
Fuente: Elaboración Propia

### 7.3.RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA SUBRASANTE

El control de calidad de la subrasante fue objeto de una serie de análisis con el fin de llegar a establecer un control adecuado en el avance de la obra.

El material Granular dispuesto para la conformación de la subrasante fue del río Bermejo (Candado Grande) y Ligante del barrio municipal porque el suelo de acuerdo al estudio geotécnico no cumplían con las especificaciones técnicas del proyecto ya que contenían un elevado índice de plasticidad.

**Figura 4.25.** Ubicación de los bancos de préstamo



Fuente: Empresa Procosur

El plano de la ubicación de los bancos de préstamo a detalle se encuentra en el Anexo VII.

- Se realizara el procedimiento de una sola calle de la Subrasante y Sub-base ya que las demás se realizaron de la misma manera los cálculos de las demás calles se encuentran en ANEXOS V.

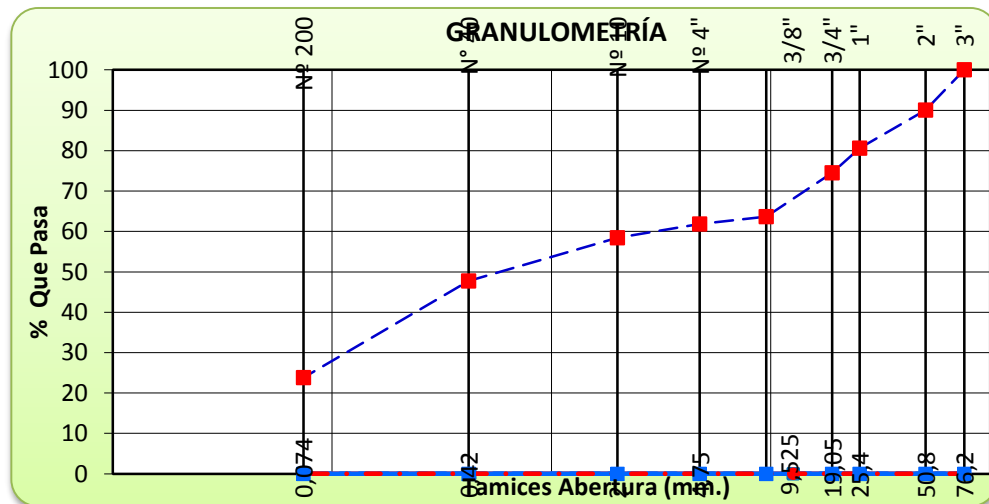
- Calle 1 (Ameller E/Avaroa y Topater)
- Análisis granulométrico

Tabla 4.4. Granulometría Calle (Ameller E/Avaroa y Topater) subrasante

TAMIZ N°	% QUE PASA
3"	100
2"	90,1
1"	80,6
¾"	74,5
⅜"	63,7
4	61,8
10	58,4
40	47,7
200	21,8

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.1. Curva granulométrica Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)



Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos más a detalle se encuentran en las planillas Ver Anexo II

- **Resultados Correspondientes a los Límites, índice de plasticidad y Clasificación del suelo**

**Tabla 4.5.** Clasificación del suelo Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

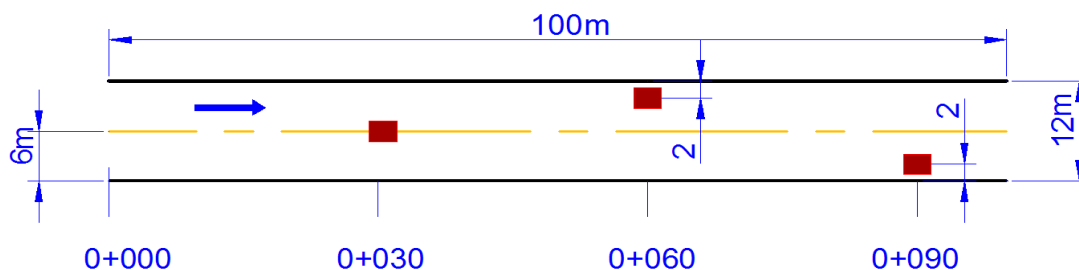
Calles	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice Plasticidad	Índice de Grupo	CLASIFICACION	
					ASSTHO	SUCS
1	21,3	15,2	6,1	0	A-1b (0)	GC - GM

Fuente: Elaboración Propia

- **Resultados de control de la densidad Max. Y humedad óptima**

Una vez establecido el material existente se procedió a la evaluación de la humedad óptima con respecto a la humedad obtenida en campo de acuerdo a los límites de control indicado en las especificaciones técnicas del proyecto.

**Figura 4.26.** Esquema para realizar en ensayo densidad insitu



**Tabla 4.6.** Control de la densidad Max y humedad óptima Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

Nº	Prog	Lado	Clasif	Proctor		Control de Campo		Grado de Compactación	Diferencia Wopt Vs Wcpo en (%)
				Dmax	Wop	Dmax	Wop		
1	0+030	eje	A-1b (0)	2193	6,9	2166	6,7	98,8	0,2
	0+060	der	A-1b (0)	2193	6,9	2136	6,8	97,4	0,1
	0+090	izq.	A-1b (0)	2193	6,9	2085	7,0	96,1	-0,1

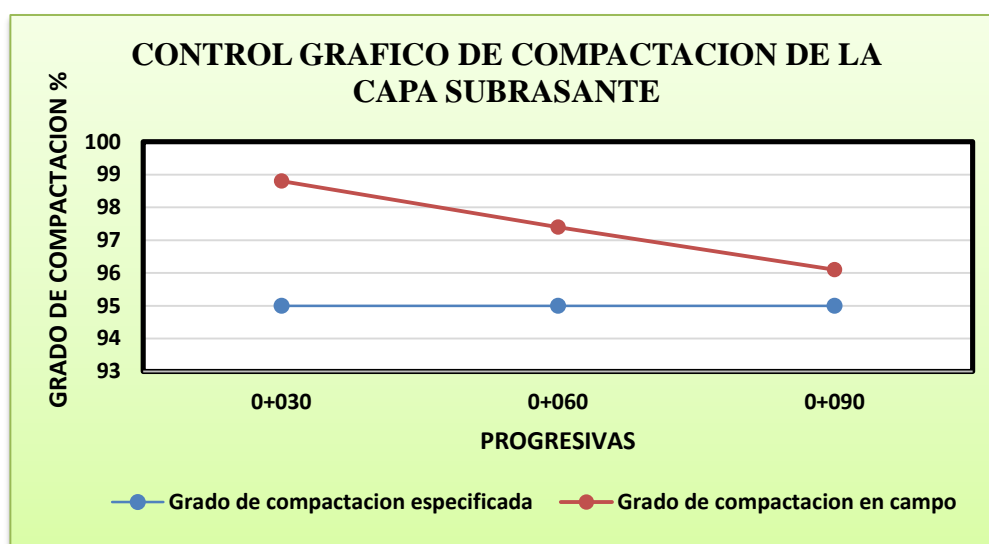
Fuente: Elaboración Propia



- **Control de Compactación**

Tomando el nivel de control y el nivel de confianza se procedió a la obtención de muestras de densidad de la subrasante mediante el procedimiento del “cono de arena” Por lo tanto el número de densidades obtenidas en campo fue de  $n = 3$  tomando en forma alternada eje, derecha e izquierda la tabla 4.7. Muestran los resultados del control de compactación.

**Grafica 4.2.** Control grafico de compactación Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)



Fuente: Elaboración Propia

- **Resultados del CBR y Expansión**

**Tabla 4.7.** Resultados de CBR y Expansión Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

Calle	CBR al 95 (%)	Expansión al 95 (%)
1	44,8	0,17

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos más a detalle se encuentran en ANEXOS II

## 4.7.3.1 Resumen de Resultados Subrasante

Tabla 4.8. Clasificación del Suelo Subrasante

N° Calle	Nombre de la calle	Límites			Clasificación		
		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	IG
1	Ameller E/ Avaroa y Topater	21,3	15,2	6,1	GC-GM	A-1b (0)	0
2	Luis Arancibia E/ Ameller y Buch	19,8	13,4	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
3	Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	20,6	13,6	7	GC-GM	A-2-4 (0)	0
4	Pando E/ Arce y Belgrano	21,5	14,6	6,9	GC-GM	A-2-4 (0)	0
5	Pando E/ Luis de F. y Belgrano	21,6	14,4	7,2	GC	A-2-4 (0)	0
6	La Paz E/ Bolivar y Kleming	21,1	14,9	6,2	GC-GM	A-1b (0)	0
7	Argentina E/ Bolivar y Kleming	19,9	13,4	6,5	GC-GM	A-1b (0)	0
8	Argentina E/ Campero y Cañeros	19,9	12,1	7,8	GC	A-2-4 (0)	0
9	Belgrano E/ Campero y Pando	19,2	13	6,1	GC-GM	A-1b (0)	0
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	19,8	13,4	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
11	Oruro E/ Arce y Belgrano	21,4	13,7	7,8	GC	A-2-4 (0)	0
12	Belgrano E/Oruro y Bolivar	20	12,8	7,2	SC	A-2-4 (0)	0
13	Buch E/ Avaroa y Topater	19,5	13,3	6,2	GC-GM	A-1b (0)	0
14	Oruro E/ Litoral y Arce	19,6	13,3	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
15	Kleming E/ Litoral y Arce	20,8	13,9	6,9	GC-GM	A-2-4 (0)	0
16	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	18,67	12,97	5,7	GC-GM	A-1b (0)	0
17	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	21,36	13,33	8,0	GC-GM	A-2-4 (0)	0
18	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	19,7	14,5	5,2	GC-GM	A-1b (0)	0

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.9.** Densidades en laboratorio y campo Subrasante

N° Calle	Nombre de la calle	Lado	Proctor		Control de Campo		Grado de Compactación	Diferencia Wopt Vs Wcpo en (%)
			Dmax	Wop	Dmax	Wop		
1	Ameller E/ Avaroa y Topater	eje	2193	6,9	2166	6,7	98,8	0,2
		der	2193	6,9	2136	6,8	97,4	0,1
		izq.	2193	6,9	2085	7,0	95,1	-0,1
2	Luis Arancibia E/ Ameller y Buch	eje	2177	7,0	2127	6,6	97,7	0,4
		der	2177	7,0	2129	6,1	97,8	0,9
		izq.	2177	7,0	2132	7,0	97,9	0,0
3	Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	eje	2174	7,1	2089	6,6	96,1	0,5
		der	2174	7,1	2131	6,4	98,0	0,7
		izq.	2174	7,1	2125	6,9	97,7	0,2
4	Pando E/ Arce y Belgrano	eje	2181	7,6	2112	5,3	96,8	2,3
		der	2181	7,6	2125	6,5	97,4	1,1
		izq.	2181	7,6	2113	6,2	96,9	1,4
5	Pando E/ Luis de F. y Belgrano	eje	2175	6,7	2103	6,1	96,7	0,6
		der	2175	6,7	2085	6,4	95,8	0,3
		izq.	2175	6,7	2130	6,8	97,9	-0,1
6	La Paz E/ Bolívar y Kleming	eje	2168	7,2	2124	5,8	98,0	1,4
		der	2168	7,2	2107	6,1	97,2	1,1
		izq.	2168	7,2	2127	6,3	98,1	0,9
7	Argentina E/ Bolívar y Kleming	eje	2157	7,3	2117	7,0	98,2	0,3
		der	2157	7,3	2114	5,7	98,0	1,6
		izq.	2157	7,3	2068	6,1	95,9	1,2
8	Argentina E/ Campero y Cañeros	eje	2165	7,3	2100	6,6	97,0	0,7
		der	2165	7,3	2085	7,0	96,3	0,3
		izq.	2165	7,3	2091	6,4	96,6	0,9
9	Belgrano E/ Campero y Pando	eje	2169	7,1	2162	6,8	99,7	0,3
		der	2169	7,1	2085	6,4	96,1	0,7
		izq.	2169	7,1	2116	5,9	97,5	1,2
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	eje	2180	6,2	2167	6,3	99,4	-0,1
		der	2180	6,2	2152	6,1	98,7	0,1
		izq.	2180	6,2	2093	5,6	96,0	0,6

<b>11</b>	Oruro E/ Arce y Belgrano	eje	2178	6,8	2161	5,9	99,2	0,9
		der	2178	6,8	2154	6,7	98,9	0,1
		izq.	2178	6,8	2165	6,3	99,4	0,5
<b>12</b>	Belgrano E/Oruro y Bolivar	eje	2170	7,1	2136	6,2	98,4	0,9
		der	2170	7,1	2150	6,6	99,1	0,5
		izq.	2170	7,1	2105	6,2	97,0	0,9
<b>13</b>	Buch E/ Avaroa y Topater	eje	2162	7,3	2142	6,1	99,1	1,2
		der	2162	7,3	2076	6,6	96,0	0,7
		izq.	2162	7,3	2111	6,3	97,7	1
<b>14</b>	Oruro E/ Litoral y Arce	eje	2167	7,6	2015	6,3	97,1	1,3
		der	2167	7,6	2151	6,6	99,3	1
		izq.	2167	7,6	2075	6,0	95,8	1,6
<b>15</b>	Kleming E / Litoral y Arce	eje	2178	7,7	2172	6,5	99,7	1,2
		der	2178	7,7	2131	6,1	97,9	1,6
		izq.	2178	7,7	2070	6,7	95,1	1
<b>16</b>	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	eje	2190	6,1	2097	5,7	95,8	0,4
		der	2190	6,1	2131	5,9	97,3	0,2
		izq.	2190	6,1	2095	5,7	95,7	0,4
<b>17</b>	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	eje	2187	6,5	2131	5,9	97,4	0,6
		der	2187	6,5	2097	5,7	95,9	0,8
		izq.	2187	6,5	2095	5,7	95,8	0,8
<b>18</b>	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	eje	2210	5,8	2127	5,4	96,3	0,4
		der	2210	5,8	2108	5,8	95,4	0
		izq.	2210	5,8	2116	5,5	95,8	0,3

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.10.** CBR Y Expansión subrasante

<b>N° Calle</b>	<b>Nombre de la calle</b>	<b>CBR (95%)</b>	<b>Expansión (95%)</b>
<b>1</b>	Ameller E/ Avaroa y Topater	44,8	0,17
<b>2</b>	Luis Arancibia E/ Ameller y Buch	43,3	0,17
<b>3</b>	Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	38,9	0,15
<b>4</b>	Pando E/ Arce y Belgrano	38	0,13
<b>5</b>	Pando E/ Luis de F. y Belgrano	39,4	0,16
<b>6</b>	La Paz E/ Bolivar y Kleming	43,9	0,2
<b>7</b>	Argentina E/ Bolivar y Kleming	41,2	0,17
<b>8</b>	Argentina E/ Campero y Cañeros	37,9	0,13
<b>9</b>	Belgrano E/ Campero y Pando	41	0,15
<b>10</b>	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	45,8	0,16
<b>11</b>	Oruro E/ Arce y Belgrano	38,2	0,18
<b>12</b>	Belgrano E/Oruro y Bolivar	38,6	0,17
<b>13</b>	Buch E/ Avaroa y Topater	45,3	0,16
<b>14</b>	Oruro E/ Litoral y Arce	48,2	0,14
<b>15</b>	Kleming E / Litoral y Arce	39,9	0,15
<b>16</b>	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	43,0	0,12
<b>17</b>	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	37	0,16
<b>18</b>	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	44,5	0,11

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.4. RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DE LA SUB BASE

El control de calidad de la capa sub base de agregados fue objeto de una serie de análisis conjuntos con el fin de llegar a establecer un control adecuado al avance de la obra, de manera que satisfaga los requerimientos establecidos por las especificaciones.

El material Granular dispuesto para la conformación de la capa sub base fue del río Bermejo (Candado Grande) donde se le incremento un porcentaje del 10% material de banco (barrio municipal) haciendo los ensayos correspondientes de granulometría y límites de atterberg se pudo afirmar que el material dispuesto si cumplían con las especificaciones del proyecto.

**Tabla 4.11.** Material utilizado para la sub base

Pasa nº 200	6,4
Límite líquido	18,1
Índice de plasticidad	5,40
Clasificación	A-1-a(0)

Fuente: Empresa Procosur

- **Control Tecnológico de la sub base**

El control tecnológico de los materiales, es aquel que se ejerce con relación a las propiedades constitutivas de los materiales estos son:

#### 4.7.2.4. Control granulométrico de la sub base

La granulometría empleada para la conformación de la capa sub base corresponde al tipo “B”. Los materiales a ser empleados en la sub base la cual deberá presentar un índice de soporte de california (CBR) igual o mayor a 60%. Los valores procesados en las tablas correspondientes de acuerdo a cada calle de estudio.

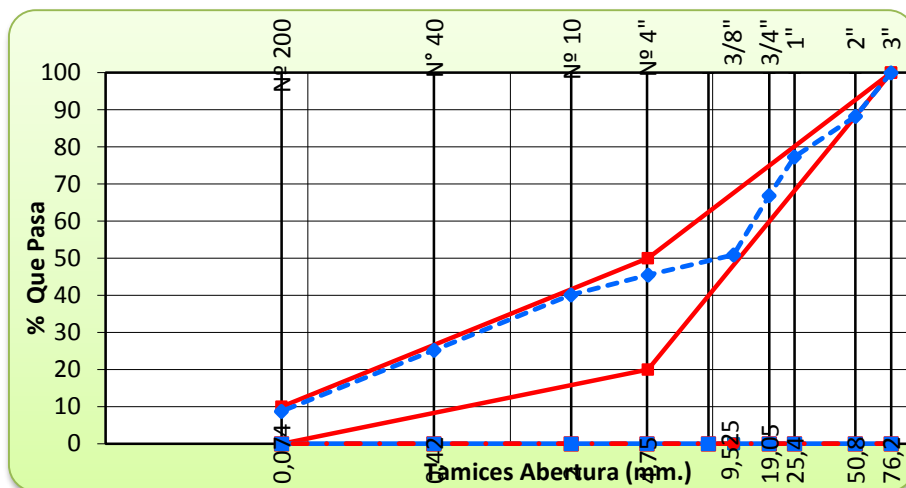
- Calle 1 (Ameller E/Avaroa y Topater)
- Análisis granulométrico Sub base

**Tabla 4.12.** Granulometría sub base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

TAMIZ N°	% QUE PASA
3"	100
2"	88,3
1"	77,3
3/4"	66,9
3/8"	50,9
4	45,5
10	40,1
40	25,2
200	8,7

Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.3.** Curva granulométrica sub base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)



Fuente: Elaboración propia

- **Resultados Correspondientes a los Límites, índice de plasticidad y Clasificación del suelo**

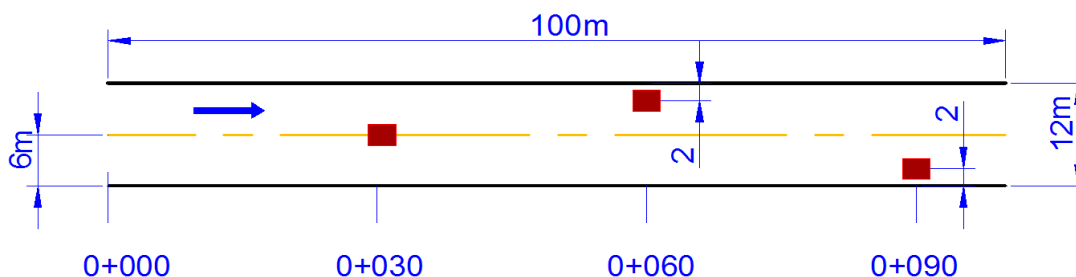
**Tabla 4.13.** Clasificación del Suelo sub- Base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

Calle	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice Plasticidad	Índice de Grupo	CLASIFICACION	
					ASSTHO	SUCS
1	19,4	13,6	5,8	0	A-1 a (0)	GP - GC

Fuente: Elaboración propia

- **Resultados de control de la densidad Max. Y humedad óptima Sub-base**

**Figura 4.27.** Esquema para realizar el ensayo densidad in situ



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.14.** Control de la densidad Max y humedad óptima Sub-base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

Nº	Prog	Lado	Clasif	Proctor		Control de Campo		Grado de Compactación	Diferencia Wopt Vs Wepo en (%)
				Dmax	Wop	Dmax	Wop		
1	0+030	eje	A-1a (0)	2209	5,7	2159	4,9	97,7	0,8
	0+060	der	A-1a (0)	2209	5,7	2165	4,6	98,0	1,1
	0+090	izq.	A-1a (0)	2209	5,7	2176	5,4	98,5	0,3

Fuente: Elaboración propia

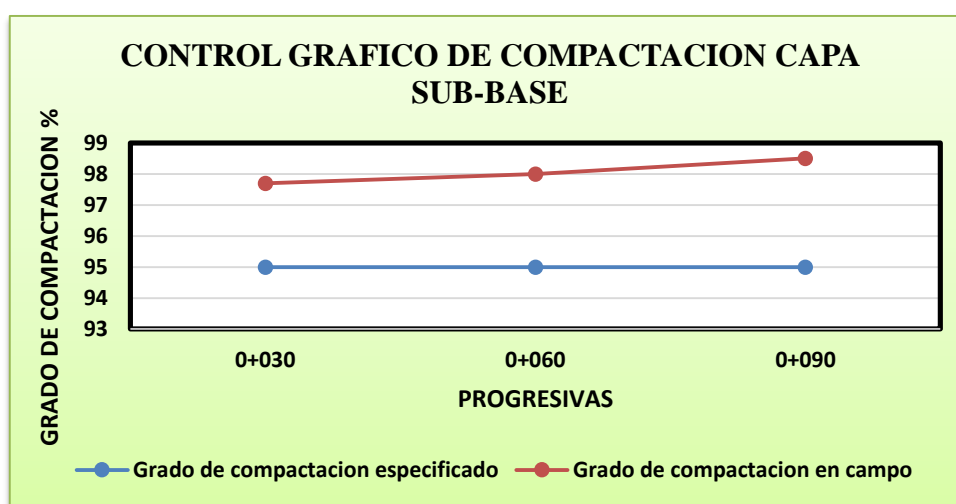


- **Control de compactación sub-base**

Manteniendo el control de confianza 95% se procede a la obtención de muestras de densidad mediante el procedimiento del cono de arena, lugares determinados por las especificaciones técnicas del proyecto.

Obtenido el grado de compactación de las muestras del tramo en estudio, se compara con el porcentaje del control mínimo especificado 95%, respecto a la densidad máxima obtenida en laboratorio y según el resultado se aprueba o rechazar el lote en estudio.

**Grafica 4.4.** Control grafico de compactación sub-base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)



Fuente: Elaboración propia

- **Resultados del CBR y Expansión**

**Tabla 4.15.** Resultados de CBR y Expansión sub-base Calle (Ameller E/Avaroa y Topater)

Calle	CBR 95 (%)	Expansión 95 (%)
1	67,1	0,02

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.4.1. RESUMEN DE RESULTADOS SUB-BASE

**Tabla 4.16.** Clasificación del suelo Sub-Base en las 18 calles

Nombre de la calle	Límites			Clasificación		
	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	IG
Ameller E/ Avaroa y Topater	19,4	13,6	5,8	GP-GC	A-1a (0)	0
Luis Arancibia E/ Ameller y Buch	17,7	14,4	3,3	GP-GC	A-1a (0)	0
Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	18,5	13,1	5,5	GP-GC	A-1a (0)	0
Pando E/ Arce y Belgrano	18,4	14,4	4,0	GP-GC	A-1a (0)	0
Pando E/ Luis de F. y Belgrano	18,8	14,4	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
La Paz E/ Bolívar y Kleming	18,4	12,5	5,9	GP-GC	A-1a (0)	0
Argentina E/ Bolívar y Kleming	17,6	12,7	4,9	GP-GC	A-1a (0)	0
Argentina E/ Campero y Cañeros	20,7	15,2	5,5	GP-GC	A-1a (0)	0
Belgrano E/ Campero y Pando	16,9	13,1	3,8	GP-GC	A-1a (0)	0
Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	20,8	15,8	4,9	GP-GC	A-1a (0)	0
Oruro E/ Arce y Belgrano	16,9	12,5	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
Belgrano E/Oruro y Bolívar	20,8	15,5	5,3	GP-GC	A-1a (0)	0
Buch E/ Avaroa y Topater	18,8	14,4	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
Oruro E/ Litoral y Arce	18,6	14,4	4,2	GP-GC	A-1a (0)	0
Kleming E / Litoral y Arce	18,3	14,8	3,5	GP-GC	A-1a (0)	0
Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	20,4	14,4	6,0	GP-GC	A-1a (0)	0
Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	19,8	14,5	5,3	GP-GC	A-1a (0)	0
Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	18,5	13,7	4,7	GP-GC	A-1a (0)	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.17. Densidad obtenida en laboratorio y campo

N° Calle	Nombre de la calle	Prog	Lado	Proctor		Control de Campo		Grado de Compactación	Diferencia Wopt Vs Wcpo en (%)
				Dmax	Wop	Dmax	Wop		
1	Ameller E/ Avaroa y Topater	0+030	eje	2209	5,7	2159	4,9	97,7	0,8
		0+060	der	2209	5,7	2165	4,6	98,0	1,1
		0+090	izq.	2209	5,7	2176	5,4	98,5	0,3
2	Luis Arancibia E/Ameller y Buch	0+030	eje	2223	5,2	2149	4,8	96,7	0,4
		0+060	der	2223	5,2	2168	4,9	97,5	0,3
		0+090	izq.	2223	5,2	2186	5,0	98,4	0,2
3	Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	0+030	eje	2225	5,9	2132	4,8	95,8	1,1
		0+060	der	2225	5,9	2191	4,9	98,5	1
		0+090	izq.	2225	5,9	2176	5,0	97,8	0,9
4	Pando E/ Arce y Belgrano	0+030	eje	2215	5,7	2169	5,4	97,9	0,3
		0+060	der	2215	5,7	2170	4,8	98,0	0,9
		0+090	izq.	2215	5,7	2179	4,9	98,4	0,8
5	Pando E/ Luis de F. y Belgrano	0+030	eje	2223	5,3	2171	5,1	97,3	0,2
		0+060	der	2223	5,3	2174	4,8	97,5	0,5
		0+090	izq.	2223	5,3	2180	5,2	97,7	0,1
6	La Paz E/ Bolívar y Kleming	0+030	eje	2229	5,3	2188	4,5	98,1	0,8
		0+060	der	2229	5,3	2173	5,0	97,5	0,3
		0+090	izq.	2229	5,3	2183	5,3	97,9	0
7	Argentina E/ Bolívar y Kleming	0+030	eje	2213	5,4	2153	4,6	97,3	0,8
		0+060	der	2213	5,4	2155	4,8	97,4	0,6
		0+090	izq.	2213	5,4	2193	5,0	99,1	0,4
8	Argentina E/ Campero y Cañeros	0+030	eje	2220	5,2	2153	5,1	97,0	0,1
		0+060	der	2220	5,2	2162	5,1	97,4	0,1
		0+090	izq.	2220	5,2	2194	4,8	98,8	0,4
9	Belgrano E/ Campero y Pando	0+030	eje	2222	5,6	2172	4,8	97,8	0,8
		0+060	der	2222	5,6	2194	5,0	98,7	0,6
		0+090	izq.	2222	5,6	2180	4,7	98,1	0,9
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	0+030	eje	2224	5,7	2172	4,6	97,6	1,1
		0+060	der	2224	5,7	2138	5,0	96,1	0,7
		0+090	izq.	2224	5,7	2166	5,0	97,4	0,7

11	Oruro E/ Arce y Belgrano	0+030	eje	2222	5,6	2169	4,8	97,6	0,8
		0+060	der	2222	5,6	2136	5,1	96,1	0,5
		0+090	izq.	2222	5,6	2210	5,2	99,5	0,4
12	Belgrano E/Oruro y Bolivar	0+030	eje	2228	5,1	2189	4,8	98,3	0,3
		0+060	der	2228	5,1	2153	4,8	96,6	0,3
		0+090	izq.	2228	5,1	2170	4,4	97,4	0,7
13	Buch E/ Avaroa y Topater	0+030	eje	2225	5,4	2170	4,8	97,5	0,6
		0+060	der	2225	5,4	2185	4,9	98,2	0,5
		0+090	izq.	2225	5,4	2145	4,6	96,4	0,8
14	Oruro E/ Litoral y Arce	0+030	eje	2232	5,2	2165	4,4	97,0	0,8
		0+060	der	2232	5,2	2196	4,2	98,4	1
		0+090	izq.	2232	5,2	2161	5,1	96,8	0,1
15	Kleming E / Litoral y Arce	0+030	eje	2230	5,2	2145	4,8	96,2	0,4
		0+060	der	2230	5,2	2196	4,8	98,5	0,4
		0+090	izq.	2230	5,2	2158	5,2	96,8	0
16	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	0+030	eje	2200	6,4	2137	6,1	97,1	0,3
		0+060	der	2200	6,4	2118	5,8	96,3	0,6
		0+090	Izq.	2200	6,4	2110	6,0	95,9	0,4
17	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	0+030	eje	2210	6,1	2116	5,9	95,7	0,2
		0+060	der	2210	6,1	2150	5,9	97,3	0,2
		0+090	Izq.	2210	6,1	2124	5,8	96,1	0,3
18	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	0+030	eje	2230	6,5	2159	6,4	96,8	0,1
		0+060	der	2230	6,5	2199	6,3	98,6	0,2
		0+090	Izq.	2230	6,5	2145	6,1	96,2	0,3

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.18.** CBR Y Expansión sub base

<b>N° Calle</b>	<b>Nombre de la calle</b>	<b>CBR (95%)</b>	<b>Expansión (95%)</b>
1	Ameller E/ Avaroa y Topater	67,1	0,02
2	Luis Arancibia E/ Ameller y Buch	66,0	0,00
3	Pando E/ Aniceto Arce y Litoral	71,8	0,01
4	Pando E/ Arce y Belgrano	70,3	0,01
5	Pando E/ Luis de F. y Belgrano	69,6	0,02
6	La Paz E/ Bolivar y Kleming	74,9	0,01
7	Argentina E/ Bolivar y Kleming	69,4	0,01
8	Argentina E/ Campero y Cañeros	77,2	0,01
9	Belgrano E/ Campero y Pando	71,0	0,01
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	70,4	0,01
11	Oruro E/ Arce y Belgrano	68,9	0,01
12	Belgrano E/Oruro y Bolivar	72,0	0,01
13	Buch E/ Avaroa y Topater	65,6	0,01
14	Oruro E/ Litoral y Arce	71,6	0,01
15	Kleming E / Litoral y Arce	69,2	0,00
16	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	78,9	0,00
17	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	77,3	0,1
18	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	67,2	0,1

Fuente: Elaboración propia

Las planillas de cálculo se encuentran en ANEXOS II

#### 4.7.5. CONTROL DE LOS MATERIALES EN LA LOSA DE HORMIGÓN

Las pruebas de control de calidad para el concreto se efectúan para garantizar y comprobar que este cumple con los requerimientos de las especificaciones deseadas.

##### 4.7.5.1.Cemento:

El cemento utilizado en el presente trabajo es de producción local, Cemento Portland "EL PUENTE" tipo normal IP 30.

Para su caracterización se realizaron los siguientes ensayos:

- Finura del cemento (ASTM C184 ASSTHO T129)
- Peso específico (ASTM C188 ASSTHO T133)

##### • Finura del cemento

El objeto de este método es la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz de malla N° 200.

##### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Se comienza pesando 50gr de muestra de cemento, para su tamizado en las malla N° 40 y 200, una vez culminado el tiempo de tamizado de aproximadamente unos 15 min. Se procede a pesar los pesos retenidos en cada tamiz.

##### CÁLCULOS

Fórmula para determinar la finura del cemento:

$$F = \frac{Pr}{50} * 100$$

Dónde:

F= Finura del cemento expresado en porcentaje de peso.

Pr= Peso retenido en la malla N° 200

**Fprom= 2.45%**

### ❖ **Peso específico**

Este ensayo tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

Se utiliza un matraz normal, kerosene y una balanza.

#### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Se llena el matraz con kerosene hasta un volumen de aproximadamente 300 ml. Se coloca en baño maría de temperatura constante manteniéndola a temperatura constante.

Se toma una muestra de 64 g de cemento, se va introduciendo poco a poco en el matraz. Evitando que el líquido salpique cuando se introduce la muestra.

Después de que se ha introducido todo el cemento en el matraz se tapa y se hace rodar en posición inclinada con el fin de eliminar el aire en el cemento.

Se coloca de nuevo el matraz en el baño de temperatura constante, el cual debe estar aproximadamente del ambiente, y se hace la nueva lectura correspondiente al nuevo nivel del líquido.

#### CALCULOS

La diferencia entre las cantidades que representan el nivel final y el nivel inicial del líquido nos da el volumen de líquido desplazado por el cemento usado en el ensayo.

$$P.E = \frac{\text{Peso del cemento en (gr)}}{\text{Volumen desplazado en(ml)}}$$

$$\mathbf{P.E= 3.15 (gr/ml)}$$

Para confirmar y tener valores reales de las características tanto químicas como físicas del cemento EL PUENTE IP30 se consiguió el INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE CEMENTO de la fábrica de SOBOCE.

**Cuadro 4.7.** Características del cemento EL PUENTE IP30

		<b>COMPOSICIÓN</b>		<b>Cemento Portland El Puente</b>	<b>Norma Boliviana IP-30(NB-0.1</b>
<b>ESPECIFICACIONES QUÍMICAS</b>	PPF	%		3.47	< 7
	SiO <sub>2</sub>	%		29.02	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		6.21	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		2.89	
	CaO	%		57.76	
	MgO	%		3.25	< 6.0
	SO <sub>3</sub>	%		2	< 4.0
	R.I	%		15.96	
	Cal Libre	%		0.79	
<b>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</b>	BLAINE	cm <sup>2</sup> /g		4636	> 2600
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min	161	> 45
		FINAL	Hrs	4:54	< 07:0.0
	EXPANSION LE CHATELIER	mm		0	< 8
	RELACION a/c	ml/g		0.52	
	FLUIDEZ	%		110	
	RESIDUO DE MALLAS	200M	%Ret	1.02	
		325M	%Ret	6.21	
	PESO ESPESIFICO	g/l		3020	
	RESISTENCIA A COMPRESION	3 DIAS	Mpa	22.57	> 10
7 DIAS		Mpa	26.9	> 17	
28 DIAS		Mpa	31.42	> 30	

Fuente: Empresa SOBOCE

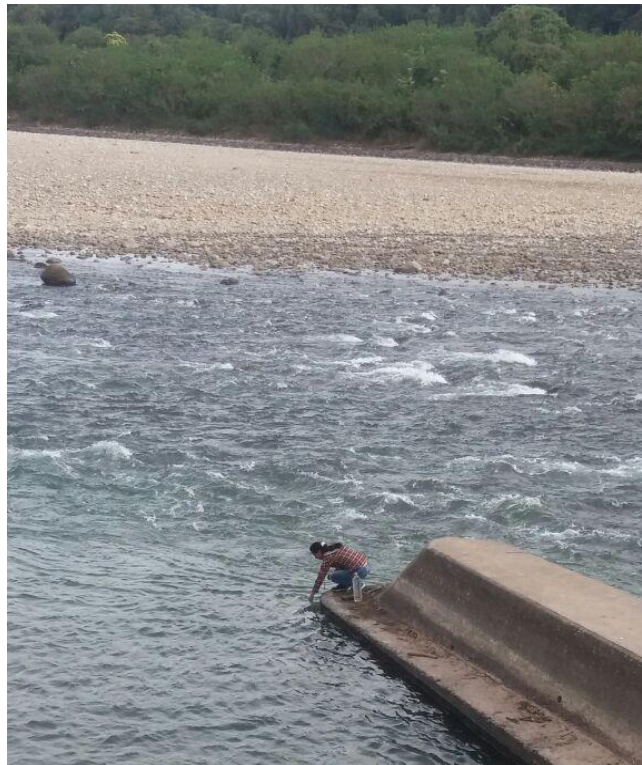
La hoja respaldo proporcionado por la empresa SOBOCE se presentara en el ANEXO III



#### 4.7.5.2. Control del Agua

El agua que se utilice en la elaboración del concreto debe estar libre de impurezas, aceite, etc., siempre que sea posible deberá usarse agua potable, con un  $\text{PH} \geq 5$  El grado de pureza del agua para el preparado del hormigón deberá de ser buena calidad, no contener sustancias corrosivas, ni que contaminen el cemento, ni influyan en ningún proceso para la obtención de un buen hormigón. El agua utilizada para la elaboración del concreto en el proyecto de las 180 cuadras fue del rio Bermejo, por el cual se trajo una muestra para realizar su respectivo control para verificar si este cumple con la NB 637-1994 agua para morteros y Hormigones.

**Figura 4.26.** Toma de muestra de agua



Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro 4.8.** Característica Fisicoquímico del Agua

Nº	DETERMINACIÓN	ENSAYO		LÍMITE PERMITIDO DE ACUERDO A NORMA
		TÉCNICA	MÉTODO	
<b>AGUA PARA HORMIGONES</b>				
<b>FISICOQUÍMICO</b>				
1	Cloruros (mg/L)	Volumetría	SM 4500-Cl-B	≤ 6000
2	Grasas y Aceites	Gravimetría	SM 5520-B	≤ 15000
3	Hidratos de carbono (P/A)	Cualitativo	NB 588:1991	0
4	PH	Potenciometría	SM 4500-H-B	≥ 5
5	Sólidos Solubles (sólidos disueltos totales)(mg/L)	Gravimetría	SM 2540-C	≤ 15000
6	Sulfatos	Nefelometría	SM 2130-B	≤ 1000

Fuente: NB 637:1994 Agua para morteros y Hormigones

**Cuadro 4.9.** Resultados de control de calidad del agua

Nº	DETERMINACIÓN	ENSAYO		LÍMITE PERMITIDO DE ACUERDO A NORMA
		TÉCNICA	MÉTODO	
<b>AGUA PARA HORMIGONES</b>				
<b>FISICOQUÍMICO</b>				
1	Cloruros (mg/L)	Volumetría	SM 4500-Cl-B	16,72
2	Grasas y Aceites	Gravimetría	SM 5520-B	n.d
3	Hidratos de carbono (P/A)	Cualitativo	NB 588:1991	n.d
4	PH	Potenciometría	SM 4500-H-B	7,05
5	Sólidos Solubles (sólidos disueltos totales)(mg/L)	Gravimetría	SM 2540-C	99,0
6	Sulfatos	Nefelometría	SM 2130-B	24,57

Fuente: Centro de investigación "CEANID"

La hoja respaldo obtenido por el centro de análisis, investigaciones y desarrollo CEANID se presentara en el ANEXO III

Para completar la aplicación del “procedimiento de control de calidad” se procedió al control de la conformación de la losa de hormigón. El análisis en todo su conjunto es uno de los aspectos que se debe tener muy en cuenta, tanto en su composición granulométrica como en la mezcla ya elaborada, debido a que esta actividad constituye la fisonomía de la calle y su buena ejecución garantizara su durabilidad en el tiempo.

#### 4.7.5.3. Control Granulométrico de los Agregados grueso y Fino

Los agregados para la elaboración del hormigón se extrajeron del rio Bermejo (Candado Grande), la ubicación de los bancos de préstamo se encuentran en planos en el ANEXO VII.

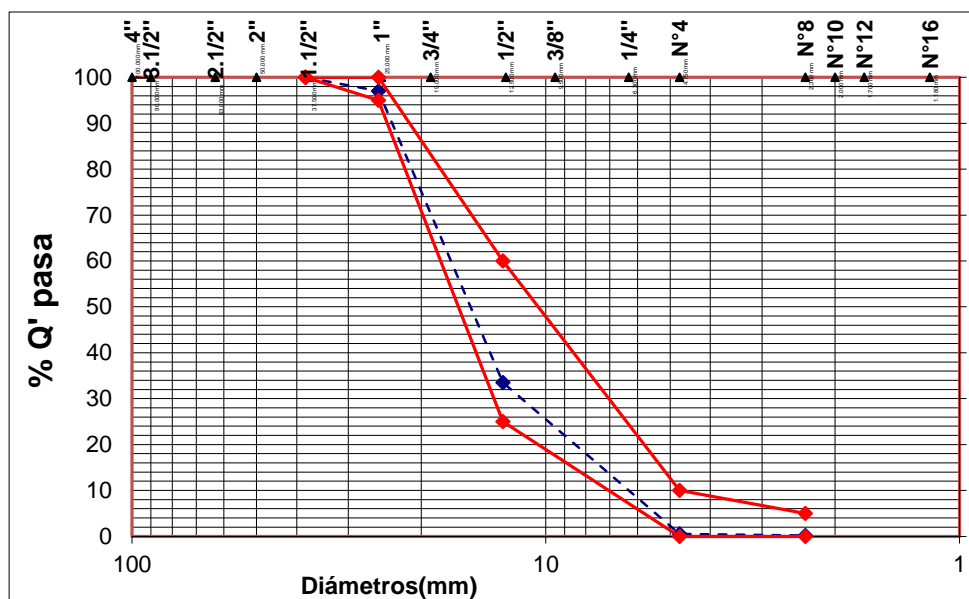
**Tabla 4.19.** Resultados de la granulometría del agregado grueso

<b>GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO</b>		<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>TAMIZ</b>	<b>% que pasa del total</b>	<b>Limite Superior</b>	<b>Limite Inferior</b>
2"	100		
1 1/2"	100	100	100
1"	97	95	100
3/4"	74,5		
1/2"	33,5	25	60
3/8"	11,06		
Nº 4	0,5	0	10
Nº 8	0,2	0	5
Nº 16			
Nº 30			
Nº 50			
Nº 100			
Nº 200			

Fuente: Elaboración Propia

Las planillas de cálculo se encuentran en ANEXOS III

Grafica 4.5. Granularía del agregado grueso



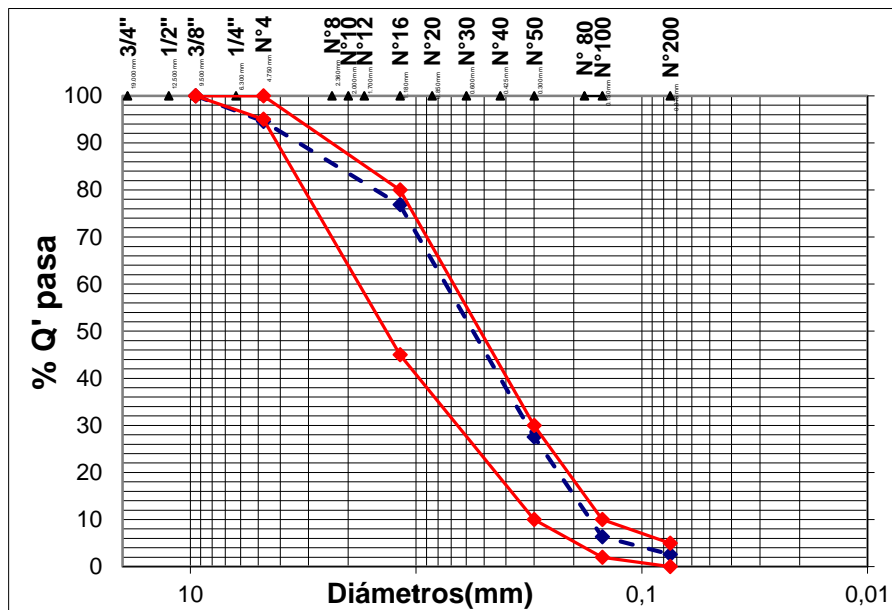
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.20. Granulometría Agregado Fino

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO		ESPECIFICACIONES	
TAMIZ	% que pasa del total	Limite Superior	Limite Inferior
1 1/2"	100		
1"	100		
3/4"	100		
1/2"	100		
3/8"	100	100	100
Nº 4	94,6	95	100
Nº 8	84,8		
Nº 16	76,9	45	80
Nº 30	65,2		
Nº 50	27,6	10	30
Nº 100	6,4	2	10
Nº 200	2,6	0	5

Fuente: Elaboración Propia

**Grafica 4.6. Granulometría del Agregado Fino**



Fuente: Elaboración Propia

Las planillas de cálculo se encuentran en ANEXOS III

#### 4.7.5.4. Control tecnológico del hormigón.

Los materiales conformados para la dosificación se obtuvieron del río bermejo (Candado Grande).

Los resultados obtenidos con respecto a la dosificación, probetas y vigas de prueba se encuentran detallados en el anexo III, donde se observa valores acorde con la resistencia exigida según las especificaciones técnicas.

- **Control de asentamiento**

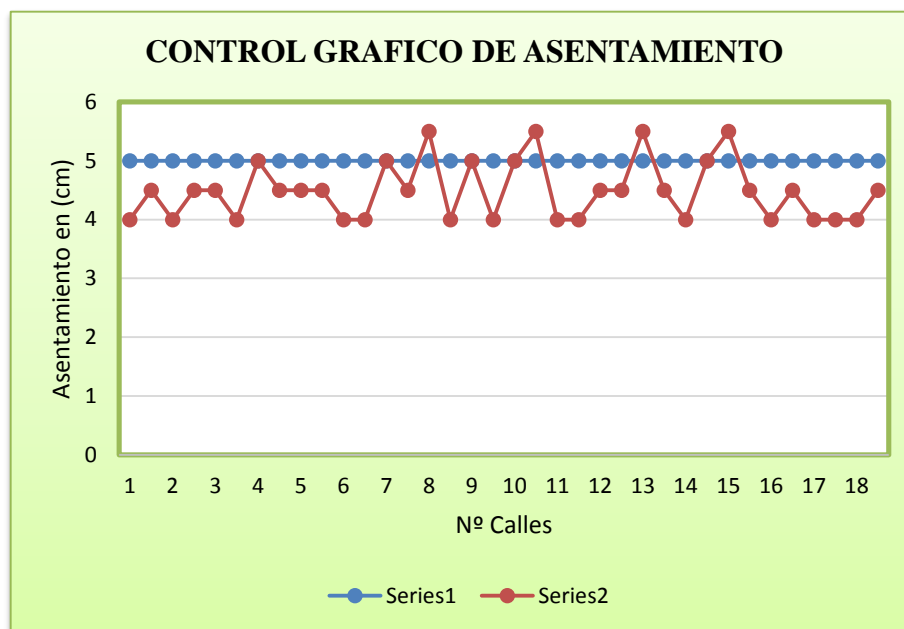
El valor del asentamiento fue determinado en obra efectuando en el momento de vaciado del hormigón.

**Tabla 4.21.** Control de asentamiento de la losa de hormigón

Nº Calles	Nombre de la Calle	Nº de ensayos	Asentamiento (cm)	Asentamiento en campo (cm)	Diferencia (cm)
1	Ameller E/Avaroa y Topater	2	5	4	1
			5	4,5	0,5
2	Luis Arancibia E/Ameller y Buch	2	5	4	1
			5	4,5	0,5
3	Pando E/Aniceto Arce y Litoral	2	5	4,5	0,5
			5	4	1
4	Pando E/ Arce y Belgrano	2	5	5	0
			5	4,5	0,5
5	Pando E/Luis de fuentes y Belgrano	2	5	4,5	0,5
			5	4,5	0,5
6	La Paz E/ Bolivar y Kleming	2	5	4	1
			5	4	1
7	Argentina E/Bolivar y Kleming	2	5	5	0
			5	4,5	0,5
8	Argentina E/Campero y Cañeros	2	5	5,5	-0,5
			5	4	1
9	Belgrano E/ Campero y Pando	2	5	5	0
			5	4	1
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	2	5	5	0
			5	5,5	-0,5
11	Oruro E/ Arce y Belgrano	2	5	4	1
			5	4	1
12	Belgrano E/ Oruro y Bolivar	2	5	4,5	0,5
			5	4,5	0,5
13	Buch E/Avaroa y Topater	2	5	5,5	-0,5
			5	4,5	0,5
14	Oruro E/ Litoral y Arce	2	5	4	1
			5	5	0
15	Kleming E/ Litoral y Arce	2	5	5,5	-0,5
			5	4,5	0,5
16	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	2	5	4	1
			5	4,5	0,5
17	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	2	5	4	1
			5	4	1
18	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	2	5	4	0,5
			5	4,5	1

Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.7.** Control grafico de asentamiento



Fuente: Elaboración propia

- **Control de resistencias**

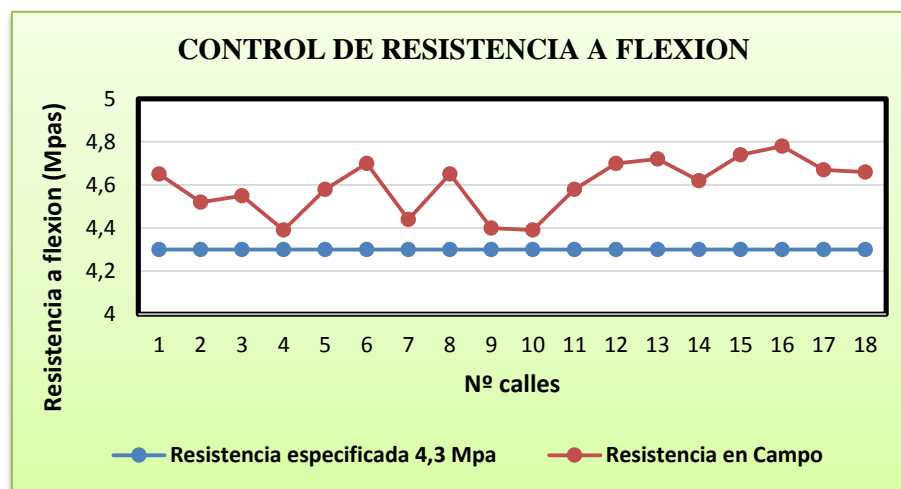
El control de resistencias de vigas a flexión y probetas a compresión se realizaron en obra en el momento de descarga del mixer se tomaron 2 vigas y 1 probeta por calle de acuerdo al siguiente detalle indicado en tabla.

**Tabla 4.22.** Resistencia a Flexión en vigas

Nº Calles	Nombre de la Calle	Nº de ensayo	Resistencia Especificada (Mpa)	Edad Días	Resistencia en campo (Mpa)
1	Ameller E/Avaroa y Topater	2	4,3	28	4,58
			4,3	28	4,72
2	Belgrano E/ Avaroa y Kleming	2	4,3	28	4,44
			4,3	28	4,61
3	Pando E/Aniceto Arce y Litoral	2	4,3	28	4,45
			4,3	28	4,65
4	Pando E/ Arce y Belgrano	2	4,3	28	4,37
			4,3	28	4,41
5	Pando E/Luis de fuentes y Belgrano	2	4,3	28	4,59
			4,3	28	4,57
6	La Paz E/ Bolivar y Kleming	2	4,3	28	4,67
			4,3	28	4,73
7	Argentina E/Bolivar y Kleming	2	4,3	28	4,51
			4,3	28	4,37
8	Argentina E/Campero y Cañeros	2	4,3	28	4,67
			4,3	28	4,63
9	Belgrano E/ Campero y Pando	2	4,3	28	4,37
			4,3	28	4,43
10	Luis de Fuentes E/ Campero y Cañeros	2	4,3	28	4,38
			4,3	28	4,41
11	Oruro E/ Arce y Belgrano	2	4,3	28	4,72
			4,3	28	4,68
12	Belgrano E/ Oruro y Bolívar	2	4,3	28	4,67
			4,3	28	4,77
13	Buch E/Avaroa y Topater	2	4,3	28	4,53
			4,3	28	4,71
14	Oruro E/ Litoral y Arce	2	4,3	28	4,72
			4,3	28	4,76
15	Kleming E/ Litoral y Arce	2	4,3	28	4,52
			4,3	28	4,67
16	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	2	4,3	28	4,86
			4,3	28	4,71
17	Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid	2	4,3	28	4,72
			4,3	28	4,63
18	Campero E/ Litoral y Aniceto Arce	2	4,3	28	4,73
			4,3	28	4,60

Fuente: Elaboración propia



**Grafica 4.8.** Control de resistencia a flexión

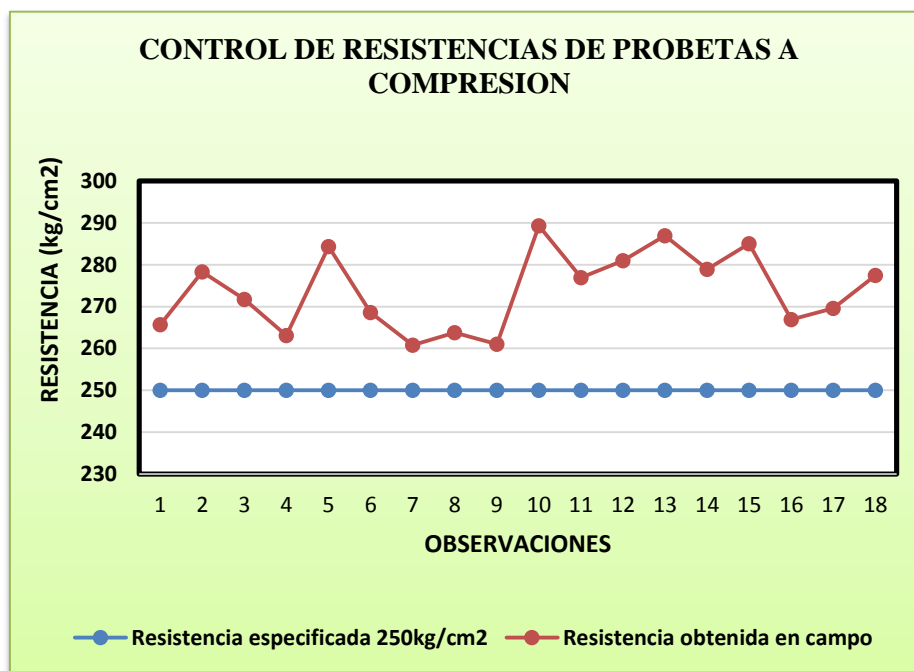
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.23.** Resistencia a Compresión de Probetas

Nº De Calles	Hº Tipo	Asentamiento (cm)	Edad Días	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
1	250	4,0	28	265,7
2	250	4,5	28	278,3
3	250	4,0	28	271,7
4	250	4,5	28	263,1
5	250	4,5	28	284,3
6	250	4,0	28	268,6
7	250	5,0	28	260,8
8	250	4,5	28	263,8
9	250	4,5	28	261
10	250	4,5	28	289,3
11	250	4,0	28	276,9
12	250	4,0	28	281
13	250	5,0	28	286,9
14	250	4,5	28	278,9
15	250	5,5	28	265
16	250	4,5	28	266,87
17	250	4	28	269,59
18	250	4,5	28	277,47

Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.9.** Control de resistencia de probetas a compresión



Fuente: Elaboración propia

- Para cumplir con el muestreo mínimos se realizó el ensayo no destructivo de resistencia del Hormigón – **MÉTODO ESCLERÓMETRO**

**Figura 4.27.** Procedimiento para realizar el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.28.** Ensayo Esclerometria

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.24.** Resultados de resistencias ensayo esclerómetros

Nº Calles	Calles	Hº Tipo	Edad Días	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
1	La Madrid E/Buch y Villarroel	250	28	265,73
2	Buch E/ Belgrano y Luis de F.	250	28	276,51
3	Ameller E/Topater y H. del C.	250	28	274,55
4	26 de Marzo E/Barrenechea	250	28	266,85
5	Oruro E/ H.Chaco y Luis A.	250	28	271,01
6	Potosí E/ Luis de F. y Madrid	250	28	269,59
7	Kleming E/Belgrano y Arce	250	28	270,79
8	Campero E/Litoral Aniceto A.	250	28	277,47
9	Pasaje Santa Bárbara E/Belgrano y Luis de Fuentes	250	28	276,63
10	Luis de F. E/ Copacabana y Junín	250	28	274,12
11	Argentina E/ Kleming y Pando	250	28	264,14
12	Pando E/ Sucre y La Paz	250	28	267,46
13	Cañeros E/ José Yache y Chuquisaca.	250	28	264,90
14	Méndez E/ Santa Cruz y Potosí	250	28	266,87
15	Guadalquivir E/Santa Cruz y Potosí	250	28	262,69

Fuente elaboración Propia

Los cálculos a detalle se encuentran en el ANEXO IV

- **Control de espesores**

El control de espesores para la losa de hormigón consistió en medir la altura de las losas de acuerdo al siguiente detalle indicado en la tabla. De acuerdo a lo especificado estos valores deben estar dentro del rango  $\pm 5\text{mm}$ .

Debido a que la construcción de las losas se realizó con formaletas metálicas diseñadas de acuerdo al espesor especificado se observó que no hubo mucha variación con respecto al espesor de diseño.

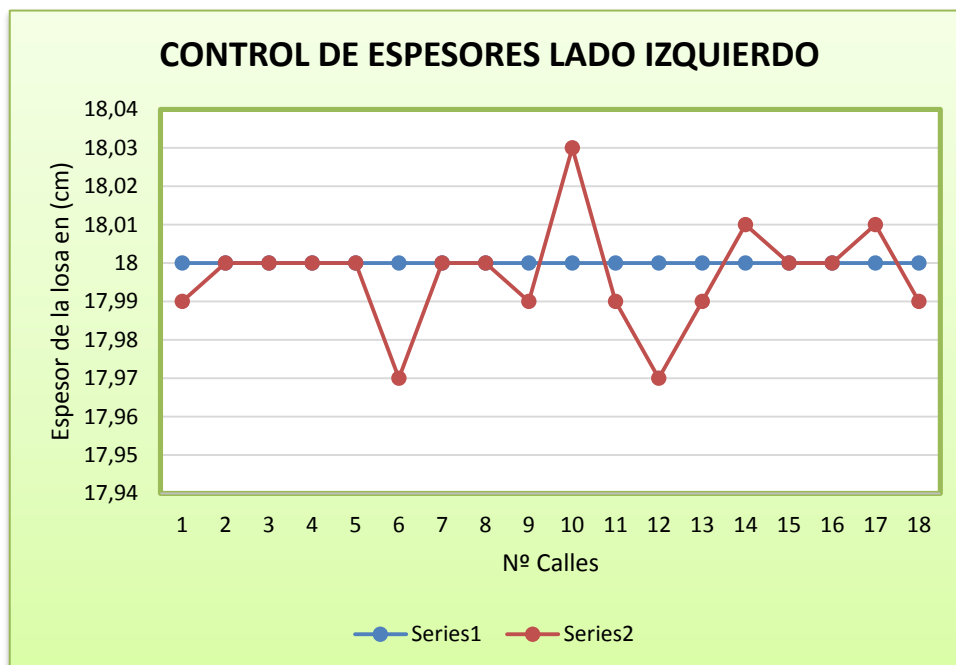
**Tabla 4.25.** Control de espesores

calles	lado izquierdo		dif (mm)	eje		dif (mm)	lado derecho		Dif (mm)
	diseño (cm)	campo (cm)		diseño (cm)	campo (cm)		diseño (cm)	campo (cm)	
1	18	17,99	0,1	18	18,01	-0,1	18	18,00	0
2	18	18,00	0	18	18,01	-0,1	18	18,01	-0,1
3	18	18,00	0	18	17,99	0,1	18	18,00	0
4	18	18,00	0	18	18,00	0	18	18,00	0
5	18	18,00	0	18	18,01	-0,1	18	18,00	0
6	18	17,97	0,3	18	17,99	0,1	18	17,98	0,2
7	18	18,00	0	18	17,99	0,1	18	18,00	0
8	18	18,00	0	18	18,01	-0,1	18	18,00	0
9	18	17,99	0,1	18	18,02	-0,2	18	17,99	0,1
10	18	18,03	-0,3	18	17,99	0,1	18	17,99	0,1
11	18	17,99	0,1	18	17,99	0,1	18	18,00	0

12	18	17,97	0,3	18	17,99	0,1	18	17,98	0,2
13	18	17,99	0,1	18	17,97	0,3	18	18,01	-0,1
14	18	18,01	-0,1	18	18,00	0	18	17,99	0,1
15	18	18,00	0	18	18,01	-0,1	18	18,00	0
16	18	18,00	0	18	17,99	0,1	18	18,00	0
16	18	18,01	-0,1	18	18	0	18	18,00	0
18	18	17,99	0,1	18	18	0	18	18,00	0

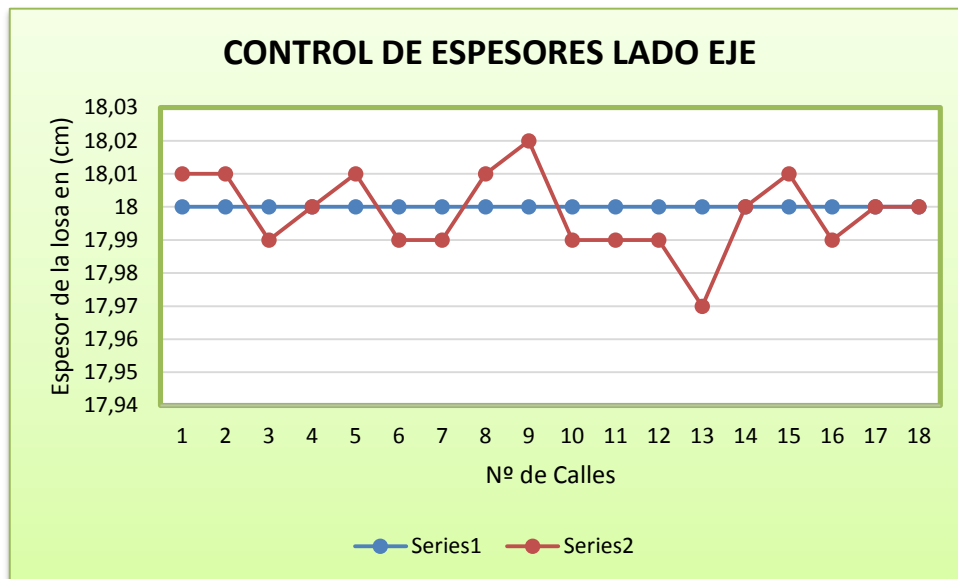
Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.10.**Control de espesores lado izquierdo



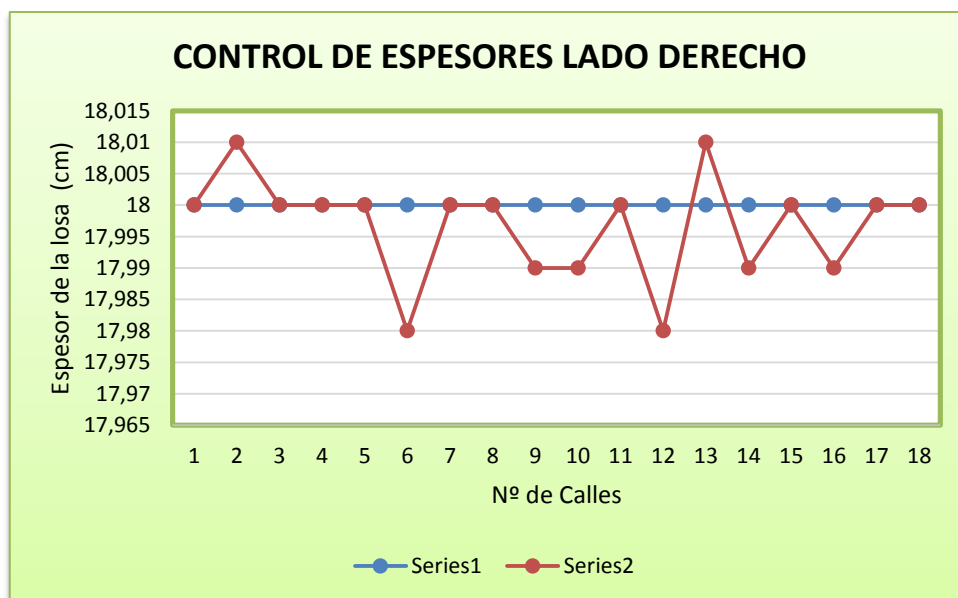
Fuente: Elaboración Propia

**Grafica 4.11.**Control de espesores lado Eje



Fuente: Elaboración Propia

**Grafica 4.12.**Control de espesores lado Derecho



Fuente: Elaboración Propia

- **Control de Juntas**

La última operación que sufre el pavimento de hormigón consiste en la ejecución de las juntas transversales y longitudinales.

La necesidad de construir juntas en los pavimentos de hormigón es obvia, ya que de no hacerlo se presentarían grietas a intervalos bastantes regulares debido a la contracción y dilatación del concreto.

**Junta Transversal:**

Se colocaron Pasajuntas ya que estas prolongan la vida útil de los pavimentos de concreto, la utilización de las pasajuntas disminuye sustancialmente el costo del mantenimiento de los pavimentos de concreto.

Como se puede observar las pasajuntas figura 4.27 encontraban alineadas y engrasadas.

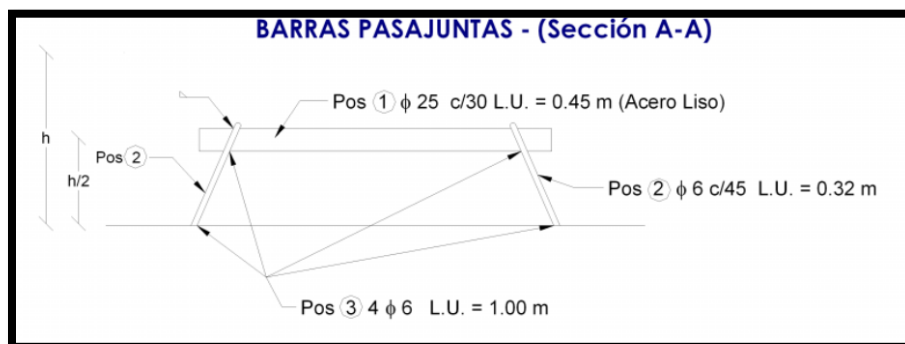
**Figura 4.27.** Colocado de pasajuntas



Pasajuntas

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4.28.** Diámetros del acero utilizado en el proyecto de las 180 cuadras



Fuente: Empresa Procosur

**Figura 4.29.** Diámetros del acero utilizados



Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.10.** Dimensiones recomendadas diámetro de aceros

JUNTA TRANSVERSAL			
Espesor de la losa (mm)	Dimensiones de las Pasajuntas		
	Diámetro	Largo	Separación
125 a 150 mm	19 mm	410 mm	300 mm
150 a 200 mm	25 mm	460 mm	300 mm
200 a 300 mm	32 mm	460 mm	300 mm
300 a 430 mm	38 mm	510 mm	380 mm
430 a 500 mm	45 mm	560 mm	460 mm

Fuente: Recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)



**Cuadro 4.11.** Dimensiones utilizadas

<b>JUNTA TRANSVERSAL</b>			
<b>Espesor de la losa (mm)</b>	<b>Dimensiones de las Pasajuntas</b>		
	<b>Diámetro</b>	<b>Largo</b>	<b>Separación</b>
180 mm	25 mm	450 mm	300 mm

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar los diámetros y dimensiones del acero cumplen con normas y las especificaciones técnicas del proyecto.

### **Junta Longitudinal**

- La armadura que se colocó en esta junta fue un acero corrugado de  $\varnothing$  12mm c/100cm
- Se colocó a media altura de la losa

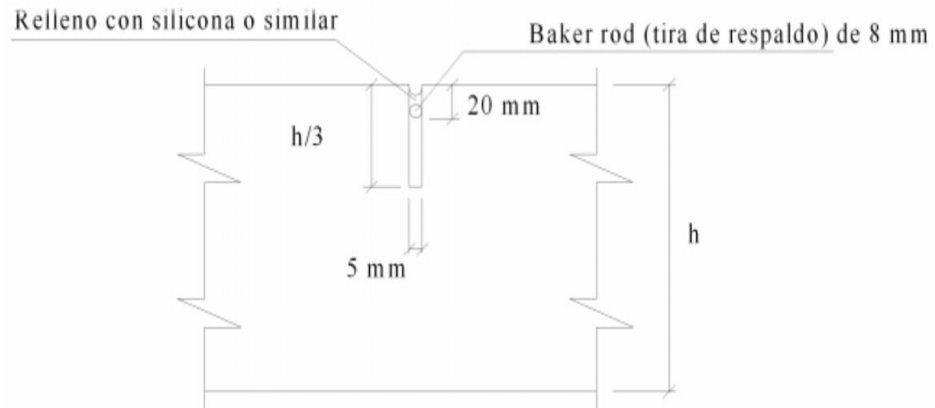
**Figura 4.29.** Armadura en la junta longitudinal



Fuente: Elaboración Propia

Sellado de juntas se lo realizo de acuerdo al detalle de la figura 4.30 a una profundidad de 20 mm con mastic asfáltico como se puede observar en la figura 4.31.

**Figura 4.30.** Detalle de la junta transversal



Fuente: Empresa Procosur

**Figura 4.31.** Sellado de juntas



Fuente: Elaboración Propia

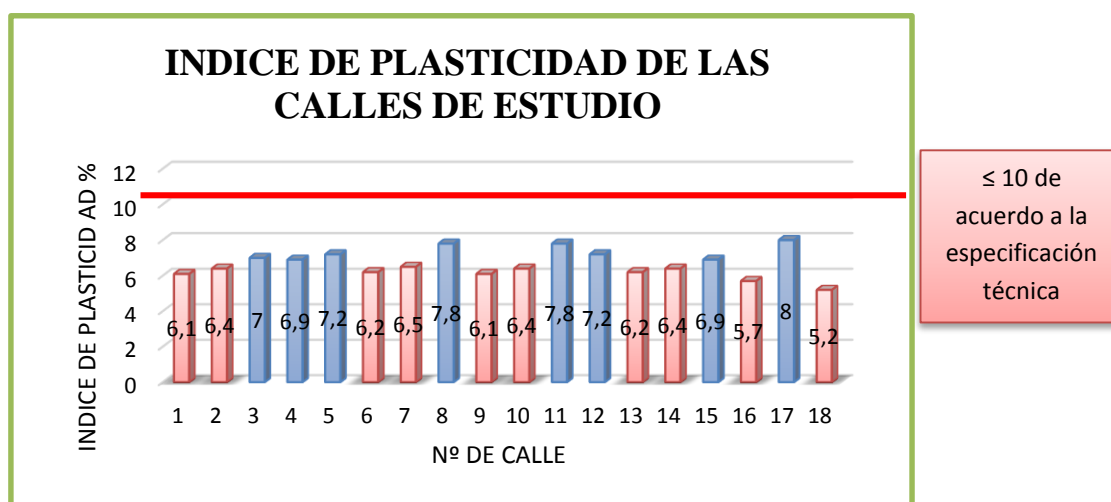
## 4.8. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El control de calidad para la capa subrasante de agregados fue objeto de una serie de análisis conjuntos con el fin de llegar a establecer un control adecuado al avance de la obra de manera que satisfaga los requerimientos de acuerdo a los criterios establecidos por las especificaciones técnicas del proyecto.

### ❖ SUBRASANTE

#### Índice de plasticidad

**Grafica 4.13.** Índices de plasticidad subrasante



1: Ameller E/Avaroa y Topater  
 2: Belgrano E/ Avaroa y Kleming  
 6: La Paz E/Bolívar y Kleming  
 7: Argentina E/Bolivar y Kleming  
 9: Belgrano E/Campero y Pando  
 10: Luis de F. E/Campero y cañeros  
 13: Buch E/ Avaroa y Topater  
 14: Oruro E/Litoral y Arce

3: Pando E/Aniceto Arce y Litoral  
 4: Pando E/ Arce y Belgrano  
 5: Pando E/Luis de F y Belgrano  
 11: Oruro E/ Arce y Belgrano  
 12: Belgrano E/ Oruro y Bolivar  
 15: Kleming E/Litoral y Arce  
 17: Potosí E/ Luis de Fuentes y la Madrid

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica N° 4.13. Los índices de plasticidad de las calles 1, 2, 6, 7, 9, 10, 13, 14 presentan valores de (6,1 a 6,5) siendo un suelo de tipo A-1b en las calles 3, 4, 5, 8, 11, 12,15 van de (6,9 a 7,8) dando un suelo A-2-4 los cuales según sus características son de buena calidad, por lo tanto todos los datos obtenidos cumplen de acuerdo a especificaciones del proyecto y a las normas establecidas de carreteras donde el rango máx. Para un índice plástico es el 10% para una subrasante.

### Clasificación de suelos

En la clasificación de los suelos de acuerdo a los ensayos de control realizados se encontraron dos tipos de suelos en la subrasante que se mostrara en la siguiente tabla:

**Tabla 4.8.** Clasificación de los suelos de la subrasante

N° Calle	Limites			Clasificación		
	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	IG
1	21,3	15,2	6,1	GC-GM	A-1b (0)	0
2	19,8	13,4	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
3	20,6	13,6	7	GC-GM	A-2-4 (0)	0
4	21,5	14,6	6,9	GC-GM	A-2-4 (0)	0
5	21,6	14,4	7,2	GC	A-2-4 (0)	0
6	21,1	14,9	6,2	GC-GM	A-1b (0)	0
7	19,9	13,4	6,5	GC-GM	A-1b (0)	0
8	19,9	12,1	7,8	GC	A-2-4 (0)	0
9	19,2	13	6,1	GC-GM	A-1b (0)	0
10	19,8	13,4	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
11	21,4	13,7	7,8	GC	A-2-4 (0)	0
12	20	12,8	7,2	SC	A-2-4 (0)	0
13	19,5	13,3	6,2	GC-GM	A-1b (0)	0
14	19,6	13,3	6,4	GC-GM	A-1b (0)	0
15	20,8	13,9	6,9	GC-GM	A-2-4 (0)	0
16	18,67	12,97	5,7	GC-GM	A-1b (0)	0
17	21,36	13,33	8,0	GC-GM	A-2-4 (0)	0
18	19,7	14,5	5,2	GC-GM	A-1b (0)	0

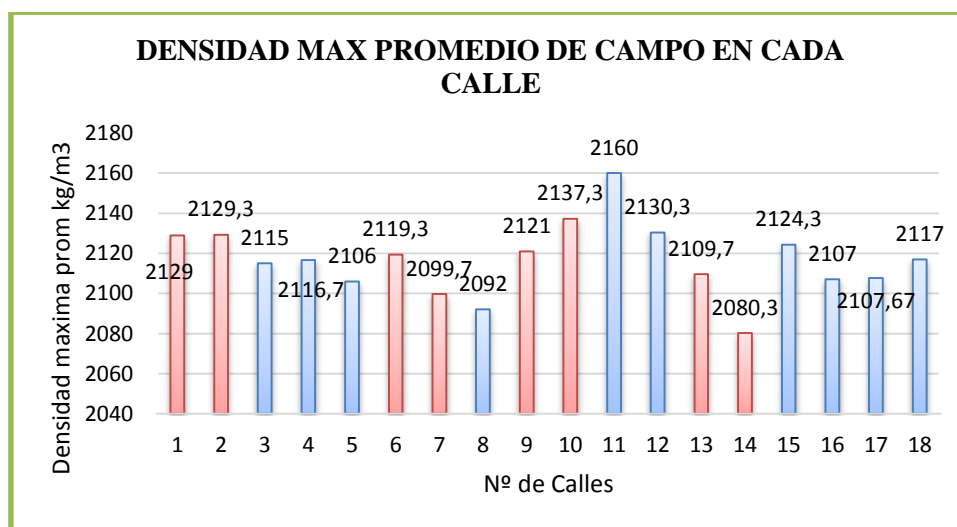
Fuente: Elaboración propia

La clasificación de suelos para la subrasante como se observa son suelos que contienen material granular siendo suelos de buena calidad ya que cumplen las especificaciones y normas establecidas donde para una subrasante la norma acepta suelos del tipo A-1, A-2 o A-3.

### Ensayos IN SITU

Este ensayo nos permite determinar en el terreno el peso unitario de un suelo compactado denominado densidad, y establecer si el grado de compactación logrado cumple con las condiciones previstas según las especificaciones técnicas del proyecto

**Grafica 4.14.** Densidad promedio de campo en cada calle

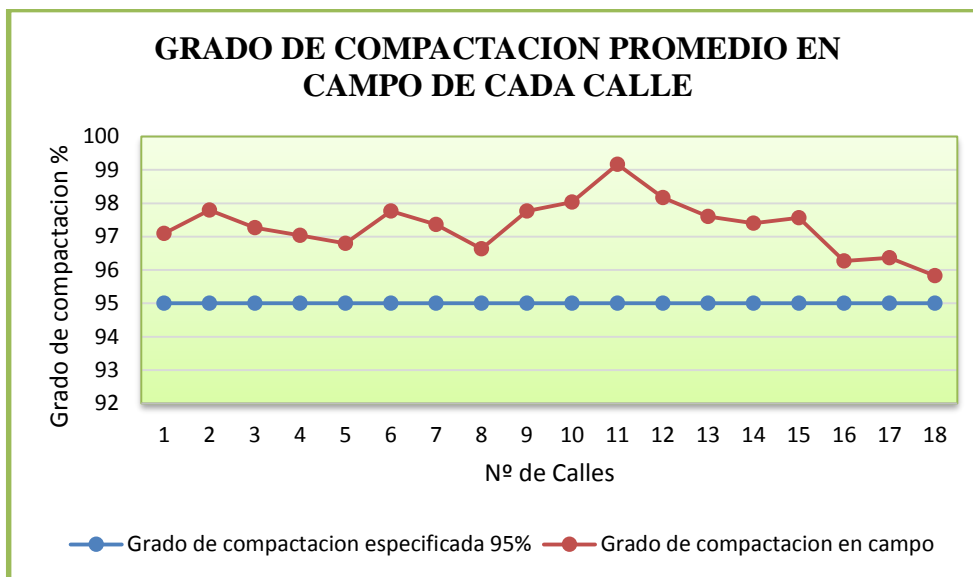


Como se puede observar en la gráfica la densidad varía de acuerdo al tipo de suelo para los suelos A-1b (0) los valores van de (2080,3 a 2137,3), y para las calles que tienen un suelo A-24(0) van de (2092 a 2160)

### Grado de compactación en campo

De acuerdo al grado de Compactación en campo se verifico mediante una gráfica que si se cumplió con las especificaciones técnicas los valores están por encima del 95% como se puede ver en la gráfica 4.15.

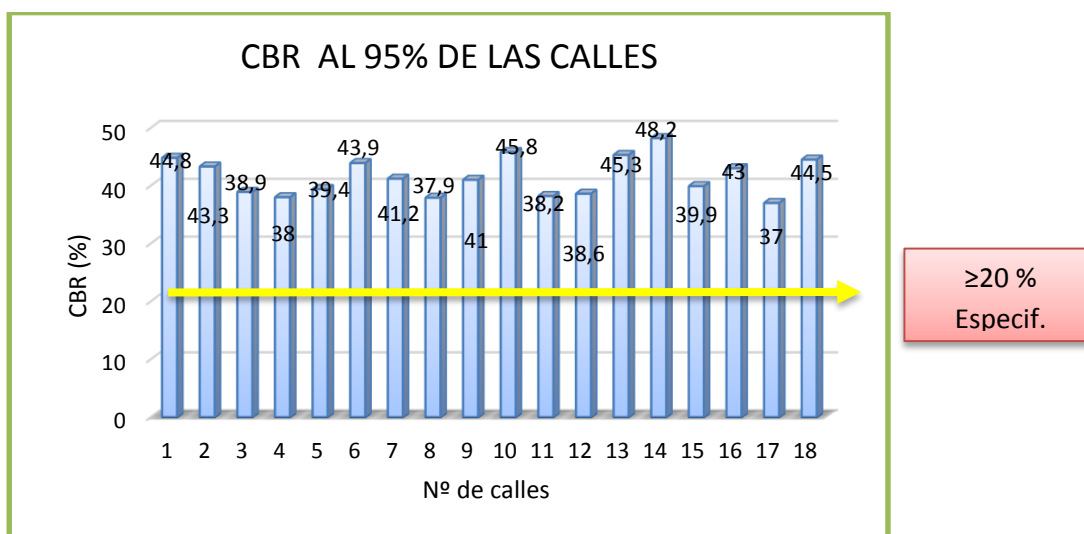
**Grafica 4.15.** Grado de compactación prom en campo en las calles de aplicación



Fuente: Elaboración Propia

**Capacidad soporte del suelo (CBR)**

**Grafica 4.16.** CBR AL 95% de la subrasante



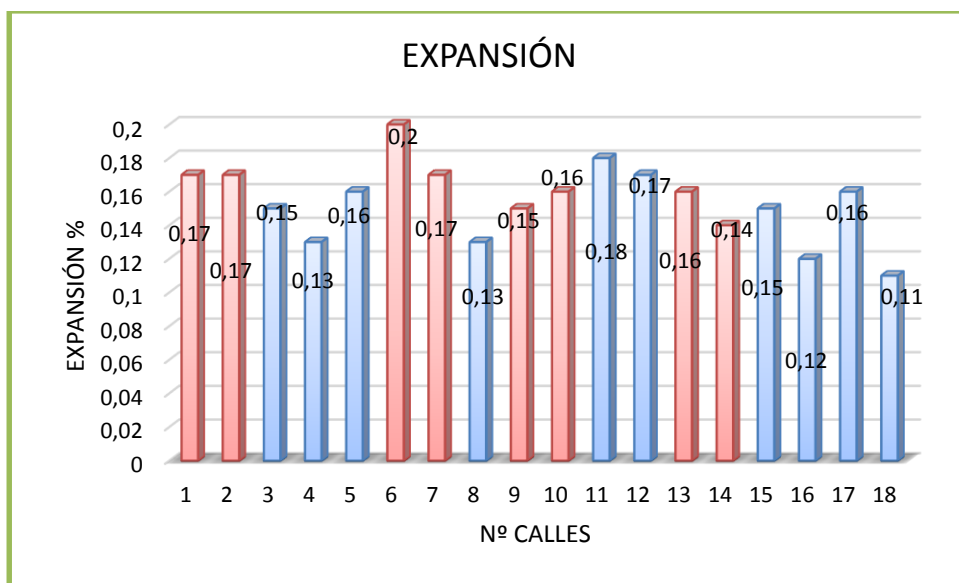
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la gráfica los resultados obtenidos de cada una de las calles cumple la norma por ende las especificaciones.

De acuerdo a la clasificación de suelo los valores de CBR son variables de acuerdo al tipo de material es así que para un suelo de tipo A-1b ya que contiene más material granular presentan resultados de (41% a 48,2%) y los de A-2-4 que tiene más material fino tiene un rango de (37,9% a 39,0%).

## Expansión

**Grafica 4.17.** Expansión en la subrasante



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la expansión va de (0,13 % a 0,20%) demostrando que son menores al 4 % lo cual nos indica que entra en los límites de la especificación técnicas.

Estos datos son considerados coherentes por el hecho que se trabaja con material granular y esto hace que tenga expansiones muy pequeñas.

## ❖ SUB BASE

### Desgaste de los Ángeles

**Cuadro 4.12.** Desgaste de los Ángeles materiales granular sub base

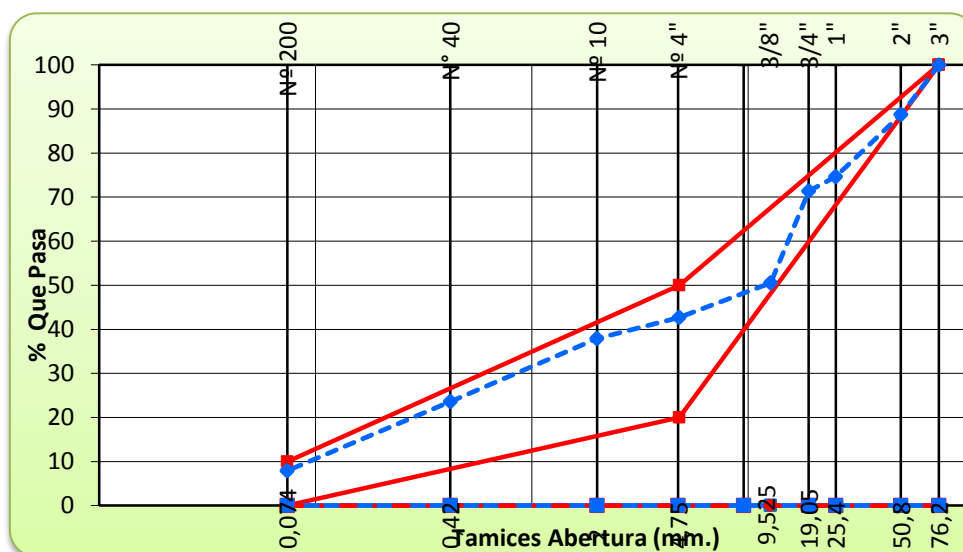
MATERIAL	PESO INICIAL gr	PESO FINAL gr	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
Granular	5000	3840	24,2	40% MAX

Fuente: Elaboración propia

Esta propiedad es muy importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia del material y de acuerdo al ensayo realizado se obtuvo un resultado de 24,2 % estando dentro del rango de la norma y especificación técnica.

### Granulometría

**Grafica 4.18.** Granulometría de la sub base



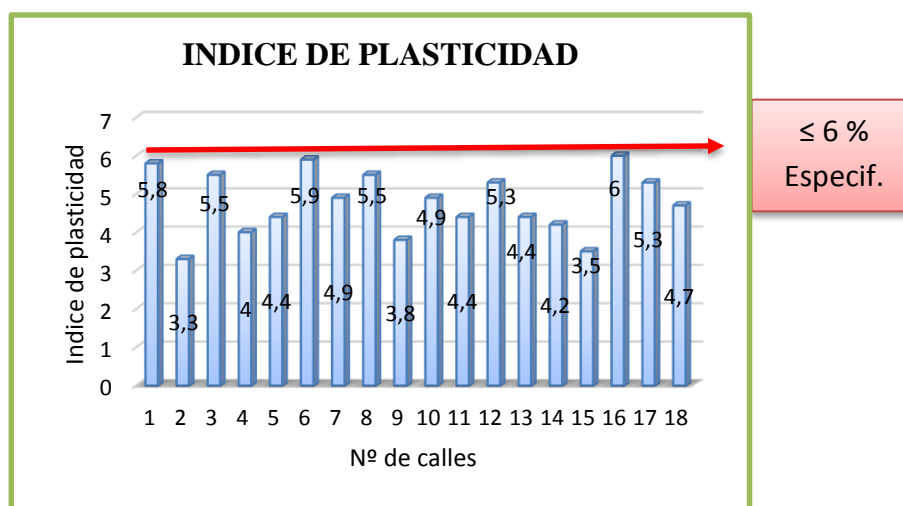
Fuente: Elaboración propia



De acuerdo al análisis granulométrico realizada en las 15 calles de estudio se verifica que el porcentaje utilizado en la dosificación por la empresa de 10% de ligante y 90 % de material granular cumple las especificaciones de norma para una sub base ya que estas entran en las fajas de control.

### Índice de plasticidad

**Grafica 4.19.** Índice de plasticidad de la Sub base



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica como se puede observar los resultados nos dan valores diferentes esto puede ser por la extracción de la muestra ya que no siempre tendrán las mismas características en cada calle pero de acuerdo a las especificaciones del proyecto estos datos obtenidos cumplen al ser  $\leq 6\%$  Se verifica de igual manera al tener más material granular el índice de plasticidad va disminuyendo.

### Clasificación del suelo

En la clasificación de los suelos de acuerdo a los ensayos de control realizados se obtuvo la clasificación siguiente.

**Tabla 4.16.** Clasificación del suelo de la sub base

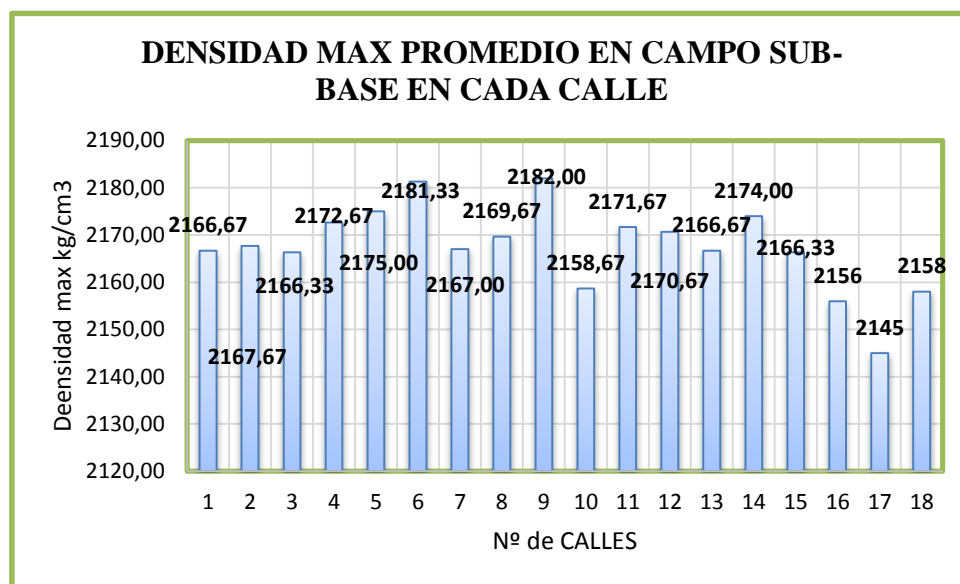
N°	Límites			Clasificación		
	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	IG
1	19,4	13,6	5,8	GP-GC	A-1a (0)	0
2	17,7	14,4	3,3	GP-GC	A-1a (0)	0
3	18,5	13,1	5,5	GP-GC	A-1a (0)	0
4	18,4	14,4	4,0	GP-GC	A-1a (0)	0
5	18,8	14,4	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
6	18,4	12,5	5,9	GP-GC	A-1a (0)	0
7	17,6	12,7	4,9	GP-GC	A-1a (0)	0
8	20,7	15,2	5,5	GP-GC	A-1a (0)	0
9	16,9	13,1	3,8	GP-GC	A-1a (0)	0
10	20,8	15,8	4,9	GP-GC	A-1a (0)	0
11	16,9	12,5	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
12	20,8	15,5	5,3	GP-GC	A-1a (0)	0
13	18,8	14,4	4,4	GP-GC	A-1a (0)	0
14	18,6	14,4	4,2	GP-GC	A-1a (0)	0
15	18,3	14,8	3,5	GP-GC	A-1a (0)	0
16	20,4	14,4	6,0	GP-GC	A-1a (0)	0
17	19,8	14,5	5,3	GP-GC	A-1a (0)	0
18	18,5	13,7	4,7	GP-GC	A-1a (0)	0

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la tabla 4.137. Los suelos en las respectivas calles nos da una clasificación según la norma AASHTO A- 1 a (0) y de acuerdo a la clasificación SUCS= GP-GC siendo aceptables para una sub base granular según normas, siendo un material de buena calidad ya son suelos con predominio de gravas con material fino bien graduado.

## Ensayo IN SITU

**Grafica 4.20.** Densidad max promedio en campo sub-base en cada calle



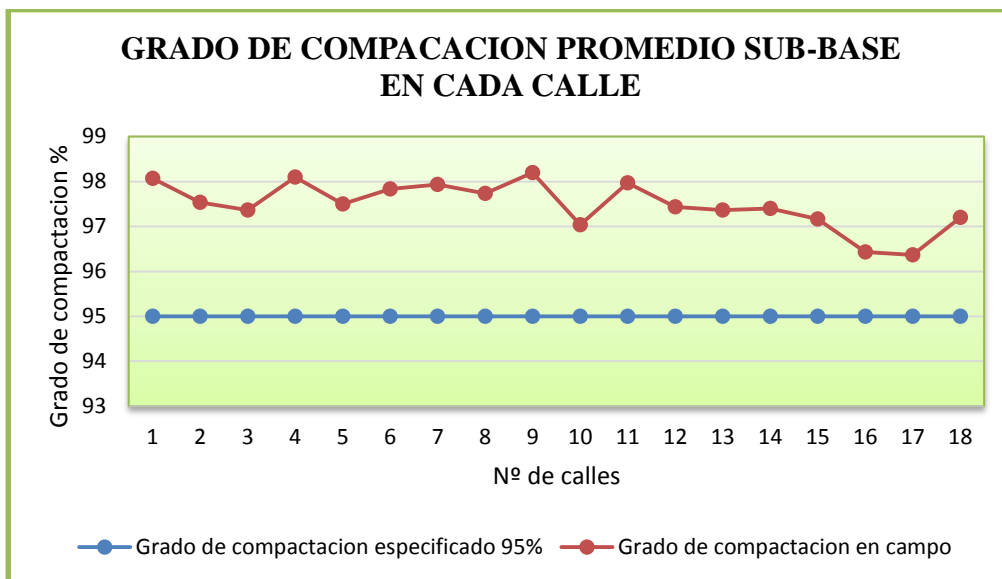
Fuente: Elaboración Propia

Al ser material granular las densidades que presenta el suelo para la sub base son mayores dando como resultados de (2158,67 a 2182) esto se da por la calidad que presenta siendo un suelo A-1a (0).

### Grado de compactación

Obtenido el grado de compactación de las diferentes calles del tramo en estudio se comparó con el porcentaje de control mínimo especificado 95% respecto a la densidad max obtenida en laboratorio y de acuerdo a la gráfica se puede observar que la compactación en campo cumplen con las especificaciones ya que nos dan resultados arriba del 95%.

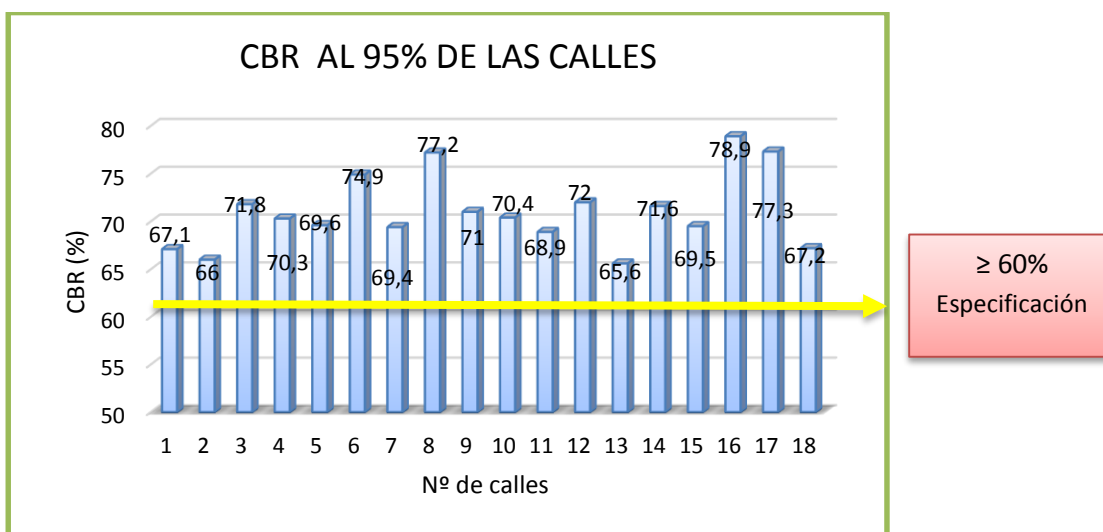
**Grafica 4.21.** Grado de Compactación promedio sub base



Fuente: Elaboración Propia

**Capacidad soporte del suelo (CBR)**

**Grafica 4.22.** CBR de la Sub base

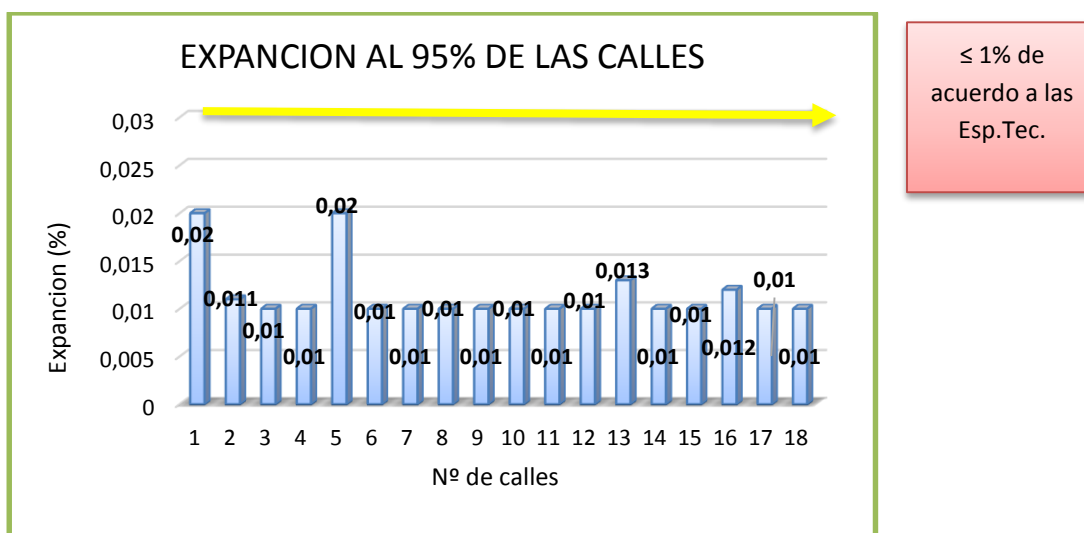


Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica los resultados de CBR al 95% nos dan valores de 65,6% el más bajo y el más alto un 77,2 % estando estos datos en el rango de aceptación donde las especificaciones nos pide un  $CBR \geq 60\%$ .

## Expansión

**Grafica 4.23.** Expansión en la Sub base



Fuente Elaboración Propia

Con el estudio realizado en las 15 calles las expansiones nos dan resultados bajos porque son materiales granulares y respecto a las especificaciones del proyecto cumplen ya que nos pide expansiones  $\leq 1\%$

## ❖ LOSA DE PAVIMENTO

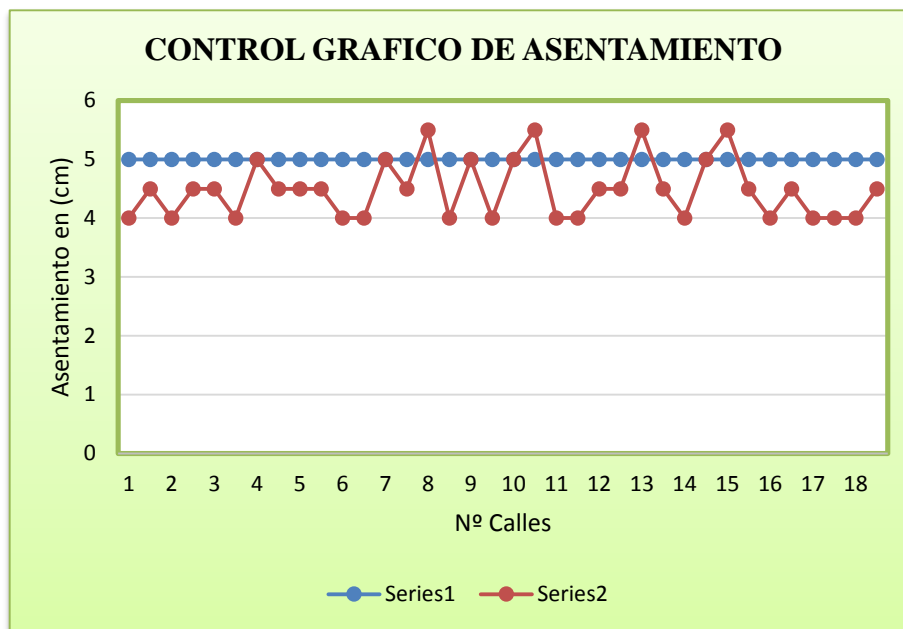
### Control de Dosificación

De acuerdo a la información que me proporciono la empresa encargada de la construcción de las 180 cuadras no fue una información detallada solo está el resumen en cuadros las características de los agregados y la dosificación que se utilizó de esta forma para comprobar los resultados realice los ensayos correspondientes a los agregados gruesos y finos Ver anexo III.

## Control de asentamiento

El control de asentamiento se lo realizo en el momento de vaciado del hormigón

**Grafica 4.24.** Control de asentamiento



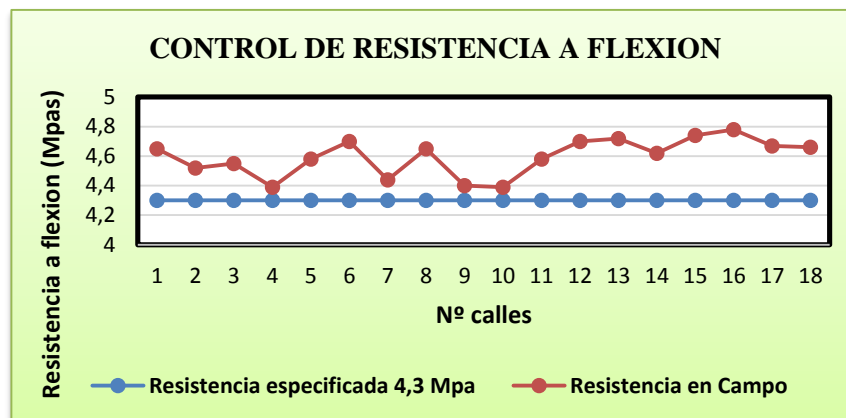
Fuente Elaboración Propia

Como se puede observar en la gráfica 4.78 donde nos muestra asentamientos de (4 a 5.5cm), donde nos muestra que en algunas calles no cumplen con las especificaciones ya que nos da un rango de 5cm por el cual se debe tener mucho cuidado en el momento de la dosificación.

## Resistencia a Flexión

Se observa en la gráfica 4.25. La resistencia a flexión de las vigas dando unos resultados Satisfactorios ya que cumplen con las especificaciones técnicas donde nos pide que sean mayor a 4,3Mpas. Esto nos permite verificar que los agregados utilizados tienen una buena Resistencia.

**Grafica 4.25.** Resistencia a Flexión

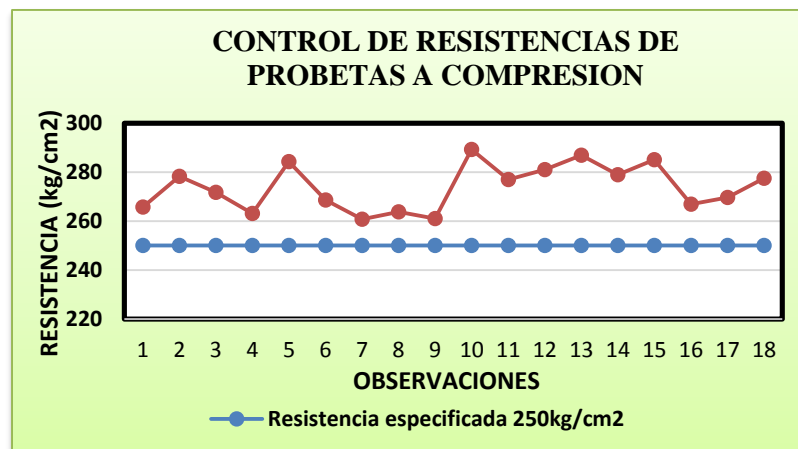


Fuente: Elaboración Propia

### Resistencia a Compresión

Como se puede Observar en la gráfica las roturas de probetas a compresión a los 28 días nos dan valores mayores a la resistencia especificada estando dentro del rango de la aceptación donde la Resistencia en campo nos dan valores de (260,8 a 289,3) siendo mayores a 250kg/cm<sup>2</sup>, esto nos refleja que hubo una buena dosificación y también se puede decir que los agregados obtenidos de los bancos de préstamo tienen una buena resistencia.

**Grafica 4.26.** Resistencia a Compresión



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- **Limite liquido Subrasante**

**Cuadro 4.13.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	20,4
<b>Varianza</b>	0,82
<b>D. Estándar</b>	0,94
<b>Coefficiente de Variación</b>	4,45

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

#### CRITERIO DE DECISIÓN

$X_c^2 \leq X^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$X_c^2 > X^2$  EL AJUSTE ES MALO

$2,13 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados del límite líquido es de 86,77% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

Analizando estos resultados y con lo que especifica la estadística los resultados obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado el cual está dentro de lo que especifica la norma AASHTO para Carreteras secundarias los rangos que nos da la norma es de 80-95% de NC, por lo cual son resultados válidos.



De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 4,45% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Índice de Plasticidad Subrasante**

**Cuadro 4.14.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	6,6
<b>Varianza</b>	0,366
<b>D. Estándar</b>	0,758
<b>Coficiente de Variación</b>	11,48

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

#### CRITERIO DE DECISIÓN

$X_c^2 \leq X^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$X_c^2 > X^2$  EL AJUSTE ES MALO

$1,666 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados del Índice de plasticidad es de 81,8% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 11,48% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO que nos da rangos para ensayos de laboratorio de.

- **Densidad máxima en campo Subrasante**

**Cuadro 4.15.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	2150,73
<b>Varianza</b>	15,84
<b>D. Estándar</b>	1069
<b>Coefficiente de Variación</b>	13,54

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$       EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$       EL AJUSTE ES MALO

$1,9999 \leq 5,99$     “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 95,71% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 13,54% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Grado de Compactación Subrasante**

**Cuadro 4.16.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	97,3
<b>Varianza</b>	1,57
<b>D. Estándar</b>	0,58
<b>Coficiente de Variación</b>	0,59

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$       EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$       EL AJUSTE ES MALO

$3,5667 \leq 5,99$     “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 94,41% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 0,59% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Limite liquido Sub-base**

**Cuadro 4.17.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	18,71
<b>Varianza</b>	1,601
<b>D. Estándar</b>	1,27
<b>Coficiente de Variación</b>	6,76

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del CHI<sup>2</sup> los datos se ajustan con una significación del 5%.

#### CRITERIO DE DECISIÓN

$X_c^2 \leq X^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$X_c^2 > X^2$  EL AJUSTE ES MALO

$2,5687 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados del límite líquido es de 88% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 4,46% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Índice de Plasticidad Sub-base**

**Cuadro 4.18.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	4,47
<b>Varianza</b>	0,38
<b>D. Estándar</b>	0,62
<b>Coefficiente de Variación</b>	13,9

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$X_c^2 \leq X^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$X_c^2 > X^2$  EL AJUSTE ES MALO

$4,568 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados del Índice de plasticidad es de 84% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 13,9% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO que nos da rangos para ensayos de laboratorio de.

- **Densidad máxima en campo Sub-base**

**Cuadro 4.19.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	2170,42
<b>Varianza</b>	310,84
<b>D. Estándar</b>	17,63
<b>Coefficiente de Variación</b>	0,81

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$       EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$       EL AJUSTE ES MALO

$1,876 \leq 5,99$     “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 85% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 0,81% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Grado de Compactación Sub-base**

**Cuadro 4.20.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	97,63
<b>Varianza</b>	0,68
<b>D. Estándar</b>	0,83
<b>Coficiente de Variación</b>	0,84

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$       EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$       EL AJUSTE ES MALO

$3,5667 \leq 5,99$     “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 84% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 0,84% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Resistencia a flexión**

**Cuadro 4.21.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	5,577
<b>Varianza</b>	0,017
<b>D. Estándar</b>	0,133
<b>Coefficiente de Variación</b>	2,918

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

#### CRITERIO DE DECISIÓN

$\chi_c^2 \leq \chi^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$  EL AJUSTE ES MALO

$1,988 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 86% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 2,918% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.



- **Resistencia a Compresión**

**Cuadro 4.22.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	274,35
<b>Varianza</b>	99,64
<b>D. Estándar</b>	9,98
<b>Coefficiente de Variación</b>	3,63

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$  EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$  EL AJUSTE ES MALO

$2,199 \leq 5,99$  “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 88% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 3,63% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

- **Resistencia realizada con el esclerómetro**

**Cuadro 4.23.** Parámetros estadísticos

<b>Media</b>	269,954
<b>Varianza</b>	24,270
<b>D. Estándar</b>	4,926
<b>Coefficiente de Variación</b>	1,824

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al método empleado del  $\chi^2$  los datos se ajustan con una significación del 5%.

**CRITERIO DE DECISIÓN**

$\chi_c^2 \leq \chi^2$       EL AJUSTE ES BUENO

$\chi_c^2 > \chi^2$       EL AJUSTE ES MALO

$2,876 \leq 5,99$     “ok” BUEN AJUSTE

El nivel de confianza obtenido de los resultados de la densidad máxima es de 92% esto obtenido a través de probabilidades utilizando el método de distribución normal. Según especifica la estadística que mayor a 80% se considera que los valores obtenidos tienen un nivel de confianza adecuado los cuales están dentro del rango de criterios que especifica la bibliografía.

De acuerdo al coeficiente de Variación nos da un resultado 1,824% este resultado significa que no existe mucha variación entre datos el cual está dentro de los parámetros de norma AASHTO.

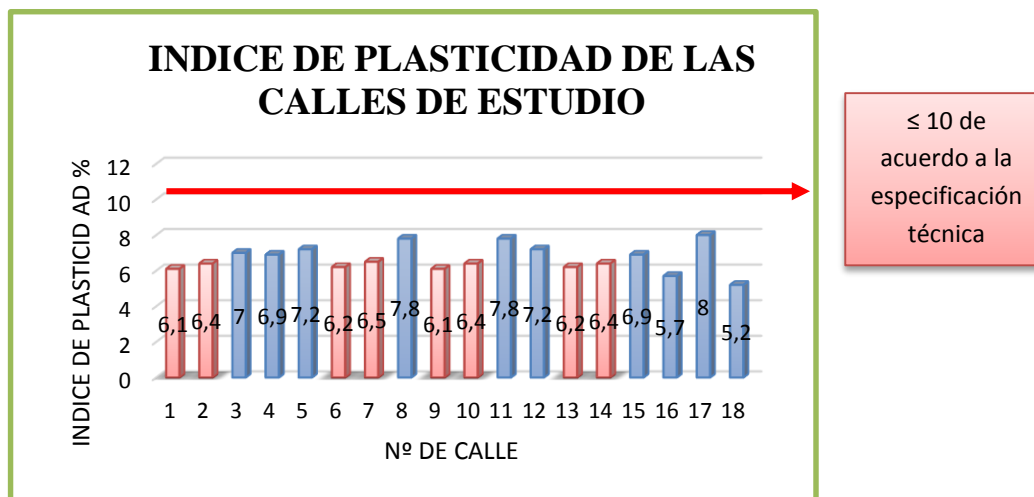
## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.CONCLUSIONES

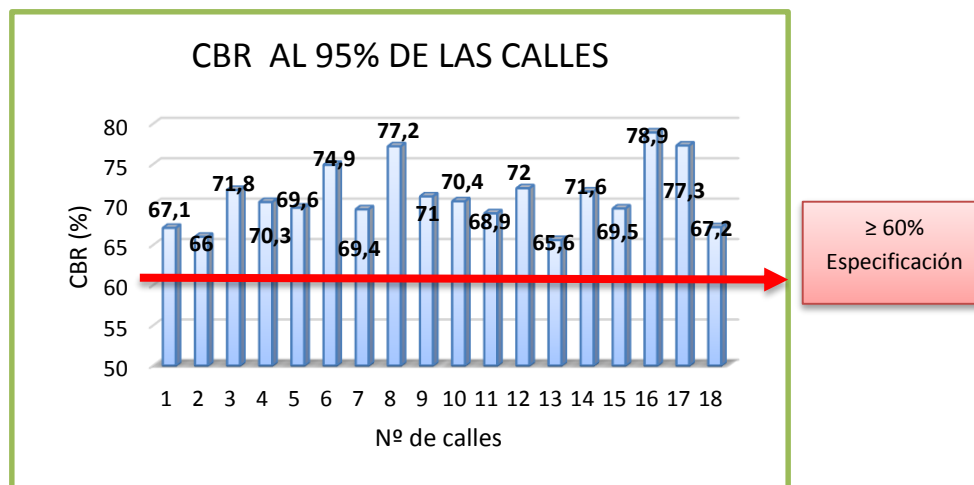
- Pese a haber alcanzado los objetivos propuestos corresponde aclarar que el control de calidad no es una receta si no que es una secuencia de planes de control en obras viales en estricto seguimiento de las especificaciones contractuales y de acuerdo con las circunstancias prevalecientes, siempre un criterio ingenieril de los niveles de calidad exigidos para así poder efectuar los niveles de control adecuados y reales.
- Se identificó la zona de proyecto para realizar la aplicación correspondiente.
- Se realizó los ensayos d laboratorio y campo para poder conocer la calidad de los materiales utilizados en el pavimento rígido.
- De acuerdo al control de calidad de la subrasante los suelos encontrados son de clasificación A-1b y un A-2-4 siendo suelos aptos para esta capa de pavimento según las normas y especificaciones del proyecto.
- Los resultados del índice de plasticidad nos dan valores diferentes esto puede ser por la extracción de la muestra ya que no siempre tendrán las mismas características en cada calle pero de acuerdo a las especificaciones del proyecto estos datos obtenidos cumplen al ser 10% Se verifica de igual manera al tener más material granular el índice de plasticidad va disminuyendo, como se puede observar en la gráfica 4.27.

**Grafica 4.27. Índice de plasticidad**



- En el CBR de la subrasante de acuerdo a cada tipo de clasificación nos dan valores de (38 – 45,8) siendo mayor al 20% el cual cumple con las especificaciones técnicas el cual se demuestra que el material utilizado es de buena calidad.
- De resultados del control de calidad de la Sub base en la clasificación de los suelos nos da un tipo de suelo A-1 a (0) siendo de tipo granular el cual cumple con las normas y especificaciones del proyecto de esta manera la losa tendrá un buen soporte durante su vida útil.
- De acuerdo al grado de compactación obtenidos en campo los resultados en cada calle respectiva cumplen con lo especificado dando valores de (95,7-98,7) siendo mayores al 95%.
- En el CBR de la sub base al ser un suelo granular nos da valores satisfactorios cumpliendo las exigencias de las especificaciones donde nos da un rango de ser mayor al 60% de acuerdo a la gráfica se puede observar los resultados dando valores mayores al 60% esto nos demuestra que el material granular utilizado del río Bermejo (candado chico) tiene una buena resistencia.

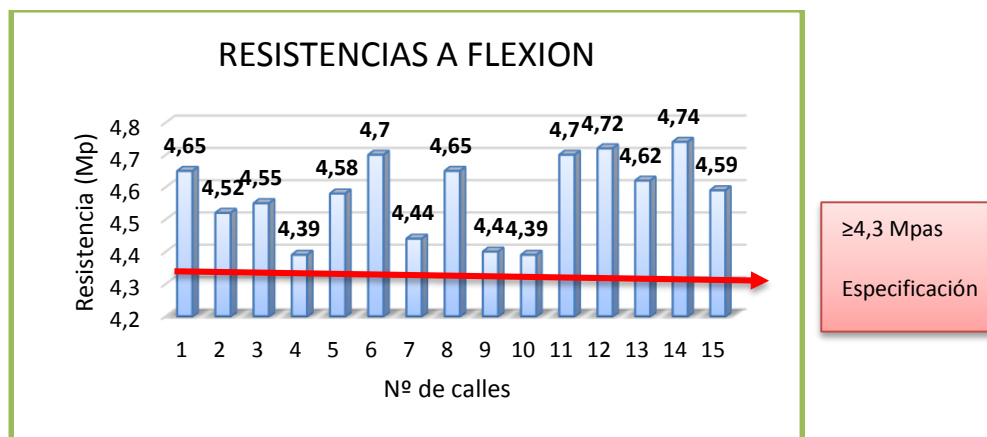
**Grafica 4.28. CBR al 95% de las calles**



Fuente: Elaboración propia

- En cuanto a la resistencia a flexión con la dosificación obtenida del proyecto cumple con las exigencias de las especificaciones dando una resistencia mayor a 4,3 Mpas como se puede observar en las grafica 4.29.

**Grafica 4.29. Control de Resistencia a flexión**



- Haciendo todo el control se demuestra que todos los materiales utilizados en la ejecución del proyecto cumplen con las especificaciones esperando así que durante su periodo de vida útil no sufra deterioros ni fallas.

- De acuerdo al análisis estadístico los resultados obtenidos en cada ensayo tienen un nivel de confianza del (80 -95%).

## **5.2.RECOMENDACIONES**

- En el análisis granulométrico del material de la sub base, si bien la curva granulométrica cumple con lo exigido según especificaciones técnicas se aprecia que esta se encuentra próximo al límite superior en la mallas inferiores a 75 mm, por lo tanto, se recomienda realizar una nueva dosificación de los materiales utilizados de tal manera que se tenga una mejor distribución.
- Se recomienda tener cuidado al hacer los ensayos de control ya que de esto dependerá si los materiales empleados en las diferentes capas cumplan con las especificaciones y normas establecidas.
- Al hacer la lectura de CBR hay que estar atentos en el momento de lectura ya que es un ensayo importante para saber la resistencia del material.
- En el momento de romper las vigas y probetas tener en cuenta que el equipo este bien calibrado ya que nos pueden dar resultados malos.
- Se recomienda realizar un control geométrico para poder verificar los espesores de cada capa.
- Para completar la calidad de la obra se recomienda tomar medidas preventivas y correctivas, de manera oportuna, planificando inspecciones periódicas al pavimento durante su servicio.

