

**CAPÍTULO I**  
**DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

# CAPÍTULO I

## DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

### 1. Cuerpo de la propuesta

#### 1.1. Introducción

Tarija es una ciudad que notablemente va aumentando su parque automotor y por lo consiguiente aumenta el desgaste de los pavimentos que al tiempo genera problemas en la vía denominados BACHES, estos se pueden generar por diversas causas ya sea una humedad considerable, el alto tráfico, un drenaje defectuoso y otros. Esto se sigue presentando hasta el día de hoy y seguirá en un futuro mientras no se encuentre otra solución que no sea el recapamiento total del tramo.

El crecimiento de la población y su parque automotor para vías antiguas sin evaluaciones ni estudios de capacidad de tráfico generan el desgaste rápido de estas ocasionando que varias partes empiecen como una falla (ondulación, agrietamiento, desprendimiento de los agregados, etc) y estas se conviertan en BACHES que traen como consecuencia daños costosos para los vehículos y hasta en ocasiones accidentes por esquivar los mismos.

Los diseños de las vías de Tarija se hicieron hace mucho tiempo atrás en donde el tráfico era moderado, manteniendo las vías más conservadas en el tiempo. En antecedentes de carreteras, una vía debe tener un desgaste uniforme hasta que cumpla su vida útil y obtener su mantenimiento general o recapado de toda la vía.

No se puede hoy en día prescindir de algún tramo de vía ya que prácticamente todas las calles de Tarija aportan en el movimiento del autotransporte de la ciudad. Es necesario identificar las patologías que generan esta falla para solucionar de manera eficaz los diferentes problemas que causan los baches en gran parte de la ciudad.

El presente trabajo propondrá una aplicación de un producto prefabricado con aditivos en lugares de la ciudad que tienen baches, para investigar su duración y su resistencia ante un producto local y casero de una mezcla asfáltica para bacheo.

El presente trabajo de investigación servirá como una base para futuros trabajos de investigación que deseen profundizar el estudio y establecer otro tipo de material o alternativas más novedosas para el BACHEO de las vías urbanas.

## **1.2. Justificación del proyecto**

Los procesos de crecimiento y expansión del parque automotor de la ciudad de Tarija traen consigo una serie de alteraciones en las vías urbanas que se agudizan hasta ocasionar fallas en la estructura superficial del pavimento estas fallas mejor conocidas como baches se hacen más grandes en el paso del tiempo ocasionando accidentes y daños a los vehículos.

Ante esta situación se hace necesario optar algunas alternativas nuevas de curado de baches, estas alternativas tienen que tener buenas características de resistencia y una aplicación adecuada en nuestro medio.

En la actualidad se hace el bacheo en la capital de Tarija, pero mientras en un lado se soluciona en otro lado aparecen nuevos, lugares donde ya fue solucionado. Algunos de esos problemas son la humedad y el no dejar secar su debido tiempo.

La alcaldía de Tarija en su Secretaría Municipal de Infraestructura y Servicios públicos de Tarija, realiza su mantenimiento rutinario de las calles, en donde se procede al bacheo correspondiente ante la aparición de estas fallas, pero en algunas ocasiones estas correcciones no tienen éxito y se vuelve a generar la falla agravando de manera considerable el paquete estructural del pavimento.

Este problema afecta en sí a toda la población que se desplaza en transporte público o cualquier tipo de vehículo ya que un conductor siempre tendrá que conducir evitando estas fallas, precautelando la integridad del vehículo y personas.

Los efectos negativos que causa este problema, son los accidentes a causa de muchas veces invadir carril para evitar las fallas, daños a los vehículos, embotellamiento en horas pico por la circulación lenta que causa estas fallas, daños personales, etc.

Sin un correctivo oportuno a la vía esta se degradará más y más hasta que un simple bacheo no solucionará el problema, sino tendrá que reponer toda la capa asfáltica la cual se verá afectada tanto económicamente como la circulación adecuada en la ciudad.

### **1.3. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1. Situación problemática**

En la ciudad esta problemática se encuentra relacionada con el aumento notable del parque automotor, situación que condiciona la capacidad de las calles y avenidas ocasionando un mayor desgaste de las mismas y generan posteriormente las fallas que generarán un aumento considerable en su precio de mantenimiento.

Se puede plantear tres aspectos relacionados con esta problemática: cantidad, calidad y servicio.

1: Cantidad: El aumento del parque automotor de Tarija hace que las calles se desgasten mucho más rápido y este desgaste o agotamiento genere fallas (baches) en las calles que en algunas ocasiones fueron dimensionadas sin tener en cuenta el aumento futuro de vehículos en la ciudad.

2: Calidad: las calles de la ciudad van perdiendo su calidad con el paso del tiempo el cual generara estos problemas que, sin un tratamiento correctivo, la función de las calles o avenidas no serán óptimas y por lo cual ocasionará problemas de movilidad dentro de la ciudad.

3: Servicio: el aumento de las calles en mal estado, imposibilita la correcta circulación de vehículos automotores como la circulación peatonal, que repercute directamente en la calidad del espacio urbano dando un mal aspecto a la ciudad tanto estético como funcionalmente hablando en el transporte de carga y personas.

#### **1.3.2. Problema**

¿Cuál es el comportamiento de bacheos realizados con BACHEFLEX (producto nuevo) y mezclas asfálticas convencionales en las calles de la ciudad de Tarija?

## **1.4. Objetivos de investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Aplicar y analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica, BACHEFLEX y de una mezcla convencional para la refacción de fallas (baches) producidas en la capa de rodadura de las calles de la ciudad de Tarija, basados en la aplicación de ambas mezclas asfálticas en las zonas seleccionadas para bacheo.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ❖ Realizar una revisión del estado de las diferentes calles de la ciudad.
- ❖ Investigar los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo y comprensión del tema en estudio.
- ❖ Realizar ensayos en laboratorio que demuestre alguna diferencia entre las dos mezclas asfálticas que se van a aplicar en la capa de rodadura a reparar, observando las propiedades de cada una y haciendo un análisis comparativo.
- ❖ Recolectar información pertinente sobre algún caso de aplicación de mezclas asfálticas para bacheo que permita plantear una alternativa de solución con un producto nuevo.
- ❖ Aplicar el producto BACHEFLEX Y MEZCLA CONVENCIONAL (producido en la alcaldía de la ciudad de Tarija) para el mantenimiento rutinario de las calles de la ciudad.
- ❖ Evaluar las incidencias técnicas y económicas que tendrá el uso y aplicación de un producto nuevo (BACHEFLEX) en los baches que presentan las distintas calles de Tarija ante una mezcla asfáltica convencional.
- ❖ Establecer conclusiones y recomendaciones basadas en los criterios del análisis y aplicación del producto BACHEFLEX y una mezcla convencional Tarijeña.

### **1.4.3. Hipótesis**

La utilización del producto BACHEFLEX y la mezcla asfáltica convencional para bacheo permitirá mejorar las propiedades físico-mecánicas de la capa de rodadura de las calles o avenidas de la ciudad de Tarija que se encuentran en mal estado debido a las fallas(baches) producidas por el aumento del parque automotor y otras condiciones adversas que causan

el deterioro igualmente que son objeto del estudio, estos productos serán analizados a partir de ensayos de laboratorio, así como su aplicación in situ en varias zonas de la ciudad.

#### **1.4.4. Variables**

##### **1.4.4.1. Variables dependientes**

- ❖ Estimación aproximada de asentamientos, cálculos de las deformaciones en función a la aplicación del producto.
- ❖ Mal estado de la capa de rodadura, mala dosificación de la carpeta de rodadura.

##### **1.4.4.2. Variables independientes**

- ❖ Parámetros de rigidez de la capa de rodadura, resistencia al desgaste, coeficiente de fricción.
- ❖ Aumento del parque automotor.
- ❖ Condiciones adversas (humedad, defectos constructivos, pérdida de base, pérdida de capa de rodadura, pérdida de agregados).

#### **1.5. Alcance del estudio de aplicación**

En el presente trabajo de estudio de aplicación se realizará un análisis de las dos mezclas asfálticas para bacheo, su alcance estará limitado a los siguientes puntos considerados necesarios y suficientes, para el cumplimiento a cabalidad de su objetivo y objetivos específicos:

- ❖ El alcance principal del trabajo estará dirigido hacia el análisis del comportamiento de las mezclas asfálticas producidas para bacheo, planteando dos productos de solución ante estas fallas, esto con el fin de demostrar la capacidad que tiene cada producto para solucionar estos problemas de diariamente aquejan a la población Tarijeña que usa algún automotor para transportarse de un lugar a otro dentro de la ciudad de Tarija.
- ❖ Adicionalmente se realizará un estudio en laboratorio, desarrollando estos ensayos se podrá determinar la resistencia, adherencia y otras propiedades comparativas de una mezcla BACHEFLEX y una mezcla convencional para bacheo.
- ❖ Una vez analizadas y estudiadas todas las ventajas y desventajas de las dos alternativas, podemos reconocer una mezcla que pueda soportar en las peores

condiciones de manera eficiente y así evitar por mucho más tiempo la aparición de fallas en los pavimentos de la ciudad.

- ❖ Se realizará el análisis de resultados respectivo referente a todo el trabajo de investigación realizado, determinando las conclusiones del trabajo, y lograr su aplicabilidad de estas alternativas para mitigar las fallas (baches) que cada vez más aparecen en las calles de Tarija.

## **1.6. Diseño metodológico**

### **1.6.1. Componentes**

#### **1.6.1.1. Unidades de estudio**

- ❖ **Unidad de estudio:** Calles y avenidas urbanas.
- ❖ **Población:** Los diferentes barrios de la ciudad de Tarija presentan varios problemas en sus calles, con la aparición o generación de fallas (baches) en su capa de rodadura, ya que con el gran crecimiento automotor y algunas otras adversidades que aportan al deterioro de la capa de rodadura muchas veces sobrepasan las solicitudes para la cual está diseñada la vía.
- ❖ **Muestra:** Se realizarán las muestras en zonas donde existan gran número de fallas (baches), donde se aplicarán los dos productos en estudio para realizar un análisis comparativo de las propiedades que demuestren su aplicación.
- ❖ **Muestreo:** El criterio de muestreo que se adoptara para conseguir la muestra una vez planteado la alternativa con mejores propiedades que se adecue y pueda solucionar los objetivos planteados en las calles con más cantidad de fallas (baches).

## **1.7. Métodos y técnicas empleadas**

Para la elaboración del presente trabajo de análisis se adopta un método aplicativo puesto que se aplicarán dos productos con una misma finalidad de corregir estas fallas en las capas de rodadura de diversos barrios de la ciudad.

Con un análisis de estas aplicaciones podemos determinar que producto tiene un mejor rendimiento y propiedades de durabilidad, almacenamiento y resistencia para solucionar un problema consecuente en la ciudad de Tarija.

## **1.8. Medios**

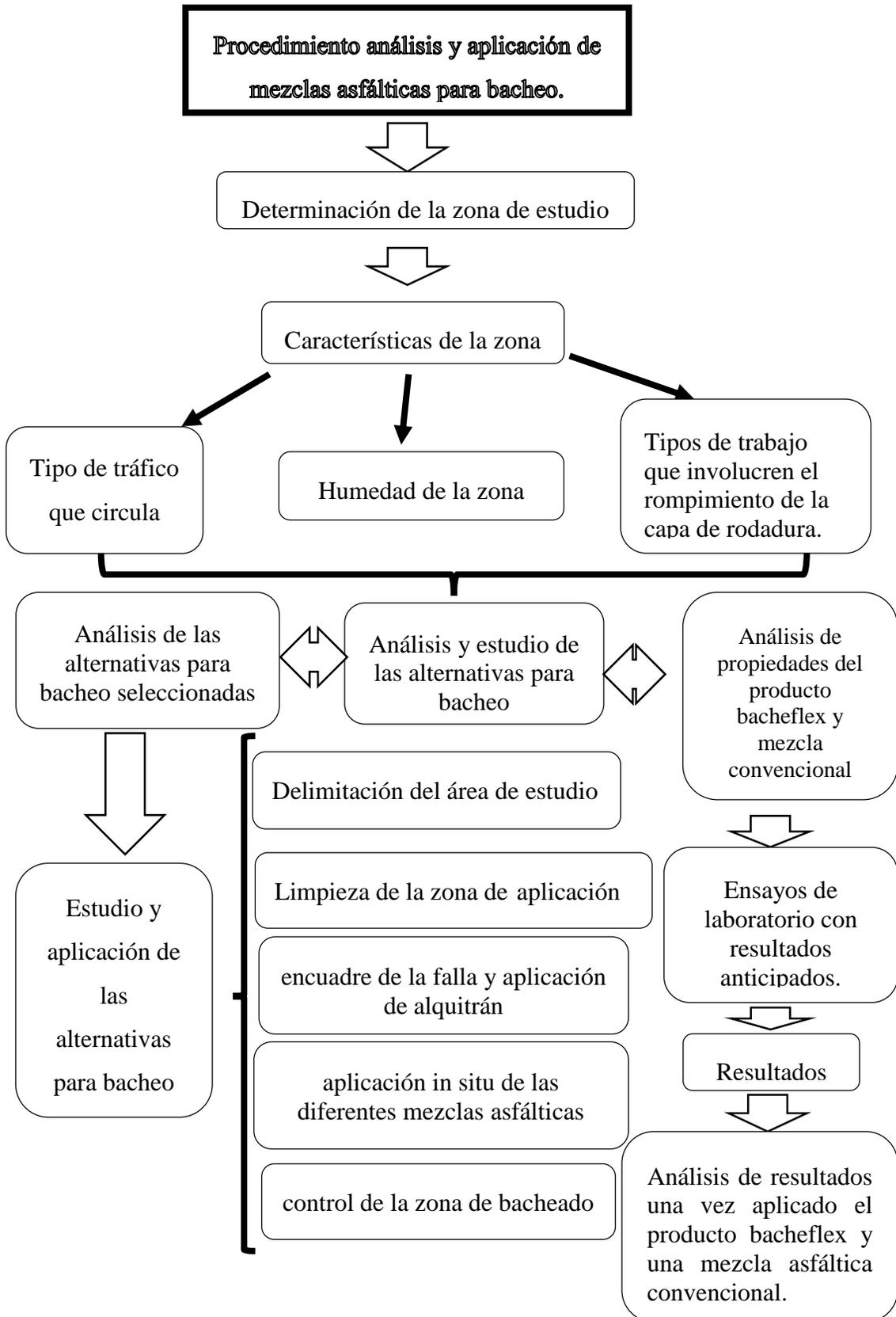
Los equipos necesarios para la recolección de datos para el presente trabajo de análisis son:

- ❖ Un mapa urbano de la zona de estudio.

## **1.9. Procedimiento de aplicación**

- ❖ Este estudio se lo realizará en un número determinado de calles de la ciudad de Tarija que tenga un número considerable de fallas (baches) y presenten los mismos.
- ❖ Se investigará todas las características del lugar donde se realizará el estudio de aplicación.
- ❖ Se estudiará las dos alternativas de aplicación del producto BACHEFLEX y una mezcla convencional, que puedan adecuarse a la zona de estudio y solucionar los problemas existentes por varios factores.
- ❖ Con este estudio podemos determinar que las alternativas planteadas son una solución al problema de aparición de baches debido a la gran cantidad de automotores que se incrementaron los últimos años.
- ❖ Con un análisis de todo este proceso, podemos concluir que estas dos alternativas planteadas son capaces de realizar el control y evitar durante un tiempo la aparición o generación de fallas en la capa de rodadura de una vía mejor conocidos como baches.

### 1.9.1. Flujograma de la metodología aplicada



### **1.10. Procedimiento descriptivo**

- ❖ Para realizar este estudio de aplicación se tomará como instrumento principal los planos urbanos, mediante los cuales podremos tener una representación gráfica de la zona de estudio. Con esa información podremos determinar propiedades y características de las calles donde plantear las dos alternativas en estudio.
- ❖ Una de las condiciones indispensables que debe tener la zona es que presente problemas o fallas (baches) ya sea por alto tráfico vehicular o adversidades que también aporten en su deterioro. Una de las condiciones para la aplicación es que la zona tenga espacios y fallas para poder aplicar las mezclas asfálticas y obtener así resultados que reflejen el objetivo del presente trabajo.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2. Referencia teórica

##### 2.1. Definición de mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compacta.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por esta.

La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito.

Debe ser resistente a las solicitaciones de tránsito a través de su estabilidad.

Debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos.

Debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los

componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

## **2.2. Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes**

Las mezclas asfálticas sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura.

Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

## **2.3. Aspectos preocupantes para el usuario en la aplicación de mezclas asfálticas en pavimentos**

- ❖ La adherencia del neumático al firme.
- ❖ Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
- ❖ El desgaste de los neumáticos.
- ❖ El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
- ❖ La comodidad y estabilidad en marcha.
- ❖ Las cargas dinámicas del tráfico.
- ❖ La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
- ❖ El envejecimiento de los vehículos.
- ❖ Las propiedades ópticas

Como resumen, se puede decir que, en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- ❖ Estabilidad.

- ❖ Durabilidad.
- ❖ Resistencia a la fatiga

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- ❖ Resistencia al deslizamiento.
- ❖ Regularidad.
- ❖ Permeabilidad adecuada.
- ❖ Sonoridad.
- ❖ Color, entre otras.

#### **2.4. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura**

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario.

#### **2.5. Clasificación de las mezclas asfálticas**

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas.

Las clasificaciones de las mezclas asfálticas se resumen en la tabla siguiente:

**Tabla 2. 1** Clasificación de mezclas asfálticas.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frio
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas (h<6%)
	Semicerradas (6%<h<12%)
	Abiertas (h>12%)
	Porosas (h>20%)
Tamaño máximo del agregado ( t máx)	Gruesas ( t máx > 10 mm)
	Finas ( t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

**Fuente:** es.slideshare.net

### 2.5.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado

- ❖ **Masilla asfáltica:** Polvo mineral más ligante.
- ❖ **Mortero asfáltico:** Agregado fino más masilla.
- ❖ **Concreto asfáltico:** Agregado grueso más mortero.
- ❖ **Macadam asfáltico:** Agregado grueso más ligante asfáltico

### 2.5.2. Por la temperatura de puesta en obra

- ❖ **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos.
- ❖ **Mezclas asfálticas en Frío:** El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

### 2.5.3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- ❖ **Mezclas Cerradas o Densas:** La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- ❖ **Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas:** La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- ❖ **Mezclas Abiertas:** La proporción de vacíos supera el 12 %.
- ❖ **Mezclas Porosas o Drenantes:** La proporción de vacíos es superior al 20 %.

#### **2.5.4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo**

- ❖ **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- ❖ **Mezclas Finas:** También llamadas morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

#### **2.5.5. Por estructura del agregado pétreo**

- ❖ **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable.
- ❖ **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

#### **2.5.6. Por granulometría**

- ❖ **Mezclas Continuas:** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- ❖ **Mezclas Discontinuas:** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico

### **2.6. Mezcla asfáltica en caliente**

Se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agrega dos incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas

las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante.

Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante.

Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla.

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra.

### **2.7. Mezcla asfáltica en frío**

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante.

### **2.8. Características de las Capas de Rodadura**

La capa de rodadura es un tratamiento superficial no muy espeso, ya que es menor a los 4 centímetros, conformado por una mezcla de agregados pétreos y asfalto. Dicha capa se puede producir en frío o en caliente, y tiene como finalidad el proteger la superficie del pavimento de los agentes externos que pudieran causarle daño.

Además, esta capa es un elemento extra en materia de seguridad, pues mejora la textura, la fricción y visibilidad del pavimento. También disminuye el ruido y facilita el desalojo rápido del agua de lluvia. Sin olvidar que resiste deformaciones y distribuye uniformemente las cargas de tránsito.

## **2.8.1. Tipos de capas de rodadura**

### **2.8.1.1. Capa de riego de sello**

Su objetivo es restablecer o mejorar la resistencia ante un derrapamiento, así como la seguridad de la superficie de rodadura. Si el material de la carretera tiene un alto rebote elástico se recomienda construir este tipo de tratamiento superficial sobre la base hidráulica. Una capa de riego de sello no se debe colocar sobre carpetas nuevas. En el caso de las carpetas con muchas grietas se puede utilizar como tratamiento de espera.

### **2.8.1.2. Mortero asfáltico**

Está conformado por materiales pétreos de granulometría fina. Por lo regular, tiene un grosor de 1 a 2 centímetros y se coloca sobre las carpetas asfálticas para evitar que los vehículos se derrapen y como medida extra de seguridad. También se utiliza para corregir desprendimientos menores de la carpeta asfáltica.

### **2.8.1.3. Stone Mastic Asphalt (SMA)**

Dicha capa está conformada por agregados pétreos, en algunos casos por asfalto modificado y fibra de celulosa. Es común que se coloque sobre capas de mezcla asfáltica para proporcionar una superficie de rodadura uniforme, la cual no almacene agua y de esa forma se evite que los autos y otros vehículos se derrapen.

La capa SMA contiene mayor cantidad de asfalto en comparación con otro tipo de mezclas asfálticas, lo cual favorece que su envejecimiento sea más lento. Además, contiene una gran cantidad de gruesos.

### **2.8.1.4. Capa de textura abierta**

Al igual que la SMA esta capa también está conformada por agregados pétreos y en ciertos casos por asfalto modificado, pero tiene una granulometría abierta con bajo contenido de finos. Sus funciones principales son las de proporcionar una superficie de rodadura uniforme, cómoda y segura. Lo más recomendable es colocarla en caminos donde las precipitaciones pluviales sean superiores a los 800 mm al año.

Los criterios más comunes para seleccionar la capa de rodadura de un proyecto carretero son el aspecto económico y el funcional; priorizando el rango del tránsito que tendrá la obra, la velocidad de proyecto de la carretera, cantidad de lluvia y vida útil.

Además se debe considerar:

- ❖ El tiempo de vida que se requiere para la capa.
- ❖ Características de confort y seguridad.
- ❖ La experiencia previa que se haya tenido con cada tipo de capa.

### **2.8.2. Función de la capa de Rodadura**

Su función primordial será la de proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, además evita que se desgaste o desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

En el caso de los pavimentos flexibles, está constituida por un material pétreo, al que se adiciona un producto asfáltico que tiene por objeto servir de aglutinante. Esta capa transmite las cargas inducidas por el tráfico hacia la capa de base en la que se apoya, además que provee una superficie adecuada para el rodamiento del tráfico. También debe poseer la menor permeabilidad posible, con el fin de que el agua superficial drene en su mayor parte sobre ésta, reduciendo la cantidad de agua que llegue a la base. En general, la carpeta de rodamiento de mayor calidad se construye con mezcla asfáltica producida y colocada en caliente.

### **2.9. Análisis de la falla estructural del estudio**

Los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura, frecuentemente corresponden a defectos constructivos y difícilmente pueden clasificarse como deterioros.

Los deterioros de pavimentos como los desprendimientos (BACHES), son considerados de relevancia en la estructura del pavimento y existen 3 tipos de Pérdida además de deterioros por defectos constructivos que se lo muestran en las tablas siguiente:

### 2.9.1. Pérdida de agregados (calaveras o surcos).

**Tabla 2. 2.** Deterioro por pérdida de agregados (calaveras o surcos).

Deterioro	Deterioros de la Superficie		
	Desprendimientos.		
<b>a) Pérdida de agregados ( calaveras o surcos)</b>			
Descripción	Desprendimiento de agregados pétreos en superficie.		
	De tratamientos superficiales:		De capas asfálticas:
	Pérdida parcial del agregado dejando expuestas áreas aisladas de la capa de apoyo.		Pérdida en la superficie de los agregados de capas asfálticas con espesor mayor de 5 cm.
Imagen o aspecto superficial			
Evaluación	Proporción del area afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.		
	Ligero	Ligero < 5%	Ligero < 5%
	Medio	5% < Medio < 30%	5% < Medio < 10%
	Fuerte	30% < Fuerte	10% < Fuerte
Frontera y tipo de intervención	Ligero	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario.
	Medio	Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico.	Reposición del material perdido y tratamiento superficial, en mantenimiento periódico.
	Fuerte		Sobrecapa asfáltica > 5 cm.
Causas comunes	Esparcido irregular del ligante (asfalto).		
	Ligante inadecuado.		
	Agregado pétreo (árido) inadecuado por falta de adherencia (afinidad) en el ligante (asfalto).		
	Agregado sucio, con polvo adherido.		
Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del ligante (asfalto).			

**Fuente:** El Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica- Catálogo de deterioros.

## 2.9.2. Pérdida de la capa de rodadura (peladura)

**Tabla 2. 3.** Pérdida de la capa de rodadura (peladuras).

Deterioro	Deterioros de la Superficie	
		Desprendimientos.
	<b>a) Pérdida de capa de rodadura ( peladuras).</b>	
Descripción	Desprendimiento de la ultima capa delgada, de tratamientos superficiales tales como:	
	Lechadas (Slurry Seal).	
	Microcarpetas (1 a 2 cm).	
	Capas de rodadura (carpetas) de 2 a 3 cm.	
Imagen o aspecto superficial	Sobrecapas o Sobrecarpetas delgadas de 3 a 5 cm.	
		
Evaluación	Proporción del area afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	Ligero < 5%	
	5% < Medio < 30%	
	30% < Fuerte	
Frontera y tipo de intervención	Ligero	Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo.
	Medio	Nuevo tratamiento superficial en mantenimiento periódico. Generalmente se requiere un doble tratamiento.
	Fuerte	
Causas comunes	Limpieza insuficiente previas al tratamiento superficial.	
	Esparcido heterogéneo del ligante (asfalto).	
	Ligante inadecuado.	
	Dosificación árido (pétreo)- ligante (asfalto) inadecuada.	
	Colocación con lluvia o exceso de agua en la capa de apoyo, que produce delaminación.	
	Compactación deficiente (si procede).	
	Fraguado incompleto después de apertura al tránsito.	
Envejecimiento del ligante (asfalto).		

**Fuente:** El Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica- Catálogo de deterioros.

### 2.9.3. Pérdida de base (calavera o bache superficial)

**Tabla 2. 4.** Pérdida de base (calavera o bache superficial).

Deterioro	<b>Deterioros de la Superficie</b>	
	Desprendimientos.	
<b>a) Pérdida de base ( calavera o bache superficial)</b>		
Descripción	Desprendimiento del material de la base en la que se apoya la capa de rodadura (carpeta) después de la pérdida de ésta; generalmente en bases no tratadas (hidráulicas).	
Imagen o aspecto superficial		
Evaluación	Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m, por banda de circulación.	
	Ligero < 5%	
	5% < Medio < 30%	
	30% < Fuerte	
Frontera y tipo de intervención	Ligero	Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo.
	Medio	Base sin tratar: Recuperación, reperfilado y recompactación de la base.
	Fuerte	Base tratada: Colocación de una capa correctiva (carpeta reniveladora) y una nueva capa de rodadura ( carpeta o tratamiento superficial).
Causas comunes	Insuficiente penetración (<0.5 cm) del riego de imprimación en bases hidráulicas).	
	Dosificación insuficiente de ligante (asfalto) en bases tratadas con cemento asfáltico, aplicado en caliente, diluido o emulsificado.	
	Ligante (asfalto) inadecuado o de mala calidad.	
	Espesor insuficiente de la capa de rodadura (carpeta)	

**Fuente:** El Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica- Catálogo de deterioros.

## 2.9.4. Deterioros por defectos constructivos

**Tabla 2. 5.** Deterioro por defecto constructivo- instalaciones

Deterioro	<b>Deterioros por defectos constructivos.</b>
Descripción	Deterioros que se producen por defectos en la construcción de instalaciones bajo pavimentos. Siguen un patrón bien definido en concordancia con la instalación. Se muestran como hundimientos localizados, grietas longitudinales o transversales, etc.
Imagen o aspecto superficial	
Evaluación	Aplica el criterio según el tipo de deterioro.
Frontera y tipo de intervención	Aplica lo correspondiente al tipo de deterioro y su categoría.
Causas comunes	<p>Inadecuado relleno de zanjas abiertas para colocar instalaciones o equipamientos.</p> <p>Inadecuada estructura del pavimento sobre relleno de zanjas.</p> <p>Materiales inadecuados en el relleno de zanja y en el pavimento sobre él.</p>

**Fuente:** El Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica- Catálogo de deterioros.

## 2.10. Requisitos que deben cumplir los materiales

### 2.10.1. Agregados pétreos

El material granular no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco deben dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El agregado pétreo debe ser obtenido por trituración.

**Tabla 2. 6** Condiciones que debe cumplir los agregados pétreos.

Condiciones que deben cumplir los agregados pétreos.		
Parámetro	Tránsito pesado (ESAL > 10E)	Tránsito pesado (ESAL < 10 E)
Desgaste de los Angeles (1).	<= 35	<= 40
Contenido de materia orgánica.	<= 1 %	<= 1 %
Contenido de sulfatos solubles.	<= 0.5 %	<= 1 %

ESAL = Número de ejes equivalentes en efecto destructivo de un eje de 8.16 toneladas respecto al tránsito real.

**fuentes:** Mezclas asfálticas en frío para bacheo-slideshare.net

### 2.10.2. Filler o material de relleno

En caso de ser necesario, se puede suplir el polvo mineral que aporten el árido grueso y fino, con un producto comercial o especialmente preparado, cuya misión sea acelerar el proceso de rotura de la emulsión o activar la consecución de la cohesión. La cantidad de relleno mineral que se emplee debe de tomarse como parte de la granulometría

Los productos empleados como filler; cemento portland o cal hidratada, deben cumplir con lo establecido en la especificación general “Rellenos Minerales de Aporte para Mezclas Asfálticas – Edición I 2007”. No se permite el empleo de limos como relleno mineral.

La densidad aparente del polvo mineral, debe estar comprendida entre cinco y once décimas de gramo por centímetro cúbico (0.5 a 1.1 g/cm<sup>3</sup>) (0.018 a 0,0397 lb/pul<sup>3</sup>).

### **2.10.3. Materiales especiales de aporte**

La especificación complementaria puede indicar la utilización del producto resultante de la trituración de llantas neumáticas usadas. Para ello las emulsiones bituminosas a emplear pueden ser fabricadas con ligantes modificados por adición de polvo llantas neumáticas usadas.

### **2.10.4. Ligantes asfálticos**

En la elaboración de mezclas asfálticas en frío se debe emplear emulsión asfáltica o emulsión asfáltica modificada con polímero.

### **2.10.5. Agua**

El agua que se utilice para el mezclado, debe ser razonablemente limpia, libre de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, vegetales u otras sustancias perniciosas para el producto terminado. El agua debe ser verificada acorde a lo indicado en la especificación AASHTO T 26; el agua nominada potable puede ser empleada sin ser sometida a ensayos. Cuando la fuente de agua sea poco profunda, deben tomarse las precauciones que sean necesarias para excluir el limo, barro, u otras sustancias deletéreas.

### **2.10.6. Aditivos**

Los aditivos que se utilicen para regular la rotura de la emulsión empleada deben ser compatibles con los agentes emulsionantes utilizados en la fabricación de la emulsión. Pueden ser introducidos y mezclados con el agua, bajo control en el campo, para brindar un manejo efectivo de las propiedades requeridas para rompimiento de la emulsión y curado de la mezcla. El fabricante o proveedor de la emulsión debe de tener disponibles dichos aditivos líquidos, y debe certificar que éstos son compatibles con la mezcla asfáltica en frío.

### **2.10.7. Granulometrías**

En la tabla siguiente se indican los husos granulométricos a emplear en la ejecución de mezclas asfálticas aplicadas en frío:

**Tabla 2. 7 Husos Granulométricos.**

<b>Husos Granulométricos</b>						
Tamiz	Tipo de mezcla - Tamaño máximo en mm.					
	Densas			Abiertas		
	12	19	25	12	19	25
38 mm (1 1/2 ")			100			100
25.4 mm (1")		100	80-95		100	65-95
19 mm (3/4 ")	100	80-95		100	65-90	
12.7 mm (1/2 ")	80-95		62-77	65-90		30-55
2 mm (N° 10)	32-45	32-46	32-45	4-19	4-19	4-19
149 µm (N° 100)	8-15	8-15	8-15	3-8	3-8	3-8
74 µm (N°200)	3-8	3-8	3-8	0-4	0-4	0-4

**Fuente:** Mezclas asfálticas aplicadas en frío para bacheo-slideshare.net.

NOTA: los husos granulométricos corresponden a los vigentes en la dirección nacional de vialidad de la República Argentina.

#### **2.10.8. Condiciones de acopio de los materiales.**

El volumen mínimo de acopio de áridos antes de iniciar la fabricación de la mezcla asfáltica en frío, no debe ser inferior al cincuenta por ciento (50 %) del total de la obra o al volumen correspondiente a un mes de trabajo.

En caso de que la Supervisión de los trabajos juzgue necesario, puede requerir al Contratista la humectación de los áridos antes de su empleo.

Los requisitos que deben cumplir los áridos para el aprovisionamiento y acopio son los que se establecen en la tabla siguiente.

**Tabla 2. 8** Requisitos para el aprovisionamiento y acopio de áridos.

<b>Requisitos para el aprovisionamiento y acopio de áridos.</b>	
<b>Característica</b>	<b>Requisitos</b>
Procedencia de los agregados.	Pueden ser naturales o artificiales, siempre que cumplan las exigencias establecidas en esta especificación y en la especificación técnica general " Agregados Pétreos para la Mezclas Asfálticas" o la complementaria de la presente. Cuando se detecten anomalías en el suministro de los áridos, se debe proceder a su acopio por separado hasta confirmar su aceptabilidad. De la misma forma se debe proceder cuando se autorice el cambio de procedencia o cambio de frente de explotación.
Área de acopio	Los lugares destinados al acopio de los agregados pétreos deben presentar una superficie de apoyo libre del suelo vegetal y de cualquier otra materia extraña, que pudiera contaminar las distintas fracciones acopiadas. El área de los planteles de acopio debe estar limpia, uniforme, relativamente plana y con drenaje adecuado.
Volumen de acopios	La especificación complementaria o, en su defecto, la Supervisión de las obras puede fijar el volumen mínimo de acopios exigible.
Acopios de fracciones	Cada fracción debe acopiarse por separado de acuerdo a su tamaño y/o procedencia y en alturas hasta 3m. Se deben acopiar en pilas lo suficientemente separadas entre sí de manera de evitar intercontaminaciones. La forma y la altura de los acopios debe ser tal que se minimicen las segregaciones en los tamaños. Las fracciones finas deben tener una ubicación relativa al resto de las pilas de manera que, en función de los vientos dominantes del lugar, la contaminación que puedan generar a las demás sean menores posibles. Las partes de los acopios que hayan resultado contaminadas no deben ser empleadas en la ejecución de tratamientos bituminosas y sellados. En tal caso debe procederse al retiro de dichas partes del plantel. No se permite el empleo de los materiales de los 10 cm inferiores de los acopios, ni los agregados que se hayan contaminado con materiales indeseables.

**Fuente:** Mezclas asfálticas en frío para bacheo-slideshare.net

## **2.11. Requerimientos constructivos.**

### **2.11.1. Alternativas de diseño y ejecución**

Atendiendo a la limitada experiencia presente dentro de la Repartición para este tipo de mezclas, el Contratista puede proponer los cambios que considere necesarios en relación con la composición y características de la mezcla, su elaboración, distribución,

compactación y todo el proceso constructivo en general, siempre que con ello se mantenga o supere la calidad exigida.

### **2.11.2. Espesores constructivos**

La tabla siguiente indica los valores recomendados para el espesor de las capas en función del tamaño máximo del agregado pétreo empleado.

**Tabla 2. 9** Espesores Constructivos.

<b>Espesores Constructivos</b>	
Tamaño máximo del agregado pétreo.	Espesor recomendado para la capa.
12.7 mm (1/2")	<= 4 cm (1.57")
19 mm (3/4")	4 a 6 cm (1.57 a 2.36 ")
25.5 mm (1")	> 6 cm (2.36")

**Fuente:** mezclas asfálticas para bacheo-slideshare.net

### **2.11.3. Equipos**

No se debe utilizar en la ejecución de la mezcla asfáltica en frío, ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por la Supervisión de las obras, después de la ejecución del tramo de prueba.

La maquinaria y todos los equipos complementarios que se emplean para desarrollar los trabajos, debe de mantenerse siempre en condiciones óptimas de trabajo.

#### **2.11.3.1. Equipos para la preparación de la mezcla**

Los equipos de mezclado deben ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

En los casos de reparación y/o reconstrucción de tramos localizados o aislados, la Supervisión puede autorizar la realización del mezclado "in situ", en esa situación también se puede permitir el extendido del material mediante equipos menores y herramientas de mano.

### ❖ **Mezcla con planta estacionaria**

Los materiales deben ser mezclados en un mezclador capaz de incorporar el agua para proveer el contenido de humedad apropiado para la compactación y un mezclado homogéneo. La instalación debe permitir dosificar por separado, las distintas fracciones de árido, emulsión, agua y aditivos en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo.

Las tolvas para los áridos deben tener paredes resistentes y estancas, bocas de ancho suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente. Deben estar provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, que evite que un exceso de contenido afecte al funcionamiento del sistema de dosificación. Las tolvas deben contar con separadores que eviten contaminaciones entre ellas. Deben estar provistas a su salida, de dispositivos ajustables de dosificación.

La carga de las tolvas se debe realizar de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el cincuenta y el cien por cien (50 a 100 %) de su capacidad, sin desbordes. En las operaciones de carga se deben observar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones entre los materiales.

### ❖ **Planta ambulo operante**

Los materiales deben ser colocados con un distribuidor mecánico o un formador de caballetes, para proceder al mezclado uniforme mediante una planta ambulo-operante. En este caso debe contarse con los equipamientos adecuados para la distribución / incorporación de la emulsión asfáltica, y el agua de mezclado para proveer los contenidos de emulsión y de humedad apropiados. El equipo debe poder mezclar el material en todo su espesor suelto y con la energía suficiente como para obtener una mezcla homogénea.

### ❖ **Mezclado en camino**

Puede ser mezclado con motoniveladoras u otro equipo que autorice la Supervisión. La especificación complementaria a la presente, puede indicar el volumen, superficie o longitud máxima admitida para este tipo de mezclado. La Supervisión puede, en base a los resultados de los respectivos tramos de prueba, modificar estos valores.

### **2.11.3.2. Equipo de limpieza de la superficie**

Se deben emplear barredoras mecánicas de cepillo rotativo, dotadas o no de un dispositivo de aspiración, recomendándose lo primero en zona urbana y en vías de elevada velocidad de circulación. Puede emplearse en lugares inaccesibles a los equipos mecánicos, escobas de mano.

Estos equipos se deben emplear para remover todo el material suelto que se encuentra en la superficie sobre la que se debe aplicar la mezcla.

### **2.11.3.3. Elementos de transporte**

La mezcla de materiales hecha en planta estacionaria, debe transportarse al lugar de empleo en camiones de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia. Deben disponer de lonas o cobertores adecuados para protegerla durante su transporte. Por seguridad de la circulación vial es obligatorio el empleo de cobertores para el transporte por carreteras en servicio. El tiempo de transporte hasta el lugar de colocación de la mezcla no debe impedir que la mezcla pueda ser distribuida y compactada, además, deben tomarse las correspondientes precauciones para reducir al mínimo la segregación y las variaciones de humedad.

Los medios de transporte deben estar adaptados, en todo momento, al ritmo de ejecución de la obra teniendo en cuenta la capacidad de producción de la planta y del equipo de extensión y la distancia entre el lugar de elaboración de la mezcla y el de extensión.

### **2.11.3.4. Equipo de extendido o distribución**

Los equipos de extendido deben ser capaces de distribuir la mezcla de materiales de acuerdo a los requerimientos, pendientes y coronamiento, en los espesores y anchos diseñados, sin permitir la segregación de los materiales. La especificación complementaria puede indicar equipamiento específico para el proyecto.

#### **❖ Equipo de extendido con distribuidoras mecánicas:**

Las extendedoras mecánicas pueden contar o no con tolva receptora para la descarga de material desde los camiones. Debe contar con mecanismos de distribución lateral y dispositivos enrasador o maestra. La mezcla distribuida debe ser homogénea y sin estriados producto de arrastres del material.

#### ❖ **Extendido con motoniveladora**

En la distribución puede emplearse motoniveladora, siempre que así esté contemplado en la especificación complementaria de la presente o lo autorice expresamente la Supervisión de la obra.

#### ❖ **Extendido manual:**

Únicamente en zonas de reducida extensión no accesibles a los equipos de distribución mecánicos, la Supervisión de las obras puede autorizar la distribución manual.

Pueden emplearse equipos manuales para pequeños baches y reparaciones. En todos los casos se requiere la aprobación de la Supervisión para este modo de distribución.

#### **2.11.3.5. Equipos de compactación**

El número y las características de los equipos de compactación deben ser acordes a la superficie y espesor de mezcla que se debe compactar. Los rodillos deben ser autopropulsados, con llantas metálicas, neumáticos, rolos vibratorios o una combinación de ellos, capaces de revertir su movimiento sin desplazar o arrancar la mezcla.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación normales, se deben emplear equipos de tracción manual o mecánica. Pueden ser de placa o de rodillos, siendo la aplicación del esfuerzo vibratorio.

#### **2.11.4. Condiciones para el inicio de los trabajos de bacheo**

En el momento de iniciar la fabricación de la mezcla asfáltica en frío, el material granular o las fracciones del árido deben estar acopiados en cantidad suficiente para permitir a la planta un trabajo sin interrupciones. La especificación complementaria o, en su defecto, la Supervisión de los trabajos, puede fijar el volumen mínimo de acopios exigibles en función de las características de la obra y del volumen de mezcla que se vaya a elaborar.

#### **2.11.5. Preparación de la superficie de asiento**

Las capas de mezclas asfálticas aplicadas en frío no se deben extender hasta que se haya comprobado que la superficie sobre la que haya de asentarse, tenga las condiciones de calidad y forma previstas en el proyecto, con las tolerancias establecidas. Para ello, además de la eventual reiteración de los ensayos de aceptación de dicha superficie.

Si en la citada superficie existieran defectos o irregularidades que excediesen las tolerables, se deben corregir antes del inicio de la puesta en obra de la mezcla asfáltica.

#### **2.11.6. Trabajos de extensión de la mezcla**

Los materiales pueden ser extendidos, una vez aceptada la superficie de asiento, en espesores tales que permitan obtener una capa compactada comprendida en el entorno que fija la correspondiente tabla en función del tamaño máximo del agregado empleado.

La descarga y la extensión se deben realizar tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones. El espesor de la capa suelta antes de compactar debe ser tal que, con la compactación, se obtenga el espesor previsto en los planos con las tolerancias establecidas en esta especificación. En ningún caso se admite el relleno de depresiones o insuficiencia de espesor para alcanzar el especificado, una vez iniciada la compactación.

#### **2.11.7. Proceso de compactación**

La superficie de apoyo preparada al efecto, debe tener la suficiente estabilidad para soportar los esfuerzos que inducen los equipos de compactación de la capa de mezcla asfáltica en frío y, además, resistir sin daños el tránsito que circule por la carretera.

En el momento de iniciar la compactación, la mezcla debe hallarse suelta en todo su espesor, y su humedad debe encontrarse dentro de las tolerancias establecidas.

La compactación de la capa debe comenzar en los bordes y avanzar hacia el centro, con excepción en las curvas peraltadas donde la compactación debe iniciarse en el borde interno de la curva y avanzar hacia el borde alto. En todos los casos y a los efectos de proveer del adecuado confinamiento lateral, se debe distribuir el material de los hombros al nivel de la capa que es objeto del proceso de compactación.

Las zonas que, por su reducida extensión, su pendiente o su proximidad a obras de desagüe, muros o estructuras, no permitieran el empleo del equipo que normalmente se estuviera utilizando, se deben compactar con medios adecuados a cada caso. Las densidades que se alcancen deben cumplir con las especificaciones exigidas para la mezcla colocada con medios normales.

La compactación se debe realizar de manera continua y sistemática. Si la extensión del material se realiza por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya, al menos, quince centímetros (15 cm) de la anterior, por lo que se debe disponer en los bordes de una contención lateral adecuada.

Se deben disponer juntas de trabajo transversales, cuando el proceso constructivo se interrumpa más tiempo que el plazo de trabajabilidad y siempre al final de cada jornada.

El trabajo de compactación puede completarse en jornadas siguientes a favor del progresivo secado de la mezcla, lo que depende de sus características granulométricas, tipo de ligante y las condiciones climáticas imperantes.

#### **2.11.8. Limitaciones de la ejecución**

No se permite la elaboración ni distribución de la mezcla cuando la temperatura ambiente sea de 5 °C en descenso, salvo expresa autorización de la Supervisión. Además, cuando ésta considere que las condiciones climáticas pueden afectar la calidad del proceso constructivo: lluvia o viento, puede ordenar la no iniciación o suspensión de los trabajos.

#### **2.11.9. Habilitación al tránsito**

Finalizados los trabajos y luego de un período mínimo de cuarenta y ocho horas (48 h) o el que establezca la Supervisión, se debe librar el tramo al tránsito, en tanto ofrezca suficiente estabilidad, de modo que no se presenten ahuellamientos excesivos, desplazamientos, fisuras ni desprendimientos en la mezcla.

De observarse alguna de esas fallas se debe cerrar temporariamente el sector y disponer una compactación adicional, en lo posible en las horas de mayor temperatura, hasta que la mezcla adquiera una mayor densidad y por ende la correspondiente estabilidad.

### **2.12. Ficha técnica del producto “Bacheflex” (mezcla asfáltica para bacheo).**

#### **2.12.1. Descripción del producto**

Bacheflex es una mezcla Asfáltica con Polímero producida en caliente y aplicada a temperatura ambiente y una mezcla de agregados pétreos triturados y aditivos de adherencia especiales.

En base Cemento Asfáltico Modificado con Polímero y agregados 100% chancados, esta mezcla se mantiene manejable durante bastante tiempo.

Esta capacidad de mantener en acopio las propiedades, las convierte en las mezclas ideales para trabajos de construcción o mantenimiento.

Presentan facilidad de manejo y adherencia en condiciones climáticas distintas, pudiendo aplicar el producto en frío, calor o lluvia.

La correcta aplicación de las técnicas en el uso de este producto garantiza su duración y máximo rendimiento.

### **2.12.2. Ventajas del uso de Bacheflex**

Después de un proceso de ensayos de calidad, la mezcla presenta las siguientes ventajas:

- ❖ El material sobrante puede ser reutilizado, de esta forma el rendimiento es óptimo.
- ❖ Se aplica a temperatura ambiente.
- ❖ Son fácilmente manejables.
- ❖ No se requiere de equipos especializados para su aplicación.
- ❖ Puede ser aplicado con equipo de bacheo o de forma manual.
- ❖ La apertura al tráfico se realiza inmediatamente después de su aplicación.
- ❖ Puede utilizarse para bachear superficies de Pavimento Flexible, Hormigón, grava, piedra.

### **2.12.3. Proceso de aplicación**

La aplicación de las mezclas se realizan de la siguiente forma:

- 1) Recuadrar la zona a ser tratada, cortar y retirar el material del pavimento averiado.
- 2) Limpiar todas las impurezas y fragmentos que se encuentran en el área a ser tratada, se puede utilizar compresores de aire o escobas manuales.
- 3) Compactar la superficie para lograr una base estable usando un compactador tipo Canguro.
- 4) Imprimir manualmente la zona. (Este procedimiento es optativo, pero recomendable por las normas internacionales).

5) Colocar el material asfáltico, y expandirlo. Asegurarse de colocar 2cm por encima del nivel del pavimento existente. El tráfico realizará la compactación secundaria llegando al nivel deseado. En caso que el bache sea superior a 3 cm, se deben hacer en dos capas con su respectiva compactación.

6) Compactar utilizando tipo plancha, compactador rodillo liso o neumático. Este proceso es importante ya que hará que el agua del producto evapore logrando la consistencia final de la mezcla.

#### 2.12.4. Especificaciones técnicas del producto:

Las especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2. 10** Especificaciones técnicas BACHEFLEX.

Especificaciones técnicas BACHEFLEX.				
Prueba	Unid.	ASSHTO	Especificación	ASTM
Granulometría		T-11 T-27		
Resistencia al agua	%	T-182 Modificado	Min 95	
Cohesión	%	44-94	Min 90	
Trabajabilidad	kg/cm2	43-94	4.5 Max	
Adherencia	%		Min 95	D 3625
Estabilidad Marshall. Lb (75 golpes por cara)	Libras		1800 Min	D 1559
Flujo	Pulg.		8 Min - 16 Max	D 1559
Porcentaje de asfalto en la mezcla	%	T 164	5 - 7 Dependiendo de condiciones climáticas del lugar (temperatura, humedad).	
Esponjamiento	%		Min 10 - Max 20	D 1559
Cemento Asfáltico		CAP PEN 60/70 ( Climas cálidos)		
		CAP PEN 85/100 ( Climas templados/fríos)		
Áridos		100% Chancadas, 90% caras fracturadas		
Desgaste de los Ángeles de los Áridos		20 - 38 %		
Densidad		75 Golpes Marshall 2000 lb		
Rendimiento		12 m2/ton con un espesor de 5 cm. Aprox.		

Fuente: <https://quimitecasfaltos.com/>

#### 2.12.5. Usos y aplicaciones del producto

- ❖ Bacheos sobre distintos tipos de pavimento.
- ❖ Recapados en vías urbanas rurales, aeropuertos.

- ❖ Canchas deportivas (fútbol, tenis, básquet, etc.).
- ❖ Reposición de Zanjales de servicios básicos.
- ❖ Calles de Urbanizaciones.
- ❖ Áreas de parqueo en general.

### **2.13. Mezclas asfálticas o bituminosas**

Se entiende por mezcla bituminosa a la mezcla de agregados pétreos en proporciones exactas y un ligante asfáltico, de tal manera que las partículas queden cubiertas por una película continua de este último. La mezcla se fabrica de forma mecánica en centrales fijas o móviles, luego se transporta a obra, donde se extiende y se compacta.

Las operaciones de manejo, extendido y compactación también se realizan a temperaturas controladas y muy superiores a las del ambiente. Su aplicación es una de las más frecuentes en el ámbito vial, se utilizan en capas de rodadura, intermedias y de base y se caracterizan por:

- ❖ La calidad de los áridos (limpieza, resistencia mecánica).
- ❖ La viscosidad del ligante, que es betún puro o mejorado.
- ❖ Una granulometría con tolerancias muy estrictas.
- ❖ La alta calidad en la mezcla (compactación, homogeneidad, calidad de la envuelta).
- ❖ Un mayor control durante su fabricación (separación de los áridos en varias fracciones, aportación de filler).
- ❖ Su excelente comportamiento (estabilidad, durabilidad, tenacidad).
- ❖ Su calidad como capa de rodadura (regularidad, textura, comodidad).

#### **2.13.1. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas**

El diseño de una mezcla asfáltica consiste, de un modo muy general, en seleccionar el tipo y la granulometría de los áridos a utilizar, más el tipo y el contenido de ligante, de manera tal que se cumplan los requerimientos específicos del proyecto para obtener las propiedades pretendidas en una mezcla.

Por tanto, se entiende por diseño al proceso de selección de los componentes que intervienen en una mezcla de tal modo de lograr un balance deseado en estas propiedades. También debe considerarse que esta selección estará influenciada por la sección

estructural del firme, es decir que la función de la capa bituminosa puede variar, por lo que siempre deberá tenerse en cuenta que el diseño de mezcla y el diseño estructural están relacionados de modo interactivo.

Monismith, Finn y Vallergera han resumido una lista de las propiedades de la mezcla que deben considerarse en el diseño, con los factores que pueden influir en ellas y que se describen a continuación.

**Tabla 2. 11** Variables que influyen en las propiedades del cemento asfáltico.

<b>Propiedad</b>	<b>Definición</b>	<b>Variables que pueden influir</b>
Rigidez	Relación entre tensión y deformación a una temperatura y tiempo de carga de datos.	Granulometría del árido
		Rígidez del betún
		Grado de compactación
		Sensibilidad al agua
		Contenido de betún
Estabilidad	Resistencia la deformación permanente (generalmente a altas temperaturas y largos períodos de aplicación de carga).	Textura superficial del árido
		Granulometría del árido
		Rígidez del betún
		Contenido de betún
		Grado de compactación
		Sensibilidad al agua
Durabilidad	Resistencia a los efectos climáticos. (aire y agua) y a la acción abrasiva del tráfico.	Contenido de betún
		Naturaleza del betún
		Granulometría del árido
		Grado de compactación
		Sensibilidad al agua
Resistencia a la fatiga	Habilidad de la mezcla a flexionar repetidamente sin romperse.	Granulometría del árido
		Contenido de betún
		Grado de compactación
		Rígidez del betún
		Sensibilidad al agua

Resistencia a la Fisuración	Resistencia de la mezcla a la fisuración por tensiones de tracción.	Granulometría del árido
		Tipo de árido
		Contenido de betún
		Grado de compactación
Resistencia al deslizamiento	Capacidad de la mezcla para proveer un adecuado coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento bajo condiciones húmedas.	Rígidez del betún
		Textura y resistencia pulimiento del árido
		Granulometría del árido
Permeabilidad	Capacidad del aire, agua o vapor de agua para moverse dentro y a través de la mezcla.	Grado de compactación
		Granulometría del árido
		Contenido de betún

**Fuente:** [https:// upcommons.upc.edu/bitstream](https://upcommons.upc.edu/bitstream)

### 2.13.2. Cemento Asfáltico

Es un material oscuro de origen natural, que actúa como ligante en las mezclas asfálticas. Es resistente a una gran cantidad de ácidos y es impermeable, lo que lo hace idóneo para la construcción de superficies de rodadura en los pavimentos flexibles.

El cemento asfáltico es un ligante denso que a la temperatura ambiente es semisólido, usualmente pegajoso y de color variable entre café muy oscuro y negro

Una de sus principales características es su viscosidad, la cual cambia dependiendo de la temperatura a la cual se encuentre sometido. Otra característica importante es su durabilidad, la cual hace referencia a la resistencia al envejecimiento, es decir su capacidad de conservar sus características iniciales con el pasar de los tiempos.

El cemento asfáltico se prepara comercialmente en 5 grados o rangos de consistencia definidos a partir del ensayo de penetración. La designación corriente de los cinco grados de cemento asfáltico utilizados en pavimentación y su significado será como se muestra a continuación:

- ❖ PEN 40 – 50      Cemento asfáltico con penetración entre 40 a 50 décimas de milímetro
- ❖ PEN 60 – 70      Cemento asfáltico con penetración entre 60 a 70 décimas de milímetro
- ❖ PEN 85 – 100    Cemento asfáltico con penetración entre 85 a 100 décimas de milímetro
- ❖ PEN 120–150    Cemento asfáltico con penetración entre 120 a 150 décimas de milímetro
- ❖ PEN 200–300    Cemento asfáltico con penetración entre 200 a 300 décimas de milímetro

#### **2.14. Características Volumétricas de las mezclas asfálticas.**

Para evaluar el comportamiento y desempeño de una MAC preparada en laboratorio y cuando sea puesta en servicio, es necesario definir algunas características principales dentro de sus propiedades volumétricas que se determinan usando medidas de masa y/o volumen de la mezcla y/o sus componentes individuales, tanto del asfalto como del agregado

##### **2.14.1. Gravedad específica bruta “Bulk” (Gmb)**

La misma se la puede definir como la relación entre el peso de una unidad de volumen de mezcla asfáltica caliente compactada y el peso de un volumen igual de agua (incluyendo vacíos permeables como parte de dicho volumen). (Haddock, 2011)

Es importante conseguir un elevado Gmb en las mezclas compactadas en un pavimento terminado, puesto que se pretende alcanzar un desempeño óptimo que perdure. El Gmb de una mezcla se determina mediante el procedimiento ASTM D1188 ó ASTM D2726. El resultado obtenido en el laboratorio se lo considera como una densidad de referencia, y es empleada como guía para verificar si la densidad de las capas asfálticas compactadas es óptima. (Asphalt Institute, 1992).

$$Gmb = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa de la muestra en el aire (gr.)

B = Masa de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr.)

C = Masa de la muestra en agua (gr.)

#### **2.14.2. Densidad máxima teórica (Gmm)**

La densidad máxima teórica es la relación entre la masa de una unidad de volumen de mezcla asfáltica sin compactar, y la masa de un volumen de agua (incluyendo vacíos permeables como parte del volumen). Este valor es comúnmente conocido como gravedad “RICE”. (Haddock, 2011)

El ensayo RICE es utilizado para encontrar la densidad o gravedad específica máxima teórica, empleando las normas ASTM D 2041, y AASHTO T 209. Dichas normas establecen el procedimiento necesario para obtener la gravedad o densidad teórica máxima de mezclas asfálticas que no hayan sido compactadas, y que se encuentren a 25°C de temperatura.

$$Gmm = \frac{C}{A - (B - C)}$$

Donde:

A = Peso picnómetro + agua (gr.)

B = Peso picnómetro + agua + material (gr.)

C = Peso de la mezcla suelta (gr.)

#### **2.14.3. Porcentaje de vacíos con aire (Va)**

Los vacíos con aire corresponden al volumen total de las pequeñas bolsas de aire entre las partículas de agregado revestidos que conforman la mezcla de pavimentación. El “Va” es el porcentaje de vacíos respecto al volumen total de la muestra compactada. (Asphalt Institute, 1997)

En una mezcla es preciso que algún porcentaje de vacíos esté contenido dentro de las mezclas densamente graduadas, para que el asfalto pueda expandirse. Usualmente en los diseños Marshall los porcentajes de vacíos autorizados (en mezclas asfálticas de

laboratorio) pueden variar entre 3 y 5 por ciento para capas superficiales (Asphalt Institute, 1992).

$$Va = 100 * \left( \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right)$$

Donde:

Va = Vacíos de aire en la mezcla compactada, en porcentaje del volumen total.

Gmm = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla.

Gmb = Gravedad específica de una mezcla compactada.

#### **2.14.4. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios intergranulares de aire entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación que incluye los huecos de aire y el contenido efectivo de asfalto, expresado como un porcentaje del volumen total. (Asphalt Institute, 1997)

El VMA se calcula en base a la gravedad específica bruta del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen bruto de la mezcla de pavimentación compactada. Por lo tanto, el VMA se puede calcular restando el volumen del agregado determinado por su peso específico bruto, del volumen bruto de la mezcla de pavimentación compactada. (Asphalt Institute, 1997)

$$VMA = 100 * \left( \frac{Gmb * Ps}{Gsb} \right)$$

Donde:

Gsb = Gravedad específica bruta del agregado.

Gmb = Gravedad específica bruta de las briquetas compactadas.

Ps = Porcentaje o contenido de agregados.

#### **2.14.5. Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA)**

Los vacíos rellenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de espacios intergranulares vacíos entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran ocupados por asfalto, es decir es el porcentaje de los VMA que están llenos de asfalto efectivo. (Asphalt Institute, 1997).

$$VFA = \frac{100 * (VMA - Va)}{VMA}$$

Donde:

VFA = Volumen llenos de asfalto, en %.

Va = Porcentaje de vacíos con aire.

VMA = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

#### **2.14.6. Contenido de asfalto efectivo (Pbe)**

Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

#### **2.15. Ensayos para mezclas asfálticas**

Dentro de los ensayos utilizados, muchos son empíricos y se aceptan a través de comparaciones entre los resultados con ellos obtenidos y la experiencia de obra. Presentan el inconveniente que el modo de sollicitación es muy diferente del existente en el firme y no permiten determinar una característica intrínseca del material.

Estos ensayos empíricos pueden proveer importante información siempre y cuando se respeten los límites y criterios utilizados al interpretar los resultados, es decir, es muy importante tener en cuenta en la aplicación de estos ensayos su campo de validez. Sólo pueden aplicarse a la caracterización de mezclas cuando experimentalmente se haya comprobado una buena correlación entre los resultados obtenidos en laboratorio y su comportamiento real en el firme.

También existen los ensayos de simulación, que intentan reproducir en laboratorio las sollicitaciones que producen el fallo en el firme, del modo más aproximado posible.

En todos los ensayos es fundamental que las condiciones de los mismos estén referidas al rango de temperaturas y sollicitaciones que experimentará la mezcla en el pavimento durante su vida de servicio

### **2.15.1. Ensayo Marshall lujo y estabilidad**

El propósito del Método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos, y se basa en un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura, compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados, y precalentadas a 60s C, mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min. El método establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

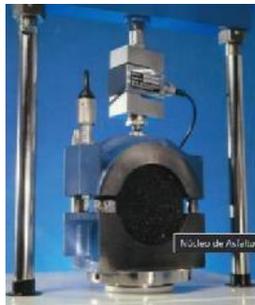
#### **❖ Estabilidad Marshall**

Es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y está definido como el número total de Newton requeridos para que falle un espécimen de mezcla asfáltica compactada a una temperatura de 60°C

#### **❖ Flujo**

es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, el flujo Marshall el valor en 1/100mm que ocurre desde el instante en que se aplica la carga hasta lograr la falla de la probeta

**Figura 2. 1** Ensayo Marshall.



**Fuente:** [www.Cuevadelcivil.com](http://www.Cuevadelcivil.com)

## **2.16. Procedimiento de bacheo asfáltico**

El procedimiento es muy sencillo pero muy importante de tomar en cuenta, el bacheo en general se lo aplica en caliente, aunque las aplicaciones en frío también dan buenos resultados de durabilidad.

### **2.16.1. Equipo necesario y procedimiento correcto de bacheo asfáltico**

#### **Como equipo principal:**

- ❖ Una cortadora para realizar un corte limpio preferiblemente el corte se realiza en formas rectangulares o cuadradas.
- ❖ Compresor de aire para retirar el polvo.
- ❖ Equipo para realizar el riego de liga o imprimación.
- ❖ Compactador de placa o rodillo.

#### **Como herramientas menores:**

- ❖ Picotas, palas, carretillas.
- ❖ Cepillo o escoba para limpiar rastros y material suelto.
- ❖ Rastrillo afinador de madera o metal.
- ❖ Regadera y olla para almacenar ligante si es q no se dispone de un imprimador.

#### **Procedimiento realizado en el trabajo de bacheo en la ciudad:**

- ❖ Los bordes verticales se perfilan con un cortador de capa de rodadura, llegando hasta la capa base, donde exista material firme y sin alteración.

**Figura 2. 2** Perfilado del área a reparar.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se retira el material afectado de la capa de rodadura, en caso de encontrarse con material con exceso de humedad o material suelto, remover el material y si el espesor lo amerita realizar cambio de material y realizar el debido compactado o conformación.

**Figura 2. 3** Retirado de material afectado.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se sopletea el hueco del bache retirando el polvo del fondo y las paredes verticales, incluso el área alrededor del bache ya cortado anteriormente.
- ❖ Se aplica un riego de liga, principalmente en las paredes verticales para sellar la intrusión de agua, también en los laterales para realizar el adecuado empalme.

**Figura 2. 4** Riego de liga previamente al bacheo.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se deposita la mezcla asfáltica de bacheo uniformemente con el rastrillo o afinador, la mezcla debe estar a temperatura de aplicación para una mejor adherencia y cohesión de las partículas del material.

**Figura 2. 5** Aplicación de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se compacta con rodillo o placa vibratoria a la densidad necesaria.

**Figura 2. 6** Compactado de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

#### **Consideraciones importantes al momento de realizar trabajos de bacheo:**

- ❖ Al realizar el riego de liga o imprimación, procurar no excederse ya que en exceso produce exudación de asfalto en la superficie.
- ❖ Hay que tener mucho cuidado en la imprimación de las paredes laterales, también en la compactación, ya que es este punto de empalme es propenso a deteriorarse con mayor facilidad, por ingreso de humedad o por mala compactación,

recomiendo realizar una compactación previa dirigida al empalme (con la placa o con compactador manual).

- ❖ Hay que realizar un empalme fino en los laterales siempre cuidando los bordes laterales para evitar deterioro.
- ❖ Antes de compactar limpiar nuevamente al área lateral, para tener una mayor comodidad durante la compactación.
- ❖ Iniciar el compactado en los empalmes, luego hacia el centro por franjas.
- ❖ Si se utiliza un rodillo para el compactado, limpiarlo con un disolvente suave para evitar adherencia de la mezcla asfáltica durante el compactado.
- ❖ Para obtener un mejor acabado, se puede realizar un afinado depositando mezcla asfáltica sobre el bache ya compactado y esparciendo uniformemente con el afinador, esta es una capa muy delgada solo para mejorar el aspecto visual, se debe excluir el material grueso dejando solo el fino, para luego dar una pasada con el rodillo liso.

#### **2.17. Ensayo Viga Benkelman (Normas ASTM D4965-03).**

Fabricada en aleación de aluminio, completa con comparadores y diversos accesorios. Se utiliza para medir la deflexión de la superficie de una carretera, provocada por el paso de las ruedas de los vehículos. La viga se pone entre los neumáticos del vehículo y en contacto con el pavimento a ensayar.

La medida de la deformación se realiza cuando el vehículo pasa sobre el área de ensayo. La longitud de la viga Benkelman es de 2500 mm. La relación de medidas entre los extremos y el punto de apoyo es de 4:1.

**Dimensiones:** 430x1800x350 aprox.

**Peso:** 16 kg aprox.

**Figura 2. 7** Equipo Benkelman.



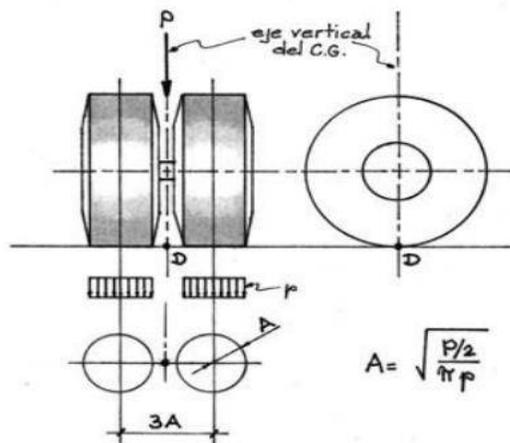
**Fuente:** <https://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/b100.pdf>

### 2.17.1. Procedimiento del ensayo

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que definir los puntos donde se tomarán las medidas.

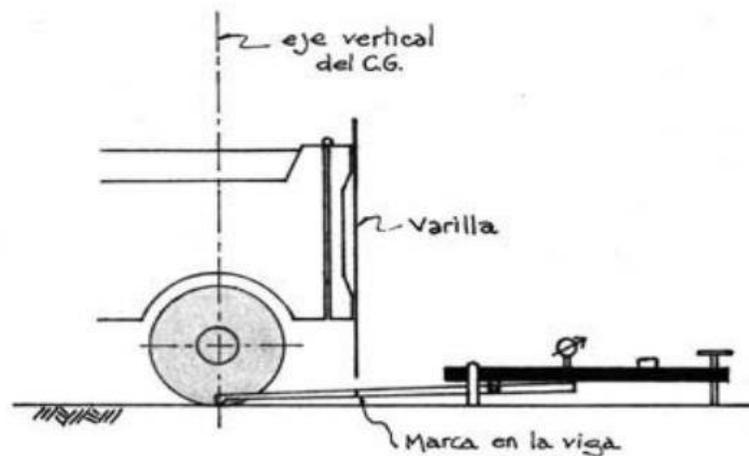
Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

**Figura 2. 8** Punto de ubicación del extremo de la Viga Benkelman.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

**Figura 2. 9** Geometría de colocación de la viga Benkelman.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

**Figura 2. 10** Proceso de medición.



**Fuente:** Elaboración propia

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1km/h).

**Figura 2. 11** Lectura de los valores arrojados de deflexión.



**Fuente:** Elaboración propia

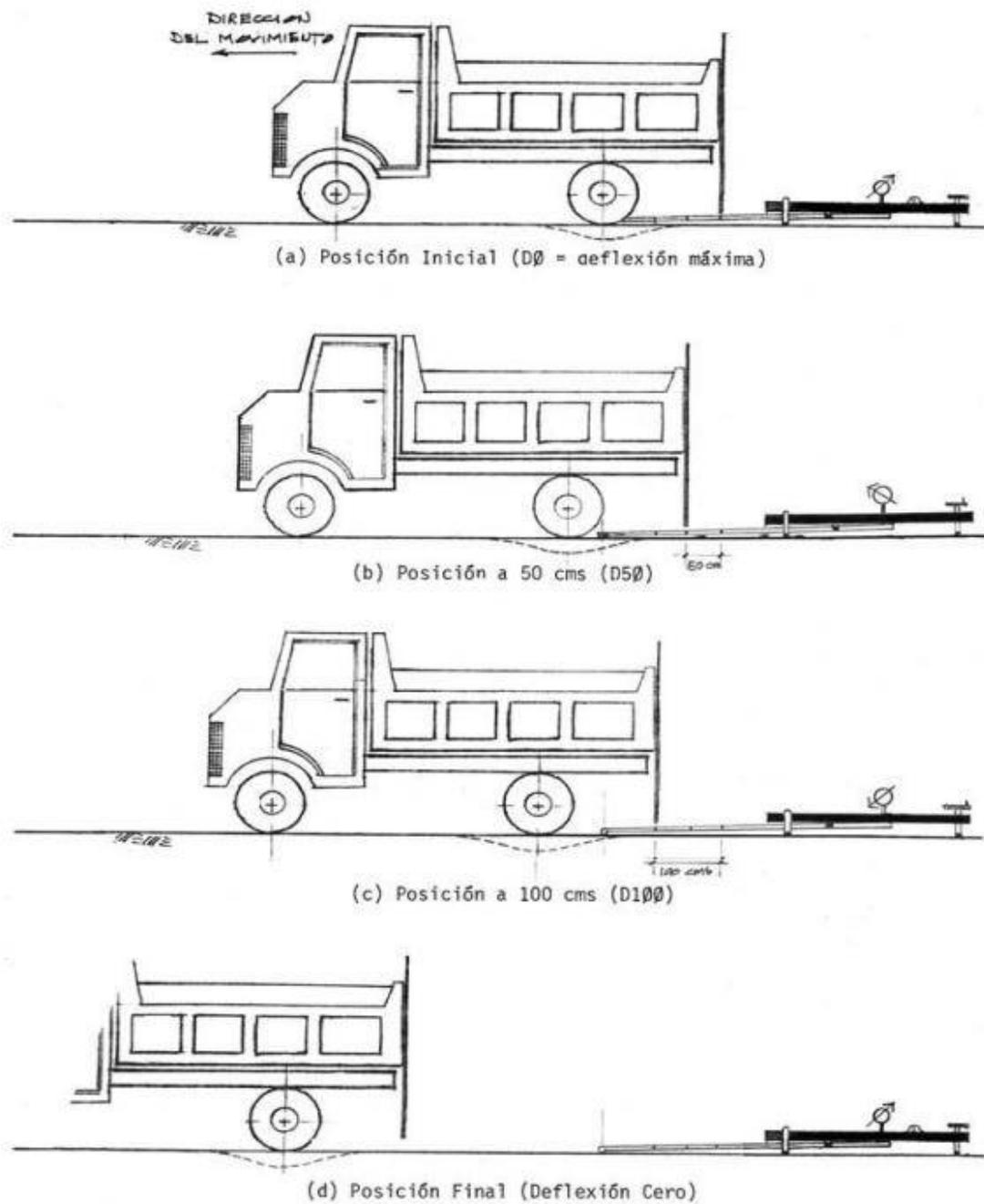
Se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

**Figura 2. 12** Manipuleo de la viga para una nueva lectura.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2. 13** Procedimiento de medición de deflexión.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y de aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

La medición de temperatura se realiza solo una vez por cada punto definido a ensayar, en una zona cercana al punto de distancia cero.

Se coloca el termómetro antes de iniciar el ensayo y se registra la temperatura una vez terminada la última lectura de campo. Se debe evitar en lo posible las sombras o zonas húmedas que impidan obtener una temperatura representativa. Se recomienda realizar la medición de temperatura en una zona cerca al borde del pavimento y al eje transversal de la llanta, ya que este lugar se mantiene libre de impedimentos y cercana al punto de distancia cero.

**Figura 2. 14** Posición para la medición de temperatura.



**Fuente:** Evaluación estructural usando Viga Benkelman universidad de pirhua.

## 2.18. Ensayo de la regla. (Norma EN13036-7)

Es un ensayo para la medición de la irregularidad de la superficie del pavimento en carreteras, suelos, pavimentos de hormigón. La longitud es 3000 mm, 26 mm de ancho, regulable en altura de 0 a 30 mm.

Dimensiones: 150x3050x130 mm aprox.

Peso: 9 kg aprox.

**Figura 2. 15** Regla con dos cuñas.



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.18.1. Procedimiento del ensayo

- ❖ Se muestra en la figura la regla de aluminio y las cuñas graduadas.

**Figura 2. 16** Regla de aluminio.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Primeramente, se debe señalar la calle y delimitar la zona donde se hará la medición con la regla, tanto para la correcta medición como seguridad ante el tráfico de movildades en la ciudad.

**Figura 2. 17** Señalización de la calle a ser evaluada.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Luego, se coloca la regla en una posición adecuada siempre que se aprecie el asentamiento del bacheado para poder tener lecturas exactas o aproximadamente a la verdadera.

**Figura 2. 18** Colocado de la regla sobre el bache.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se colocan las cuñas en el punto donde más se aprecia el asentamiento o deformación, donde obtendremos la lectura de mayor asentamiento.

**Figura 2. 19** Lectura de las mediciones de asentamiento.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ El mismo procedimiento se repite en todos los puntos donde se realizó el bacheo en la ciudad de Tarija.

Se toma los datos de asentamiento para que más adelante se pueda diferenciar mediante un pequeño calculo y mostrado en gráficas el asentamiento después del bacheado y estudiado en el transcurso del tiempo de análisis.

**Figura 2. 20** Procedimiento y lectura de los asentamientos en todos los puntos de aplicación.



**Fuente:** Elaboración propia

## **2.19. Comparación Técnico-Económica de las mezclas asfálticas aplicadas para el bacheo.**

### **2.19.1. Selección de criterios**

Para determinar de una manera clara y precisa los criterios se enfatizó en las actividades más representativas de los dos sistemas constructivos y que fueran comparables entre ellos. Por tal motivo se presentan los criterios que nos van a dar las herramientas necesarias para escoger el producto que más le convenga al bacheo en la ciudad de Tarija.

**c.1. Costos:** En este nivel se tiene en cuenta todo lo que tiene que ver con la parte monetaria de la adquisición de cada uno de los productos donde se subdivide teniendo en cuenta la importancia del costo del producto y del transporte.

**c.2. Restricciones:** En este criterio se enfocarán cada uno de las posibles dificultades que se puedan llegar a tener en los procesos constructivos de ambas mezclas asfálticas desde el punto de vista técnico.

**c.3. Rendimiento:** Este criterio específico como desde la parte técnica se puede ofrecer un amplio panorama de la verdadera duración real de las mezclas asfálticas en su aplicación.

**c.4. Factor técnico:** En este criterio se establece todas las características técnicas de las mezclas asfálticas que nos muestran sus ventajas y desventajas al momento de ser utilizadas en este tipo de fallas.

**c.5. Experiencia constructiva del contratista:** En este criterio se le da la relevancia del caso de cómo influye de manera directa el contratista con qué nivel de experiencia cuenta al momento de realizar alguno de los dos procesos constructivos donde esto nos dará un valor agregado al momento de la ejecución.

### **2.19.2. Evaluación Técnico - económica de producto bacheflex**

**c.1. Costos:** En cuanto el costo el producto viene en bolsas de 40 kg. El costo por  $m^2$  se ve en la planilla a continuación.

**Tabla 2. 12** Análisis de precio unitario Bacheflex.

<b>Formulario B - 2</b>					
<b>Análisis de precios unitarios</b>					
<b>Datos generales</b>					
	Proyecto:	Bacheo de la zona urbana de Tarija			
	Atividad:	Bacheo con Bacheflex.			
	Cantidad:	1.00			
	Unidad:	M2			
	Moneda:	Bolivianos			
<b>1. Materiales</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	bolsa de bacheflex	kg	83.33	1.8096	150.79
<b>Total materiales</b>					<b>150.79</b>
<b>2. Mano de obra</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	ayudante	hr	0.50	15.00	7.50
2	compactador	hr	0.50	17.00	8.50
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>16.00</b>
Cargas sociales= 70% del subtotal de mano de obra					11.2
Impuestos IVA mano de obra = 14.94% de suma del subtotal de mano de obra + cargas sociales					4.06
<b>Total mano de obra</b>					<b>31.26</b>
<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	saltarin (compactador)	hr	0.50	8.33	4.17
<b>Herramientas =5% del total de mano de obra</b>					<b>1.56</b>
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>5.73</b>
<b>4. Gastos generales y administrativos</b>					
					Costo total
1	Gastos generales = 8% de 1+2+3				15.02
<b>Total gastos generales y administrativos</b>					<b>15.02</b>
<b>5. Utilidad</b>					
					Costo total
1	Utilidad= 8% de 1+2+3+4				16.22
<b>Total utilidad</b>					<b>16.22</b>
<b>6. Impuestos</b>					
					Costo total
1	Impuestos IT= 3.09% de 1+2+3+4+5				6.77
<b>Total impuestos</b>					<b>6.77</b>
<b>Total precio unitario (1+2+3+4+5+6)</b>					<b>225.80</b>
<b>Total precio unitario adoptado (con dos (2) decimales)</b>					<b>225.80</b>
<b>Nota:</b> El proponente declara que el presente formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el formulario B-3.					

**Fuente:** Elaboración propia

Con bacheflex se tiene un costo final por  $m^2$  de **225.80 bolivianos**, que no incluye el transporte de envío ya que este es variable y variará notablemente el precio.

En cuanto la diferencia de costos se tiene que el producto Bacheflex tiene un incremento de **41.05 bs (18.18%)** por  $m^2$  a la mezcla convencional de la alcaldía de Tarija.

**c.2. Restricciones:** el producto no cuenta con restricciones en su aplicación. Ya que su aplicación es a temperatura ambiente y en Tarija se aplica también en temporada de lluvia.

**c.3. Rendimiento:** En cuanto su rendimiento el producto bacheflex dura por mucho tiempo más y su deformación es mínima ante el alto tráfico.

El producto tiene un rendimiento de **12  $m^2$**  / tonelada, aplicando en una profundidad aproximada de **5 cm**, haciendo operaciones y en aplicación real en campo por  $m^2$  se aplicaba **1.5 a 2** bolsas.

$$1 \text{ tonelada} = 1000 \text{ kg}$$

$$12 \text{ m}^2 \dots\dots\dots 1000\text{kg}$$

$$1\text{m}^2 \dots\dots\dots X$$

$$X = \frac{1 \text{ m}^2 * 1000 \text{ kg}}{12 \text{ m}^2} = 83.33 \text{ kg}$$

$$1 \text{ bolsa} = 40 \text{ kg}$$

$$83.33 \text{ kg} \dots\dots\dots X$$

$$40 \text{ kg} \dots\dots\dots 1 \text{ bolsa}$$

$$X = \frac{1 \text{ bolsa} * 83.33 \text{ kg}}{40 \text{ kg}} = 2.08 \text{ bolsas}$$

**c.4. Factor técnico:** En cuanto el factor técnico sus resultados se muestran a continuación:

**Tabla 2. 13** Análisis del factor técnico del producto Bacheflex.

<b>Análisis de resultados</b>			
Mezcla asfáltica Bacheflex	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	Valor	<b>Interpretación</b>
		2.39	Representa una densidad óptima que proporcionará una buena resistencia.
Mezcla asfáltica Bacheflex	% de vacíos mezcla total (%)	3.32	Cumple con los límites de la especificación. La mezcla asfáltica cuenta con la dosificación de agregado fino adecuado para su uso en carpetas de rodadura y bacheo.
Mezcla asfáltica Bacheflex	V.A.M. (vacíos agregados mineral) (%)	17.69	Cumplen con la norma y los valores del límite mínimo.
Mezcla asfáltica Bacheflex	R.B.V. (relación betumen vacíos) (%)	82.09	Si cumple con los límites especificados. Se deduce a que la mezcla aplicada esta con el contenido de ligante asfáltico adecuado.
Mezcla asfáltica Bacheflex	Estabilidad final (libras)	3307.31	La mezcla es estable para aplicarse a capas de rodaduras o para bacheo. El valor arrojado demuestra que el producto tiene una mayor estabilidad debido a la calidad de agregados seleccionados que juegan un papel importante en la estabilidad.
Mezcla asfáltica Bacheflex	Fluencia (0.01 pulg)	15.00	Si cumple con los límites especificados. Pero a comparación de la otra mezcla se deduce que la mezcla bacheflex tiene una consistencia más rígida.

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto el asentamiento analizado la mezcla Bacheflex se reduce lo mínimo ante la mezcla asfáltica convencional analizado más adelante, ya que sus agregados se acomodan

mejor ante la compactación lo que hace que sus vacíos se rellenen ante la primera compactación mecánica y no así que recién se acomoden con el paso de los vehículos.

Después de un proceso de ensayos de calidad, la mezcla presenta las siguientes ventajas:

- ❖ El material sobrante puede ser reutilizado, de esta forma el rendimiento es óptimo.
- ❖ Se aplica a temperatura ambiente.
- ❖ Son fácilmente manejables.
- ❖ No se requiere de equipos especializados para su aplicación.
- ❖ Puede ser aplicado con equipo de bacheo o de forma manual.
- ❖ La apertura al tráfico se realiza inmediatamente después de su aplicación.
- ❖ Puede utilizarse para bachear superficies de Pavimento Flexible, Hormigón, grava, piedra.

Algunas desventajas:

- ❖ El costo del producto eleva considerablemente con el transporte, ya que la empresa que lo produce se encuentra en la ciudad de Santa Cruz.

**c.5. Experiencia constructiva del contratista:** En esta parte no se requiere mucha experiencia por parte del operador que realizará el bacheo ya que el uso de herramientas y equipo son básicos para el trabajo.

**Figura 2. 21** Presentación de bacheflex en bolsas de 40 kg.



**Fuente:** Elaboración propia

### **2.19.3. Evaluación Técnico - Económica de la mezcla asfáltica convencional para bacheo**

**c.1. Costos:** La mezcla asfáltica producida en planta se hace por cantidad lo cual resulta difícil obtener un costo preciso, el método que se empleó en este análisis corresponde la cantidad de mezcla que se usó para cubrir 1m<sup>2</sup> y la dosificación que se usó. Haciendo operaciones y averiguando el precio de agregados se obtiene la siguiente tabla de costo por m<sup>2</sup>.

**c.2. Restricciones:** El producto presenta algunas restricciones que al ser una mezcla en caliente no se puede aplicar sobre terreno húmedo o en tiempo de lluvia ya que perderá sus características de resistencia al aplicarse bajo estos fenómenos.

El producto tiene que llegar al lugar de aplicación con una temperatura adecuada si por alguna razón esta temperatura llega por debajo de lo especificado se endurecerá y no se podrá aplicar correctamente, además que esta mezcla no podrá ser recalentada.

Una vez aplicada la mezcla esta debe reposar o endurecer un tiempo ya que la habilitación inmediata producirá ondulaciones instantáneas por el paso de vehículos esto se debe que aún está blanda.

**c.3. Rendimiento:** El producto tiene un rendimiento de **115.50 kg/m<sup>2</sup>**, aplicando en una profundidad aproximada de **5** cm. Esta información se verificó en campo controlando el bacheo de **1 m<sup>2</sup>** donde se usó esa cantidad de mezcla ya compactada.

**c.4. Factor técnico:** En cuanto al factor técnico se tiene:

En cuanto el asentamiento analizado la mezcla convencional se reduce significativamente ante la mezcla asfáltica Bacheflex analizado más adelante, ya que sus agregados al no ser seleccionados cuidadosamente aumentan los vacíos que no son eliminados a la compactación mecánica inicial, sino que con el paso de los vehículos se deforman o reducen inclusive aún más del nivel 0 de la capa de rodadura.

**Tabla 2. 14** Análisis de precio unitario Mezcla Convencional.

<b>Formulario B - 2</b>					
<b>Análisis de precios unitarios</b>					
<b>Datos generales</b>					
	Proyecto:	Bacheo de la zona urbana de Tarija			
	Actividad:	Bacheo con Mezcla convencional			
	Cantidad:	1.00			
	Unidad:	M2			
	Moneda:	Bolivianos			
<b>1. Materiales</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	grava	kg	22.84	0.33	7.54
2	gravilla	kg	38.07	0.33	12.56
3	arena	kg	47.86	0.33	15.79
4	cemento asfáltico 85/100	lt	6.73	12.00	80.76
<b>Total materiales</b>					<b>116.65</b>
<b>2. Mano de obra</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	ayudante	hr	0.50	15.00	7.50
2	compactador	hr	0.50	17.00	8.50
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>16.00</b>
Cargas sociales= 70% del subtotal de mano de obra					11.2
Impuestos IVA mano de obra = 14.94% de suma del subtotal de mano de obra + cargas sociales					4.06
<b>Total mano de obra</b>					<b>31.26</b>
<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	saltarin (compactador)	hr	0.50	8.33	4.17
<b>Herramientas =5% del total de mano de obra</b>					<b>1.56</b>
<b>Total equipo, maquinaria y herramientas</b>					<b>5.73</b>
<b>4. Gastos generales y administrativos</b>					
					Costo total
1	Gastos generales = 8% de 1+2+3				12.29
<b>Total gastos generales y administrativos</b>					<b>12.29</b>
<b>5. Utilidad</b>					
					Costo total
1	Utilidad= 8% de 1+2+3+4				13.28
<b>Total utilidad</b>					<b>13.28</b>
<b>6. Impuestos</b>					
					Costo total
1	Impuestos IT= 3.09% de 1+2+3+4+5				5.54
<b>Total impuestos</b>					<b>5.54</b>
<b>Total precio unitario (1+2+3+4+5+6)</b>					<b>184.75</b>
<b>Total precio unitario adoptado (con dos (2) decimales)</b>					<b>184.75</b>
<p><b>Nota:</b> El proponente declara que el presente formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el formulario B-3.</p>					

**Fuente:** Elaboración propia

Con la mezcla convencional de la alcaldía de Tarija se tiene un costo final por **m<sup>2</sup>** de **184.75 bolivianos**, el cual se muestra ligeramente más económico que el producto bacheflex.

La mezcla convencional muestra un precio más económico de **41.05 bs (18.18 %)** por **m<sup>2</sup>** esto en muchos puntos de bacheo se demuestra en un costo significativo que garantiza un ahorro económico para la población.

**Tabla 2. 15** Análisis del factor técnico de la mezcla convencional.

<b>Análisis de resultados</b>			
Mezcla asfáltica convencional	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	2.32	Representa una densidad óptima que proporcionará una buena resistencia.
Mezcla asfáltica convencional	% de vacíos mezcla total (%)	6.48	No cumple con los límites de especificación. La mezcla asfáltica no cuenta con los agregados finos correctos para su aplicación posiblemente falta de filler en la mezcla lo que genera un % de vacíos mayor al límite.
Mezcla asfáltica convencional	V.A.M. (vacíos agregados mineral) (%)	19.47	Cumplen con la norma y los valores del límite mínimo.
Mezcla asfáltica convencional	R.B.V. (relación betumen vacíos) (%)	66.79	No cumple con los límites de especificación. Se deduce que la mezcla esta pobre de ligante asfáltico.
Mezcla asfáltica convencional	Estabilidad final (libras)	2932.52	La mezcla es estable para aplicarse en capas de rodadura y bacheo. Agregados chancados pero no de excelente calidad.
Mezcla asfáltica convencional	Fluencia (0.01 pulg)	15.28	Si cumple con la fluencia pero es mayor a la del producto esto quiere decir que la mezcla convencional tiene una consistencia más blanda.

**Fuente:** Elaboración propia

Algunas ventajas de la mezcla asfáltica son:

- ❖ El costo de elaboración es mucho más económico que el producto bacheflex.
- ❖ Abarca mayor área en cuanto su aplicación.
- ❖ Son fácilmente manejables.
- ❖ No se requiere de equipos especializados para su aplicación.
- ❖ Puede ser aplicado con equipo de bacheo o de forma manual.

Algunas desventajas:

- ❖ Solamente puede usarse para bachear superficies de pavimento Flexible y hormigón.
- ❖ No se puede habilitar inmediatamente el tráfico después del bacheado.
- ❖ Su granulometría no es uniforme, es decir, en el bacheo llevan 2 clases de mezclas una gruesa y otra fina (arena + ligante).

**c.5. Experiencia constructiva del contratista:** En esta parte no se requiere mucha experiencia por parte del operador que realizará el bacheo ya que el uso de herramientas y equipo son básicos para el trabajo.

**Figura 2. 22** Mezcla Asfáltica convencional aplicada por la alcaldía de Tarija.



**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.19.4. Evaluación social de la aplicación de las mezclas asfálticas**

En relación al sector público considera los costos y beneficios como un proyecto que se tiene para la sociedad. Se denomina, también, evaluación social o evaluación socio-

económica y se aplica por las entidades de gobierno o públicas que realizan la inversión y cuyo interés es maximizar el beneficio público con la realización del proyecto vial.

Estas refacciones que se hacen en la capa de rodadura aportan un gran beneficio a la sociedad ya que al estar en mal estado puede provocar accidentes y demoras en el tiempo de circulación que retrasa el trabajo y por tanto la economía de los beneficiarios.

La población en su totalidad aprueba de satisfactorias estas refacciones lo que significa que es un gran aporte ante la sociedad.

**CAPÍTULO III**

**APLICACIÓN PRÁCTICA DE MEZCLAS**

**ASFÁLTICAS PARA BACHEO**

**BACHEFLEX Y MEZCLA**

**CONVENCIONAL EN PUNTOS**

**CRÍTICOS DONDE EXISTEN ESTAS**

**FALLAS EN LA CIUDAD DE TARIJA**

## **CAPÍTULO III**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA BACHEO BACHEFLEX Y MEZCLA CONVENCIONAL EN PUNTOS CRÍTICOS DONDE EXISTEN ESTAS FALLAS EN LA CIUDAD DE TARIJA**

#### **3. Aplicación práctica de mezclas asfálticas para bacheo bacheflex y mezcla convencional**

##### **3.1. Ensayo sobre la mezcla asfáltica**

###### **❖ Ensayo Marshall**

##### **3.2. Caracterización de los materiales**

###### **3.2.1. Criterios utilizados**

Los materiales usados en este tema de investigación cumplieron con las especificaciones de las normas ASTM y AASHTO. Estas mezclas ya están preparadas con su valor óptimo determinado ambos ajustándose a las normativas vigentes.

###### **3.2.2. Materiales de aporte**

###### **3.2.2.1. Agregados pétreos**

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales (agregados pétreos) de los cuales se extrae material para la ejecución de las mezclas asfálticas para la conformación de la carpeta asfáltica, tanto en la ciudad (bacheos) como los caminos asfaltados, vecinales. Para el proyecto de investigación se recaudó información fidedigna de los fabricantes sobre el lugar donde obtuvo su material pétreo estas son:

Para la mezcla convencional se obtuvo de la planta chancadora de La Pintada que provee de material a la institución de la alcaldía de la ciudad de Tarija.

Para el producto bacheflex obtuvieron de su propia planta chancadora ya que cuentan con una moderna planta de chancado.

**Figura 3. 1** Ubicación de la planta de áridos.



**Fuente:** Google Earth.

#### **3.2.2.2. Cemento asfáltico**

El cemento asfáltico modificado con polímero CAP PEN 85/100, de fabricación y procedencia brasilera que además cumple las especificaciones por la ABC, es usado para fabricar el BACHEFLEX.

Para la mezcla asfáltica convencional usaron cemento asfáltico BETUNEL 85-100 también de fabricación y procedencia del país de Brasil.

#### **3.2.3. Métodos de diseño**

El objetivo del diseño de una mezcla es desarrollar una combinación económica de agregados y asfalto. La forma, procedimiento o método que se utilice para diseñar una mezcla debe cumplir con todos los requerimientos correspondientes a los pavimentos flexibles, tales como la estabilidad, cantidad mínima de vacíos, trabajabilidad, etc.

El diseño de una mezcla se regula a través de la elección de una franja granulométrica según las especificaciones técnicas y un porcentaje de asfalto, de modo que una vez elaborada y puesta en terreno, cumpla con las exigencias para la cual fue diseñada.

Los métodos de dosificación buscan determinar un porcentaje de asfalto óptimo a partir del análisis de las propiedades de la mezcla. Estos métodos de diseño se basan en el empleo de ensayos mecánicos.

Entre los métodos de diseño más conocidos para mezclas asfálticas, se puede mencionar el método Marshall y el método Hveen. Para esta investigación se utilizará el método de diseño Marshall.

#### **3.2.4. Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall.**

El método de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

#### **3.2.5. Procedimientos e instrumentos para la realización del diseño Marshall.**

El procedimiento será aplicado para verificar y comprobar que mezcla asfáltica se comporta mejor en campo, la mezcla ya que viene preparada directamente se realizará las briquetas con cemento asfáltico y agregados no mayores de 2.54 cm (1 pulg.), el diámetro del molde Marshall será de 101.6 mm (4 pulg.). Cuando el tamaño de la partícula excede los 2.5 cm (1 pulg.) se emplean moldes de 152.4 mm (6 pulg.), este procedimiento no es aplicable a ese tipo de muestras.

**Molde de Compactación.** Consiste de una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base plana y el collar deben ser intercambiables.

**Martillo de compactación** con base plana circular de apisonado de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb.) de peso total, cuya altura de caída es de 457.2 mm (18").

**Extractor de Muestras.** Para extraer el espécimen del molde, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor.

**Mordaza.** Consiste de dos semicilindros, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior termina en una base plana con dos varillas perpendiculares que sirven de guía.

**Medidor de deformación.** Consiste en un deformímetro dividido en centésimas de milímetro. Estará sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

**Prensa.** Para llevar a la falla a la muestra, será mecánica con una velocidad uniforme de 50.8 mm/min.

**Medidor de Estabilidad.** La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 kN (2 039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

**Horno.** Horno capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.

**Baño.** El baño de agua con 150mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a  $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  ( $140^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$ ), deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

**Recipientes** de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.

**Tamices.** 25 mm (1”), 19.0 mm (3/4”), 12.5 mm (1/2”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 300 µm (N° 50) y 75 µm (N° 200).

**Termómetros blindados.** De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura. Del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).

**Balanza.** Para pesar agregado y asfalto de 5 kg. de capacidad, y sensibilidad de un 1 gr. Para pesar probetas compactadas de 2 kg. de capacidad y sensibilidad de 0.1 g

### 3.2.6. Franja aceptable de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas.

Para la elaboración de una mezcla densa o cerrada, la granulometría de las distintas fracciones de áridos constituyentes de la mezcla (incluyendo el filler de aporte) deben estar comprendidas en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las franjas granulométricas de control. Estas franjas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica del agregado utilizado.

**Tabla 3. 1** Franjas Granulométricas de control.

Tamaño de tamiz	Designación de la mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado.				
	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)
	Porcentaje total que pasa (en peso)				
50 mm (2 in)	100				
37.5 mm (1 1/2 in)	90 a 100	100			
25.0 mm (1 in)		90 a 100	100		
19.0 mm (3/4 in)	56 a 80		90 a 100	100	
12.5 mm (1/2 in)		56 a 80		90 a 100	100
9.5 mm (3/8 in)			56 a 80		90 a 100
4.75 mm (N° 4)	23 a 56	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 87
2.36 mm (N° 8)	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 56	
1.18 mm (N° 16)					
0.60 mm (N°30)					7 a 23
0.30 mm (N° 50)	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	
0.15 mm (N° 100)					2 a 10
0.075 mm (N°200)	0 a 5	1 a 7	2 a 8	2 a 10	5 a 12
Cemento asfáltico porcentaje en peso del total de la mezcla	3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5.00

**Fuente:** Construcción de pavimentos. Serie de materiales No.22 (Ms-22).

### **3.3. Procedimiento del ensayo realizado en laboratorio**

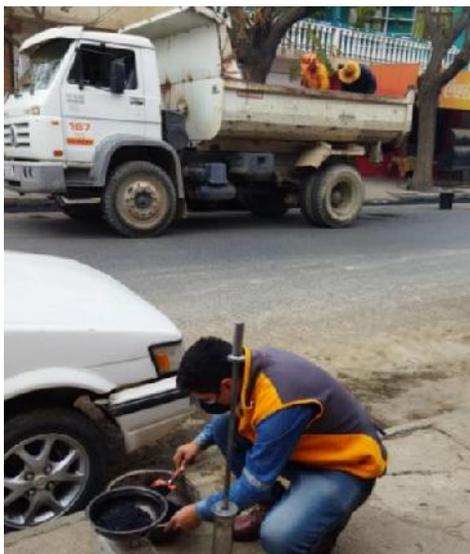
#### **3.3.1. Procedimiento para la construcción de briquetas**

El presente trabajo de investigación cuenta con mezclas asfálticas ya preparadas tanto el producto Bacheflex que viene en presentación de bolsas de 40 kg o también a la venta libre por tonelada, que su aplicación en temperatura ambiente (frío) hace que su manipulación y construcción de briquetas se realice de manera más rápida, sencilla y en laboratorio, mientras que para la construcción de briquetas de la mezcla convencional que aplica la alcaldía de Tarija será realizada in situ es decir, en campo ya que jamás se debe recalentar las mezclas asfálticas, el procedimiento de la construcción se ve a continuación:

##### **3.3.1.1. Construcción de briquetas con mezcla convencional**

La construcción de briquetas in situ.

**Figura 3. 2** Construcción de Briquetas in situ.



**Fuente:** Elaboración propia

Primeramente, se debe obtener la mezcla asfáltica y pesar 1200 gramos aproximados en bandejas.

**Figura 3. 3** Pesado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Seguidamente se debe llenar a los moldes, evitando derramar mezcla por los costados y aplicando un papel filtro tanto en la base como en la corona del molde una vez llenado.

**Figura 3. 4** Llenado de mezcla asfáltica al molde.



**Fuente:** Elaboración propia

Posterior al relleno se procede la compactación. Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo manual.

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 18 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico

**Figura 3. 5** Compactado de Briquetas.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 6** Extracción de briquetas.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3.1.2. Determinación de la Densidad, estabilidad y Fluencia Marshall**

El equipo Marshall, está diseñado para aplicar cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares, está equipado con un calibrador provisto de un anillo para determinar la carga de ensayos, de un marco de carga para ensayo de estabilidad y un medidor de flujo para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo.

Primero se debe realizar la limpieza de las briquetas evitando que tenga puntas o material desprendido, luego con un vernier se debe proceder a obtener las medidas de las alturas o espesor de la briqueta midiendo en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura medía que será corregida mediante un factor de corrección por altura.

**Figura 3. 7** Medición de briquetas.

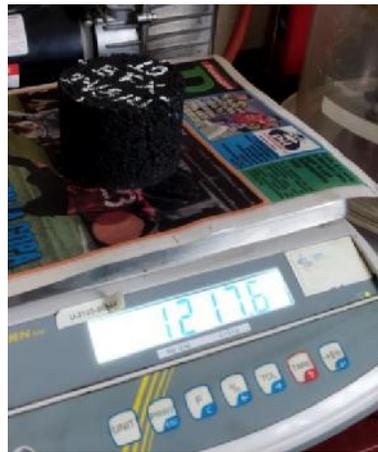


**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3.1.3. Determinación de la densidad**

Para obtener la densidad se determinará el peso seco de los especímenes ( $W_s$ ), posteriormente se deja sumergido en agua por un tiempo mínimo de 10 minutos a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  determinando así el peso sumergido ( $W_h$ ), se saca del agua, se seca con un paño, hasta alcanzar la condición de saturado y superficialmente seca ( $W_{sss}$ ), y se determina su peso.

**Figura 3. 8** Determinación del peso seco de la briqueta.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 9** Sumergido de briquetas y obtención del peso saturado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 10** Obtención del peso sumergido.



**Fuente:** Elaboración propia

#### **3.3.1.4. Determinación de la estabilidad y fluencia**

El ensayo de estabilidad y fluencia se realiza, llevando las muestras a un baño maría a  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

**Figura 3. 11** Baño María a 60 °C.



**Fuente:** Elaboración propia

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto (2" / minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C (150 °F) se anota como valor de Estabilidad Marshall.

**Figura 3. 12** Rotura de briquetas ensayo de estabilidad y fluencia.



**Fuente:** Elaboración propia

Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

### 3.3.1.5. Construcción de briquetas con producto BACHEFLEX

El producto BACHEFLEX viene en presentaciones de 40 kg o también se puede adquirir por tonelada.

**Figura 3. 13** Producto Bacheflex.



**Fuente:** Elaboración propia

Primeramente, se debe obtener la mezcla asfáltica y pesar 1200 gramos aproximados en bandejas.

**Figura 3. 14** Pesaje de la muestra Bacheflex.



**Fuente:** Elaboración propia

Seguidamente se debe llenar a los moldes, evitando derramar mezcla por los costados y se preparan los moldes colocando en el fondo papel filtro, la mezcla se introduce en el molde con su collarín y se acomoda para repartirla sin que exista una disgregación de los áridos, se coloca otro papel filtro en la parte superior antes de compactar

**Figura 3. 15** Llenado y colocado del papel filtro en el molde.



**Fuente:** Elaboración propia

Posterior al relleno se procede la compactación. Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial automático.

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, se coloca el molde con la mezcla sobre el pedestal de compactación y se ajusta el dispositivo de este que sostiene el molde, con el pistón o martillo de compactación se aplicaran 75 golpes sobre la mezcla.

La altura de caída del martillo es de 18" y debe mantenerse el eje del pistón en posición normal a la base del molde.

**Figura 3. 16** Compactación automática.



**Fuente:** Elaboración propia

Una vez aplicado el número de golpes de compactación establecido, se libera el molde de sujeción y se quita el collarín, se invierte el molde conteniendo el espécimen, se vuelve a colocar el collarín y el dispositivo que sostiene al molde y enseguida se aplica en la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la otra cara

Compactados los especímenes se les remueve la base y todavía en el molde se los coloca a temperatura ambiente por 24 horas.

**Figura 3. 17** Extracción de briquetas Bacheflex.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.3.1.6. Determinación de la Densidad, estabilidad y Fluencia Marshall**

Primero se debe realizar la limpieza de las briquetas evitando que tenga puntas o material desprendido, luego con un vernier se debe proceder a obtener las medidas de las alturas o espesor de la briqueta midiendo en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura medía que será corregida mediante un factor de corrección por altura.

**Figura 3. 18** Medición de Briquetas Bacheflex.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.1.7. Determinación de la densidad

Se debe tomar tres pesos para la determinación de la densidad, el peso seco al aire de los especímenes ( $W_s$ ). Luego se deja sumergido en agua por un tiempo mínimo de 10 minutos a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  determinando así el peso sumergido ( $W_h$ ), para el peso saturado con superficie seca ( $W_{sss}$ ) se debe procurar eliminar el exceso de agua en la superficie de la briqueta.

**Figura 3. 19** Determinación del peso seco y sumergido.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.1.8. Determinación de la estabilidad y fluencia

Después de que la densidad se ha determinado, se procede a la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

**Figura 3. 20** Baño María de briquetas Bacheflex a  $25^{\circ}\text{C}$ .



**Fuente:** Elaboración propia

Con el equipo de prueba listo se remueve el espécimen colocado en baño María y cuidadosamente se seca la superficie. Ubicando y centrando la briqueta en la mordaza inferior, se coloca la mordaza superior y se centre completamente en el aparato de carga.

Posteriormente, se aplica la carga de prueba a la briqueta a una deformación de 51 mm (2") por minuto, hasta la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de la Estabilidad Marshall. Mientras la prueba de estabilidad está en proceso, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir se deberá tomar la lectura y registrara como el valor de Flujo Marshall.

**Figura 3. 21** Rotura de Briquetas, ensayo de estabilidad y Fluencia.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4. Descripción de la zona de estudio

Los baches en las vías de Tarija son un problema cotidiano, estas mismas son ocasionadas por varios factores que se explicó anteriormente, ya que las calles y avenidas en la ciudad no fue proyectados para el notable y acelerado crecimiento parque automotor.

Debido a este problema he decidido juntamente con la honorable alcaldía municipal de la ciudad de Tarija realizar el bacheo de algunas de las muchas calles y avenidas aplicando el producto bacheflex y la mezcla convencional realizada en nuestro departamento.

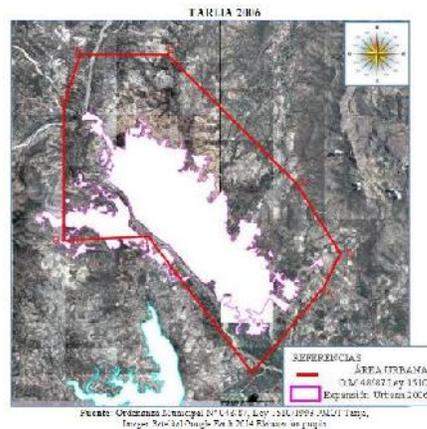
**Figura 3. 22** Calles de Tarija antes de realizar el bacheo.



**Fuente:** Elaboración propia

La provincia de cercado es una de las seis que dividen al departamento de Tarija, Bolivia. Tarija – cercado cuenta con una superficie de 2.074 km<sup>2</sup>, con una población de 268.400, Densidad 74,00 hab/km<sup>2</sup> Fuente INE 2020.

**Figura 3. 23** Mancha Urbana de la ciudad de Tarija.



**Fuente:** Ordenanza municipal.

### **3.4.1. Determinación de los puntos estratégicos de aplicación.**

Para realizar la aplicación práctica del bacheo se seleccionaron muchos puntos en distintos puntos de la ciudad.

La selección de dichos puntos fue tomada a partir de varios criterios:

Recopilación e información de problemas de fallas de pavimentos dentro el casco viejo de la ciudad de Tarija en todas las épocas del año y con más frecuencia en la época de lluvias.

Los puntos seleccionados son:

### **3.5. Características del área de estudio**

#### **3.5.1. Características del área de la falla**

##### **3.5.1.1. Punto 1 en estudio Calle Comercio zona Tobogán Mercado Campesino**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde por ser una calle muy concurrida y además de tener una humedad constante debido a la contaminación y negocios de comida que arrojan sus aguas negras directamente sobre la capa de rodadura.

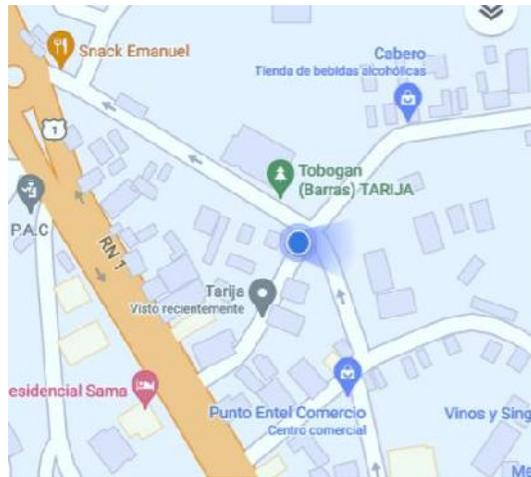
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619557 utm

**ESTE:** 319443 utm

**ALTURA:** 1996 m

**Figura 3. 24** Ubicación punto 1 calle comercio zona Tobogán-Mercado Campesino.



**Fuente:** google Maps

Cabe resaltar que se aplicó tanto el producto pre fabricado Bacheflex y la mezcla convencional de la alcaldía.

**Figura 3. 25** Identificación del área de la falla de la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 26** Limpieza del área a ser reparada.



**Fuente:** Elaboración propia

Se procede a la limpieza del área desprendiendo todo el material suelto y otros contaminantes.

**Figura 3. 27** Aplicación del producto bacheflex.



**Fuente:** Elaboración propia

Seguidamente aplicamos el producto bacheflex y la mezcla convencional proporcionada por miembros de la alcaldía de la ciudad de Tarija.

**Figura 3. 28** Compactado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se compacta ya sea mediante un saltarín o un rodillo.

### **3.5.1.2. Punto 2 en estudio Avenida Panamericana pasaje Hugo Mealla**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde por ser una calle muy concurrida y estacionamiento de transporte pesado para descargar productos que abastecen al mercado campesino el asfalto se va dañando.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619515 utm

**ESTE:** 324183 utm

**ALTURA:** 1992 m

**Figura 3. 29** Ubicación punto 2 Avenida Panamericana pasaje Hugo



**Fuente:** Google Maps

**Figura 3. 30** Identificación de la falla.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificamos el área de la falla

Se verifica que la zona es de alto tráfico, el cual genera un desgaste mucho más rápido.

**Figura 3. 31** Zona de alto tráfico.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 32** Aplicado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicamos la mezcla asfáltica con un riego de liga anteriormente aplicado y procedemos a compactar.

**Figura 3. 33** Compactado con rodillo y motoniveladora.



**Fuente:** Elaboración propia

Cuando el área del bache es muy grande en cuento a su dimensión se usa el rodillo.

### **3.5.1.3. Punto 3 en estudio B/ Juan Pablo II calle Nazaret entre Santísima Trinidad y Apóstoles**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde esta calle se dañó debido a una ruptura de tubería de agua la cual afecto la capa base y sub base dañando profundamente el pavimento, se presume que fue por la transitabilidad de transporte pesado debido a un taller de alineación que queda al final de la calle.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619741 utm

**ESTE:** 319099 utm

**ALTURA:** 1923 m

**Figura 3. 34** Ubicación punto 3 calle Nazaret barrio Juan Pablo II.



**Fuente:** Google Maps

**Figura 3. 35** Identificación del área a refaccionar.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 36** Rellenado de la zona con material para capa base.



**Fuente:** Elaboración propia

Trabajadores de la alcaldía rellenan el área afectada con material para relleno y piedra manzana.

**Figura 3. 37** Perfilado y encuadrado del área a reparar.



**Fuente:** Elaboración propia

Se encuadra la zona que será bacheada con una cortadora de asfalto, para su mejor adherencia.

**Figura 3. 38** Compactado del área aplicada.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactado del material relleno en el bache de mayor dimensión.

**Figura 3. 39** Riego de liga antes de aplicar la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Riego de liga que ocasionará una mucha mejor adherencia de la mezcla asfáltica.

**Figura 3. 40** Compactado con rodillo.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación de la mezcla asfáltica bacheflex y mezcla convencional, compactado con rodillo.

### 3.5.1.4. Punto 4 en estudio Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio Rosedal

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde esta calle se dañó debido al tráfico continuo y maquinaria pesada que hizo arreglos en la quebrada que está a un lado.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617239 utm

**ESTE:** 323326 utm

**ALTURA:** 1878 utm

**Figura 3. 41** Ubicación punto 4 Calle Tomas O´connor D´arlach.



**Fuente:** Google Maps

**Figura 3. 42** Identificación del bache.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación del área de la falla y aplicación del producto bacheflex

**Figura 3. 43** Compactado del área bacheada.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.5. Punto 5 en estudio Av. Octavio Campero Echazú B/ Morros Blancos**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico de transporte pesado que transita en el lugar, además de aguas estancadas debido a la desnivelación que existe en ciertas zonas que no dejan evacuar las aguas a las alcantarillas debidamente.

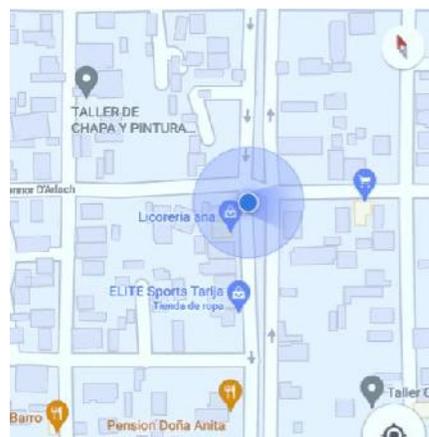
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617094 utm

**ESTE:** 324183 utm

**ALTURA:** 1884 m

**Figura 3. 44** Ubicación Punto 5 Av. Octavio Campero Echazú.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 45** Identificación de la falla.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 46** Limpieza y recuadre de la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

Limpiamos y recuadramos el área a reparar sacando todo el material suelto y otros.

**Figura 3. 47** Aplicación del ligante.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicamos un poco de ligante debido a que el área afectada se encontraba con humedad.

**Figura 3. 48** Vehículos que transitan por el lugar.



**Fuente:** Elaboración propia

En la imagen se muestra el transporte que circula por la zona.

**Figura 3. 49** Compactado y limpieza del área.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se realiza la compactación y limpieza de residuos sobrantes.

#### **3.5.1.6. Punto 6 en estudio Ruta Nacional 1 Zona de la Nueva Terminal (Torrecillas)**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico de transporte pesado que transita en el lugar, además de aguas estancadas debido a negocios de lavanderías en la parte superior que no desembocan su agua de manera correcta.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7615400 utm

**ESTE:** 325343 utm

**ALTURA:** 1856 m

**Figura 3. 50** Ubicación punto 6 ruta Nacional zona Nueva Terminal.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 51** Identificación de la falla.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación del área de la falla.

**Figura 3. 52** Aplicación de la mezcla asfáltica y limpieza de la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

Limpieza del área afectada y aplicación de la mezcla asfáltica.

**Figura 3. 53** Aplicado del producto.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación del producto Bacheflex en la falla.

**Figura 3. 54** Compactado y limpieza del ÁREA.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente compactamos y limpiamos los residuos.

**Figura 3. 55** Habilitación del tráfico inmediatamente.



**Fuente:** Elaboración propia

Verificación de tipos de vehículos que circulan por la zona.

### 3.5.1.7. Punto 7 en estudio Ruta San Jacinto cruce a ENDE

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico de la zona y maquinaria pesada por las distintas fábricas de la zona.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7615590 utm

**ESTE:** 320278 utm

**ALTURA:** 1917 m

**Figura 3. 56** Ubicación punto 7 ruta San Jacinto cruce ENDE.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 58** Identificación del área.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 57** Aplicado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 59** Compactado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Una vez aplicada la mezcla asfáltica se compacta y se limpia los sobrantes.

#### **3.5.1.8. Punto 8 en estudio Av. Bicentenario B/ Miraflores**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por hundimientos y desgaste rápido del pavimento.

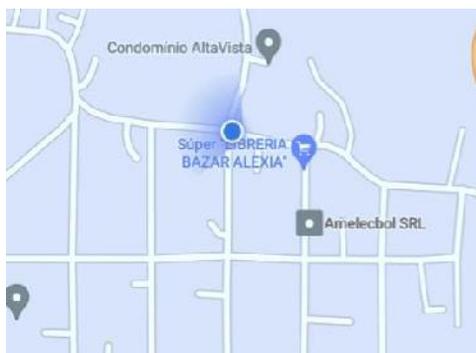
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7615670 utm

**ESTE:** 320643 utm

**ALTURA:** 1902 m

**Figura 3. 60** Ubicación punto 8 Av. Bicentenario B/ Miraflores.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 61** Identificación del área.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 62** Aplicación y compactado.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 63** Recolección de desechos y material suelto.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se realiza la recolección de desechos o material suelto que estaban en los baches.

#### **3.5.1.9. Punto 9 en estudio Pasaje Cerezos plaza del Barrio Rosedal**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, en este caso es una acometida debido a una instalación nueva de agua potable y alcantarillado.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617347 utm

**ESTE:** 323073 utm

**ALTURA:** 1894 m

**Figura 3. 64** Ubicación punto 9 pasaje Cerezos barrio Rosedal.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 66** Identificación del área.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 65** Aplicación de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicamos la mezcla asfáltica en la acometida con un poco de altura extra para la auto compactación generada por los vehículos.

**Figura 3. 67** Compactación y limpieza.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente compactamos y limpiamos el área de reparación.

### **3.5.1.10. Punto 10 en estudio Calle 12 de Octubre B/ 12 de Octubre**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por desnivel en la plataforma lo cual ocasiona estancamientos de agua y por lo consiguiente aparecen estos baches.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619256 utm

**ESTE:** 310431 utm

**ALTURA:** 1817 utm

**Figura 3. 68** Ubicación punto 10 calle 12 de Octubre B/ 12 de Octubre.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 69** Limpieza de la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificamos la falla y procedemos a limpiarla.

**Figura 3. 70** Aplicación de la mezcla  
asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 71** Compactado de la mezcla  
aplicada.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicamos el producto y procedemos a compactarlo, una vez compactado se limpia de los materiales sueltos.

#### **3.5.1.11. Punto 11 en estudio Barrio Lourdes final Colón calle sin nombre**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados debido a ruptura de tubería que ocasionó hundimiento y por lo tanto se rompió el asfalto para reparar el daño.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617440 utm

**ESTE:** 324576 utm

**ALTURA:** 1886 utm

**Figura 3. 72** Ubicación punto 11 B/ Lourdes final calle Colón.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 73** Limpieza del área a reparar.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 74** Compactado de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.12. Punto 12 en estudio calle Hugo Mealla Av. Luis Campero**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por la constante humedad que presenta por la actividad comercial del lugar.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619304 utm

**ESTE:** 319885 utm

**ALTURA:** 1950 m.

**Figura 3. 75** Ubicación punto 12 calle Hugo Mealla/ av. Luis campero.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 77** Ubicación de la falla (bache).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 76** Aplicación de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3. 78** Compactado y limpieza de residuos.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.13. Punto 13 en estudio B/ Senac Av. Julio Arce entre Hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad siendo una avenida principal y humedad constante debido a las aguas negras que desembocan de los comerciales de comida cercanas.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617170 utm

**ESTE:** 319113 utm

**ALTURA:** 1915 m

**Figura 3. 79** Ubicación punto 13 B/Senac av. Julio Arce entre Hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo.



Fuente: Google Maps.

**Figura 3. 80** Mezcla aplicada en acometida.



Fuente: Elaboración propia

Mezclas asfálticas aplicadas en una acometida

**Figura 3. 81** Aplicación del producto.



Fuente: Elaboración propia

Aplicamos las mezclas asfálticas y procederemos a compactarlas con la plancha por ser capas muy delgadas de mezclas.

**Figura 3. 82** Compactación y limpieza del área.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactación y limpieza de los materiales sueltos.

#### **3.5.1.14. Punto 14 en estudio Calle Lazcano casi Av. Belgrano**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por desgaste y atascamiento de agua, además de que en el lugar se construyeron obras nuevas y rompieron el asfalto para la instalación nueva de agua y alcantarillado.

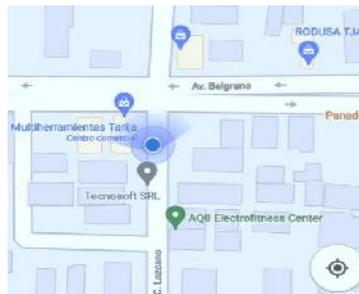
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617195 utm

**ESTE:** 321888 utm

**ALTURA:** 1882 m

**Figura 3. 83** Ubicación punto 14 Calle Lazcano casi Av. Belgrano.



**Fuente:** Google Maps

**Figura 3. 84** Identificación de la falla y aplicación del producto.



**Fuente:** Elaboración propia

Además, usamos el bacheflex en lugares cercanos sobre la avenida para contribuir a su conservación ya que un bache pequeño sin tratamiento se convierte en un problema enorme.

**Figura 3. 85** Habilidad del tráfico luego del bacheo.



**Fuente:** Elaboración propia

Una de las ventajas del bacheflex es su inmediata habilitación del tráfico después del bacheado.

**Figura 3. 86** Limpieza después de su reparación.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se procede a la limpieza de los materiales sueltos.

#### **3.5.1.15. Punto 15 en estudio Calle Final Comercio / Rotonda Carboneras**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde por ser una calle muy concurrida y estacionamiento de transporte pesado para descargar productos que abastecen al mercado campesino el asfalto se va dañando.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619567 utm

**ESTE:** 319363 utm

**ALTURA:** 1995 m

**Figura 3. 87** Ubicación punto 15 Calle final Comercio/rotonda carboneras.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 88** Limpieza y aplicado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicamos las mezclas asfálticas y se compacta con el rodillo por ser áreas considerablemente grandes.

**Figura 3. 89** Limpieza del área reparada.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se procede a la limpieza de la zona que se realizó el bacheo.

#### **3.5.1.16. Punto 16 en estudio Av. Potosí /Pasaje Güemes**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde esta falla se originó debido a la fuerte explosión de un ducto de agua que origino un daño considerable al pavimento.

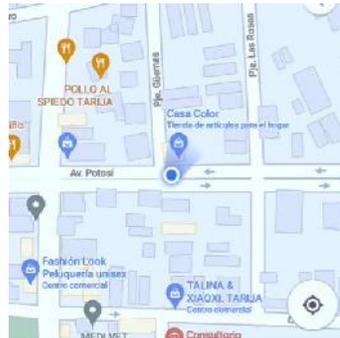
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617674 utm

**ESTE:** 321656 utm

**ALTURA:** 1882 m.

**Figura 3. 90** Ubicación punto 16 Av. Potosí /Pasaje Güemes.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 91** Identificación y aplicación de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación de la falla y limpieza de la misma.

**Figura 3. 92** Compactado y limpieza.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente compactamos y limpiamos el área trabajada.

### **3.5.1.17. Punto 17 de estudio Av. Circunvalación / frente a Mercado San Bernardo**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde por ser una calle muy concurrida y en épocas de lluvia una avenida que se inunda fácilmente, además de ser una avenida especialmente de circulación de transporte pesado y de carga.

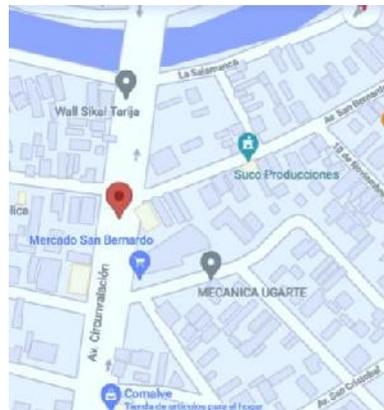
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7618761 utm

**ESTE:** 321415 utm

**ALTURA:** 1879 m

**Figura 3. 93** Ubicación punto 17 Av. Circunvalación/ frente mercado San Bernardo.



**Fuente:** Google Maps

**Figura 3. 94** Ubicación de la falla y aplicación de mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación y limpieza de la zona afectada.

**Figura 3. 95** Limpieza del área.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.18. Punto 18 en estudio Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad siendo una avenida principal y humedad constante debido a las aguas negras que desembocan de los comerciales de comida cercanas.

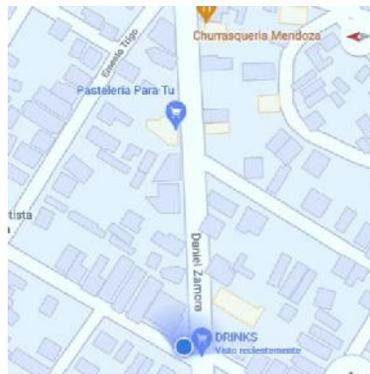
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619156 utm

**ESTE:** 320044 utm

**ALTURA:** 1898 m

**Figura 3. 96** Ubicación punto 18 Av. Daniel Zamora/ zona venta de parrilladas.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 97** Limpieza y aplicado del producto.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación del área de bacheo y limpieza de la misma.

Aplicación de las mezclas asfálticas en el bache ya previamente ligado y limpiado.

**Figura 3. 98** Compactado sobre el área reparada.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactado y limpieza de los materiales sueltos.

#### **3.5.1.19. Punto 19 en estudio Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad siendo una avenida principal y humedad constante debido a las aguas negras que desembocan de los comerciales de comida cercanas.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619160 utm

**ESTE:** 319791 utm

**ALTURA:** 1913 m

**Figura 3. 99** Ubicación punto 19 Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 100** Limpieza y aplicado de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

Identificación de la zona de bacheo y ligado. Aplicación de las mezclas asfálticas y nivelado mediante un bastón metálico de forma en T.

**Figura 3. 101** Compactado del área.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.20. Punto 20 en estudio Parque temático casi Puente Bolívar**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad siendo una avenida principal.

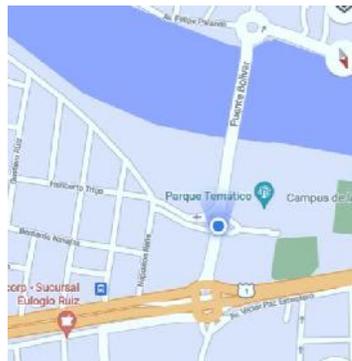
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7616875 utm

**ESTE:** 321083 utm

**ALTURA:** 1862 m

**Figura 3. 102** Ubicación punto 20 Parque temático casi Puente Bolívar.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 103** Aplicación y compactado.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación de las mezclas asfálticas y compactado de las mismas.

#### **3.5.1.21. Punto 21 en estudio Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad y por la contaminación de aguas los fines de semana debido a la feria realizada en este lugar.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617477 utm

**ESTE:** 321604 utm

**ALTURA:** 1889 m

**Figura 3. 104** Ubicación punto 21 Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 105** Aplicación, nivelado y compactado de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.1.22. Punto 22 en estudio Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por su alta transitabilidad siendo una avenida principal y humedad constante debido a las aguas negras que desembocan de los comercios ya que se encuentra en el mercado campesino.

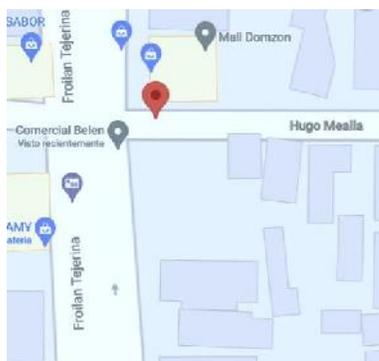
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619422 utm

**ESTE:** 319719 utm

**ALTURA:** 1930 m

**Figura 3. 106** Ubicación punto 22 Av. Froilán Tejerina esq. Hugo Mealla.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 107** Aplicado del producto en la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicado de las mezclas asfálticas en la zona de bacheo.

**Figura 3. 108** Compactado y limpieza del área.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactado, nivelado y limpieza del área trabajada.

### **3.5.1.23. Punto 23 en estudio B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico de transporte pesado que transita en el lugar, además de ser una calle que no cuenta con muchas bocas tormentas para evacuar las aguas de lluvia.

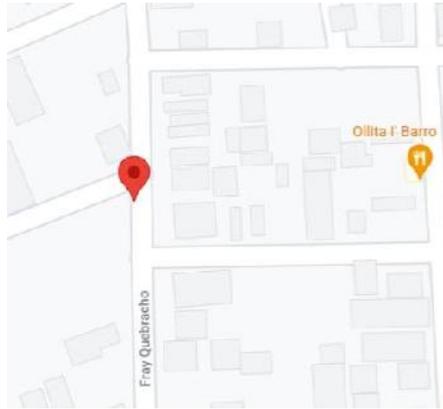
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7618092 utm

**ESTE:** 324476 utm

**ALTURA:** 1883 m

**Figura 3. 109** Ubicación punto 23 B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 110** Ubicación del bache y reparación del mismo.



**Fuente:** Elaboración propia

Ubicación del área de las fallas y limpieza. Aplicación de la mezcla asfáltica y compactado de la misma.

#### **3.5.1.24. Punto 24 en estudio Av. Libertad / quebrada Verdun**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico y la humedad relativamente alta que tiene esta zona por estar al lado la quebrada verdun que se mantiene con agua casi todo el año.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7618030 utm

**ESTE:** 318974 utm

**ALTURA:** 1887 m

**Figura 3. 111** Ubicación punto 24 Av. Libertad / quebrada Verdun.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 112** Bacheflex en su presentación en bolsas.



**Fuente:** Elaboración propia

Material bacheflex aplicado en la zona.

**Figura 3. 113** Aplicación y compactado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación de las mezclas asfálticas y compactación de estas.

#### **3.5.1.25. Punto 25 en estudio Av. San Andrés y Av. Los Molles B/ San Antonio**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico de la zona además de no tener una pendiente adecuada para evacuar correctamente las aguas.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617553 utm

**ESTE:** 318140 utm

**ALTURA:** 1932 m

**Figura 3. 114** Ubicación punto 25 Av. San Andrés y Av. Los Molles.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 115** Limpieza y aplicado del producto.



**Fuente:** Elaboración propia

Limpieza del área de bacheo y ligado. Aplicación de las mezclas asfálticas.

**Figura 3. 116** Compactado del área reparada.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactado y limpieza del área bacheada.

#### **3.5.1.26. Punto 26 en estudio Calle Lazcano y Delfín pino**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por desgaste y atascamiento de agua además de hundimientos por roturas de tuberías.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617075 utm

**ESTE:** 321845 utm

**ALTURA:** 1887 m

**Figura 3. 117** Ubicación Punto 26 Calle Lazcano y calle Delfín Pino.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 118** Limpieza y aplicado de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

Limpieza del área, ligado, Aplicación de las mezclas asfálticas y nivelado mediante los bastones.

**Figura 3. 119** Compactado de la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

Compactado y limpieza del área ya trabajada.

### **3.5.1.27. Punto 27 en estudio Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida son causados por desgaste y por humedad.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7617271 utm

**ESTE:** 319035 utm

**ALTURA:** 1921 m

**Figura 3. 120** Ubicación punto 27 Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 121** Limpieza y aplicación de mezcla asfáltica.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.5.1.28. Punto 28 en estudio Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron por alta transitabilidad y por hundimientos en la calzada.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7616692 utm

**ESTE:** 319029 utm

**ALTURA:** 1929 m

**Figura 3. 122** Ubicación Punto 28 Av. los Ceibos y calle Isidoro Pantoja.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 123** Aplicación, compactación y limpieza.



**Fuente:** Elaboración propia

Proceso de aplicación, compactación y limpieza del área que se hizo el bacheo.

#### **3.5.1.29. Punto 29 en estudio Av. Los Sauces B/ German Busch**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron debido al alto tráfico y el desgaste muy notable del pavimento que ya necesita un recapamiento.

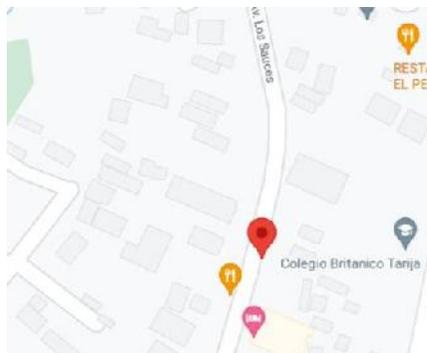
Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7616803 utm

**ESTE:** 320313 utm

**ALTURA:** 1874 m

**Figura 3. 124** Ubicación punto 29 Av. Los Sauces B/ German Busch.



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 125** Aplicación y compactación de la mezcla.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación del material de relleno y su posterior compactación.

### **3.5.1.30. Punto 30 en estudio Av. Guadalquivir final**

El área de reparación se estableció a través de una visita en campo, donde los daños a esta avenida fueron ocasionados por el desgaste del pavimento y la excesiva agua que baja del sector del campesino.

Con Coordenadas de ubicación:

**NORTE:** 7619023 utm

**ESTE:** 319400 utm

**ALTURA:** 1953 m

**Figura 3. 126** Ubicación punto 30 Av. Guadalquivir



**Fuente:** Google Maps.

**Figura 3. 127** Aplicación y compactado en la zona.



**Fuente:** Elaboración propia

Aplicación y compactado de las mezclas asfálticas.

### **3.6. Resultados obtenidos del ensayo de estabilidad y fluencia para la mezcla convencional**

El dato después de realizar el ensayo se muestra en la tabla siguiente:

Cabe recalcar que los datos ya fueron proporcionados por personal encargado de laboratorio de la alcaldía donde nos muestran su mezcla asfáltica óptima y sus datos para el cálculo de la planilla Marshall.

**Tabla 3. 2** Peso específico de los Materiales Mezcla Asfáltica convencional.

Pesos Específicos			
	Material	P.E. (gr/cm3)	Dosificación %
Agregados	Grava	2.70	21.00
	Gravilla	2.72	35.00
	Arena	2.75	44.00
	Filler	0.00	0.00
Cemento Asfáltico	C.A.P. PEN 85/100	1.040	
Peso Específico total			
		P.E. (gr/cm3)	
	Material retenido Tamiz N° 4	2.71	52.31
	Material que pasa Tamiz N° 4	2.75	47.69
	Total	2.73	100

**Fuente:** Honorable Alcaldía de la ciudad de Tarija- dirección de proyectos urbanos.

**Tabla 3. 3** Planilla resultados del método Marshall para mezcla convencional.

PLANILLA MÉTODO MARSHALL																					
MEZCLA CONVENCIONAL PARA BACHEO																					
N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Mars hall				Fluencia			
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad final	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%		cm	grs.	grs.	grs.	cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01pulg	0,01pulg
1	5.825	6.19	6.30	1186.4	1188.8	675	513.8	2.31	2.31	2.48	6.92	19.86	65.13	967	2585.72	1.01	2619.33	2619.33	16	16.00	
2	5.825	6.19	6.35	1185.7	1187.3	677	510.3	2.32	2.32	2.48	6.34	19.36	67.24	1105	2957.32	1.00	2957.32	2957.32	17	17.00	
3	5.825	6.19	6.40	1190.4	1191.9	683	508.9	2.34	2.34	2.48	5.71	18.81	69.64	1203	3221.22	0.99	3180.95	3180.95	18	18.00	
4	5.825	6.19	6.45	1183.7	1186.5	672	514.5	2.30	2.30	2.48	7.26	20.15	63.95	1001	2677.27	0.98	2610.34	2610.34	16	16.00	
5	5.825	6.19	6.20	1085.6	1087.6	619	468.6	2.32	2.32	2.48	6.62	19.59	66.22	1060	2836.15	1.04	2949.59	2949.59	16	16.00	
6	5.825	6.19	6.50	1186.9	1189.4	681	508.4	2.33	2.33	2.48	5.90	18.97	68.92	1320	3536.27	0.96	3403.66	3403.66	18	18.00	
7	5.825	6.19	6.18	1190.9	1193.2	675	518.2	2.30	2.30	2.48	7.37	20.24	63.61	996	2663.81	1.27	3383.04	3383.04	12	12.00	
8	5.825	6.19	6.30	1287.4	1289.9	732	557.9	2.31	2.31	2.48	6.98	19.91	64.92	1122	3003.10	1.01	3042.14	3042.14	13	13.00	
9	5.825	6.19	6.48	1195.3	1197.6	688	509.6	2.35	2.35	2.48	5.45	18.59	70.67	1410	3778.63	0.97	3655.82	3655.82	14	14.00	
10	5.825	6.19	6.30	1200.6	1202.7	691	511.7	2.35	2.35	2.48	5.42	18.57	70.78	1008	2696.12	1.01	2731.17	2731.17	16	16.00	
11	5.825	6.19	6.47	1191.8	1194.1	681	513.1	2.32	2.32	2.48	6.37	19.38	67.12	1210	3240.07	0.97	3142.86	3142.86	18	18.00	
12	5.825	6.19	6.37	1213.9	1215.0	695	520.0	2.33	2.33	2.48	5.90	18.98	68.90	1120	2997.71	1.00	2982.73	2982.73	16	16.00	
13	5.825	6.19	6.35	1228.3	1230.7	701	529.7	2.32	2.32	2.48	6.53	19.52	66.54	1010	2701.51	1.00	2701.51	2701.51	16	16.00	
14	5.825	6.19	6.50	1314.2	1316.5	745	571.5	2.30	2.30	2.48	7.31	20.19	63.80	977	2612.64	0.96	2514.67	2514.67	14	14.00	
15	5.825	6.19	6.10	1250.4	1252.9	713	539.9	2.32	2.32	2.48	6.65	19.62	66.12	910	2432.23	1.07	2604.91	2604.91	14	14.00	
16	5.825	6.19	6.29	1188.2	1190.4	677	513.4	2.31	2.31	2.48	6.71	19.67	65.89	1016	2717.66	1.02	2761.15	2761.15	13	13.00	
17	5.825	6.19	6.49	1143.7	1145.8	651	494.8	2.31	2.31	2.48	6.83	19.78	65.47	1020	2728.43	0.97	2632.94	2632.94	14	14.00	
18	5.825	6.19	6.50	1193.4	1195.5	682	513.5	2.32	2.32	2.48	6.32	19.34	67.31	1130	3024.64	0.96	2911.22	2911.22	14	14.00	
ESPECIFICACIONES			minimo								3	13	75					1800			8
			maximo								5	-	82					-			16

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1. Interpretación de resultados del ensayo Marshall con mezcla asfáltica convencional

Una vez calculada la planilla se procede a la lectura de los resultados mediante un promedio obtenido de los parámetros que se debe analizar ya que se trataría de una mezcla ya preparada con un solo porcentaje de cemento asfáltico, los resultados se ven a continuación:

**Tabla 3. 4** Resultados del ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional.

<b>Tabla resumen de Resultados Mezcla Convencional</b>					
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	% de vacíos mezcla total (%)	V.A.M. (vacíos agregados mineral) (%)	R.B.V. (relación betumen vacíos) (%)	Estabilidad final (libras)	Fluencia (0.01 pulg)
<b>2.32</b>	<b>6.48</b>	<b>19.47</b>	<b>66.79</b>	<b>2932.52</b>	<b>15.28</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Por parte de la densidad el valor arrojado de 2.32 **grs/cm<sup>3</sup>** representa una densidad optima que proporcionara buena resistencia.

En cuanto al % de vacíos la mezcla convencional no está cumpliendo con los límites de la especificación, sino que arroja valores mayores esto significa que la mezcla no cuenta con suficiente filler o este es muy poco lo que genera un % de vacíos mayor.

Por otro lado, los vacíos de agregados minerales cumplen con la norma de valor mínimo 13 % estos son los vacíos que suponiendo no hay asfalto en la mezcla que debe cubrir el ligante.

En la relación betumen – vacíos (R.B.V.), el valor arrojado del cálculo es 66.79 % el cual no cumple con los límites de 75 a 82, esto se deduce a que la mezcla aplicada está muy pobre de ligante asfáltico.

Estas fallas posiblemente se deben a la enorme cantidad que produce la alcaldía o que fue un error de dosificación al momento de preparar.

En cuanto la estabilidad se supera el límite mínimo de norma con un valor de 2932.52 libras-fuerza por lo cual se deduce la mezcla es estable para aplicarse en capas de rodadura o en este caso para bacheo.

Los agregados juegan un papel muy importante en estabilidad ya que una mezcla con agregados de canto rodado es completamente inestable, mientras que los agregados chancados son los mejores para las mezclas asfálticas.

La fluencia es la deformación ante la presencia de carga que hace que exista cierta deformación hacia los costados, el valor promedio arrojado del ensayo resalta que si cumple con la fluencia especificada por norma.

### **3.7. Resultados obtenidos del ensayo de estabilidad y fluencia para la mezcla asfáltica BACHEFLEX**

El dato después de realizar el ensayo se muestra en la tabla siguiente:

Cabe recalcar que los datos ya fueron proporcionados por el fabricante sin presentar o indicar los aditivos especiales ya que por políticas de empresa no se puede dar a conocer, pero si se pudo conocer los datos suficientes para elaborar la planilla Marshall.

**Tabla 3. 5** Peso específico de los materiales de la mezcla asfáltica Bacheflex.

Pesos Específicos			
	Material	P.E. (gr/cm <sup>3</sup> )	Dosificación %
Agregados	Grava	2.71	20.00
	Gravilla	2.72	38.00
	Arena	2.75	42.00
	Filler	0.00	0.00
Cemento Asfáltico	C.A.P. PEN 85/100	1.080	
Peso Específico total			
		P.E. (gr/cm <sup>3</sup> )	
	Material retenido Tamiz N° 4	2.72	53.04
	Material que pasa Tamiz N° 4	2.75	46.96
	Total	2.73	100

**Fuente:** QUIMITEC asfaltos S.A.

**Tabla 3. 6** Planilla resultados del método Marshall para Bacheflex.

PLANILLA MÉTODO MARSHALL																					
Mezclas asfálticas BACHEFLEX aplicadas en las calles de la ciudad de Tarija																					
N° de probeta	% de Asfalto		altura promedio de probeta	Peso Briqueta			Volumen	Densidad Briqueta			% de Vacíos			Estabilidad Mars hall					Fluencia		
	base Mezcla	base Agregados		seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teorica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen)	lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad final	lectura dial del flujo	Fluencia promedio	
	%	%		cm	grs.	grs.	grs.	cm3	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	0,01pulg	0,01pulg
1	6.500	6.95	6.10	1144.3	1149.3	665	484.3	2.36	2.36	2.47	4.32	18.54	76.69	110	2970.79	1.07	3181.71	3181.71	16	16.00	
2	6.500	6.95	6.50	1239.3	1241.3	720	521.3	2.38	2.38	2.47	3.73	18.04	79.31	129	3291.23	0.96	3167.81	3167.81	17	17.00	
3	6.500	6.95	6.40	1290.6	1293.6	715	578.6	2.23	2.23	2.47	9.68	23.10	58.11	1235	3307.39	0.99	3266.04	3266.04	18	18.00	
4	6.500	6.95	6.40	1174.0	1179.4	687	492.4	2.38	2.38	2.47	3.45	17.80	80.60	1339	3587.44	0.99	3542.59	3542.59	14	14.00	
5	6.500	6.95	6.30	1183.4	1187.9	692	495.9	2.39	2.39	2.47	3.37	17.73	81.01	110	2970.79	1.01	3009.41	3009.41	14	14.00	
6	6.500	6.95	6.20	1268.7	1270.7	718	552.7	2.30	2.30	2.47	7.05	20.86	66.22	1150	3078.50	1.04	3201.64	3201.64	14	14.00	
7	6.500	6.95	6.00	1136.3	1138.7	672	466.7	2.43	2.43	2.47	1.41	16.06	91.23	1101	2946.55	1.27	3742.12	3742.12	14	14.00	
8	6.500	6.95	6.50	1231.8	1233.5	719	514.5	2.39	2.39	2.47	3.05	17.46	82.52	1173	3140.43	0.96	3022.67	3022.67	13	13.00	
9	6.500	6.95	6.00	1251.7	1254.8	739	515.8	2.43	2.43	2.47	1.73	16.34	89.39	1335	3576.67	1.10	3945.06	3945.06	18	18.00	
10	6.500	6.95	6.45	1180.8	1183.5	689	494.5	2.39	2.39	2.47	3.31	17.68	81.29	1210	3240.07	0.98	3159.07	3159.07	16	16.00	
11	6.500	6.95	6.40	1186.6	1190.3	704	486.3	2.44	2.44	2.47	1.19	15.88	92.48	1215	3253.53	0.99	3212.86	3212.86	16	16.00	
12	6.500	6.95	6.30	1200.5	1202.6	708	494.6	2.43	2.43	2.47	1.71	16.32	89.50	1150	3078.50	1.01	3118.52	3118.52	13	13.00	
13	6.500	6.95	6.25	1182.0	1183.3	690	493.3	2.40	2.40	2.47	2.97	17.39	82.91	1220	3266.99	1.03	3355.20	3355.20	14	14.00	
14	6.500	6.95	6.20	1169.0	1170.2	689	481.2	2.43	2.43	2.47	1.63	16.25	89.99	1240	3320.85	1.04	3453.68	3453.68	16	16.00	
15	6.500	6.95	6.20	1198.0	1200.7	705	495.7	2.42	2.42	2.47	2.14	16.68	87.20	1155	3091.96	1.04	3215.64	3215.64	14	14.00	
16	6.500	6.95	6.20	1160.8	1162.1	677	485.1	2.39	2.39	2.47	3.10	17.50	82.28	1260	3374.71	1.04	3509.69	3509.69	16	16.00	
17	6.500	6.95	6.30	1185.3	1186.6	686	500.6	2.37	2.37	2.47	4.12	18.37	77.57	1210	3240.07	1.01	3282.19	3282.19	14	14.00	
18	6.500	6.95	6.20	1206.0	1208.0	711	497.0	2.43	2.43	2.47	1.74	16.34	89.35	1130	3024.64	1.04	3145.63	3145.63	13	13.00	
ESPECIFICACIONES				minimo								3	13	75						1800	8
				maximo								5	-	82						-	16

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.1. Interpretación de resultados del ensayo Marshall con mezcla asfáltica Bacheflex

Una vez calculada la planilla se procede a la lectura de los resultados mediante un promedio obtenido de los parámetros que se debe analizar ya que se trataría de una mezcla ya preparada con un solo porcentaje de cemento asfáltico, los resultados se ven a continuación

**Tabla 3. 7** Resultados del ensayo Marshall para mezcla asfáltica Bacheflex.

<b>ANÁLISIS de Resultados Bacheflex</b>					
Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	% de vacíos mezcla total (%)	V.A.M. (vacíos agregados mineral) (%)	R.B.V. (relación betumen vacíos) (%)	Estabilidad final (libras)	Fluencia (0.01 pulg)
<b>2.39</b>	<b>3.32</b>	<b>17.69</b>	<b>82.09</b>	<b>3307.31</b>	<b>15.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Por parte de la densidad el valor arrojado de 2.39 **grs/cm<sup>3</sup>** representa una densidad óptima que proporcionará buena resistencia.

En cuanto al % de vacíos la mezcla Bacheflex está cumpliendo con los límites de la especificación. Esto quiere decir que cuenta con la cantidad de finos adecuada para su uso en carpetas de rodaduras.

Por otro lado, los vacíos de agregados minerales cumplen con la norma de valor mínimo 13 % estos son los vacíos que suponiendo no hay asfalto en la mezcla que debe cubrir el ligante.

En la relación betumen – vacíos (R.B.V.), el valor arrojado del cálculo es 82.09 % el cual cumple con los límites de 75 a 82, esto se deduce a que la mezcla aplicada está con el contenido de ligante asfáltico adecuado.

En cuanto la estabilidad se supera el límite mínimo de norma con un valor de 3307.31 libras-fuerza por lo cual se deduce la mezcla es estable para aplicarse en capas de rodadura o en este caso para bacheo.

Los agregados juegan un papel muy importante en estabilidad ya que una mezcla con agregados de canto rodado es completamente inestable, mientras que los agregados chancados son los mejores para las mezclas asfálticas ya que en este caso los agregados usados según especificación son 100% chancados.

La fluencia es la deformación ante la presencia de carga que hace que exista cierta deformación hacia los costados, el valor promedio arrojado del ensayo resalta que si cumple con la fluencia especificada por norma.

### 3.7.2. Interpretación comparativa de resultados

**Tabla 3. 8** Interpretación comparativa de resultados ensayo Marshall.

Análisis de resultados			
		Valor	Interpretación
Mezcla asfáltica Bacheflex	Densidad (grs/cm <sup>3</sup> )	2.39	Representa una densidad óptima que proporcionará una buena resistencia.
Mezcla asfáltica convencional		2.32	Representa una densidad óptima que proporcionará una buena resistencia.
Mezcla asfáltica Bacheflex	% de vacíos mezcla total (%)	3.32	Cumple con los límites de la especificación. La mezcla asfáltica cuenta con la dosificación de agregado fino adecuado para su uso en carpetas de rodadura y bacheo.
Mezcla asfáltica convencional		6.48	No cumple con los límites de especificación. La mezcla asfáltica no cuenta con los agregados finos correctos para su aplicación posiblemente falta de filler en la mezcla lo que genera un % de vacíos mayor al límite.
Mezcla asfáltica Bacheflex	V.A.M. (vacíos agregados mineral) (%)	17.69	Cumplen con la norma y los valores del límite mínimo.
Mezcla asfáltica convencional		19.47	Cumplen con la norma y los valores del límite mínimo.
Mezcla asfáltica Bacheflex	R.B.V. (relación betumen vacíos) (%)	82.09	Si cumple con los límites especificados. Se deduce a que la mezcla aplicada esta con el contenido de ligante asfáltico adecuado.
Mezcla asfáltica convencional		66.79	No cumple con los límites de especificación. Se deduce que la mezcla esta pobre de ligante asfáltico.
Mezcla asfáltica Bacheflex	Estabilidad final (libras)	3307.31	La mezcla es estable para aplicarse a capas de rodaduras o para bacheo. El valor arrojado demuestra que el producto tiene una mayor estabilidad debido a la calidad de agregados seleccionados que juegan un papel importante en la estabilidad.
Mezcla asfáltica convencional		2932.52	La mezcla es estable para aplicarse en capas de rodadura y bacheo. Agregados chancados pero no de excelente calidad.
Mezcla asfáltica Bacheflex	Fluencia (0.01 pulg)	15.00	Si cumple con los límites especificados. Pero a comparación de la otra mezcla se deduce que la mezcla bacheflex tiene una consistencia mas rígida.
Mezcla asfáltica convencional		15.28	Si cumple con la fluencia pero es mayor a la del producto esto quiere decir que la mezcla convencional tiene una consistencia mas blanda.

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Interpretación comparativa de resultados de la aplicación de mezclas asfálticas en campo

**Tabla 3. 9** Interpretación de la aplicación de mezclas asfálticas en campo (asentamiento y durabilidad).

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	La mezcla reduce después de su aplicación pero no llega al límite 0 ante el paso de vehículos casi las 24 horas.	La mezcla reduce a su nivel 0 al poco tiempo de su aplicación.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	La mezcla se comporta de manera rígida al alto tráfico es decir su asentamiento es mínimo.	Su comportamiento blando de la mezcla hace que el asentamiento sea más rápido ante el paso del tráfico.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 3	B/ Juan Pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho más tiempo y su asentamiento es mínimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 4	Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio rosedal	En la zona existe la presencia de transporte pesado el cual ayuda notablemente a su asentamiento.	Su reducción es considerable de acuerdo al tráfico de la zona.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de transporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehículos pesados.
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	En la zona existe la presencia de transporte pesado el cual ayuda notablemente a su asentamiento.	Su reducción es considerable de acuerdo al tráfico de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 6	Ruta Nacional 1 Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	En la zona existe la presencia de transporte pesado el cual ayuda notablemente a su asentamiento.	Su reducción es considerable de acuerdo al tráfico de la zona.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de transporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehículos pesados.
PTO. 7	Ruta san Jacinto cruce a ENDE	La mezcla se comporta de manera rígida al alto tráfico es decir su asentamiento es mínimo.	Su comportamiento blando de la mezcla hace que el asentamiento sea más rápido ante el paso del tráfico.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho más tiempo y su asentamiento es mínimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho más tiempo y su asentamiento es mínimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho más tiempo y su asentamiento es mínimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es minimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de transporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehiculos pesados.

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 16	Av. Potosí/pasaje Güemes	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es mínimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	La mezcla se comporta de manera rigida al alto trafico es decir su asentamiento es mínimo.	Su comportamiento blando de la mezcla hace que el asentamiento sea mas rápido ante el paso del tráfico.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de trasporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehiculos pesados.
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es minimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	En la zona existe la presencia de transporte pesado el cual ayuda notablemente a su asentamiento.	Su reducción es considerable de acuerdo al tráfico de la zona.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de transporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehiculos pesados.
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	El asentamiento es menor por ser una zona media concurrida.	Su asentamiento es poco por la zona de aplicación.	Su durabilidad es media baja ya que la zona presenta humedad todo el tiempo del año.	Su durabilidad es baja debido que la zona presenta humedad casi todo el año
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es regular esto por la zona de aplicación.	Su durabilidad es bajo debido al lugar de aplicación.

Interpretación de resultados en campo		Asentamiento		Durabilidad	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfín pino	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es minimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es minimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	Su asentamiento es considerable debido al movimiento que genera la zona.	Sufre un asentamiento rapido debido al movimiento de la zona.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	La mezcla se comporta de manera rigida al alto trafico es decir su asentamiento es minimo.	Su comportamiento blando de la mezcla hace que el asentamiento sea mas rápido ante el paso del tráfico.	Su durabilidad es media ya que por la zona existe mayor desgaste por influencia vehicular de transporte pesado.	su durabilidad es media baja por el desgaste excesivo que produce la influencia de vehiculos pesados.
PTO. 30	Av. Guadalquivir final	Es una calle secundaria lo cual la mezcla se mantiene por mucho mas tiempo y su asentamiento es minimo.	Es relativamente menor al tratarse de una calle secundaria.	Su durabilidad es alta debido a que corresponde una calle con influencia vehicular baja.	Su durabilidad es media alta debido a la zona de baja influencia vehicular.

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3. 10** Interpretación de la aplicación de mezclas asfálticas en campo (Rigidez y resistencia al desgaste).

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media alta	Media
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media alta	Media
PTO. 3	B/ juan pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 4	Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio rosedal	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 6	Ruta Nacional 1 Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Baja	Baja
PTO. 7	Ruta san Jacinto cruce a ENDE	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media alta	Media
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 16	Av. Potosí/pasaje Güemes	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Baja	Baja
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Baja	Baja
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Media	Media baja

Interpretación de resultados en campo		Rigidez		Resistencia al desgaste	
Lugar de aplicación		Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional	Mezcla Bacheflex	Mezcla Convencional
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfín pino	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Alta
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Baja	Baja
PTO. 30	Av. Guadalquivir final	La mezcla se comportó de manera eficaz al momento de compactación ya que sus partículas se acomodan de mejor manera disminuyendo el % de vacíos.	La mezcla se muestra aún blanda después del aplicado lo que genera un valor menos de rigidez y el compactado es mayor para su reacomodo correcto de las partículas.	Alta	Media

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9. Proceso de medición pre- bacheo (Dimensión aproximada de baches)

Antes del bacheo correspondiente se hizo la visita al lugar obteniendo así sus dimensiones aproximadas.

#### 3.9.1. Procedimiento de medición

La medición es básica con herramientas menores como ser el flexómetro esta herramienta es fácil y practica de usar.

Primeramente, se mide la longitud más larga.

**Figura 3. 128** Medición del largo del bache.



**Fuente:** Elaboración propia

Luego se mide la sección transversal o ancho del bache.

**Figura 3. 129** Medición del ancho o sección transversal del bache.



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se mide el alto o profundidad que tendrá el bache esto ayuda a obtener un volumen aproximado que entrará de mezcla en el bache.

La dotación de mezcla asfáltica convencional es por  $m^3$  unidad de volumen que buscamos en las mediciones hechas previamente.

**Figura 3. 130** Medición de altura o profundidad del bache.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9.2. Datos de medición obtenidos

**Tabla 3. 11** Datos de medición de bacheo para mezcla convencional.

Lugar de aplicación		Mezcla Convencional				
		largo (cm)	ancho (cm)	alto (cm)	vol (cm3)	vol (m3)
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	157.00	112.00	8.00	140672.0	<b>0.14</b>
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	125.00	97.00	7.00	84875.0	<b>0.08</b>
PTO. 3	B/ Juan Pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	325.00	162.00	6.00	315900.0	<b>0.32</b>
PTO. 4	Av. Tomas O' Connor D' arlach. Barrio rosedal	145.00	98.00	5.50	78155.0	<b>0.08</b>
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	180.00	120.00	5.00	108000.0	<b>0.11</b>
PTO. 6	Ruta Nacional I Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	215.00	132.00	8.00	227040.0	<b>0.23</b>
PTO. 7	Ruta San Jacinto cruce a ENDE	225.00	110.00	6.00	148500.0	<b>0.15</b>
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	142.00	103.00	5.50	80443.0	<b>0.08</b>
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	121.00	98.00	5.50	65219.0	<b>0.07</b>
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	135.00	97.00	5.00	65475.0	<b>0.07</b>
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	142.00	93.00	6.00	79236.0	<b>0.08</b>
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	163.00	110.00	5.00	89650.0	<b>0.09</b>
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	160.00	120.00	6.00	115200.0	<b>0.12</b>
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	141.00	91.00	7.00	89817.0	<b>0.09</b>
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	321.00	253.00	8.00	649704.0	<b>0.65</b>
PTO. 16	Av. Potosí/pasaje Güemes	216.00	167.00	9.50	342684.0	<b>0.34</b>
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	280.00	120.00	8.50	285600.0	<b>0.29</b>
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	316.00	110.00	7.00	243320.0	<b>0.24</b>
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	244.00	108.00	6.00	158112.0	<b>0.16</b>
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	240.00	106.00	7.00	178080.0	<b>0.18</b>
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	180.00	100.00	7.00	126000.0	<b>0.13</b>
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	232.00	156.00	8.00	289536.0	<b>0.29</b>
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	300.00	125.00	7.50	281250.0	<b>0.28</b>
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	350.00	200.00	9.50	665000.0	<b>0.67</b>
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	200.00	114.00	6.00	136800.0	<b>0.14</b>
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfín pino	134.00	94.00	5.50	69278.0	<b>0.07</b>
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	148.00	92.00	6.00	81696.0	<b>0.08</b>
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	220.00	132.00	7.00	203280.0	<b>0.20</b>
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	325.00	123.00	8.00	319800.0	<b>0.32</b>
PTO. 30	Av. Guadalupe final	243.00	112.00	6.50	176904.0	<b>0.18</b>
Volumen total aprox M.asfáltica conv. (m3)					<b>5.90</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

El presupuesto económico de mi persona limitó la adquisición del producto Bacheflex por eso se escogieron las áreas relativamente más pequeñas para usar este producto y las áreas más extensas se usó el producto proporcionado por la alcaldía de Tarija es por eso la diferencia de volumen que muestra la planilla anterior, pero los estudios realizados de ambas mezclas se los hizo de igual manera para su análisis posterior.

**Tabla 3. 12** Datos de medición de bacheo para mezcla Bacheflex

Lugar de aplicación		Bacheflex				
		largo (cm)	ancho (cm)	alto (cm)	vol (cm <sup>3</sup> )	vol (m <sup>3</sup> )
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	100.00	63.00	7.00	44100.0	<b>0.04</b>
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	88.00	60.00	6.00	31680.0	<b>0.03</b>
PTO. 3	B/ juan pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	62.00	40.00	5.00	12400.0	<b>0.01</b>
PTO. 4	Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio rosedal	85.00	60.00	4.50	22950.0	<b>0.02</b>
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	60.00	48.00	4.50	12960.0	<b>0.01</b>
PTO. 6	Ruta Nacional I Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	98.00	42.00	6.00	24696.0	<b>0.02</b>
PTO. 7	Ruta san Jacinto cruce a ENDE	68.00	44.00	5.50	16456.0	<b>0.02</b>
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	67.00	41.00	4.50	12361.5	<b>0.01</b>
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	64.00	42.00	3.50	9408.0	<b>0.01</b>
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	74.00	47.00	5.00	17390.0	<b>0.02</b>
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	73.00	48.00	5.00	17520.0	<b>0.02</b>
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	80.00	46.00	5.00	18400.0	<b>0.02</b>
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	75.00	43.00	5.50	17737.5	<b>0.02</b>
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	82.00	41.00	6.00	20172.0	<b>0.02</b>
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	77.00	42.00	6.50	21021.0	<b>0.02</b>
PTO. 16	Av. Potosí /pasaje Güemes	83.00	46.00	7.00	26726.0	<b>0.03</b>
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	85.00	44.00	6.00	22440.0	<b>0.02</b>
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	88.00	40.00	6.00	21120.0	<b>0.02</b>
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	81.00	45.00	5.00	18225.0	<b>0.02</b>
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	64.00	48.00	6.00	18432.0	<b>0.02</b>
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	76.00	40.00	5.00	15200.0	<b>0.02</b>
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	75.00	42.00	6.50	20475.0	<b>0.02</b>
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	73.00	35.00	5.00	12775.0	<b>0.01</b>
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	77.00	40.00	7.00	21560.0	<b>0.02</b>
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	83.00	42.00	6.00	20916.0	<b>0.02</b>
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfin pino	82.00	38.00	5.50	17138.0	<b>0.02</b>
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	73.00	48.00	5.00	17520.0	<b>0.02</b>
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	80.00	43.00	6.00	20640.0	<b>0.02</b>
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	86.00	42.00	6.50	23478.0	<b>0.02</b>
PTO. 30	Av. Guadaquivir final	70.00	40.00	6.00	16800.0	<b>0.02</b>
Volumen total aprox Bacheflex. (m <sup>3</sup> )					<b>0.59</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

**❖ ENSAYO DE EVALUACIÓN  
SUPERFICIAL CON REGLA Y ANÁLISIS  
DEL ASENTAMIENTO DEL ÁREA  
APLICADA DESPUÉS DEL BACHEO**

**❖ ENSAYO DE EVALUACIÓN  
ESTRUCTURAL CON VIGA  
BENKELMAN**

## CAPÍTULO IV

### ENSAYO DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL CON REGLA Y ANÁLISIS DEL ASENTAMIENTO DEL ÁREA APLICADA DESPUÉS DEL BACHEO.

### ENSAYO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL CON VIGA BENKELMAN

#### 4. Ensayo de la regla. (Norma EN13036-7)

Es un ensayo para la medición de la irregularidad de la superficie del pavimento en carreteras, suelos, pavimentos de hormigón. La longitud es 3000 mm, 26 mm de ancho, regulable en altura de 0 a 30 mm.

Dimensiones: 150x3050x130 mm aprox.

Peso: 9 kg aprox.

**Figura 4. 1** Regla con dos cuñas.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1. Procedimiento del ensayo

- ❖ Se muestra en la figura la regla de aluminio y las cuñas graduadas.

**Figura 4. 2** Regla de aluminio.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Primeramente, se debe señalar la calle y delimitar la zona donde se hará la medición con la regla, tanto para la correcta medición como seguridad ante el tráfico de moviidades en la ciudad.

**Figura 4. 3** Señalización de la calle a ser evaluada.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Luego, se coloca la regla en una posición adecuada siempre que se aprecie el asentamiento del bacheado para poder tener lecturas exactas o aproximadamente a la verdadera.

**Figura 4. 4** Colocado de la regla sobre el bache.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Se colocan las cuñas en el punto donde más se aprecia el asentamiento o deformación, donde obtendremos la lectura de mayor asentamiento.

**Figura 4. 5** Lectura de las mediciones de asentamiento.



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ El mismo procedimiento se repite en todos los puntos donde se realizó el bacheo en la ciudad de Tarija.

Se toma los datos de asentamiento para que más adelante se pueda diferenciar mediante un pequeño calculo y mostrado en graficas el asentamiento después del bacheado y estudiado en el transcurso del tiempo de análisis.

**Figura 4. 6** Procedimiento y lectura de los asentamientos en todos los puntos de aplicación.



**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2. Resultado de las mediciones del ensayo para la mezcla convencional

**Tabla 4. 1** Lecturas realizadas por el instrumento de la Regla para la mezcla convencional.

Lugar de Aplicación		Lectura (cm) Mezcla convencional				
		H inicial	2 lectura	3 lectura	4 lectura	5 lectura
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	2.00	1.00	0.80	0.50	0.00
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	2.00	1.00	0.50	0.50	0.30
PTO. 3	B/ Juan Pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	2.00	1.50	1.00	0.80	0.80
PTO. 4	Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio rosedal	2.00	1.50	1.00	0.80	0.30
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	2.00	1.00	0.80	0.50	0.50
PTO. 6	Ruta Nacional 1 Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	2.00	0.80	0.50	0.50	0.00
PTO. 7	Ruta san Jacinto cruce a ENDE	2.00	1.00	0.70	0.40	0.40
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	2.00	1.50	1.00	1.00	0.50
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	2.00	1.00	0.80	0.80	0.50
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	2.00	1.00	1.00	1.00	0.80
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	2.00	1.40	1.00	1.00	1.00
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	2.00	1.00	0.80	0.50	0.50
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	2.00	1.00	0.80	0.40	0.40
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	2.00	1.00	0.80	0.80	0.80
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	2.00	1.00	0.50	0.50	0.00
PTO. 16	Av. Potosí / pasaje Giemes	2.00	1.00	0.70	0.50	0.50
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	2.00	1.00	0.50	0.50	0.00
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	2.00	1.00	0.50	0.50	0.50
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	2.00	1.00	0.30	0.20	0.00
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	2.00	1.00	0.50	0.50	0.50
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	2.00	1.50	1.00	1.00	0.80
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	2.00	1.00	0.50	0.50	0.00
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	2.00	1.00	1.00	0.50	0.50
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	2.00	1.00	0.80	0.80	0.50
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	2.00	1.20	1.00	0.60	0.50
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfín pino	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	2.00	1.50	1.30	1.20	1.20
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	2.00	1.00	0.50	0.50	0.00
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	2.00	1.00	0.50	0.50	0.00
PTO. 30	Av. Guadalquivir final	2.00	1.20	1.00	1.00	0.70

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a los resultados arrojados del ensayo, se deduce que la mezcla convencional aplicada por la alcaldía de Tarija, tiene una consistencia blanda el cual indica una notable reducción de altura gracias a la auto-compactación que generan el paso de los vehículos de forma permanente.

### 4.3. Seguimiento de asentamiento (compactación) después del bacheo según un tiempo de análisis

#### 4.3.1. Análisis del asentamiento para la mezcla asfáltica convencional aplicada por la alcaldía

Cuando se realiza un bacheo se debe de colocar aproximadamente 2 cm por encima del nivel del pavimento existente. El tráfico realizará la compactación secundaria llegando al nivel deseado.

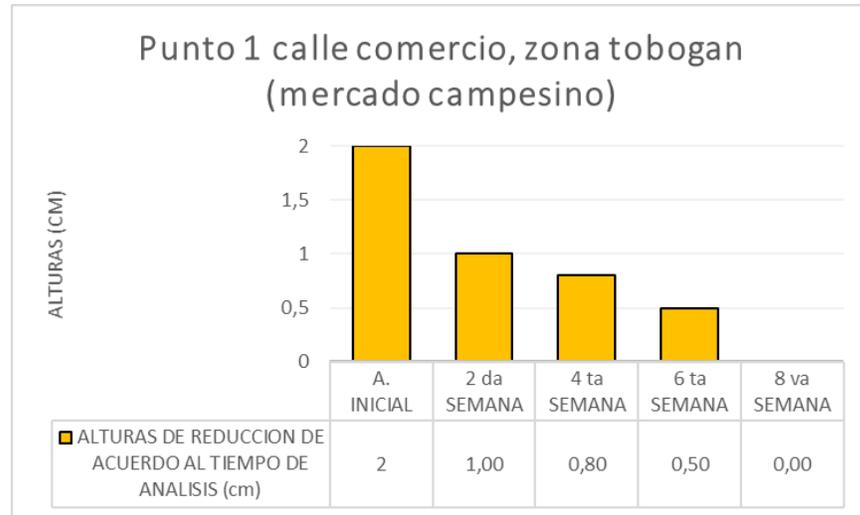
A continuación, en las gráficas se muestra el nivel o la longitud que reduce el área bacheada con la compactación de los vehículos según un tiempo de estudio.

**Tabla 4. 2** Niveles de Reducción de altura que existe en los puntos de acuerdo a la semana de análisis.

Análisis de la mezcla convencional alcaldía de Tarija					
Punto de estudio	Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis (cm)				
	A. inicial	2 da semana	4 ta semana	6 ta semana	8 va semana
1	2	1.00	0.80	0.50	0.00
2	2	1.00	0.50	0.50	0.30
3	2	1.50	1.00	0.80	0.80
4	2	1.50	1.00	0.80	0.30
5	2	1.00	0.80	0.50	0.50
6	2	0.80	0.50	0.50	0.00
7	2	1.00	0.70	0.40	0.40
8	2	1.50	1.00	1.00	0.50
9	2	1.00	0.80	0.80	0.50
10	2	1.00	1.00	1.00	0.80
11	2	1.40	1.00	1.00	1.00
12	2	1.00	0.80	0.50	0.50
13	2	1.00	0.80	0.40	0.40
14	2	1.00	0.80	0.80	0.80
15	2	1.00	0.50	0.50	0.00
16	2	1.00	0.70	0.50	0.50
17	2	1.00	0.50	0.50	0.00
18	2	1.00	0.50	0.50	0.50
19	2	1.00	0.30	0.20	0.00
20	2	1.00	0.50	0.50	0.50
21	2	1.50	1.00	1.00	0.80
22	2	1.00	0.50	0.50	0.00
23	2	1.00	1.00	0.50	0.50
24	2	1.00	0.80	0.80	0.50
25	2	1.20	1.00	0.60	0.50
26	2	1.50	1.00	1.00	1.00
27	2	1.50	1.30	1.20	1.20
28	2	1.00	0.50	0.50	0.00
29	2	1.00	0.50	0.50	0.00
30	2	1.20	1.00	1.00	0.70

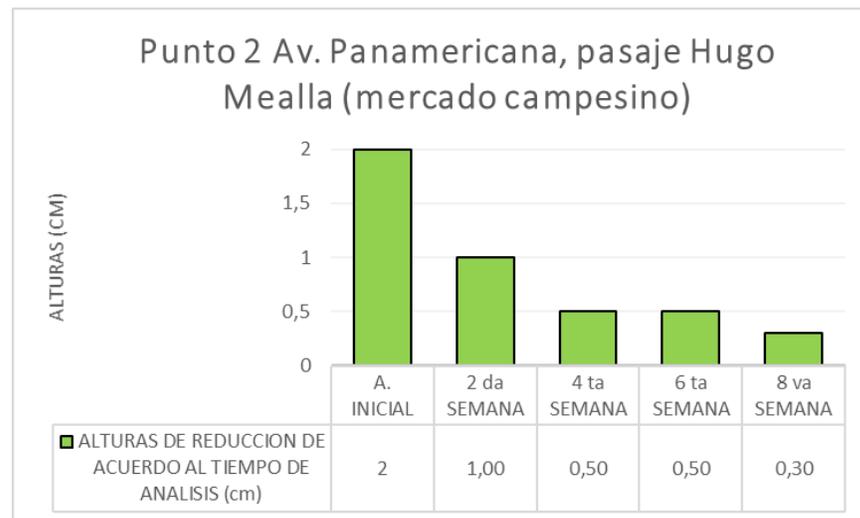
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 7** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 1.



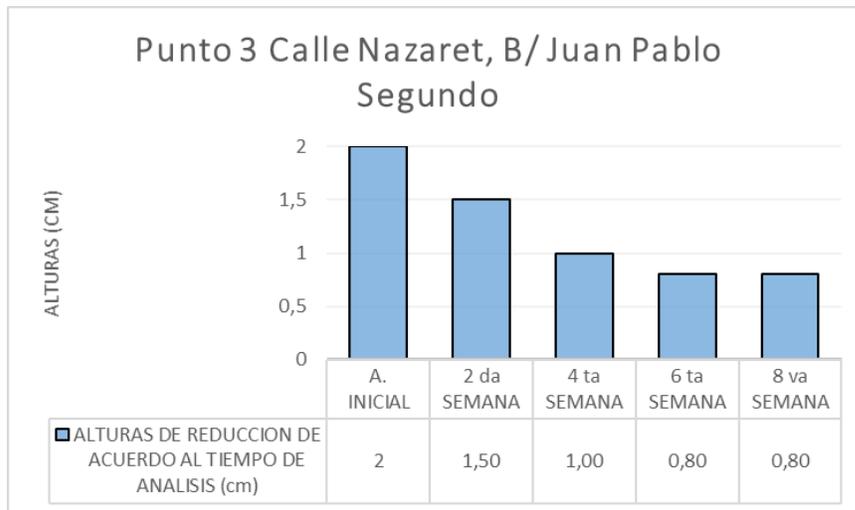
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 8** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 2.



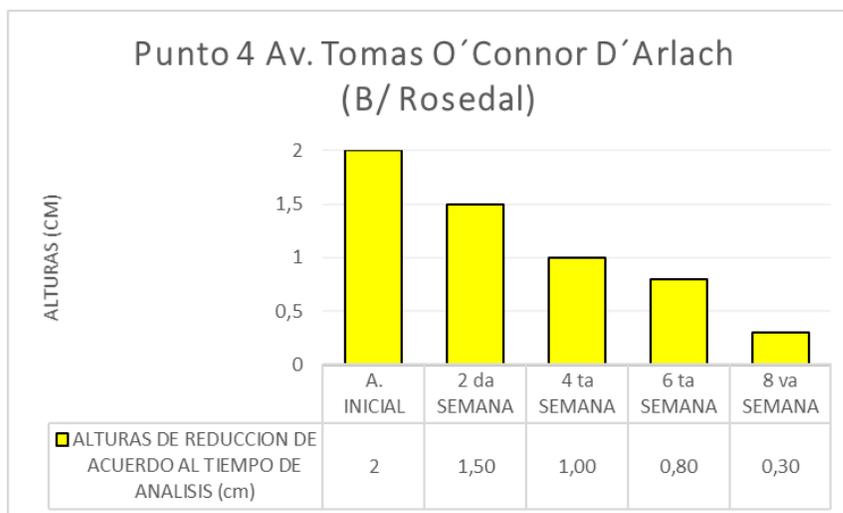
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 9** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 3.



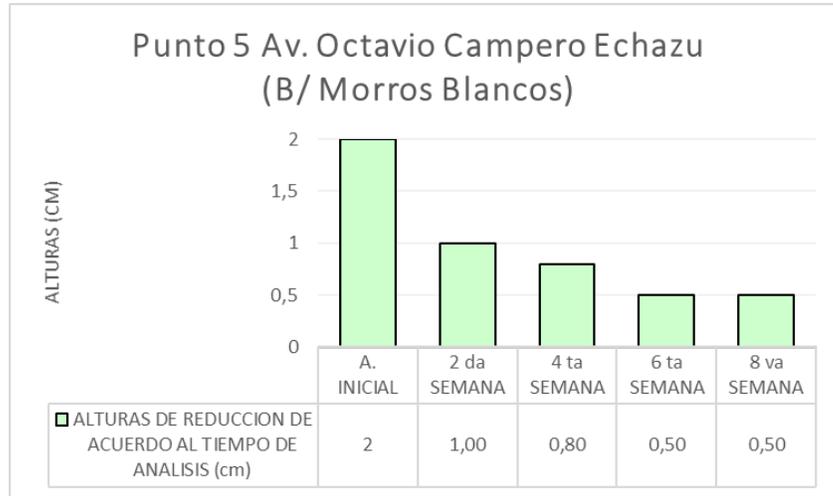
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 10** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 4.



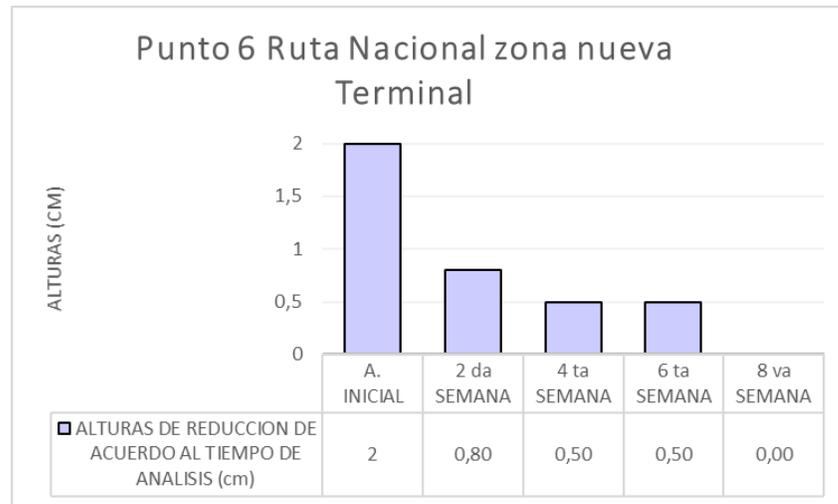
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 11** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 5.



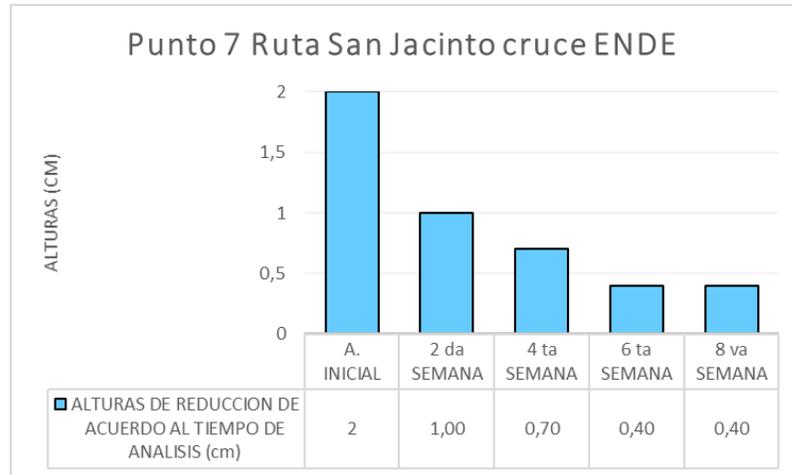
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 12** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 6.



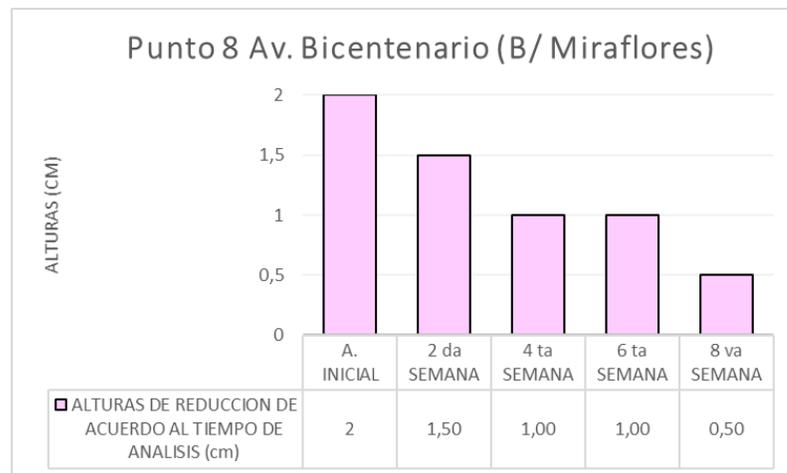
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 13** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 7.



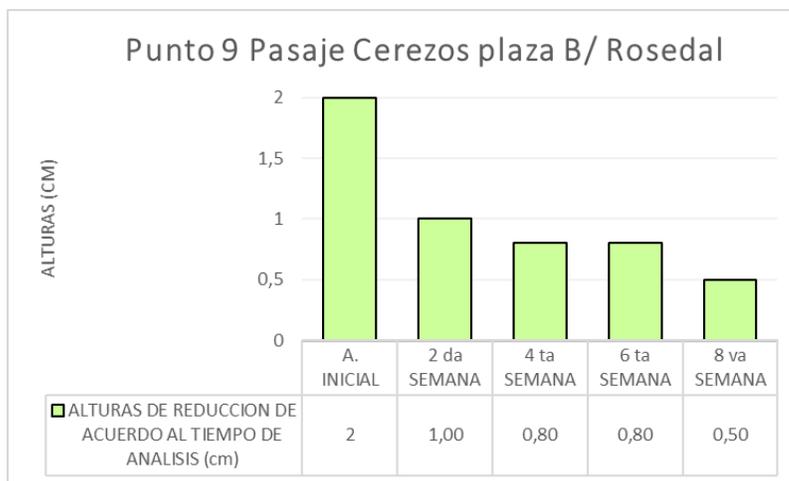
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 14** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 8.



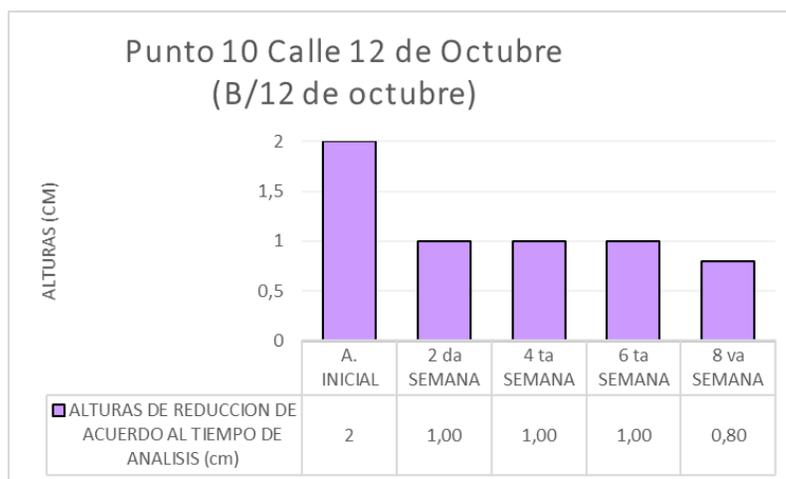
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 15** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 9.



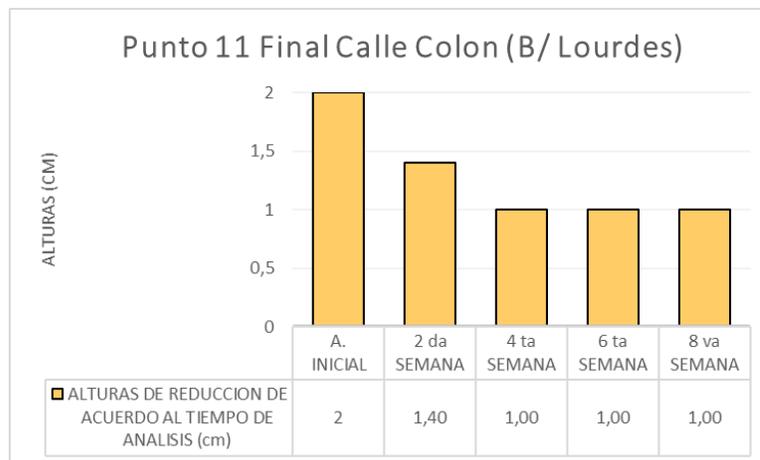
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 16** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 10.



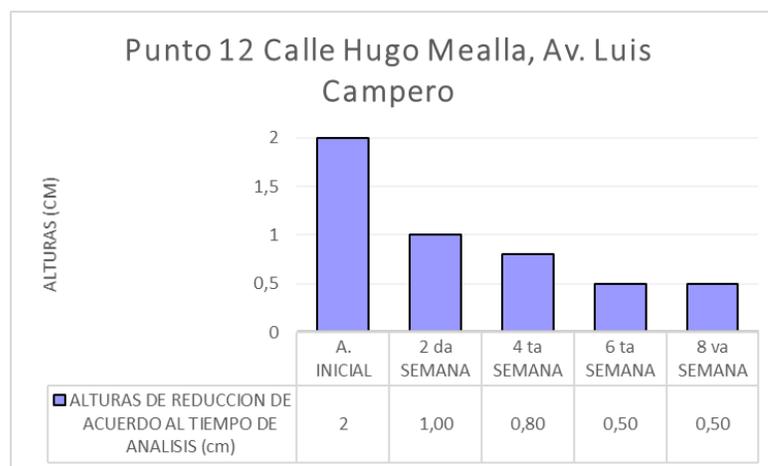
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 17** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 11.



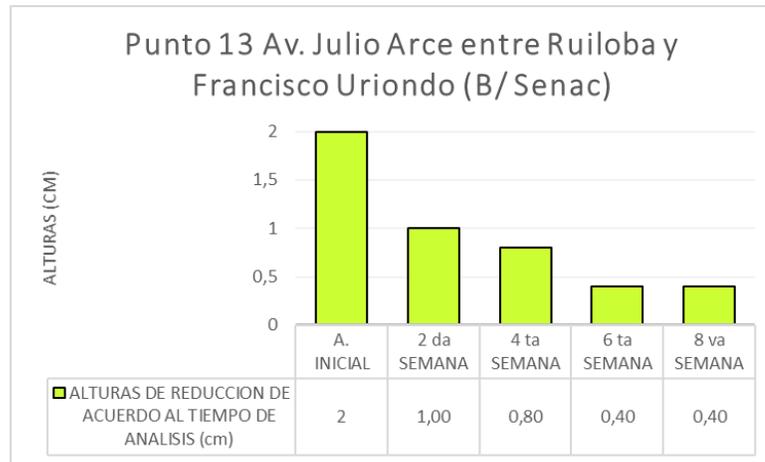
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 18** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 12.



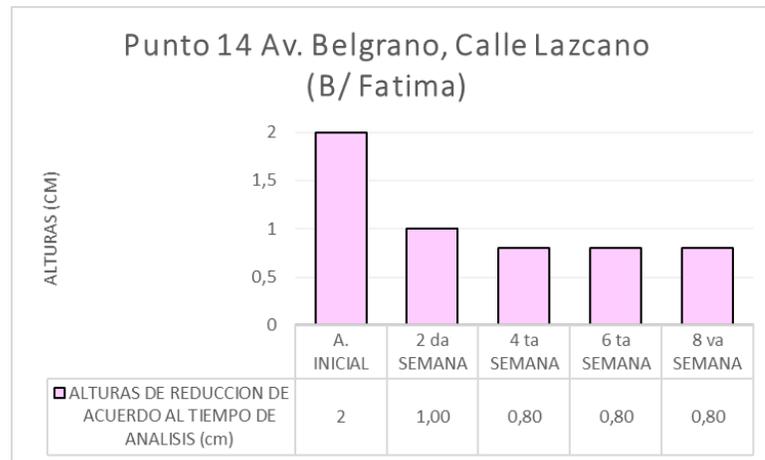
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 19** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 13.



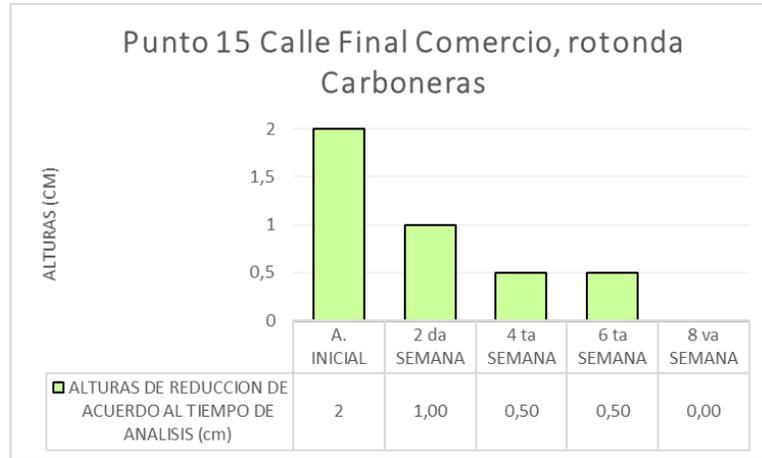
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 20** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 14.



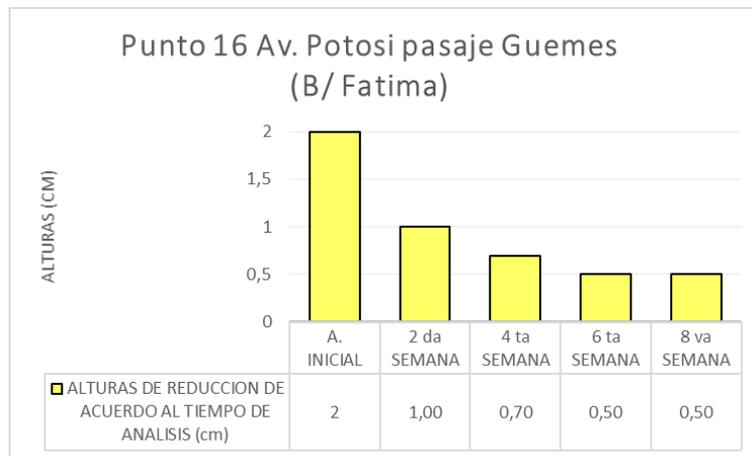
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 21** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 15.



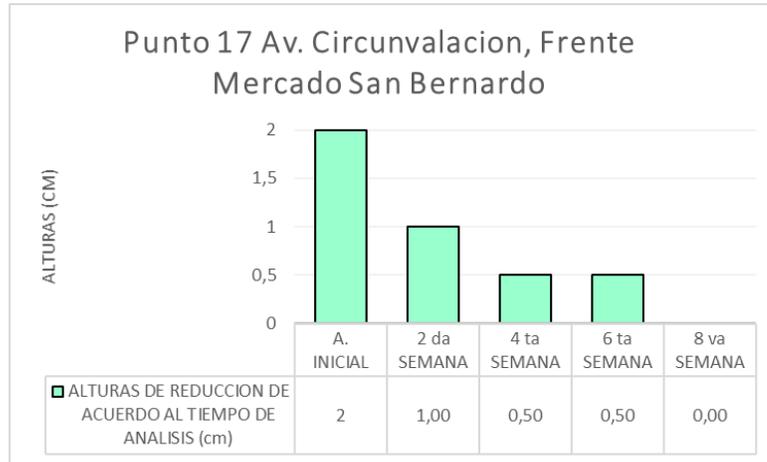
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 22** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 16.



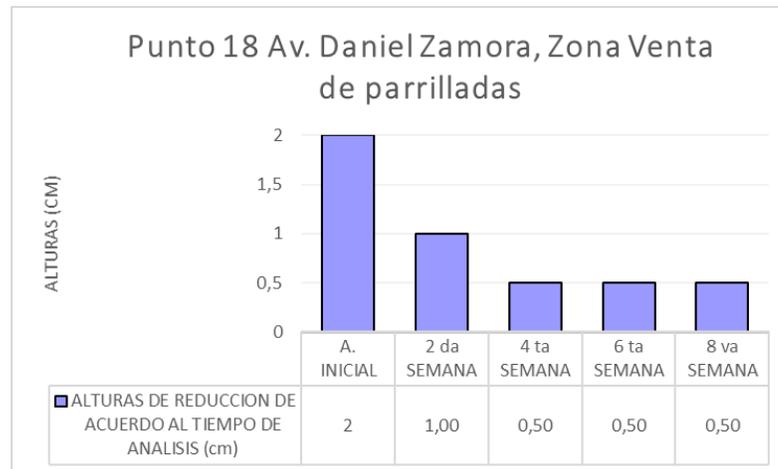
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 23** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 17.



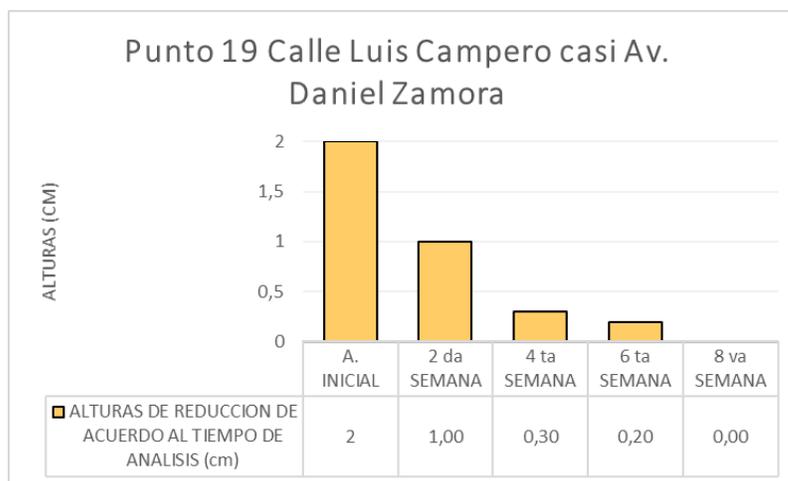
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 24** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 18.



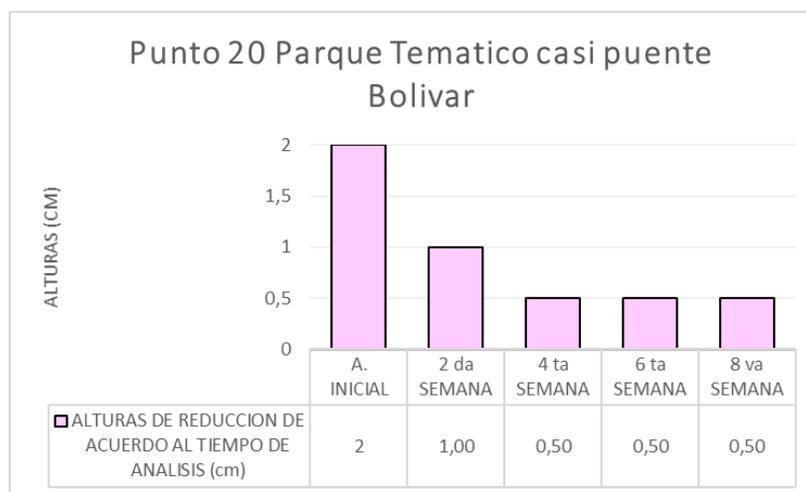
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 25** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 19.



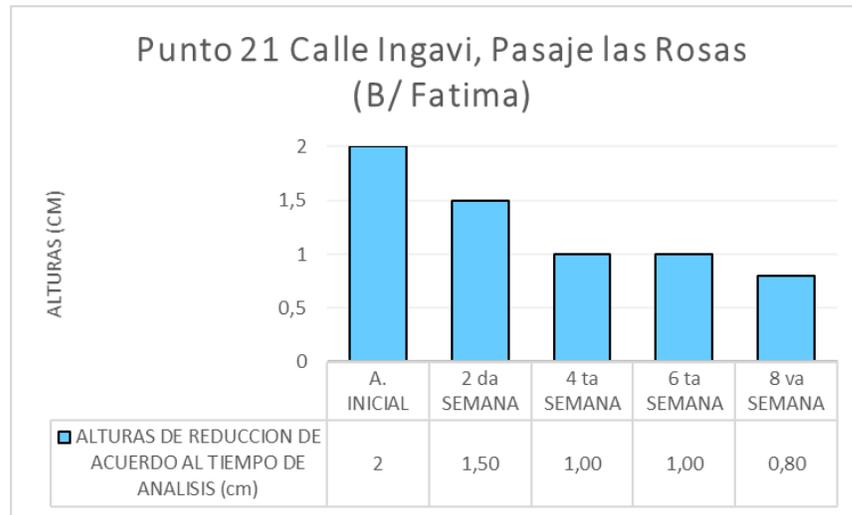
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 26** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 20.



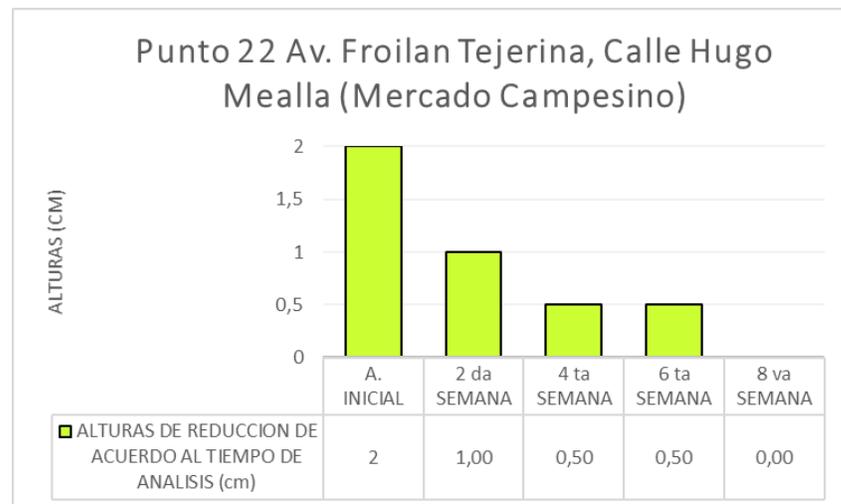
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 27** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 21.



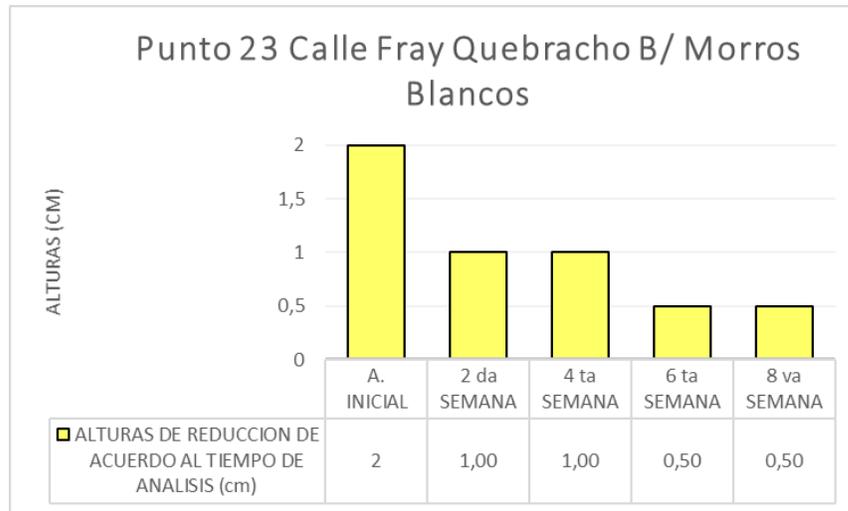
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 28** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 22.



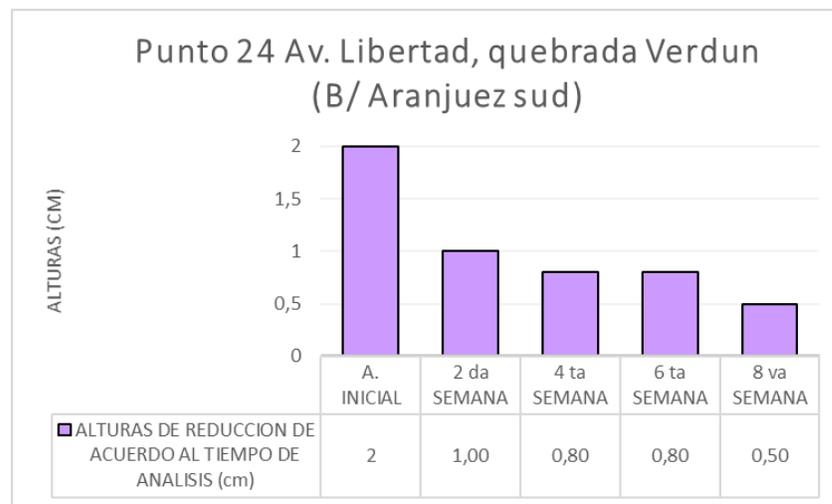
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 29** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 23.



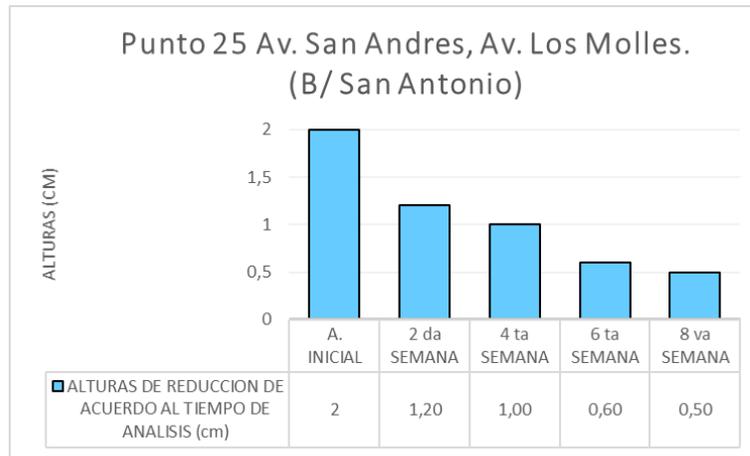
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 30** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 24.



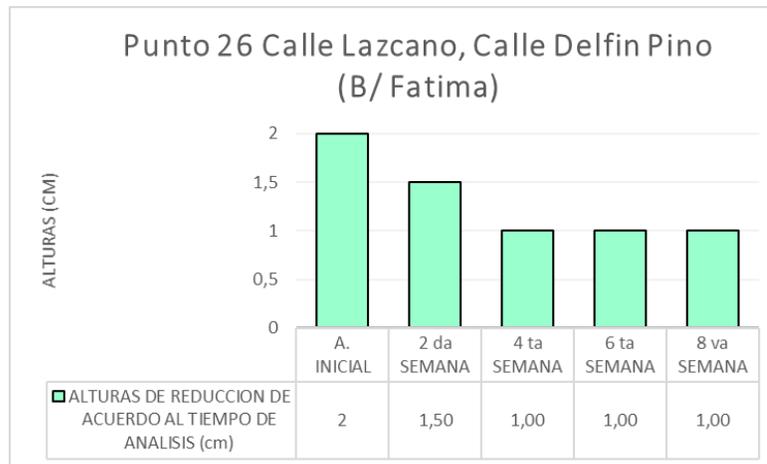
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 31** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 25.



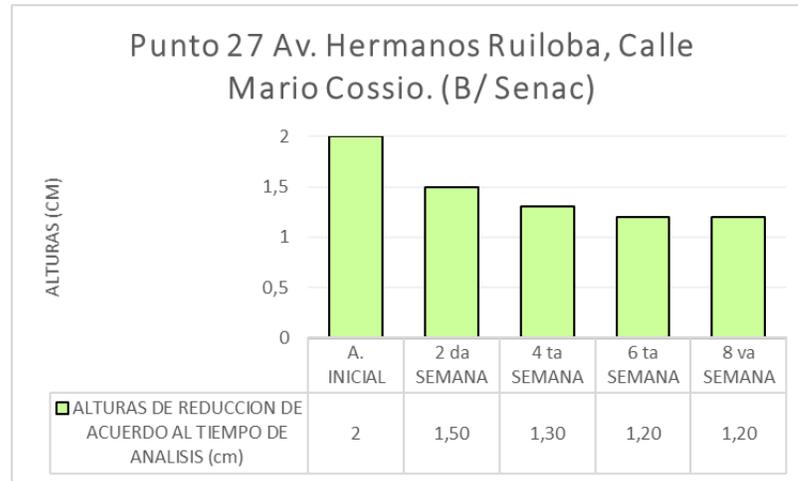
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 32** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 26.



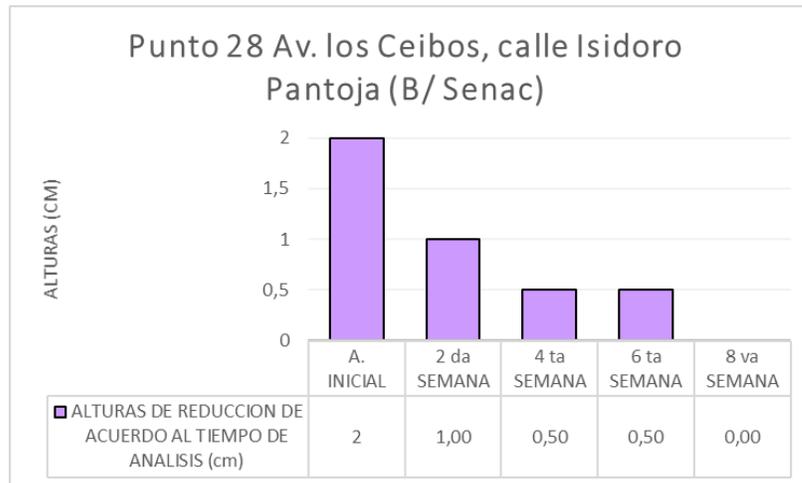
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 33** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 27.



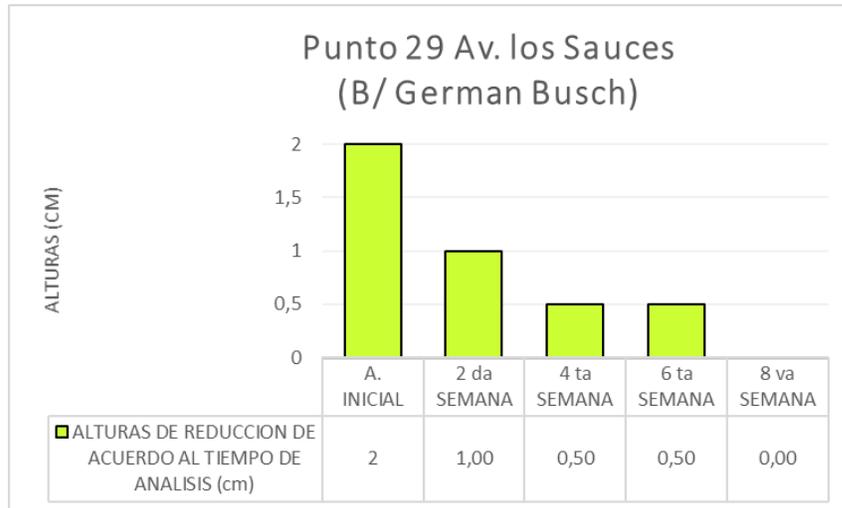
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 34** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 28.



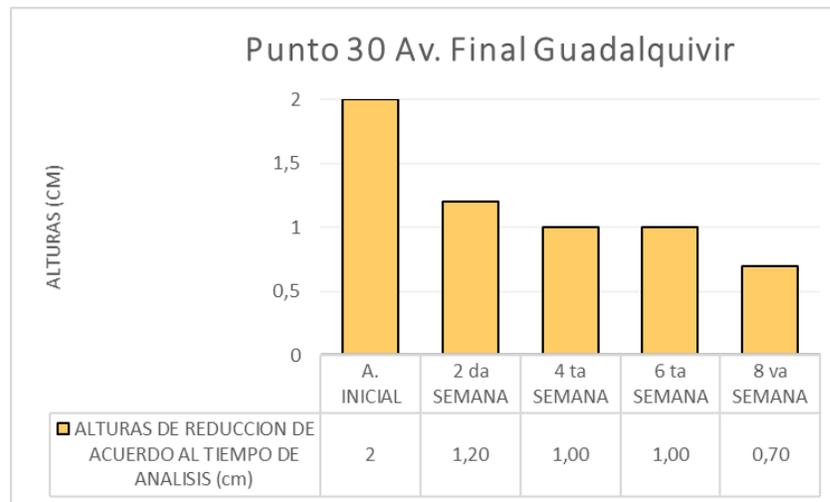
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 35** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 29.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 36** Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis punto 30.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.4. Resultado de las mediciones del ensayo para BACHEFLEX

**Tabla 4. 3** Lecturas realizadas por el instrumento de la Regla para BACHEFLEX.

Lugar de Aplicación		Lectura (cm) Bacheflex				
		H inicial	2 lectura	3 lectura	4 lectura	5 lectura
PTO. 1	Calle Comercio zona tobogán mercado campesino	2.00	1.20	1.00	0.80	0.50
PTO.2	Avenida panamericana pasaje Hugo Mealla	2.00	1.30	1.10	1.10	0.80
PTO. 3	B/ Juan Pablo II calle Nazaret entre santísima trinidad y apóstoles	2.00	1.70	1.20	1.20	1.00
PTO. 4	Av. Tomas O´ Connor D´ arlach. Barrio rosedal	2.00	1.20	1.20	1.00	0.70
PTO. 5	Av. Octavio Campero Echazu B/ Morros Blancos	2.00	1.50	1.30	1.30	0.80
PTO. 6	Ruta Nacional 1 Zona de la Nueva terminal (torrecillas)	2.00	1.20	1.00	1.00	0.80
PTO. 7	Ruta San Jacinto cruce a ENDE	2.00	1.50	1.50	1.00	0.70
PTO. 8	Av. Bicentenario B/ Miraflores	2.00	1.50	1.50	1.40	1.20
PTO. 9	Pasaje cerezos plaza del barrio rosedal	2.00	1.70	1.50	1.50	1.20
PTO. 10	Calle 12 de octubre B/ 12 de octubre	2.00	1.50	1.50	1.50	1.20
PTO. 11	Barrio Lourdes final colon calle sin nombre	2.00	1.50	1.50	1.50	1.50
PTO. 12	calle Hugo Mealla Av. Luis Campero	2.00	1.40	1.30	1.20	1.20
PTO. 13	B/ Senac Av. Julio Arce entre hermanos Ruiloba y Francisco Uriondo	2.00	1.40	1.20	1.00	0.70
PTO. 14	Calle Lazcano casi Av. Belgrano	2.00	1.50	1.50	1.20	1.00
PTO. 15	Calle Final Comercio / rotonda Carboneras	2.00	1.50	1.20	1.00	0.80
PTO. 16	Av. Potosí / pasaje Güemes	2.00	1.50	1.40	1.30	1.00
PTO. 17	Av. Circunvalación / frente a mercado San Bernardo	2.00	1.50	1.00	0.50	0.00
PTO. 18	Av. Daniel Zamora / zona de ventas de parrilladas	2.00	1.40	1.00	1.00	0.80
PTO. 19	Calle Luis Campero casi Av. Daniel Zamora	2.00	1.40	1.20	1.00	0.80
PTO. 20	Parque temático casi Puente Bolívar	2.00	1.50	1.00	1.00	0.80
PTO. 21	Calle Ingavi/ Pasaje las Rosas	2.00	1.50	1.50	1.30	1.00
PTO. 22	Av. Froilán Tejerina/ calle Hugo Mealla	2.00	1.50	1.00	1.00	0.80
PTO. 23	B/ Morros Blancos calle Fray Quebracho	2.00	1.50	1.30	1.30	1.00
PTO. 24	Av. Libertad / quebrada verdun	2.00	1.50	1.20	1.00	0.80
PTO. 25	Av. San Andrés y Av. Los molles B/ San Antonio	2.00	1.50	1.30	1.00	0.80
PTO. 26	Calle Lazcano y Delfín pino	2.00	1.50	1.50	1.00	1.00
PTO. 27	Av. Hermanos Ruiloba y calle Mario Cossío	2.00	1.40	1.30	1.20	1.00
PTO. 28	Av. Los Ceibos y calle Isidoro Pantoja	2.00	1.50	1.20	1.00	1.00
PTO. 29	Av. Los Sauces B/ German Busch	2.00	1.40	1.20	1.00	0.80
PTO. 30	Av. Guadalquivir final	2.00	1.40	1.00	1.00	0.80

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a los resultados arrojados del ensayo, se deduce que la mezcla Bacheflex, tiene una consistencia un poco más rígida el cual indica poca reducción de altura gracias a la auto-compactación que generan el paso de los vehículos de forma permanente.

#### 4.5. Análisis del asentamiento para la mezcla asfáltica BACHEFLEX

Cuando se realiza un bacheo se debe de colocar aproximadamente 2 cm por encima del nivel del pavimento existente. El tráfico realizará la compactación secundaria llegando al nivel deseado.

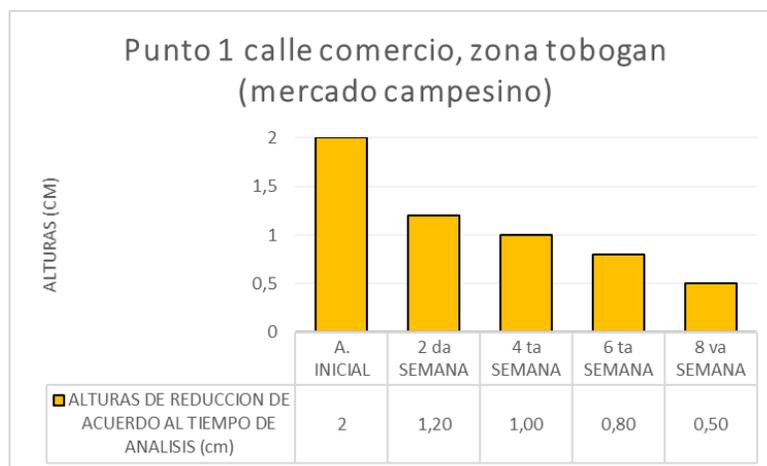
A continuación, en las gráficas se muestra el nivel o la longitud que reduce el área bacheada con la compactación de los vehículos según un tiempo de estudio.

**Tabla 4. 4** Niveles de Reducción que existe en los puntos de acuerdo a la semana de análisis “BACHEFLEX”.

Análisis de la mezcla Bacheflex					
Punto de estudio	Alturas de reducción de acuerdo al tiempo de análisis (cm)				
	A. inicial	2 da semana	4 ta semana	6 ta semana	8 va semana
1	2	1.20	1.00	0.80	0.50
2	2	1.30	1.10	1.10	0.80
3	2	1.70	1.20	1.20	1.00
4	2	1.20	1.20	1.00	0.70
5	2	1.50	1.30	1.30	0.80
6	2	1.20	1.00	1.00	0.80
7	2	1.50	1.50	1.00	0.70
8	2	1.50	1.50	1.40	1.20
9	2	1.70	1.50	1.50	1.20
10	2	1.50	1.50	1.50	1.20
11	2	1.50	1.50	1.50	1.50
12	2	1.40	1.30	1.20	1.20
13	2	1.40	1.20	1.00	0.70
14	2	1.50	1.50	1.20	1.00
15	2	1.50	1.20	1.00	0.80
16	2	1.50	1.40	1.30	1.00
17	2	1.50	1.00	0.50	0.00
18	2	1.40	1.00	1.00	0.80
19	2	1.40	1.20	1.00	0.80
20	2	1.50	1.00	1.00	0.80
21	2	1.50	1.50	1.30	1.00
22	2	1.50	1.00	1.00	0.80
23	2	1.50	1.30	1.30	1.00
24	2	1.50	1.20	1.00	0.80
25	2	1.50	1.30	1.00	0.80
26	2	1.50	1.50	1.00	1.00
27	2	1.40	1.30	1.20	1.00
28	2	1.50	1.20	1.00	1.00
29	2	1.40	1.20	1.00	0.80
30	2	1.40	1.00	1.00	0.80

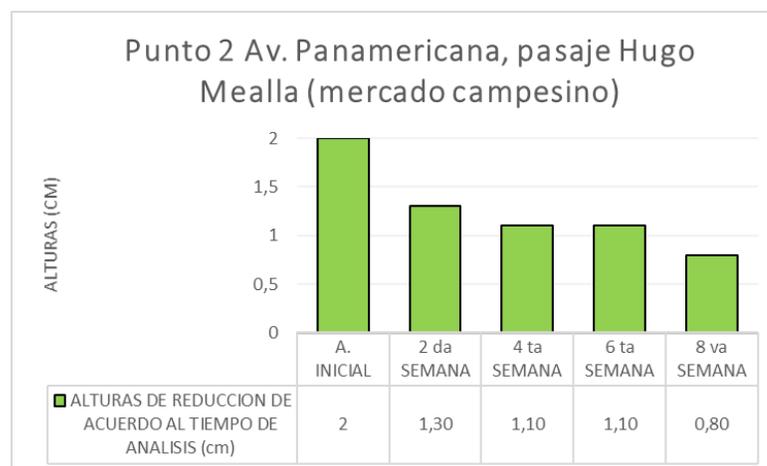
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 37** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 1.



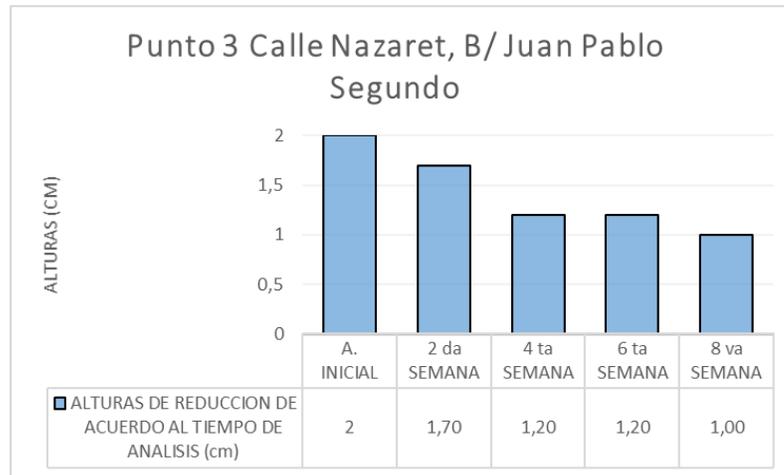
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 38** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 2.



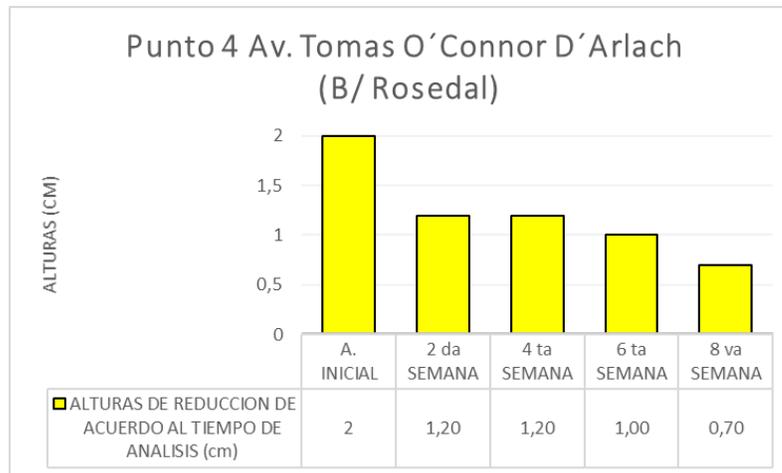
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 39** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 3.



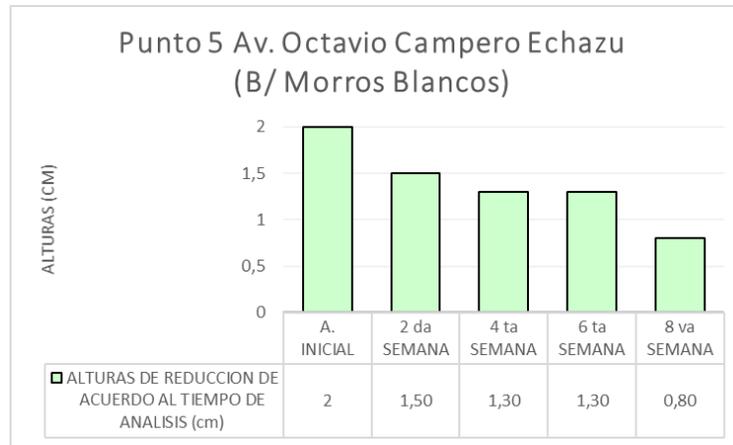
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 40** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 4.



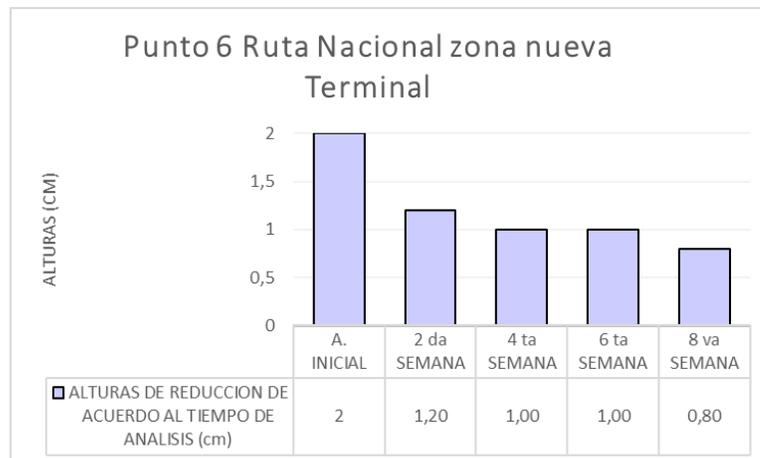
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 41** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 5.



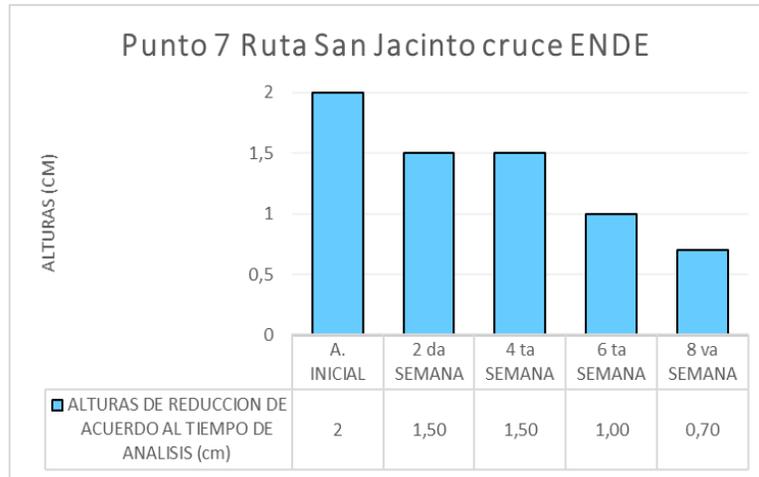
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 42** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 6.



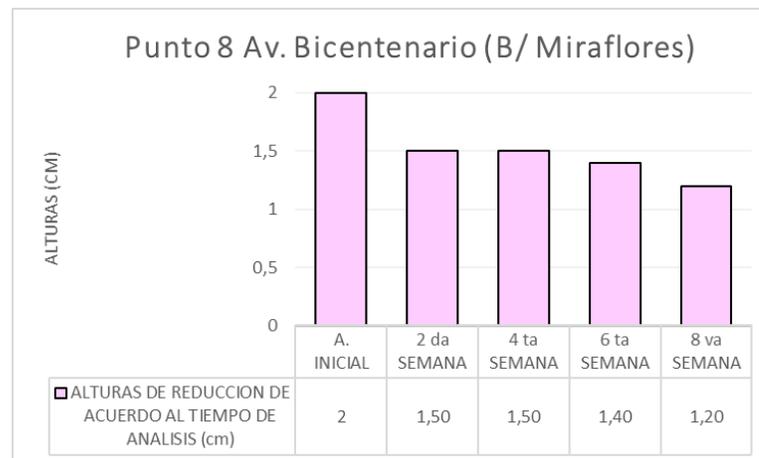
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 43** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 7.



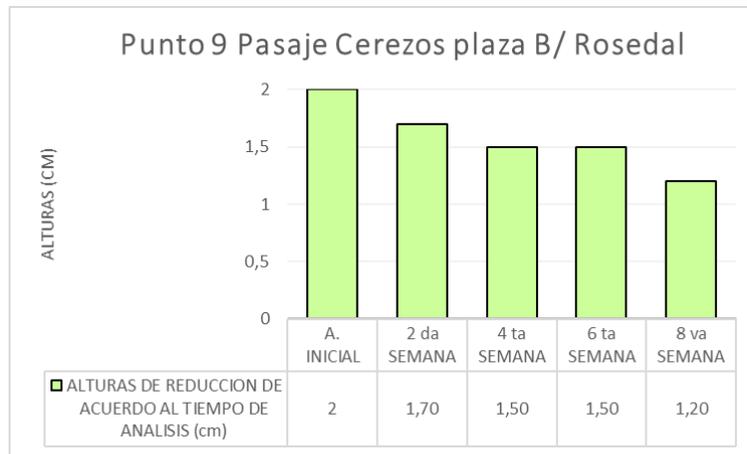
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 44** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 8.



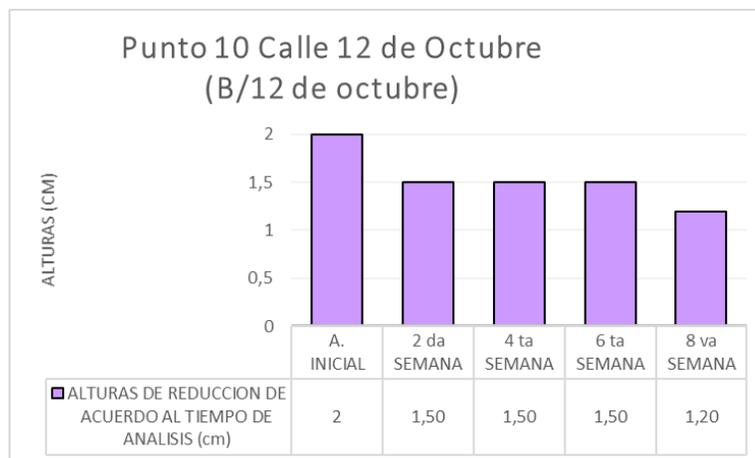
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 45** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 9.



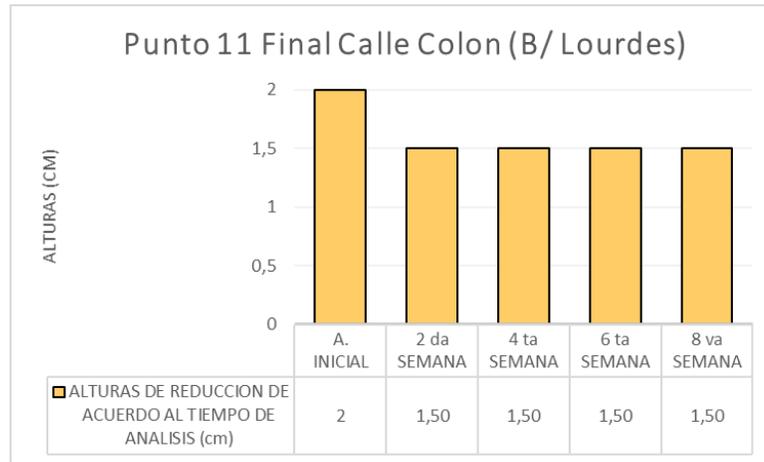
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 46** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 10.



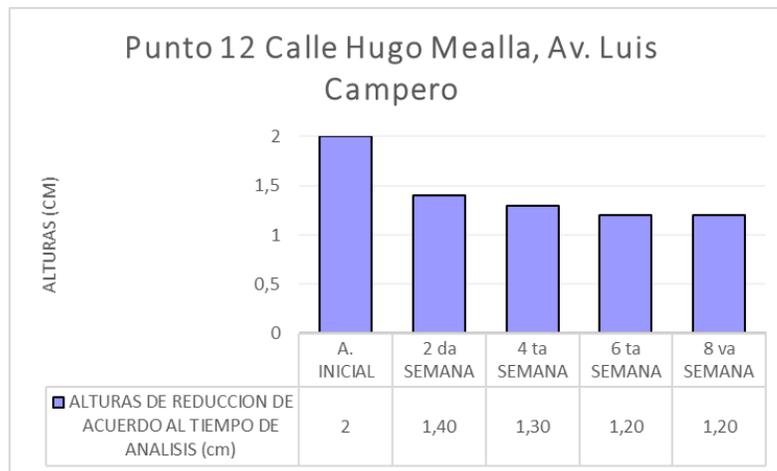
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 47** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 11.



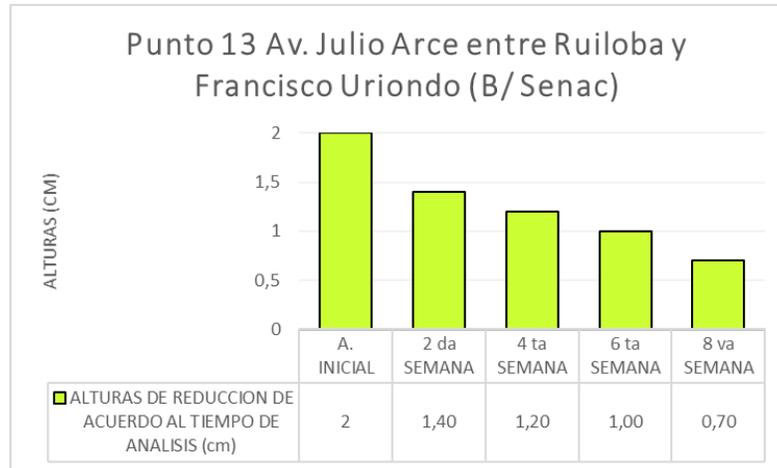
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 48** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 12.



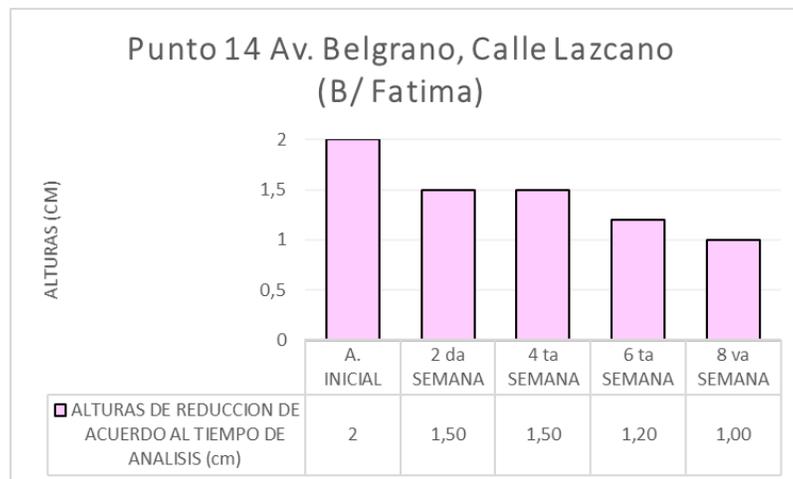
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 49** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 13.



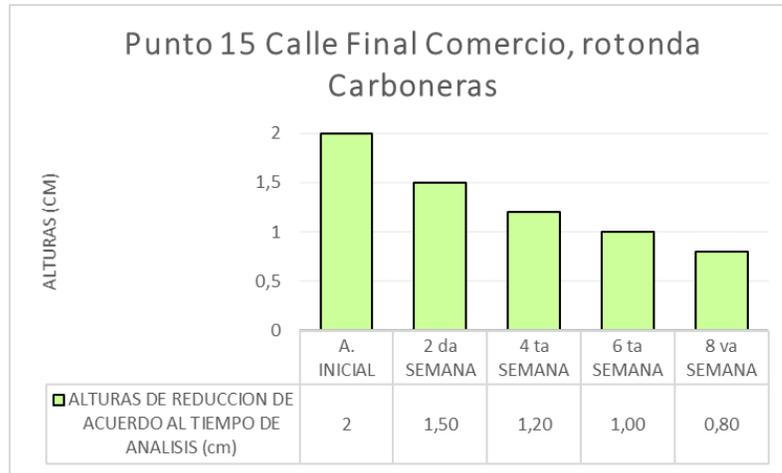
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 50** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 14.



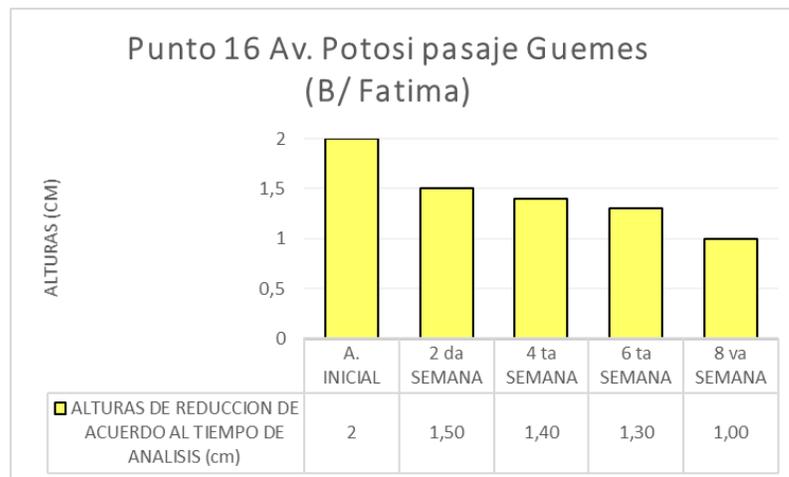
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 51** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 15.



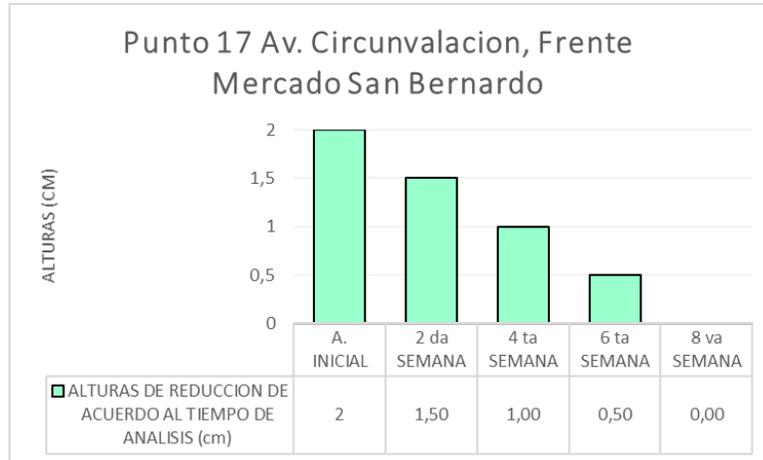
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 52** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 16.



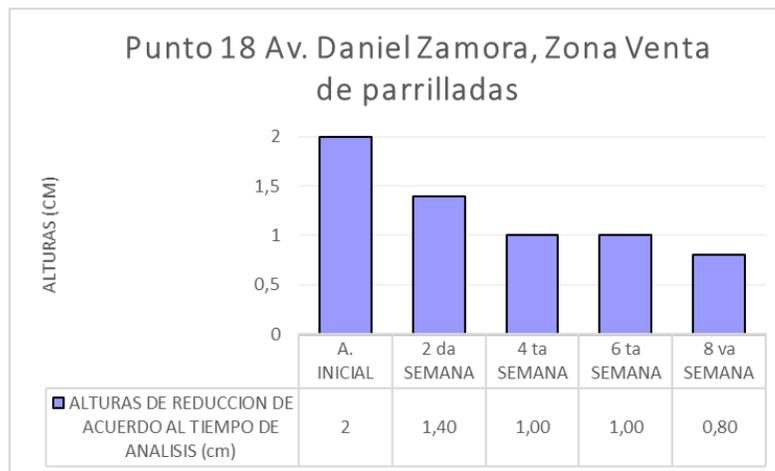
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 53** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 17.



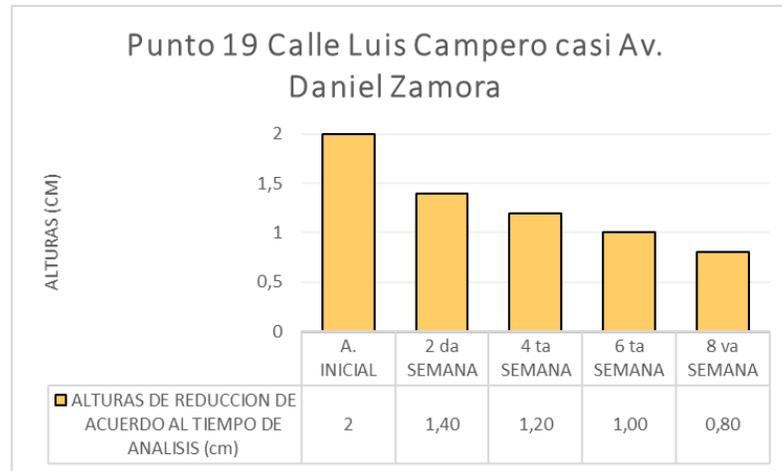
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 54** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 18.



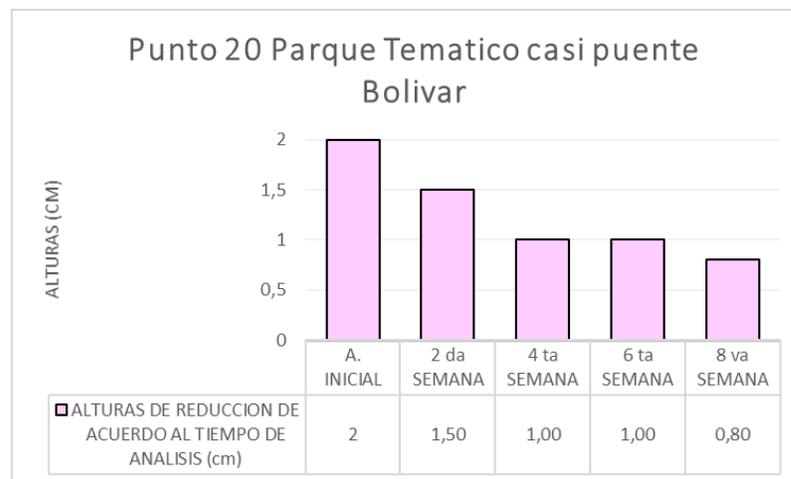
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 55** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 19.



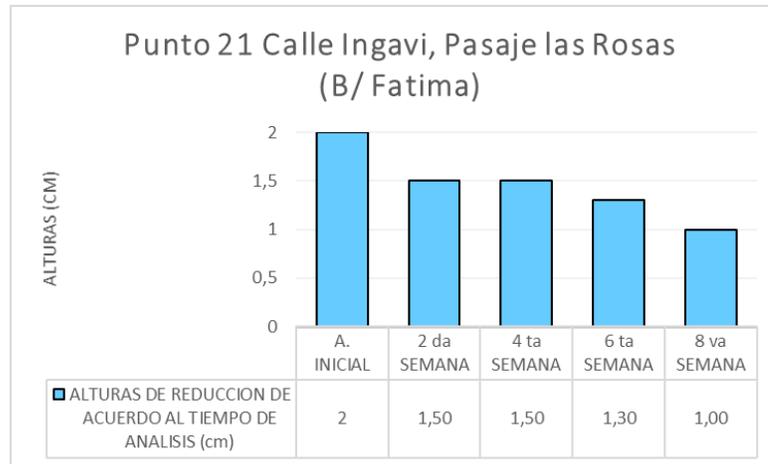
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 56** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 20.



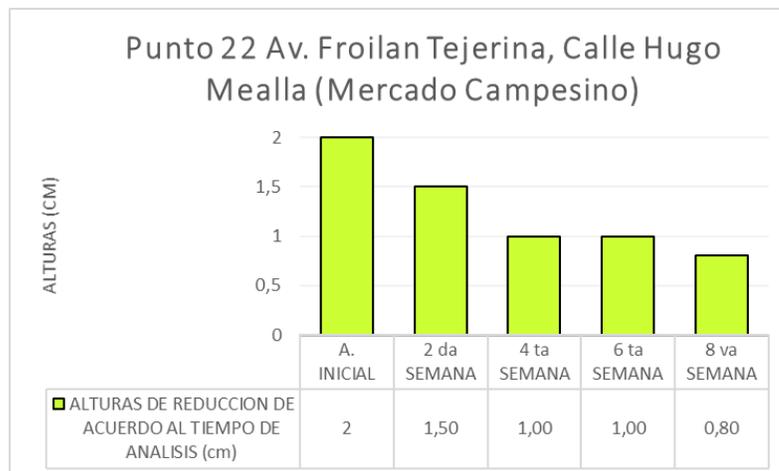
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 57** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 21.



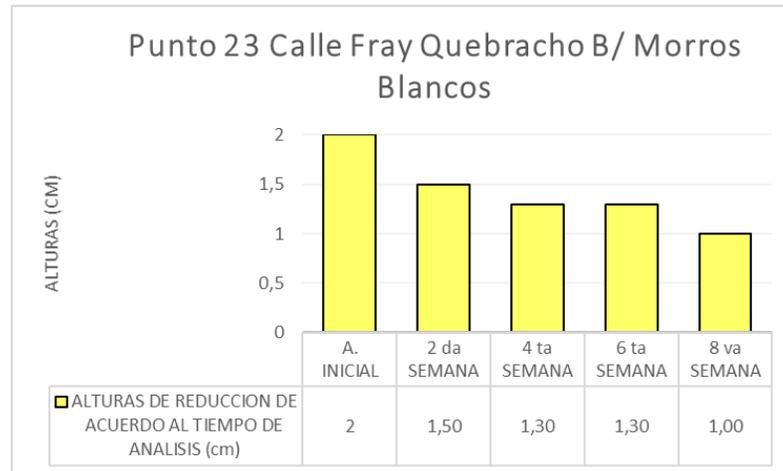
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 58** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 22.



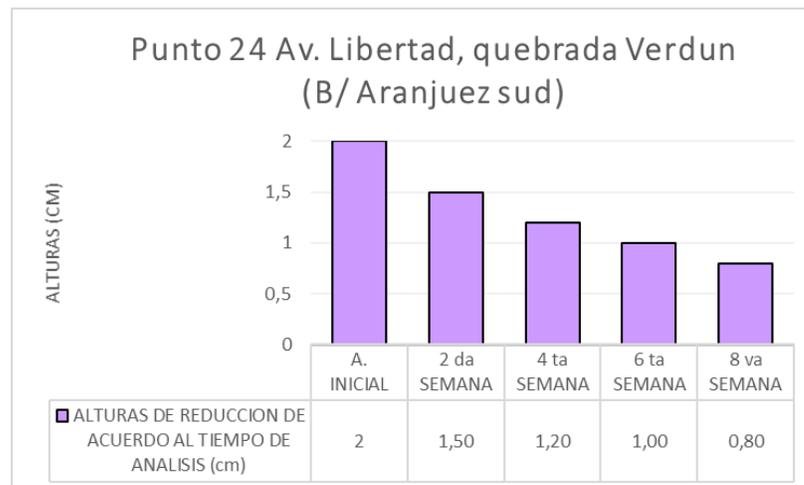
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 59** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 23.



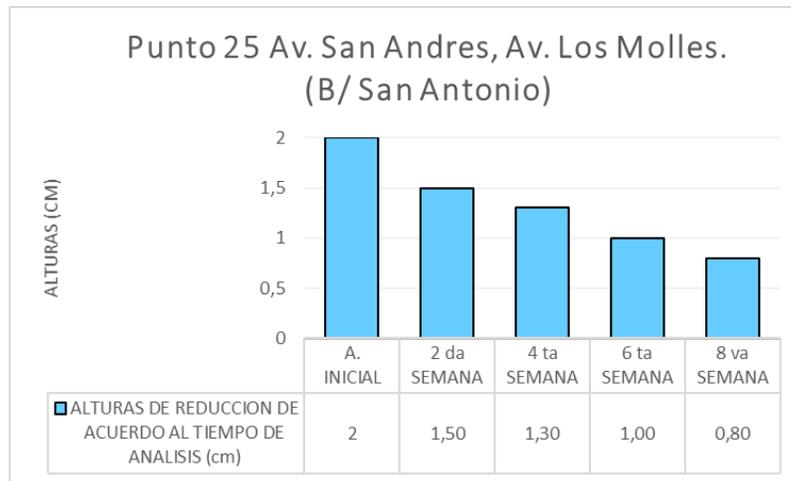
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 60** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 24.



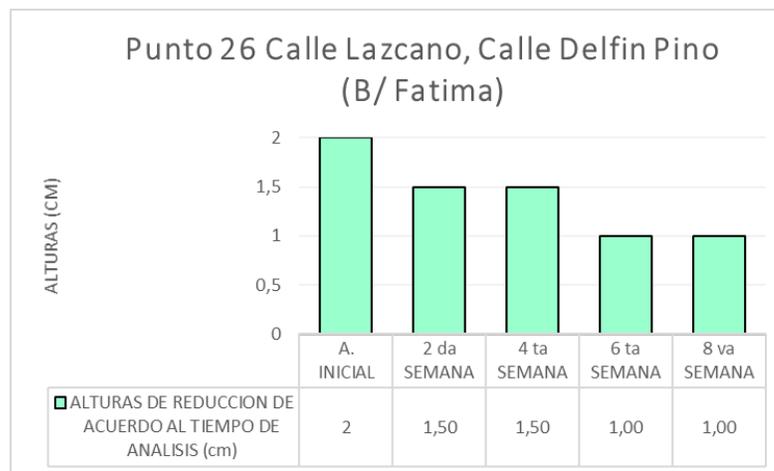
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 61** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 25.



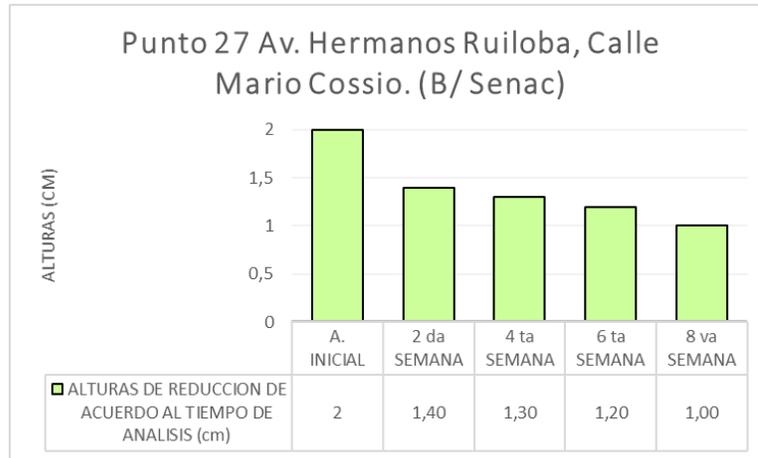
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 62** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 26.



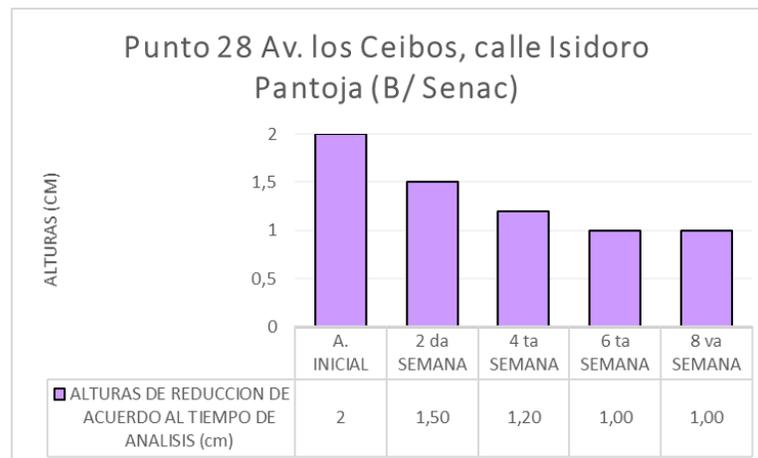
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 63** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 27.



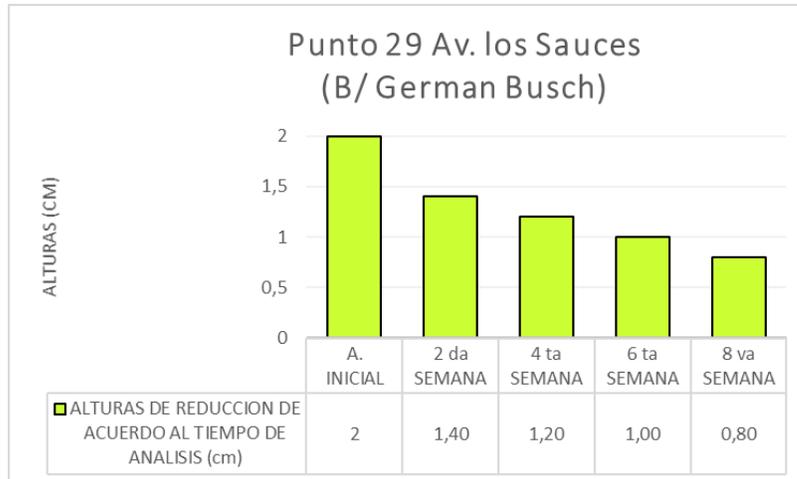
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 64** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 28.



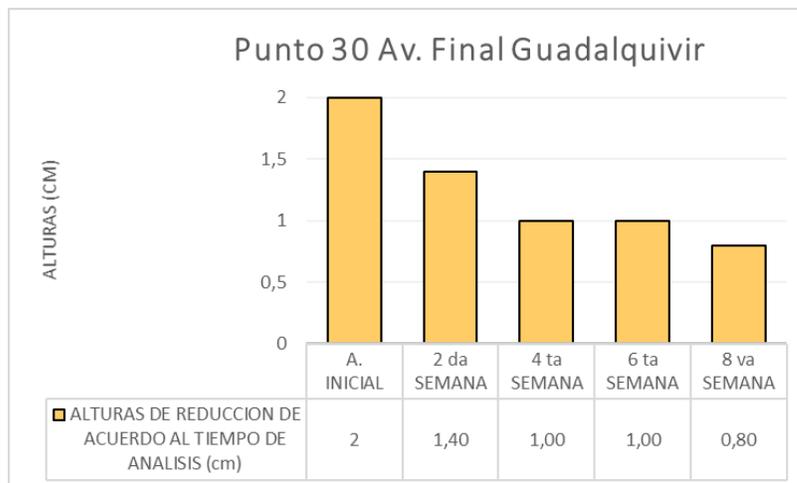
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 65** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 29.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 66** Altura de reducción de acuerdo al tiempo de análisis Bacheflex punto 30.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6. Ensayo Viga Benkelman (Normas ASTM D4965-03)

El ensayo de Viga Benkelman se usa para determinar las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de las cargas vehiculares, estas pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman” llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la AASTHO Road Test.

Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural.

Fabricada en aleación de aluminio, completa con comparadores y diversos accesorios. Se utiliza para medir la deflexión de la superficie de una carretera, provocada por el paso de las ruedas de los vehículos. La viga se pone entre los neumáticos del vehículo y en contacto con el pavimento a ensayar.

La medida de la deformación se realiza cuando el vehículo pasa sobre el área de ensayo. La longitud de la viga Benkelman es de 2500 mm. La relación de medidas entre los extremos y el punto de apoyo es de 4:1.

**Dimensiones:** 430x1800x350 aprox.

**Peso:** 16 kg aprox.

**Figura 4. 67** Equipo Benkelman.



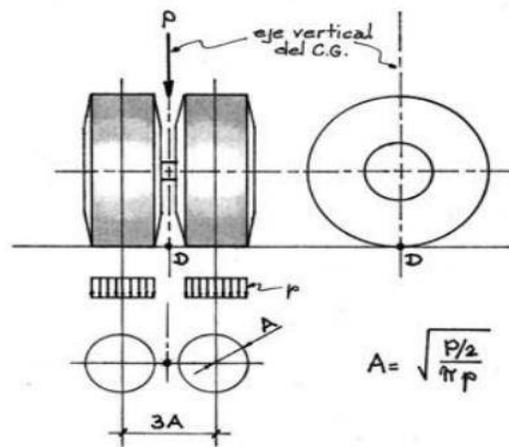
**Fuente:** <https://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/b100.pdf>.

#### 4.6.1. Procedimiento del ensayo

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que definir los puntos donde se tomarán las medidas.

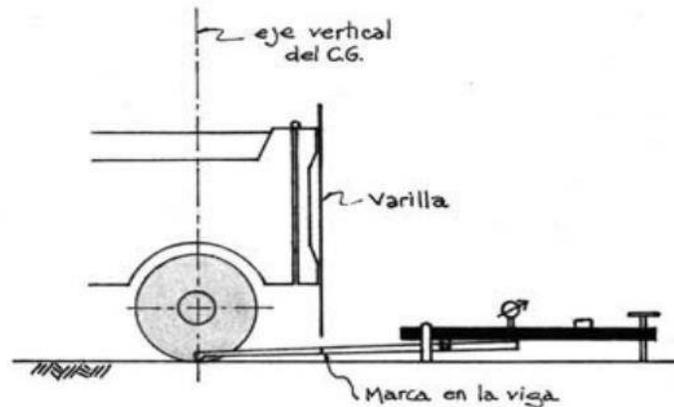
Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

**Figura 4. 68** Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

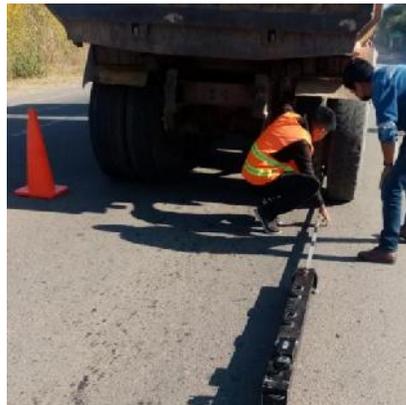
**Figura 4. 69** Geometría de colocación de la viga Benkelman.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

**Figura 4. 70** Proceso de medición.



**Fuente:** Elaboración propia

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el djal en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1km/h).

**Figura 4. 71** Lectura de los valores arrojados de deflexión.



**Fuente:** Elaboración propia

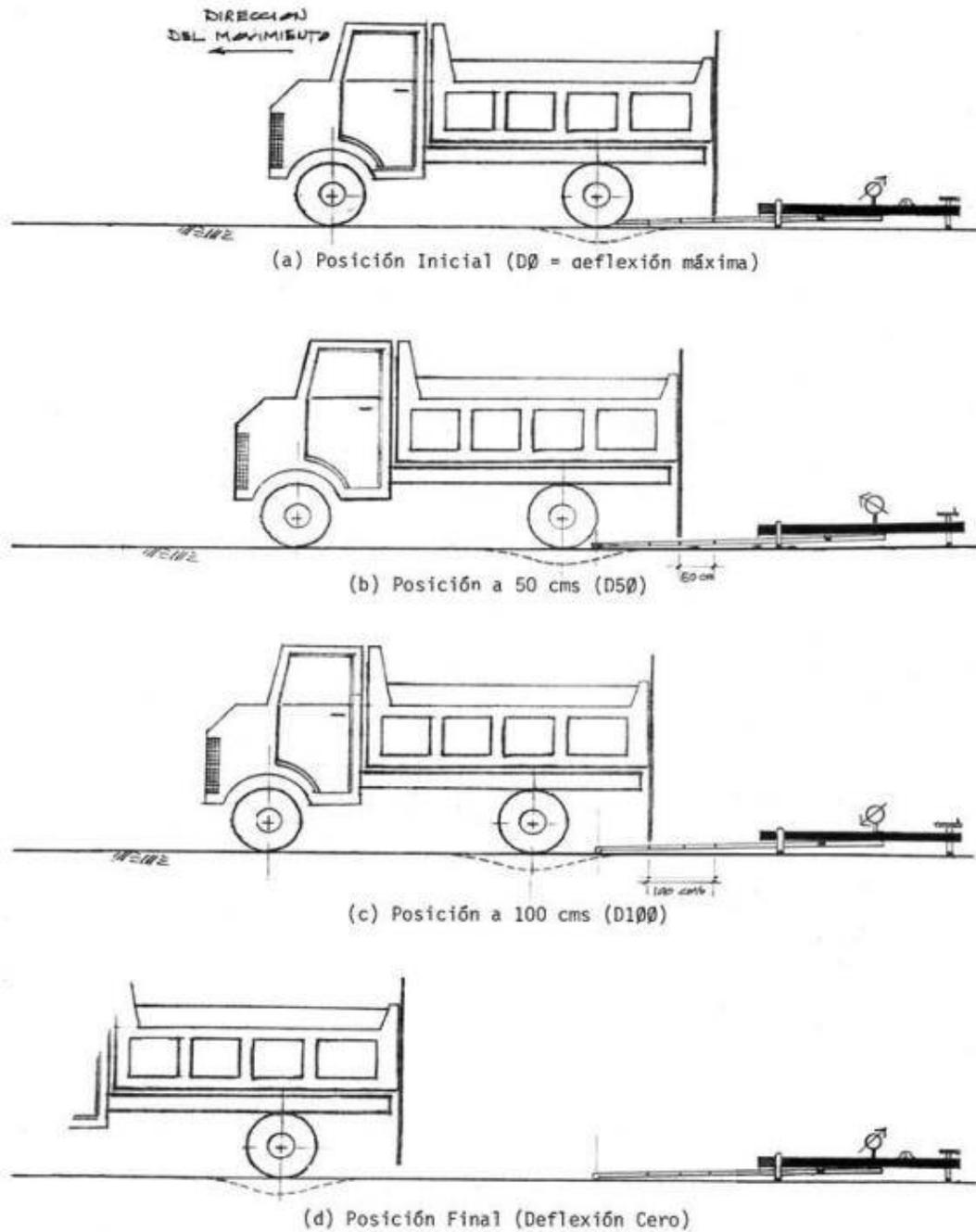
Se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dól ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

**Figura 4. 72** Manipuleo de la viga para una nueva lectura.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 73** Procedimiento de medición de deflexión.



**Fuente:** Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y de aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

La medición de temperatura se realiza solo una vez por cada punto definido a ensayar, en una zona cercana al punto de distancia cero.

Se coloca el termómetro antes de iniciar el ensayo y se registra la temperatura una vez terminada la última lectura de campo. Se debe evitar en lo posible las sombras o zonas húmedas que impidan obtener una temperatura representativa. Se recomienda realizar la medición de temperatura en una zona cerca al borde del pavimento y al eje transversal de la llanta, ya que este lugar se mantiene libre de impedimentos y cercana al punto de distancia cero.

**Figura 4. 74** Posición para la medición de temperatura.



**Fuente:** Evaluación estructural usando viga benkelman universidad de pirhua.

#### 4.6.2. Aplicación de viga Benkelman en las mezclas asfálticas aplicadas para bacheo

Cuando se planea hacer este ensayo se debe tomar en cuenta ciertas cosas como ser:

- ❖ El peso en toneladas de la volqueta debe ser el adecuado, se hizo el pesaje del vehículo en una balanza certificada que emite un certificado el mismo está anexado al final del texto.
- ❖ Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo (vagoneta o camioneta).

- ❖ Se debe planear con tiempo el ensayo ya que se trata de salida a campo y los ayudantes de laboratorio tienen que salir en apoyo con el manejo del equipo.
- ❖ Al momento de hacer el ensayo se corta el tráfico por lo que varios puntos se hicieron en horas de la madrugada y a primeras horas para no entorpecer el paso de los vehículos.

Este ensayo se hizo con el fin de no dañar la capa de rodadura de los puntos, así obtener un estado característico del paquete estructural donde se realizaron los trabajos de bacheo.

Debido a que no se trata de un tramo continuo las gráficas son solo representación para sus posteriores conclusiones de cada punto o zona.

Muchos de los puntos analizados no cuentan con paquete estructural es decir que la capa de rodadura está aplicada sobre caminos empedrados o en caminos que no tuvieron un tratamiento adecuado de capas inferiores.

**Figura 4. 75** Ensayo de viga Benkelman.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4. 5** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Mezcla Convencional).

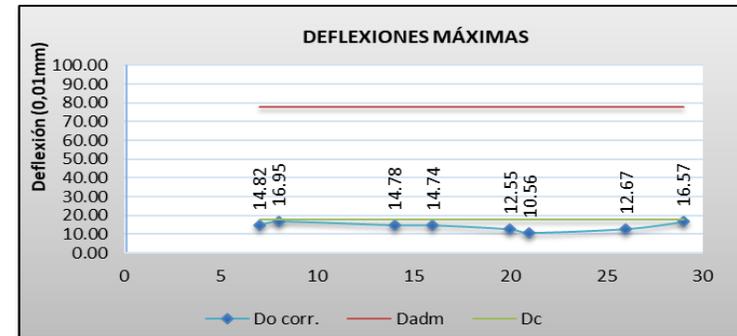
**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' 0.01 mm	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
7	2	4	4	8	12	14	14.00	10.00	781	14.82	10.59	738.07	15.0	27.0	5.60	
8	2	4	4	8	10	16	16.00	12.00	781	16.95	12.71	737.57	16.0	27.0	5.50	
14	4	6	6	8	14	12	14.00	8.00	521	14.78	8.45	493.18	15.0	28.0	5.20	
16	0	4	4	6	6	14	14.00	10.00	781	14.74	10.53	742.05	15.0	28.0	5.60	
20	4	6	8	10	10	12	12.00	6.00	521	12.55	6.27	498.11	15.0	30.0	5.20	
21	0	4	2	4	6	10	10.00	6.00	781	10.56	6.34	739.49	17.0	28.0	5.15	
26	2	4	4	8	10	12	12.00	8.00	781	12.67	8.45	739.77	16.0	28.0	5.20	
29	0	4	6	6	8	16	16.00	12.00	781	16.57	12.43	754.37	15.0	31.0	5.65	
Cálculo de deflexión característica ( Dc ):										Número de muestras	8	8	8			
Donde:										Sumatoria	113.65	75.76	5442.60			
D =Deflexión recuperable promedio = 14.2										<b>Promedio:</b>	14.21	9.47	680.33			
Ds = Desviación standard = 2.2										Deflexión Mínima	10.56	6.27	493.18			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645										Deflexión Máxima	16.95	12.71	754.37			
$D_c = 17.75 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Desviación Estandar	2.15	2.50	114.12			
$D_{adm} = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Varianza	4.64	6.25	13023.4			
										Coficiente de VAR.	15.16	26.39	16.77			
										<b>Valor Característico</b>	<b>17.75</b>	<b>13.58</b>	<b>868.05</b>			
													R <sub>cmín</sub> = 80 m			
													RCc (m)= 868.05			

Fuente: Elaboración propia

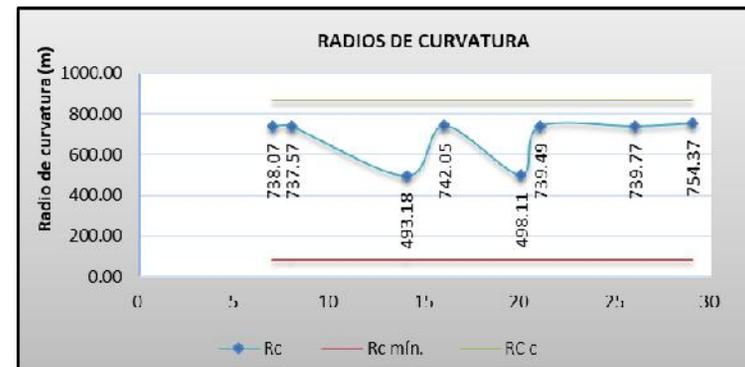
- ❖ Los valores de las deflexiones máximas están por debajo de la deflexión admisible, esto quiere decir que no hay recuperación favorable del pavimento ante el paso de los vehículos.
- ❖ Otra interpretación es que la capa de rodadura está fundada o aplicada sobre calles empedradas o en caminos sin paquete estructural, asfaltados directamente sobre una sub-rasante por necesidad de algunos barrios de tener un acceso asfaltado.

**Figura 4. 76** Deflexión Máxima zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 77** Radios de curvatura zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro del rango permitido, cuando el radio de curvatura son pequeños menores a Rc min se generará ondulaciones en el pavimento y si el radio de curvatura está por encima del RCc se producen fisuras longitudinales.

**Tabla 4. 6** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Mezcla Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do 0.01 mm	D50 0.01 mm	RC (m)	Do' 0.01 mm	D50' 0.01 mm	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
4	0	6	8	8	14	16	16.00	10.00	521	16.85	10.53	494.51	15.0	28.0	5.55
5	0	4	6	6	12	16	16.00	12.00	781	16.68	12.51	749.57	17.0	30.0	5.54
6	0	6	8	10	14	16	16.00	10.00	521	16.67	10.42	499.91	18.0	30.0	5.58
9	0	4	4	6	10	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.58	16.0	27.0	5.10
23	0	4	6	8	10	16	16.00	12.00	781	16.85	12.64	741.70	17.0	28.0	5.54

**Cálculo de deflexión característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 16.0  
 Ds = Desviación standard = 1.8  
 t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

<b>Dc = 18.92 x 10<sup>-2</sup> mm</b>
<b>Dadm = 77.99 x 10<sup>-2</sup> mm</b>

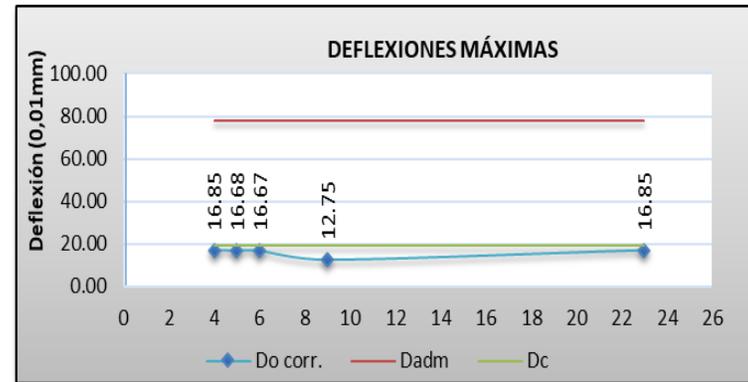
Número de muestras	5	5	5
Sumatoria	79.80	54.59	3221.27
<b>Promedio:</b>	15.96	10.92	644.25
Deflexión Mínima	12.75	8.50	494.51
Deflexión Máxima	16.85	12.64	749.57
Desviación Estandar	1.80	1.71	134.34
Varianza	3.24	2.94	18047.6
Coeficiente de VAR.	11.27	15.70	20.85
<b>Valor Característico</b>	<b>18.92</b>	<b>13.74</b>	<b>865.25</b>

Remín = 80 m
RCc (m)= 865.25

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los valores de deflexión se encuentran por debajo de la deformación admisible esto se interpreta como que la capa de rodadura esta aplicada sobre calles sin paquete estructural o en empedrado.
- ❖ Otra teoría que se puede asumir es que aun teniendo en algunos lugares un paquete estructural, los elementos del paquete como la capa base, sub base no cuentan con sus límites óptimos de plasticidad lo que genera una gran rigidez y por lo tanto valores menores.

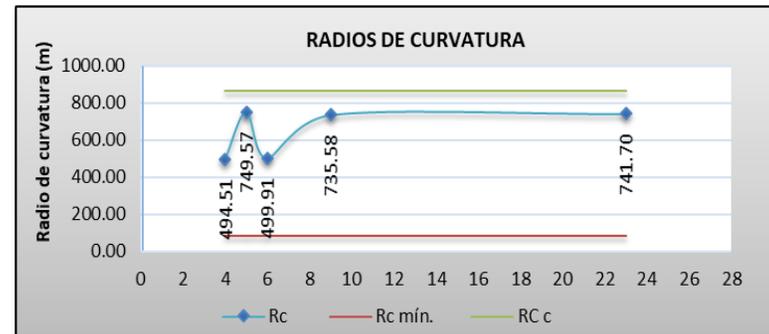
**Figura 4. 78** Deflexión Máxima zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Mezcla Convencional).



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 79** Radios de curvatura zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Mezcla Convencional).

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro del rango, entre el RCc y el radio mínimo por lo cual no presentan ni ondulaciones ni fisuras longitudinales lo que hace notar que el pavimento aún se encuentra en buenas condiciones y que solo se dañó por factores externos.



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4. 7** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Mezcla Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)**  
**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do 0.01 mm	D50 0.01 mm	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
13	0	4	4	4	6	14	14.00	10.00	781	14.75	10.53	741.70	18.0	28.0	5.54
24	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	12.84	8.56	730.04	16.0	25.0	5.58
25	0	4	4	8	10	14	14.00	10.00	781	14.74	10.53	741.88	18.0	28.0	5.57
27	0	4	6	6	10	10	10.00	6.00	781	10.72	6.43	728.69	15.0	25.0	5.20
28	0	4	4	6	8	14	14.00	10.00	781	14.80	10.57	739.20	18.0	28.0	5.10

**Cálculo de deflexión característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 13.6

Ds = Desviación standard = 1.8

t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 16.52 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$Dadm = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

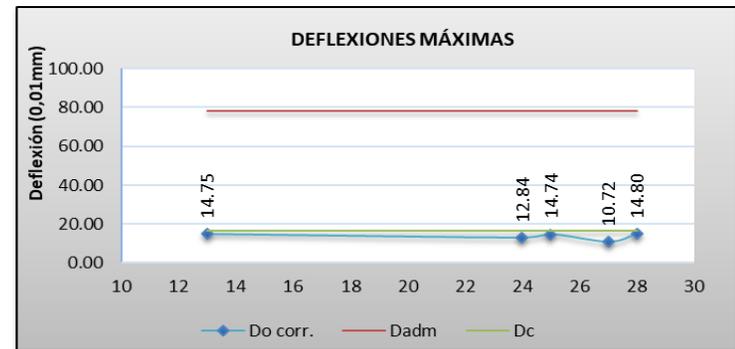
Número de muestras	5	5	5
Sumatoria	67.85	46.63	3681.52
<b>Promedio:</b>	13.57	9.33	736.30
Deflexión Mínima	10.72	6.43	728.69
Deflexión Máxima	14.80	10.57	741.88
Desviación Estandar	1.80	1.83	6.44
Varianza	3.23	3.35	41.44
Coficiente de VAR.	13.24	19.63	0.87
<b>Valor Característico</b>	<b>16.52</b>	<b>12.34</b>	<b>746.89</b>

$$\rightarrow \begin{matrix} R_{c\text{mín}} = 80 \text{ m} \\ R_{Cc} (\text{m}) = 746.89 \end{matrix}$$

**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Las deflexiones son muy bajas, esto quiere decir que el pavimento tiene mucha rigidez y que no está recuperando adecuadamente ante el paso de los vehículos, lo cual ocasionó primeramente una fisura longitudinal y transversal y seguidamente se producen los baches, o que la capa de rodadura se encuentra aplicada encima de caminos empedrados o sin paquete estructural.

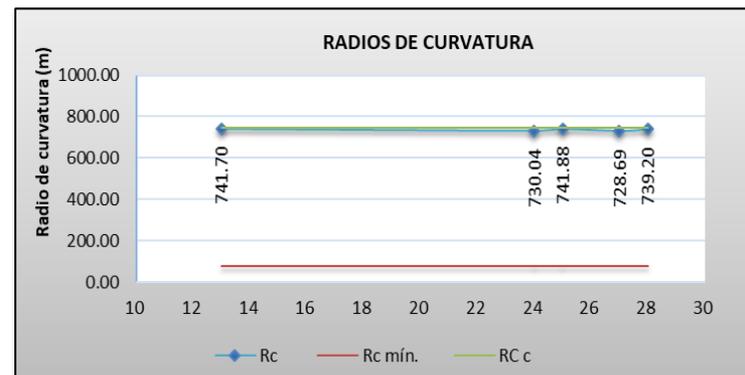
**Figura 4. 80** Deflexión Máxima zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro del rango, entre el RCc y el radio mínimo lo que hace notar que el pavimento aún se encuentra aún en buenas condiciones y que solo se dañó por factores externos.

**Figura 4. 81** Radios de Curvatura zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. 8** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Mezcla Convencional).

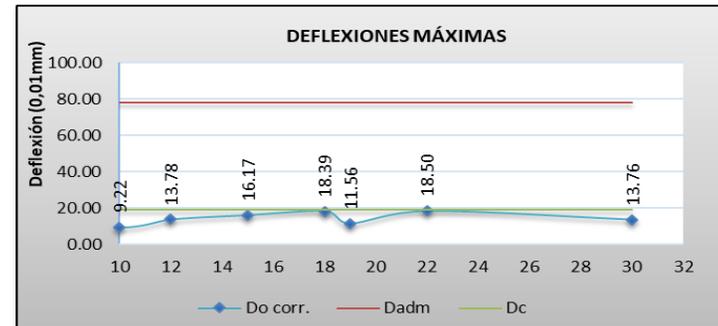
**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
1	0	6	6	8	12	14	14.00	8.00	521	16.21	9.26	449.83	7.0	11.0	5.55	
2	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	13.85	9.23	676.99	7.0	11.0	5.20	
3	0	4	4	4	10	10	10.00	6.00	781	11.46	6.88	681.82	7.0	12.0	5.00	
10	0	4	4	4	6	8	8.00	4.00	781	9.22	4.61	677.63	8.0	11.0	5.10	
12	0	6	6	6	8	12	12.00	6.00	521	13.78	6.89	453.41	8.0	12.0	5.30	
15	0	6	6	8	10	14	14.00	8.00	521	16.17	9.24	450.90	7.0	11.0	5.30	
18	0	6	6	8	12	16	16.00	10.00	521	18.39	11.49	453.22	8.0	12.0	5.35	
19	0	4	6	6	10	10	10.00	6.00	781	11.56	6.93	676.03	9.0	11.0	5.35	
22	0	6	6	8	12	16	16.00	10.00	521	18.50	11.56	450.47	10.0	11.0	5.40	
30	0	4	4	6	8	12	12.00	8.00	781	13.76	9.17	681.25	11.0	12.0	5.10	
Cálculo de deflexión característica ( Dc ):										Número de muestras	10	10	10			
Donde:										Sumatoria	142.90	85.28	5651.55			
$D_c = D + t * D_s$										<b>Promedio:</b>	14.29	8.53	565.16			
D =Deflexión recuperable promedio = 14.3										Deflexión Mínima	9.22	4.61	449.83			
Ds = Desviación standard = 3.0										Deflexión Máxima	18.50	11.56	681.82			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645										Desviación Estandar	3.05	2.19	119.75			
$D_c = 19.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Varianza	9.29	4.80	14340.0			
$D_{adm} = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Coeficiente de VAR.	21.33	25.70	21.19			
										<b>Valor Característico</b>	<b>19.30</b>	<b>12.13</b>	<b>762.14</b>			
														$R_{c\text{mín}} = 80 \text{ m}$		
														$RC_c (m) = 762.14$		

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Cuando el valor no cumple por lo menos con deflexión admisible, esto se debe a que talvez no cuenta con un paquete estructural y que si tuviera un paquete, la capa base y sub- base no cuentan con los limites plásticos óptimos para un pavimento generando una rigidez mayor, que si fuera el caso de pavimento rígido estaría muy bien, pero para pavimentos flexibles causara daños en la capa de rodadura.

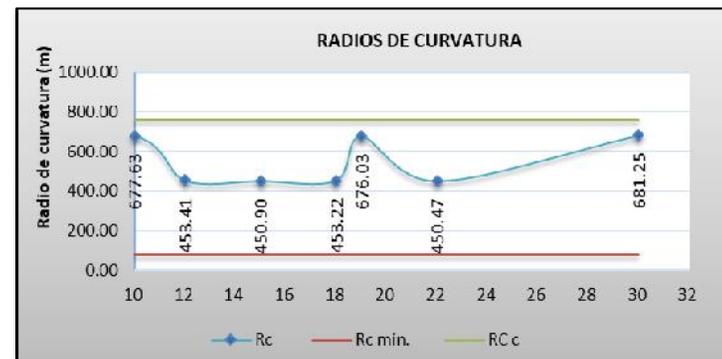
**Figura 4. 82** Deflexión Máxima zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro del rango, entre el RCc y el radio mínimo lo que hace notar que el pavimento aún se encuentra aún en condiciones regulares pero que las diferencias de valores indican que un tiempo necesitara un tratamiento profundo a las capas inferiores.

**Figura 4. 83** Radios de Curvatura zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

### 4.6.3. Resultados del ensayo realizado para el producto BACHEFLEX

El producto Bacheflex fue aplicado en cada punto de bacheo para ser analizado y comparado con el producto realizado en la alcaldía de Tarija. Es por eso que se analizó tanto la mezcla asfáltica convencional y el producto.

**Tabla 4. 9** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Bacheflex).

"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)

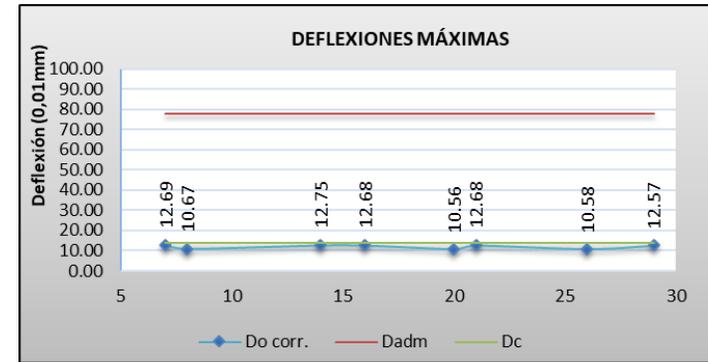
Equipo: Viga Benkelman

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
7	0	4	4	4	10	12	12.00	8.00	781	12.69	8.46	738.64	14.0	28.0	5.00
8	0	4	4	8	10	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	731.96	15.0	26.0	5.10
14	0	4	6	8	10	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.09	15.0	27.0	5.00
16	0	4	4	6	6	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	16.0	28.0	5.10
20	0	4	8	8	10	10	10.00	6.00	781	10.56	6.34	739.77	15.0	28.0	5.20
21	0	4	4	4	6	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	18.0	28.0	5.10
26	0	4	4	8	10	10	10.00	6.00	781	10.58	6.35	738.64	15.0	28.0	5.00
29	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	12.57	8.38	745.74	15.0	30.0	5.00
							Número de muestras			8	8	8			
<b>Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):</b>							Sumatoria			95.19	61.34	5908.24			
<b>Donde:</b>							<b>Promedio:</b>			11.90	7.67	738.53			
D =Deflexión recuperable promedio = 11.9							Deflexión Mínima			10.56	6.34	731.96			
Ds = Desviación standard = 1.1							Deflexión Máxima			12.75	8.50	745.74			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645							Desviación Estandar			1.07	1.08	3.95			
<b>Dc = 13.67 x 10<sup>-2</sup> mm</b>							Varianza			1.15	1.17	15.64			
<b>Dadm = 77.99 x 10<sup>-2</sup> mm</b>							Coeficiente de VAR.			9.03	14.11	0.54			
							<b>Valor Característico</b>			<b>13.67</b>	<b>9.45</b>	<b>745.04</b>			<b>Rc<sub>mín</sub> = 80 m</b>
															<b>R<sub>Cc</sub> (m)= 745.04</b>

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Al igual que la mezcla asfáltica convencional las deflexiones máximas se encuentran por debajo de la deflexión admisible esto se debe a que no cuenta con paquete estructural los puntos donde se realizó el ensayo, además de que aplicando el producto genera una rigidez que no deja que la capa de rodadura tenga esa recuperación favorable que se espera.

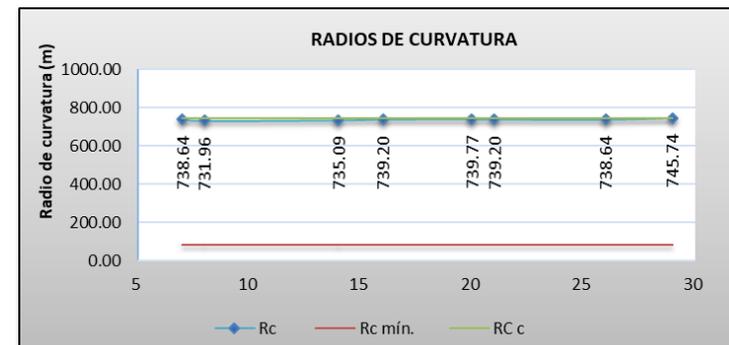
**Figura 4. 84** Deflexiones Máximas zona Miraflores-Villa Fátima- German Busch (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro del rango permitido, Lo cual indica que el pavimento aún está en buenas condiciones y que talvez el bache se generó por factores externos.

**Figura 4. 85** Radios de Curvatura zona Miraflores-Villa Fátima- German Busch (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. 10** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex).

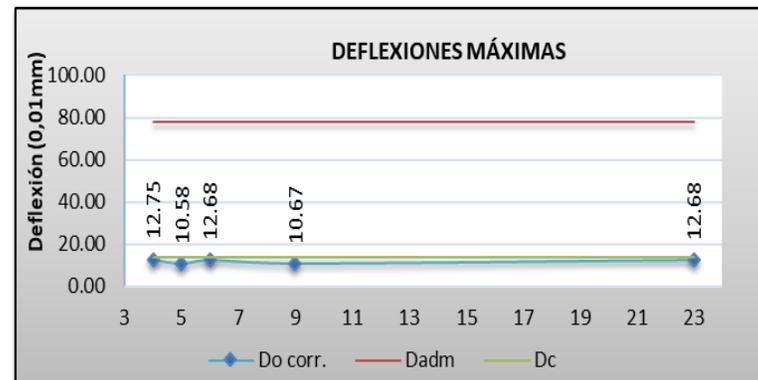
**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)**  
**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
4	0	4	6	6	12	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.09	15.0	27.0	5.00	
5	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.58	6.35	738.64	17.0	28.0	5.00	
6	0	4	4	8	8	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	18.0	28.0	5.10	
9	0	4	4	6	6	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	732.39	16.0	26.0	5.20	
23	0	4	6	6	10	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	17.0	28.0	5.10	
Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):										Número de muestras	5	5	5			
Donde:										Sumatoria	59.36	38.16	3684.52			
$D_c = D + t * D_s$										<b>Promedio:</b>	11.87	7.63	736.90			
D = Deflexión recuperable promedio = 11.9										Deflexión Mínima	10.58	6.35	732.39			
Ds = Desviación standard = 1.1										Deflexión Máxima	12.75	8.50	739.20			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645*										Desviación Estandar	1.14	1.15	3.05			
$D_c = 13.75 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Varianza	1.31	1.32	9.33			
$D_{adm} = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Coficiente de VAR.	9.62	15.06	0.41			
										<b>Valor Característico</b>	<b>13.75</b>	<b>9.52</b>	<b>741.93</b>			
														$R_{c\text{mín}} = 80 \text{ m}$		
														$R_{Cc} \text{ (m)} = 741.93$		

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En esta zona estudiada igualmente los valores de deflexiones máximas son menores a la admisible y nuevamente se supone 2 teorías: que no cuenta con paquete estructural la zona de estudio o que si teniendo paquete estructural este no cuenta con los límites plásticos óptimos y que generara rigidez por eso se obtiene los valores menores.

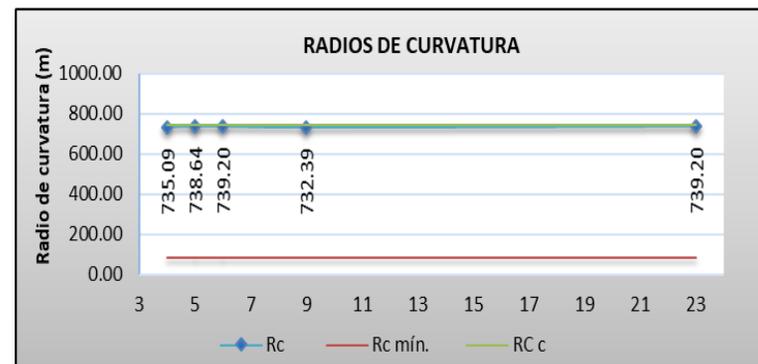
**Figura 4. 86** Deflexiones Máximas zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura se encuentran dentro el rango, se podría decir que el producto bacheflex aporta resistencia lo que hace que a mayor radio de curvatura menor es la deformación que sufre. Según los resultados el pavimento aún está en buenas condiciones.

**Figura 4. 87** Radios de Curvatura zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. 11** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Bacheflex).

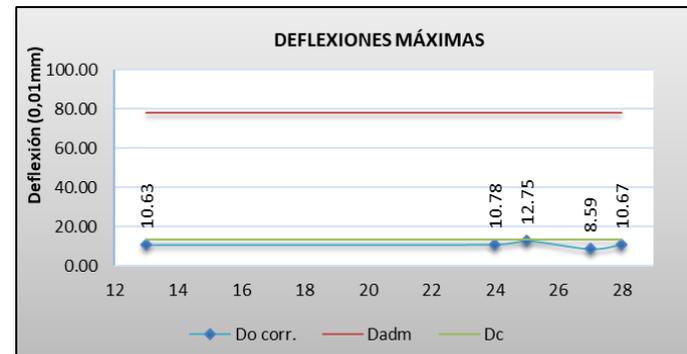
**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
13	0	4	4	4	6	10	10.00	6.00	781	10.63	6.38	735.09	17.0	27.0	5.00	
24	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.78	6.47	724.43	16.0	24.0	5.00	
25	0	4	4	6	8	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.58	17.0	27.0	5.10	
27	0	4	6	6	8	8	8.00	4.00	781	8.59	4.29	727.98	16.0	25.0	5.00	
28	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	731.96	17.0	26.0	5.10	
<b>Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):</b>										Número de muestras	5	5	5			
Donde:										Sumatoria	53.42	32.04	3655.04			
$D_c = D + t * D_s$										<b>Promedio:</b>	10.68	6.41	731.01			
D =Deflexión recuperable promedio = 10.7										Deflexión Mínima	8.59	4.29	724.43			
D <sub>s</sub> = Desviación standard = 1.5										Deflexión Máxima	12.75	8.50	735.58			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645*										Desviación Estandar	1.47	1.49	4.77			
$D_c = 13.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Varianza	2.17	2.21	22.71			
$D_{adm} = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$										Coeficiente de VAR.	13.78	23.20	0.65			
										<b>Valor Característico</b>	<b>13.10</b>	<b>8.85</b>	<b>738.85</b>			
														$R_{cmín} = 80 \text{ m}$		
														$RC_c (m) = 738.85$		

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los valores de deflexión se encuentran por debajo de la deformación admisible esto se interpreta como que la capa de rodadura esta aplicada sobre calles sin paquete estructural o en empedrado.

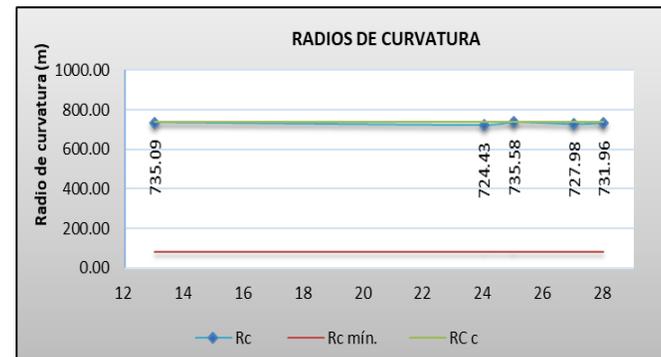
**Figura 4. 88** Deflexiones Máximas zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Bacheflex).



**Fuente:** Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura son aceptables el producto bacheflex proporciona una resistencia favorable que ayuda al paquete estructural a tener radios menores y haciendo notar que aún se encuentra en buenas condiciones.

**Figura 4. 89** Radios de Curvatura zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Bacheflex).



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4. 12** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Bacheflex).

"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)

Equipo: Viga Benkelman

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	0	4	4	8	8	8	8.00	4.00	781	9.26	4.63	674.72	7.0	10.0	5.00
2	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.59	6.95	674.01	7.0	10.0	5.10
3	0	4	4	4	8	10	10.00	6.00	781	11.52	6.91	678.27	7.0	11.0	5.00
10	0	4	4	6	6	8	8.00	4.00	781	9.26	4.63	674.72	8.0	10.0	5.00
12	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.59	6.95	674.01	8.0	10.0	5.10
15	0	4	6	8	10	12	12.00	8.00	781	13.89	9.26	674.72	7.0	10.0	5.00
18	0	4	6	8	12	12	12.00	8.00	781	13.84	9.22	677.63	8.0	11.0	5.10
19	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.46	6.88	681.82	9.0	12.0	5.00
22	0	4	6	8	8	12	12.00	8.00	781	13.92	9.28	673.30	10.0	10.0	5.20
30	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.53	6.92	677.63	11.0	11.0	5.10

**Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):**

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

- D =Deflexión recuperable promedio = 11.8
- Ds = Desviación standard = 1.7
- t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

<b>Dc = 14.60 x 10<sup>-2</sup> mm</b>
<b>Dadm = 77.99 x 10<sup>-2</sup> mm</b>

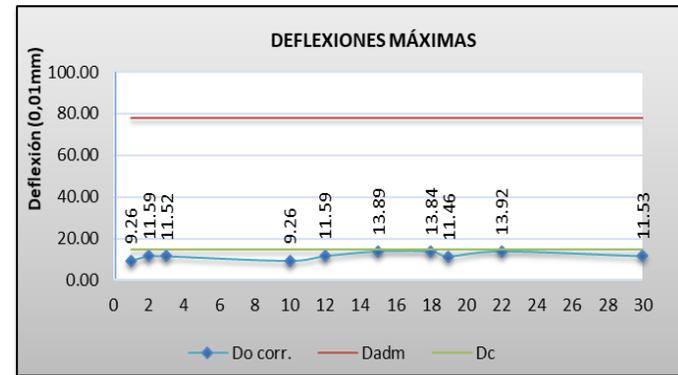
Número de muestras	10	10	10
Sumatoria	117.87	71.65	6760.80
<b>Promedio:</b>	11.79	7.16	676.08
Deflexión Mínima	9.26	4.63	673.30
Deflexión Máxima	13.92	9.28	681.82
Desviación Estandar	1.71	1.71	2.68
Varianza	2.92	2.92	7.16
Coefficiente de VAR.	14.49	23.84	0.40
<b>Valor Característico</b>	<b>14.60</b>	<b>9.97</b>	<b>680.48</b>

Rc mín = 80 m
RCc (m) = 680.48

Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los valores arrojados son bajos esto se deduce que las calles estudiadas no cuentan con un paquete estructural, en otros casos como la av. Panamericana y la av. Froilán Tejerina si cuentan con paquete estructural pero sus valores aún siguen siendo bajos esto se puede deducir que las capas base y sub base no cuentan con los límites óptimos para un determinado cálculo de ejes equivalentes.

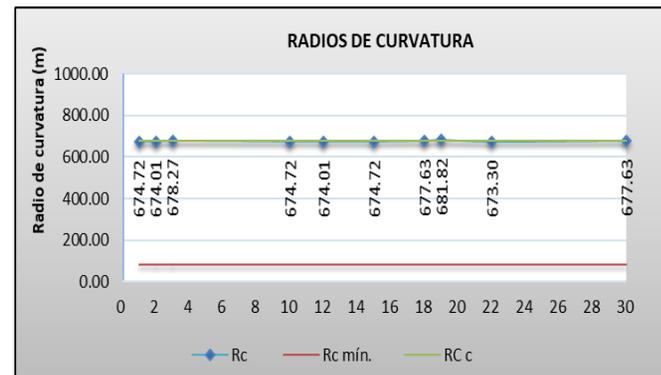
**Figura 4. 90** Deflexiones Máximas zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Los radios de curvatura son aceptables el producto bacheflex proporciona una resistencia favorable que ayuda al paquete estructural a tener radios menores y haciendo notar que aún se encuentra en buenas condiciones. cuando el radio de curvatura son pequeños menores a  $R_c$  min se generará ondulaciones en el pavimento y si el radio de curvatura está por encima del  $R_c$  se producen fisuras longitudinales. El paquete aún se encuentra en buenas condiciones.

**Figura 4. 91** Radios de Curvatura zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Bacheflex).



Fuente: Elaboración propia

#### **4.6.4. Análisis de resultados comparados entre ambos productos**

El ensayo de Viga Benkelman se usa para determinar las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de las cargas vehiculares, estas pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman” llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la AASTHO Road Test.

Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural.

Cuando se realizó el bacheo correspondiente en los puntos ya señalados, se aplicó tanto la mezcla convencional como el producto Bacheflex, esto con el fin de tener con certeza los resultados de los análisis realizados en el punto así fue realizado los 30 puntos de aplicación.

En las siguientes planillas y especialmente las gráficas se ve reflejado el comportamiento del paquete estructural ante la aplicación de cada una de las mezclas asfálticas.

Cabe recalcar que varias calles o la mayoría incluso no cuenta con paquete estructural, sino que se deduce que la capa de rodadura fue realizada directamente sobre un empedrado o sobre la subrasante dando valores notablemente bajos de deflexión.

En cuanto a los radios de curvatura los valores están dentro de los parámetros mínimos y máximos, lo que significa que el pavimento se encuentra en buenas condiciones aun y que los baches se generaron por factores externos como ser humedad, rotura de cañerías, paso vehicular incorrecto con su diseño de construcción o vencimiento de la vida útil de la capa de rodadura.

**Tabla 4. 13** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Bacheflex vs Mezcla Asfáltica Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)**  
**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' 0.01 mm	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
7	2	4	4	8	12	14	14.00	10.00	781	14.82	10.59	738.07	15.0	27.0	5.60
8	2	4	4	8	10	16	16.00	12.00	781	16.95	12.71	737.57	16.0	27.0	5.50
14	4	6	6	8	14	12	14.00	8.00	521	14.78	8.45	493.18	15.0	28.0	5.20
16	0	4	4	6	6	14	14.00	10.00	781	14.74	10.53	742.05	15.0	28.0	5.60
20	4	6	8	10	10	12	12.00	6.00	521	12.55	6.27	498.11	15.0	30.0	5.20
21	0	4	2	4	6	10	10.00	6.00	781	10.56	6.34	739.49	17.0	28.0	5.15
26	2	4	4	8	10	12	12.00	8.00	781	12.67	8.45	739.77	16.0	28.0	5.20
29	0	4	6	6	8	16	16.00	12.00	781	16.57	12.43	754.37	15.0	31.0	5.65

**Cálculo de deflexión característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 14.2  
 Ds = Desviación standard = 2.2  
 t = constante de probabilidad al 95% = 1.645\*

<b>Dc = 17.75</b>	<b>x 10<sup>-2</sup> mm</b>
<b>Dadm = 77.99</b>	<b>x 10<sup>-2</sup> mm</b>

Número de muestras	8	8	8
Sumatoria	113.65	75.76	5442.60
<b>Promedio:</b>	14.21	9.47	680.33
Deflexión Mínima	10.56	6.27	493.18
Deflexión Máxima	16.95	12.71	754.37
Desviación Estandar	2.15	2.50	114.12
Varianza	4.64	6.25	13023.4
Coefficiente de VAR.	15.16	26.39	16.77
<b>Valor Característico</b>	<b>17.75</b>	<b>13.58</b>	<b>868.05</b>

®

Rcmín =	80 m
RCc (m)=	868.05

**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)**

**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
7	0	4	4	4	10	12	12.00	8.00	781	12.69	8.46	738.64	14.0	28.0	5.00	
8	0	4	4	8	10	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	731.96	15.0	26.0	5.10	
14	0	4	6	8	10	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.09	15.0	27.0	5.00	
16	0	4	4	6	6	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	16.0	28.0	5.10	
20	0	4	8	8	10	10	10.00	6.00	781	10.56	6.34	739.77	15.0	28.0	5.20	
21	0	4	4	4	6	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	18.0	28.0	5.10	
26	0	4	4	8	10	10	10.00	6.00	781	10.58	6.35	738.64	15.0	28.0	5.00	
29	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	12.57	8.38	745.74	15.0	30.0	5.00	
Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):										Número de muestras	8	8	8			
Donde:										Sumatoria	95.19	61.34	5908.24			
D = Deflexión recuperable promedio = 11.9										<b>Promedio:</b>	11.90	7.67	738.53			
Ds = Desviación standard = 1.1										Deflexión Mínima	10.56	6.34	731.96			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645										Deflexión Máxima	12.75	8.50	745.74			
										Desviación Estandar	1.07	1.08	3.95			
										Varianza	1.15	1.17	15.64			
										Coeficiente de VAR.	9.03	14.11	0.54			
										<b>Valor Característico</b>	<b>13.67</b>	<b>9.45</b>	<b>745.04</b>			
														$R_{cmín} = 80 \text{ m}$		
														$RCc \text{ (m)} = 745.04$		

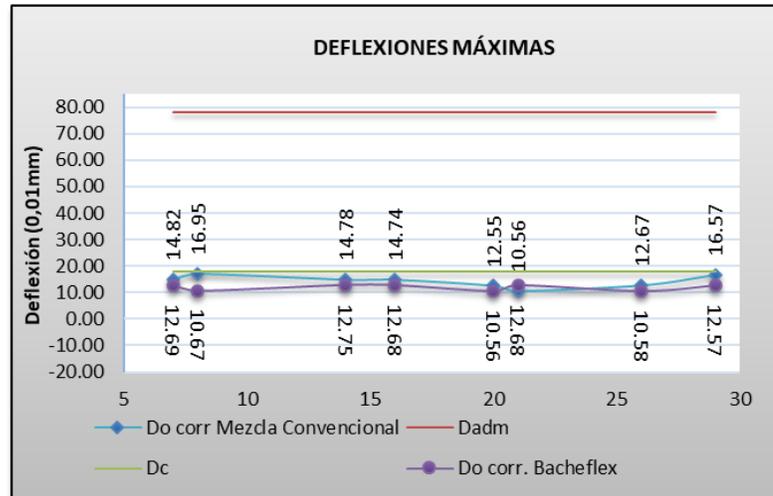
$$D_c = D + t * D_s$$

$$D_c = 13.67 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$D_{adm} = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 92** Deflexiones máximas zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Bacheflex vs Mezcla Asfáltica Convencional).



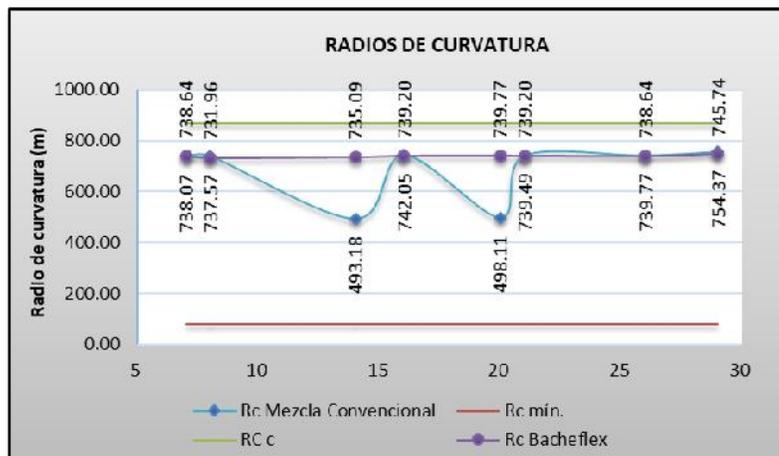
**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica se muestra las características de deflexión del pavimento ante el análisis sobre las mezclas aplicadas, se ve que las mezclas asfálticas convencionales producidas y aplicadas en caliente tienen valores relativamente mayores de deflexión esto se debe a que la mezcla es blanda y el paso del vehículo de estudio genera mayor deflexión en el lugar. Mientras que la mezcla pre fabricada con su aplicación en frío “Bacheflex” con sus propiedades hace que se tenga una mejor compactación y endurecimiento óptimo el cual hizo que las lecturas de deflexión en los puntos sean relativamente más pequeños generando una rigidez adecuada para que su durabilidad incremente un tiempo más de lo que durara la mezcla convencional.

**Nota:** Las gráficas son solo representativas ya que los puntos de estudio no corresponden a un solo tramo sino diversos puntos de la ciudad separados por zonas.

Esta interpretación es también para las demás zonas ya que los valores se mantienen sin alteraciones lo cual se llega a la conclusión del mismo concepto.

**Figura 4. 93** Radio de curvatura zona Miraflores- Villa Fátima- German Busch (Bacheflex vs Mezcla Asfáltica Convencional).



**Fuente:** Elaboración propia

Los radios de curvatura estudiados en el punto aplicado con mezcla asfáltica convencional son menores debido a su consistencia aun blanda después del bacheo haciendo que los valores estén por debajo que de los obtenidos con bacheflex, pero aun así hace notar que el paquete estructural se encuentra en buenas condiciones y que el bache o falla se ocasionó por otros factores externos.

Los radios de curvatura son aceptables el producto bacheflex proporciona una resistencia favorable que ayuda al paquete estructural a tener radios menores y haciendo notar que aún se encuentra en buenas condiciones. cuando el radio de curvatura son pequeños menores a Rc min se generará ondulaciones en el pavimento y si el radio de curvatura está por encima del RCc se producen fisuras longitudinales. El paquete aún se encuentra en buenas condiciones.

**Nota:** Las gráficas son solo representativas ya que los puntos de estudio no corresponden a un solo tramo sino diversos puntos de la ciudad separados por zonas.

Esta interpretación es también para las demás zonas ya que los valores se mantienen sin alteraciones lo cual se llega a la conclusión del mismo concepto.

**Tabla 4. 14** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex vs Mezcla Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do 0.01 mm	D50 0.01 mm	RC (m)	Do' 0.01 mm	D50' 0.01 mm	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
4	0	6	8	8	14	16	16.00	10.00	521	16.85	10.53	494.51	15.0	28.0	5.55
5	0	4	6	6	12	16	16.00	12.00	781	16.68	12.51	749.57	17.0	30.0	5.54
6	0	6	8	10	14	16	16.00	10.00	521	16.67	10.42	499.91	18.0	30.0	5.58
9	0	4	4	6	10	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.58	16.0	27.0	5.10
23	0	4	6	8	10	16	16.00	12.00	781	16.85	12.64	741.70	17.0	28.0	5.54

**Cálculo de deflexión característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 16.0  
 Ds = Desviación standard = 1.8  
 t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

<b>Dc = 18.92 x 10<sup>-2</sup> mm</b>
<b>Dadm = 77.99 x 10<sup>-2</sup> mm</b>

Número de muestras	5	5	5
Sumatoria	79.80	54.59	3221.27
<b>Promedio:</b>	15.96	10.92	644.25
Deflexión Mínima	12.75	8.50	494.51
Deflexión Máxima	16.85	12.64	749.57
Desviación Estandar	1.80	1.71	134.34
Varianza	3.24	2.94	18047.6
Coficiente de VAR.	11.27	15.70	20.85
<b>Valor Característico</b>	<b>18.92</b>	<b>13.74</b>	<b>865.25</b>

→ 

Rc <sub>mín</sub> = 80 m
Rc <sub>c</sub> (m) = 865.25

**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)**

Equipo: Viga Benkelman

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
4	0	4	6	6	12	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.09	15.0	27.0	5.00
5	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.58	6.35	738.64	17.0	28.0	5.00
6	0	4	4	8	8	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	18.0	28.0	5.10
9	0	4	4	6	6	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	732.39	16.0	26.0	5.20
23	0	4	6	6	10	12	12.00	8.00	781	12.68	8.46	739.20	17.0	28.0	5.10

**Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 11.9

Ds = Desviación standard = 1.1

t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 13.75 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

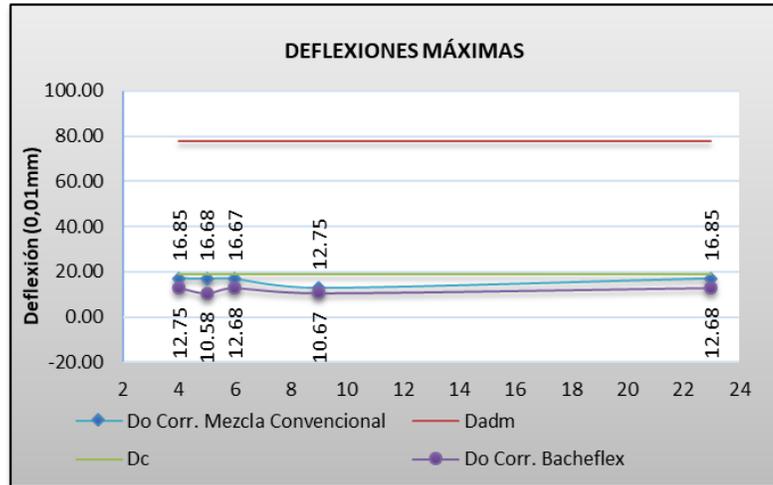
$$Dadm = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	5	5	5
Sumatoria	59.36	38.16	3684.52
<b>Promedio:</b>	11.87	7.63	736.90
Deflexión Mínima	10.58	6.35	732.39
Deflexión Máxima	12.75	8.50	739.20
Desviación Estandar	1.14	1.15	3.05
Varianza	1.31	1.32	9.33
Coficiente de VAR.	9.62	15.06	0.41
<b>Valor Característico</b>	<b>13.75</b>	<b>9.52</b>	<b>741.93</b>

Rcmín =	80 m
RCc (m)=	741.93

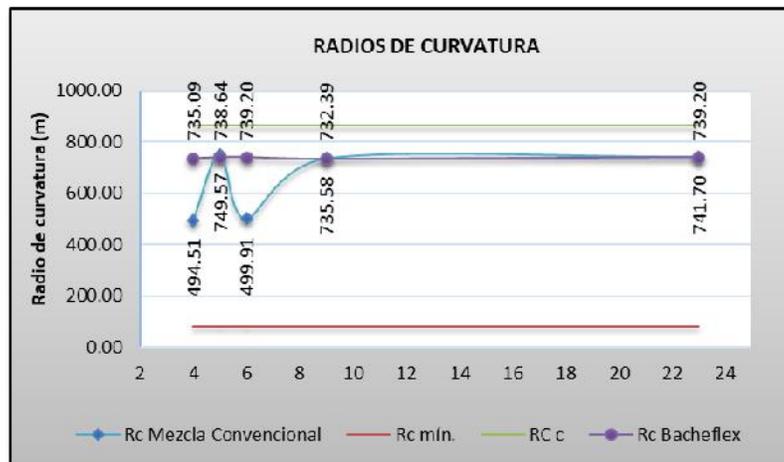
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 94** Deflexiones máximas zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 95** Radios de curvatura zona Morros Blancos - Torrecillas Nueva terminal (Bacheflex vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. 15** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Senac- Luis de Fuentes- Tabladita (Bacheflex vs Mezcla Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)	
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do 0.01 mm	D50 0.01 mm	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C		
13	0	4	4	4	6	14	14.00	10.00	781	14.75	10.53	741.70	18.0	28.0	5.54	
24	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	12.84	8.56	730.04	16.0	25.0	5.58	
25	0	4	4	8	10	14	14.00	10.00	781	14.74	10.53	741.88	18.0	28.0	5.57	
27	0	4	6	6	10	10	10.00	6.00	781	10.72	6.43	728.69	15.0	25.0	5.20	
28	0	4	4	6	8	14	14.00	10.00	781	14.80	10.57	739.20	18.0	28.0	5.10	
Cálculo de deflexión característica ( Dc ):										Número de muestras	5	5	5			
Donde:										Sumatoria	67.85	46.63	3681.52			
D = Deflexión recuperable promedio = 13.6										<b>Promedio:</b>	13.57	9.33	736.30			
Ds = Desviación standard = 1.8										Deflexión Mínima	10.72	6.43	728.69			
t = constante de probabilidad al 95% = 1.645										Deflexión Máxima	14.80	10.57	741.88			
										Desviación Estandar	1.80	1.83	6.44			
										Varianza	3.23	3.35	41.44			
										Coficiente de VAR.	13.24	19.63	0.87			
										<b>Valor Característico</b>	<b>16.52</b>	<b>12.34</b>	<b>746.89</b>			
$Dc = D + t * Ds$ $Dc = 16.52 \times 10^{-2} \text{ mm}$ $Dadm = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$													→	Rcmín = 80 m	RCc (m) = 746.89	

**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)**  
**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
13	0	4	4	4	6	10	10.00	6.00	781	10.63	6.38	735.09	17.0	27.0	5.00
24	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.78	6.47	724.43	16.0	24.0	5.00
25	0	4	4	6	8	12	12.00	8.00	781	12.75	8.50	735.58	17.0	27.0	5.10
27	0	4	6	6	8	8	8.00	4.00	781	8.59	4.29	727.98	16.0	25.0	5.00
28	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	10.67	6.40	731.96	17.0	26.0	5.10

**Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 10.7

Ds = Desviación standard = 1.5

t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 13.10 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

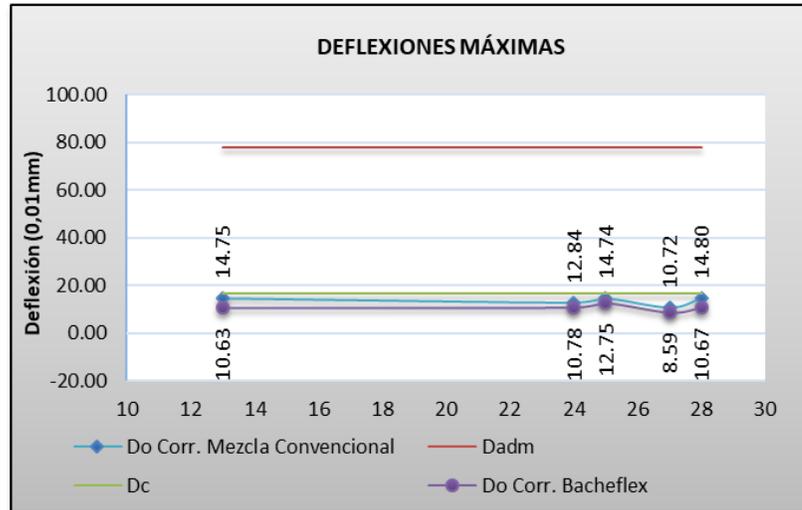
$$Dadm = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	5	5	5
Sumatoria	53.42	32.04	3655.04
<b>Promedio:</b>	10.68	6.41	731.01
Deflexión Mínima	8.59	4.29	724.43
Deflexión Máxima	12.75	8.50	735.58
Desviación Estandar	1.47	1.49	4.77
Varianza	2.17	2.21	22.71
Coeficiente de VAR.	13.78	23.20	0.65
<b>Valor Característico</b>	<b>13.10</b>	<b>8.85</b>	<b>738.85</b>

→  $R_{c\min} = 80 \text{ m}$   
 $RCc \text{ (m)} = 738.85$

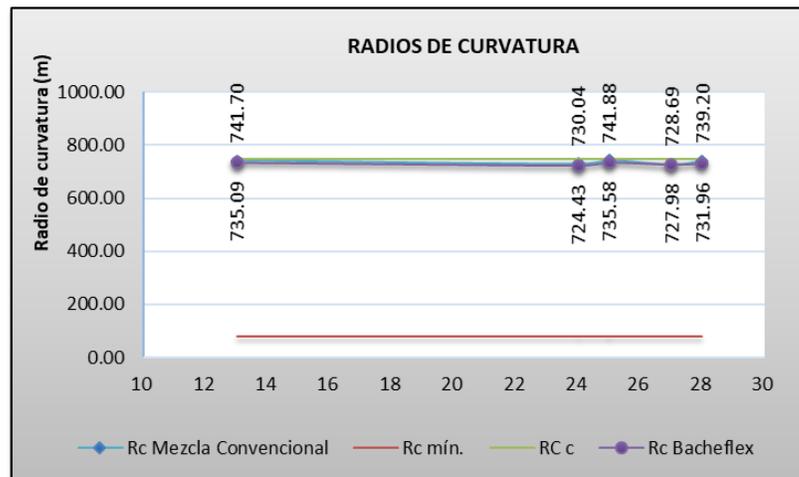
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 96** Deflexiones máximas zona Senac- Luis de Fuentes-Tabladita (Bacheflex vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 97** Radios de curvatura zona Senac- Luis de Fuentes-Tabladita (Bacheflex vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4. 16** Planilla de resultados de viga Benkelman zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (Bacheflex vs Mezcla Convencional).

**"Evaluación estructural del Pavimento" (Mezcla Asfáltica Convencional)  
Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do 0.01 mm	D50 0.01 mm	RC (m)	Do' 0.01 mm	D50' 0.01 mm	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	0	6	6	8	12	14	14.00	8.00	521	16.21	9.26	449.83	7.0	11.0	5.55
2	0	4	6	6	8	12	12.00	8.00	781	13.85	9.23	676.99	7.0	11.0	5.20
3	0	4	4	4	10	10	10.00	6.00	781	11.46	6.88	681.82	7.0	12.0	5.00
10	0	4	4	4	6	8	8.00	4.00	781	9.22	4.61	677.63	8.0	11.0	5.10
12	0	6	6	6	8	12	12.00	6.00	521	13.78	6.89	453.41	8.0	12.0	5.30
15	0	6	6	8	10	14	14.00	8.00	521	16.17	9.24	450.90	7.0	11.0	5.30
18	0	6	6	8	12	16	16.00	10.00	521	18.39	11.49	453.22	8.0	12.0	5.35
19	0	4	6	6	10	10	10.00	6.00	781	11.56	6.93	676.03	9.0	11.0	5.35
22	0	6	6	8	12	16	16.00	10.00	521	18.50	11.56	450.47	10.0	11.0	5.40
30	0	4	4	6	8	12	12.00	8.00	781	13.76	9.17	681.25	11.0	12.0	5.10

**Cálculo de deflexión característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 14.3

Ds = Desviación standard = 3.0

t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 19.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$Dadm = 77.99 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Número de muestras	10	10	10
Sumatoria	142.90	85.28	5651.55
<b>Promedio:</b>	14.29	8.53	565.16
Deflexión Mínima	9.22	4.61	449.83
Deflexión Máxima	18.50	11.56	681.82
Desviación Estandar	3.05	2.19	119.75
Varianza	9.29	4.80	14340.0
Coefficiente de VAR.	21.33	25.70	21.19
<b>Valor Característico</b>	<b>19.30</b>	<b>12.13</b>	<b>762.14</b>

→  $R_{c\text{mín}} = 80 \text{ m}$   
 $RCc (m) = 762.14$

**"Evaluación estructural del pavimento" (BACHEFLEX)**

**Equipo: Viga Benkelman**

Punto N°	Lecturas del Dial						Parámetros de Evaluación			Parámetros de Evaluación Corregidos			Temperaturas		Espesor asfalto (cm)
	L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	0	4	4	8	8	8	8.00	4.00	781	9.26	4.63	674.72	7.0	10.0	5.00
2	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.59	6.95	674.01	7.0	10.0	5.10
3	0	4	4	4	8	10	10.00	6.00	781	11.52	6.91	678.27	7.0	11.0	5.00
10	0	4	4	6	6	8	8.00	4.00	781	9.26	4.63	674.72	8.0	10.0	5.00
12	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.59	6.95	674.01	8.0	10.0	5.10
15	0	4	6	8	10	12	12.00	8.00	781	13.89	9.26	674.72	7.0	10.0	5.00
18	0	4	6	8	12	12	12.00	8.00	781	13.84	9.22	677.63	8.0	11.0	5.10
19	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.46	6.88	681.82	9.0	12.0	5.00
22	0	4	6	8	8	12	12.00	8.00	781	13.92	9.28	673.30	10.0	10.0	5.20
30	0	4	4	6	8	10	10.00	6.00	781	11.53	6.92	677.63	11.0	11.0	5.10

**Cálculo Deflexión Característica ( Dc ):**

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 11.8  
 Ds = Desviación standard = 1.7  
 t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

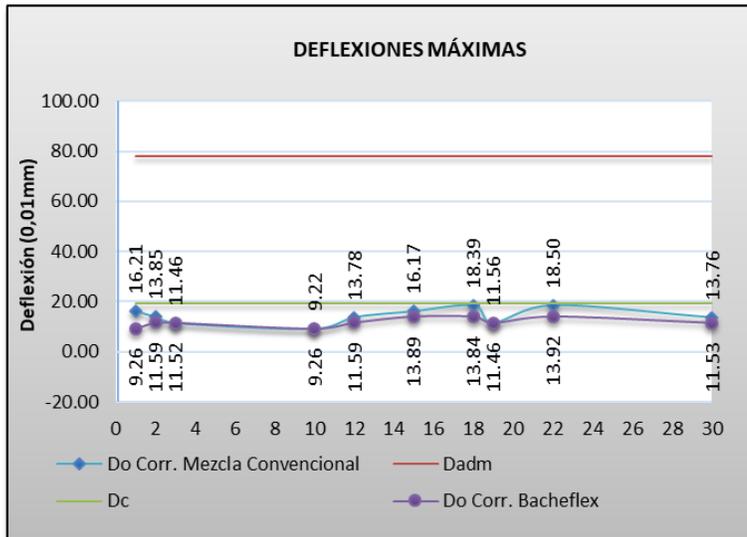
<b>Dc = 14.60</b>	<b>x 10<sup>-2</sup> mm</b>
<b>Dadm = 77.99</b>	<b>x 10<sup>-2</sup> mm</b>

Número de muestras	10	10	10
Sumatoria	117.87	71.65	6760.80
<b>Promedio:</b>	11.79	7.16	676.08
Deflexión Mínima	9.26	4.63	673.30
Deflexión Máxima	13.92	9.28	681.82
Desviación Estandar	1.71	1.71	2.68
Varianza	2.92	2.92	7.16
Coficiente de VAR.	14.49	23.84	0.40
<b>Valor Característico</b>	<b>14.60</b>	<b>9.97</b>	<b>680.48</b>

Rc <sub>mín</sub> =	80 m
RCc (m) =	680.48

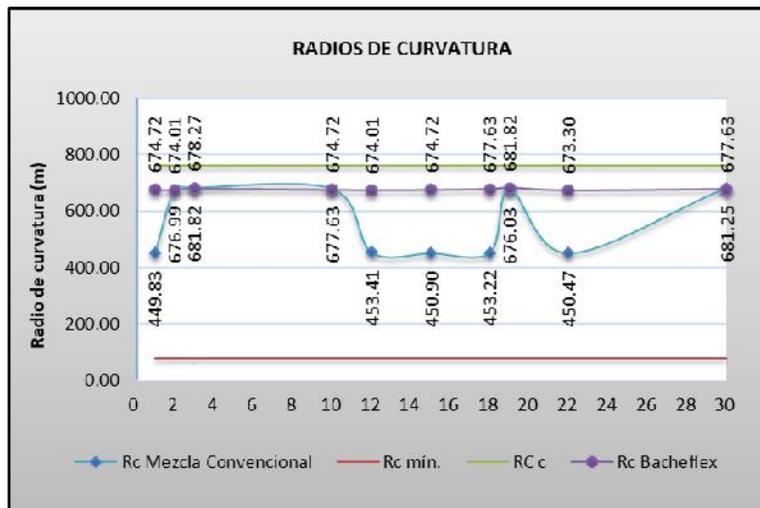
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4. 98** Deflexiones máximas zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (BACHEFLEX vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4. 99** Radios de curvatura zona Campesino (mercado)- Juan Pablo Segundo (BACHEFLEX vs Mezcla Convencional).



Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5. Conclusiones

Una vez realizado el análisis de los resultados y estudio en campo empleando ambas mezclas asfálticas para bacheo se llegó a las siguientes conclusiones.

- ❖ Mediante los ensayos de laboratorio demostramos que el producto BACHEFLEX tiene una mayor estabilidad, pero su desventaja es el costo de cada bolsa y el envío de las mismas.
- ❖ Se considera según los resultados del ensayo a la mezcla convencional que resiste un cierto tiempo, pero sufre deformaciones muy notables que causa muchas veces el calaminado de la vía y posterior nuevamente a su reemplazo.
- ❖ En la aplicación in situ de ambas mezclas asfálticas se pudo la diferencia de unos y otros baches tanto en lo profundo y el área que abarca la falla.
- ❖ En la comparación realizada entre las mezclas se observó que las mezclas elaboradas por QUIMITEC asfaltos tiene una mínima deformación ante la circulación de alto tráfico de algunos lugares y de también exponerlo a lugares de mucha concentración de humedad.
- ❖ Las mezclas convencionales son las que abarcan la mayor parte de los bacheos ya que las áreas a reparar eran de un tamaño considerable mientras que para reparar  $1 \text{ m}^2$  con bacheflex necesitamos  $83.33 \text{ kg/m}^2$  tomando en cuenta un espesor de capa de 5 cm.
- ❖ La mezcla asfáltica convencional producida en planta se hace por cantidad lo cual resulta difícil obtener un costo preciso, el método que se empleó en este análisis corresponde la cantidad de mezcla que se usó para cubrir  $1 \text{ m}^2$  y la dosificación que se usó.
- ❖ Con la mezcla convencional de la alcaldía de Tarija se tiene un costo final por  $\text{m}^2$  de **137.62 bolivianos**, el cual se muestra ligeramente más económico que el producto bacheflex.

- ❖ Con bacheflex se tiene un costo final por  $m^2$  de **171.76 bolivianos**, que no incluye el transporte de envío ya que este es variable y variará notablemente el precio.
- ❖ Al analizar los resultados de ruptura de briqueta se puede comprobar que la compactación manual tiene un poco de deficiencia ya sea por mano de obra o por fallas al usar el martillo.
- ❖ Las gráficas del análisis muestran el auto compactado por parte de los vehículos que generan por el paso continuo, se puede notar que hay puntos de estudio que a la 8va semana ya llego al nivel 0 de elevación lo que nos indica que el tráfico es continuo casi las 24 horas.
- ❖ Así también se muestra que todos los puntos estudiados tienen una altura adicional de 2 cm cuando se acaba el bacheo, se muestra la diferencia entre el compactado de la mezcla convencional vs el producto Bacheflex.
- ❖ Existen puntos donde su asentamiento hasta la 8va semana que redujo un pequeño porcentaje debido a que son calles secundarias de la ciudad y su tráfico es moderado.
- ❖ Se demostró que en el ensayo Marshall los resultados del bacheflex resalta más tanto en la estabilidad y fluencia, esto puede ser debido a los aditivos especiales usados en la mezcla, pero no hechos conocer por políticas de privacidad de la empresa QUIMITEC.
- ❖ Los datos para el cálculo de Marshall tanto en la mezcla convencional, como del producto Bacheflex fueron proporcionados por personas cercanas y encargadas de la empresa e institución, pero de igual manera de forma resumida.
- ❖ El ensayo de la regla es muy importante en este análisis de resistencia o durabilidad ya que nos ayudó a ver directamente el comportamiento de cada mezcla asfáltica ante el tráfico continuo de los vehículos.
- ❖ Todo instrumento cuenta con un pequeño porcentaje de error, en este caso se muestra en anexos el porcentaje de errores de las mediciones con el instrumento de la regla que se ven muy aceptables ya que de precisión tiene un poco más del 95% este cálculo del error se ve en la tabla en la parte de anexos.

- ❖ El peso en toneladas de la volqueta debe ser el adecuado, se hizo el pesaje del vehículo en una balanza certificada que emite un certificado el mismo está anexado al final del texto.
- ❖ El ensayo de Viga Benkelman se hizo con el fin de no dañar la capa de rodadura de los puntos, así obtener un estado característico del paquete estructural donde se realizaron los trabajos de bacheo.
- ❖ Debido a que no se trata de un tramo continuo las gráficas son solo representación para sus posteriores conclusiones de cada punto o zona.
- ❖ Muchos de los puntos analizados no cuentan con paquete estructural es decir que la capa de rodadura esta aplicada sobre caminos empedrados o en caminos que no tuvieron un tratamiento adecuado de capas inferiores.
- ❖ En cuanto a los radios de curvatura los valores están dentro de los parámetros mínimos y máximos, lo que significa que el pavimento se encuentra en buenas condiciones aun y que los baches se generaron por factores externos como ser humedad, rotura de cañerías, paso vehicular incorrecto con su diseño de construcción o vencimiento de la vida útil de la capa de rodadura.

## 5.1. Recomendaciones

- ❖ Algo muy importante es contar con los equipos necesarios para realizar los trabajos tanto en campo como en laboratorio.
- ❖ Las mezclas asfálticas producidas en caliente jamás deben ser recalentadas debido que esto afecta considerablemente en su estabilidad y fluencia.
- ❖ Cuando se sale a hacer trabajos a campo lo conveniente es tener toda la indumentaria de seguridad y tecnología y recabar los datos más importantes para su estudio del trabajo.
- ❖ Se recomienda realizar un control respecto a la compactación tanto puesta en obra como ensayos de laboratorio.
- ❖ El operador de la viga debe tener mucha experiencia en el uso y manejo de esta, como así también debe estar atento a la lectura de deflexión ya que a veces el vehículo avanza rápido y no da tiempo de lecturar correctamente en el dial en especial en las distancias cortas. Por lo cual el conductor del vehículo debe ser una persona que conozca el procedimiento.
- ❖ La viga Benkelman debe ser usada en terrenos planos y lisos donde exista un buen apoyo para así lograr lecturas correctas.
- ❖ Se deberá repetir las mediciones de deflexión cuando otro vehículo que no es el empleado transite por el lugar al momento de realizar la práctica por lo cual se debe esperar que el otro vehículo se aleje lo suficiente y lecturar nuevamente.