

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.-**

En la actualidad los estudios de pavimentos cualquiera sea el tipo es muy importante para nuestro país y en particular para nuestra región ya que estamos en una etapa de franco desarrollo en el área vial y cualquier profundización en el tema viene a contribuir los conocimientos de este tema.

Se presentan dos casos de daños prematuros que se manifestaron en la superficie de carpetas de rodamiento asfáltico y que pueden calificarse como “no habituales”.

De hecho, sendas patologías son en general, de escasa recurrencia, al punto que suelen no incluirse en los catálogos de deterioros: la aparición de Ampollas o “Blisters” y el afloramiento de extensas manchas exudadas de ligante contaminado.

En el primer caso, las ampollas constituyen “levantamientos” aislados pero reiterados en el pavimento, que conforman domos o montículos de diámetro variable, con fisuras entrelazadas de flexión que comienzan en la parte externa del casquete y que progresan hacia el interior de la capa bituminosa de rodamiento.

La segunda casuística corresponde a cierto tipo de exudaciones de material bituminoso que surgen como manchas de forma irregular y considerable espesor, con focos localizados de área limitada en los cuales hay pérdida de cohesión en el aglomerado y escurrimientos de mayor expansión en la superficie del camino que se deben al ablandamiento del ligante.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN.-**

Debe tenerse en cuenta que el pavimento desde su puesta en servicio va a sufrir el deterioro de sus características iniciales. A fin de prestar un servicio adecuado a los usuarios resultan imprescindibles actuaciones de control de calidad en pavimentos.

Actualmente en la ciudad de Tarija no se realizan controles al estado actual de los pavimentos flexibles con relación a sus propiedades internas.

Las patologías presentadas en este trabajo responden a la categoría de “defecto”, pues sus orígenes se reconocen en los procesos constructivos de elaboración de mezcla asfáltica en planta, en el caso de las exudaciones puntuales de ligante asfáltico contaminado; en tanto que las ampollas o burbujas localizadas corresponden, como se verá más adelante, a prácticas incorrectas durante las etapas de preparación de la superficie y de extendido de la mezcla.

En este trabajo se expone la metodología de estudio empleada para diagnosticar las causas que originaron las irregularidades, ponderar en cada caso las complicaciones que pueden provocarse en términos de seguridad vial y de vida útil del pavimento, establecer un tratamiento o solución de reparación de los sectores afectados y proponer medidas preventivas a fin de evitar la repetición a futuro de los fenómenos observados.

### **1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Los pavimentos en general y particularmente los pavimentos flexibles a lo largo de su vida de servicio, se presentan normalmente deterioros de diferentes tipos entre ellos pueden presentarse los patologías no convencionales que pueden presentarse por la condiciones de cargas de tráfico y condiciones externas que hacen que los pavimentos se deterioren en el tiempo por esa razón es importante hacer una evaluación a las diferentes patologías y sobre todo a las no convencionales a fin de confirmar las causales que las originan y como se pueden determinar las formas de corregir estos defectos, para ello es importante determinar una metodología que permita ser aplicable en nuestro medio.

### **1.4 PROBLEMA**

De acuerdo a situación problemática el problema en particular es analizar las causas que generan las patologías y encontrar las soluciones:

¿Será que partir de evaluaciones superficiales de un pavimento flexible se puede determinar las causas de patologías no comunes para encontrar soluciones a estas y aumentar la vida útil?

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL.-**

- Analizar dos casos de patologías no habituales (Exudación y Ampollas) en los pavimentos flexibles; de tal manera se pueda diagnosticar soluciones posibles y medidas preventivas para mejorar la vida útil del pavimento.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-**

- Estudiar, describir y analizar aspectos generales sobre las patologías no habituales en pavimentos flexibles.
- Evaluar las causas que deterioran los pavimentos flexibles.
- Establecer las muestras de estudio para la presente investigación.
- Caracterizar las fallas en los dos tipos de patologías a ser estudiados.
- Medir la estabilidad y la fluencia de los dos tipos de fallas.
- Establecer la deformación plástica del asfalto en los lugares de estudio.
- Basándose en los resultados determinar conclusiones y recomendaciones específicas para una mejor construcción de pavimentos flexibles.
- Demostrar la existencia de las dos patologías no habituales en la ciudad de Tarija.

### **1.6 ALCANCE DE TRABAJO.-**

De esta forma se pretende ubicar un tramo de pavimento flexible y definir su geografía, sus características del tramo seleccionado en la ciudad de Tarija y así poner en práctica toda la teoría mencionada en los capítulos de este estudio.

En el alcance de este proyecto de grado se pretende desarrollar las causas por las cuales un pavimento flexible debe ser analizado y estudiado haciendo uso de un método de control de manera que esta evaluación del asfalto nos sirva como un indicador de calidad del pavimento flexible.

Además se buscara la información necesaria que permita hacer la evaluación, diagnóstico y las posibles soluciones a estas patologías.

Se pretende realizar un estudio profundo de un método de evaluación para pavimentos flexibles, un enfoque teórico hasta la aplicación práctica es decir un estudio de toda la fundamentación teórica haciendo uso en las metodologías y técnicas ya conocidas.

Adquiriendo así el conocimiento básico y necesario sobre este tema para poder establecer una metodología y realizar un análisis enfocado al tramo seleccionado.

## **1.7 HIPÓTESIS**

Si analizamos las mezclas asfálticas en los pavimentos flexibles, encontraremos diferentes causas de patologías (Exudación y ampollas); entonces podríamos diagnosticar las fallas en su composición estructural del pavimento flexible (compactación, adherencia, exceso de mezcla asfáltica, % de vacíos y drenaje); para brindar soluciones posibles y medidas preventivas que mejore la vida útil del pavimento.

## **1.8 VARIABLES**

Las variables que se identifican son de tipo conceptual

Variable Conceptual

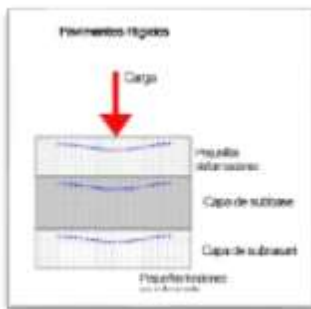
- ✓ Independiente: La mezcla Asfáltica ya que este cumple la función de ser el responsable
- ✓ Dependiente: La composición estructural del pavimento flexible (compactación, adherencia, exceso de mezcla asfáltica, % de vacíos y drenaje)

## CAPÍTULO 2 FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1 INTRODUCCIÓN

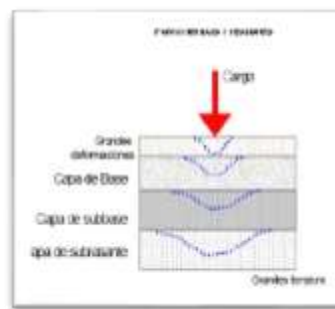
Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como se puede ver en la fig. 2.1.

**Fig. 2.1 – Paquete Estructural Pavimento Flexible Y Pavimento Rígido**



**Fuente:  
Propia**

En un  
debido a la  
superficie de



**Elaboración**

pavimento rígido,  
consistencia de la  
rodadura, se

produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

Debido a que el presente proyecto se trata de patologías en pavimentos flexibles nos dedicaremos a hablar o mencionar sus características, sus fallas y sus reparaciones del mismo.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES**

### **2.2.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE INTEGRAN UN PAVIMENTO.**

#### **2.2.1.1 BASE.**

La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante.

#### **2.2.1.2 SUB- BASE.**

En los pavimentos flexibles, la sub base es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento. Cuando se trate de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente abajo de las losas de hormigón, y puede ser no necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria.

Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa subrasante.

Se emplean normalmente sub bases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.

#### **2.2.1.3 SUB-RASANTE.**

Esta capa debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona en nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes.

Con respecto a los materiales que constituyen la capa subrasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación.

**Fig. 2.2.1 – Proceso De Construcción Pavimento Flexible**



**Fuente: Elaboración Propia**

#### **2.2.1.4 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS AGREGADOS.**

Los agregados empleados en la construcción de carreteras, deben cumplir con requisitos de granulometría y especificaciones técnicas, que garanticen un buen comportamiento durante su periodo de vida.

A su llegada al laboratorio, las muestras deben ser preparadas para someterlas a diferentes ensayos de calidad de agregados. Dependiendo de la función que van a cumplir como parte de la estructura del pavimento se las prepara para los siguientes ensayos:

**Tabla 2.2.1.4-1 Ensayos De Calidad De Los Agregados**

ENSAYOS	Sub base	Base Granular	Afirmado	Asfalto	
				Piedra	Arena
Análisis Granulométrico por Tamizado	✓	✓	✓	✓	✓
Límites de Consistencia	✓	✓	✓		Nº40 y 200
Equivalente de Arena	✓	✓	✓		✓
Peso específico y Absorción				✓	✓
Peso unitario suelto				✓	✓
Peso unitario varillado				✓	✓
Abrasión	✓	✓	✓	✓	
Proctor Modificado	✓	✓	✓		
CBR	✓	✓	✓		
Porcentaje de caras fracturadas	✓	✓		✓	
Porcentaje de partículas chatas y alargadas	✓	✓		✓	
Contenido de impurezas orgánicas	✓	✓			✓
Contenido de sales solubles totales	✓	✓	✓	✓	✓
Adherencia (entre mallas Nº3/8" y 1/4")				✓	
Riedel Weber (según norma a emplear)					✓
Durabilidad				✓	✓

**Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI**

### **Características de los Agregados**

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos de suelos, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas siguientes:

**Tabla 2.2.1.4-2 - Especificaciones Técnicas Para Materiales Empleados En**



## Construcción De Carreteras

ENSAYO	AFIRMADO	SUB BASE GRANULAR		BASE GRANULAR			
		<3000 msnm	≥3000 msnm	<3000 msnm		≥3000 msnm	
				AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Límite Líquido (%) ASTM D-4318	35% máx	25% máx	25% máx				
Índice Plástico (%)	4 a 9	6% máx	4% máx		4% máx		2% máx
Abrasión (%) ASTM C-131	50% máx	50% máx	50% máx	40% máx		40% máx	
Equivalente de arena (%) ASTM D-2419	20% mín	25% mín	35% mín		35% mín		45% mín
CBR al 100% de la M.D.S. y 0.1" de penetración ASTM D-1583	40% mín	40% mín	40% mín				
Pérdida con Sulfato de Sodio (%)						12% máx	
Pérdida con Sulfato de Magnesio (%)						18% máx	
Índice de Durabilidad					35% mín		35% mín
Caras de fractura (%) 1 cara fracturada 2 caras fracturadas				50% mín 40% mín		50% mín 50% mín	
Partículas chalas y alargadas (%) Relación 1/3 (espesor/longitud) ASTM D-4791		20% máx	20% máx	15% máx		15% máx	
Sales Solubles Totales (%)		1% máx	1% máx	0.5% máx	0.5% máx	0.5% máx	0.5% máx
Contenido de impurezas orgánicas (%)							

**Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI**

### Husos Granulométricos

Además los materiales deberán ajustarse a uno de los husos granulométricos, dependiendo de la función que cumplan.

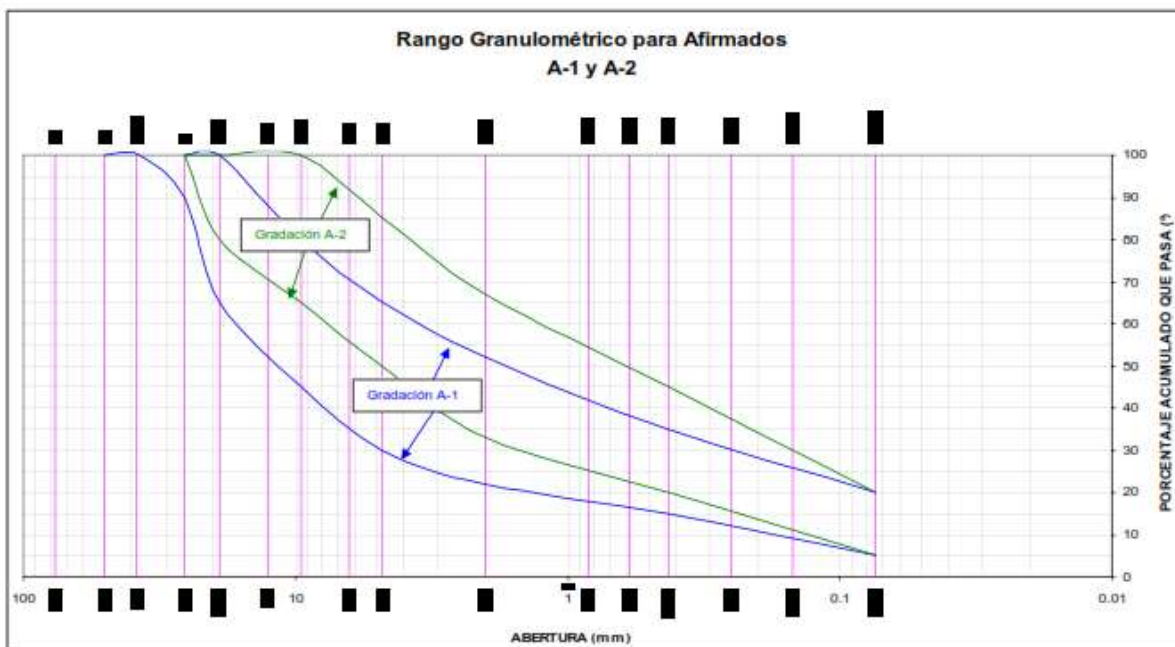
**Tabla 2.2.1.4-3 - Huso Granulométrico Para Afirmado**

Muestra		AFIRMADO	
Tamiz	Abertura (mm)	A-1 <sup>(1)</sup>	A-2 <sup>(1)</sup>
2"	50,000	100	-,-
1 ½"	37,500	100	-,-
1"	25,000	90-100	100,0
¾"	19,000	65-100	80-100
3/8"	9,500	45-80	65-100
Nº4	4,750	30-65	50-85
Nº10	2,000	22-52	33-67
Nº40	0,425	15-35	20-45
Nº200	0,075	5-20	5-20

(1) Referido a los porcentajes acumulados que pasan

**Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI**

**Grafica. 2.2.1.4 – Rango Granulometrico Para Afirmados**



Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI

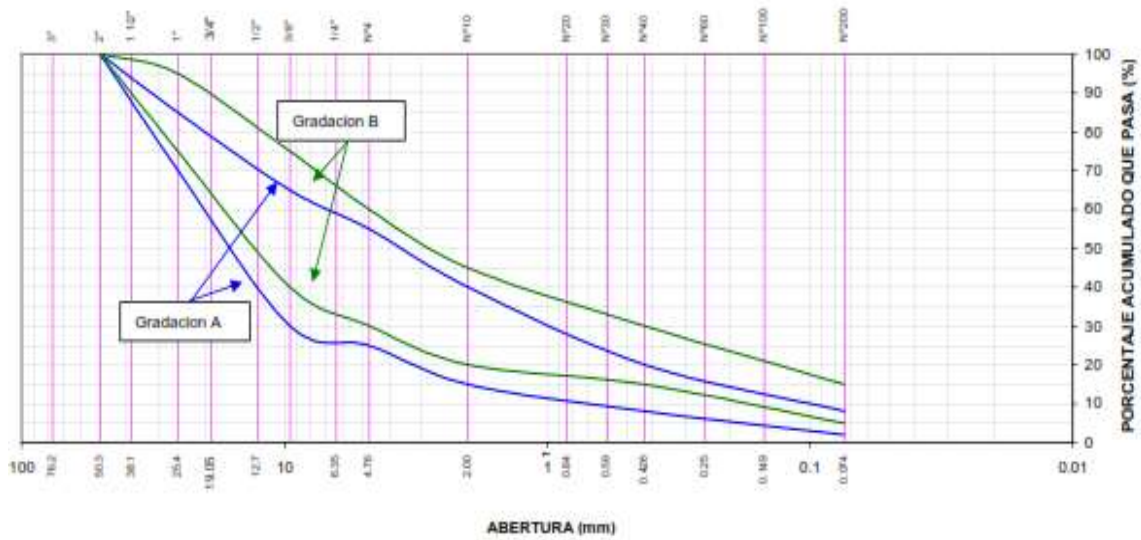
**Tabla 2.2.1.4-4 - Huso para Sub Base y Base Granular**

Tamiz	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa en peso			
		Gradación A <sup>(1)</sup>	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	50,000	100	100	--	--
1"	25,000	--	75-95	100	100
3/8"	9,500	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº4	4,750	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº10	2,000	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº40	0,425	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº200	0,075	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI

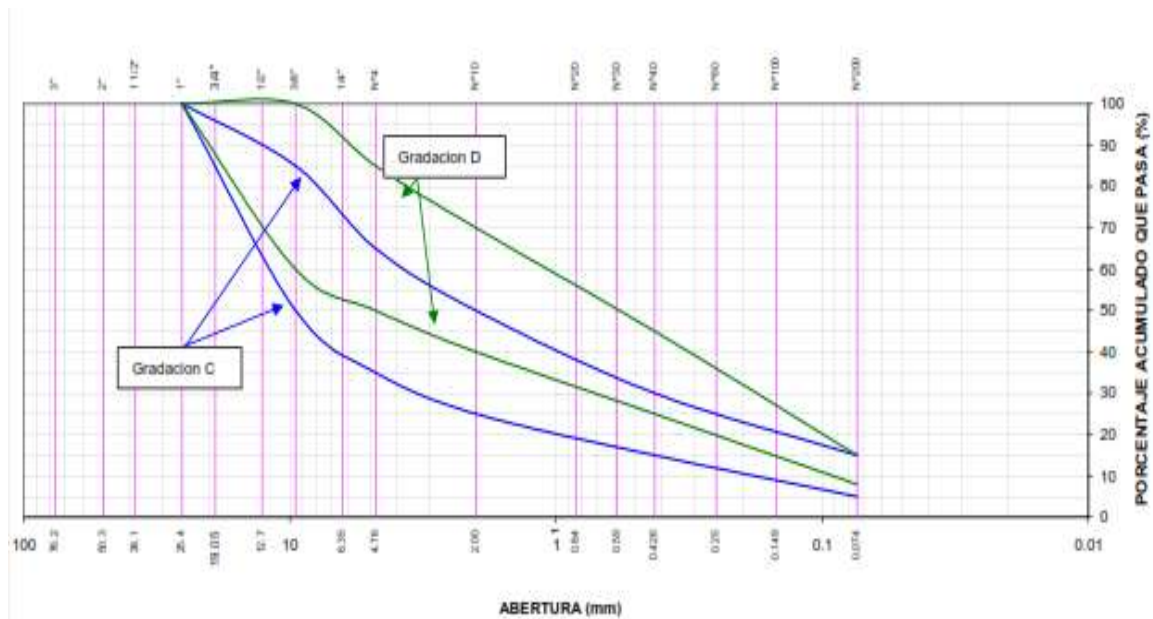
**Grafica 2.2.1.4-2 – Rango Granulometrico Sud Base Y Bases Granulares**

## Gradacion A y B



Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI

Grafica 2.2.1.4-3 - Rango Granulometrico Sud Base Y Bases Granulares Gradacion C y D



Fuente: Manual De Laboratorio Ensayos Para Pavimentos UNI

## **2.3 PAVIMENTO FLEXIBLE.**

Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las sollicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

Las capas que forman un pavimento flexible son. Carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

### **2.3.1 ASFALTO**

Es un material aglomerante de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular, originarios del petróleo crudo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre, denominados Asfaltos

Naturales, o por medio de procesos de destilación industrial cuyo componente predominante es el Bitumen.

Los asfaltos destilados del petróleo son producidos ya sea por destilación por vapor o soplados. La destilación por vapor produce un excelente asfalto para pavimentos, mientras que el producto de destilación por aire o soplado tiene una escasa aplicación en pavimentación.

### **2.3.2 OBTENCIÓN Y TIPOS**

Según el origen del petróleo crudo la composición de base se divide en:

- Base Asfáltica
- Base Parafínica
- Base Intermedia

Los asfaltos de base asfáltica, es decir, asfaltos obtenidos de petróleos asfálticos, son mas deseables para pavimentación, ya que tienen buenas características ligante y de resistencia al envejecimiento por acción del clima.

Los asfaltos de base parafínica, se oxidan lentamente expuestos a la intemperie, dejando un residuo escamosos y de poco valor como ligante.

De acuerdo a su aplicación, los asfaltos los podemos clasificar en 2 grandes grupos:

1. Asfaltos para Pavimentos

2. Asfaltos Industriales

### **2.3.3 ASFALTOS PARA PAVIMENTOS**

Éstos se subdividen en:

- Cementos Asfálticos
- Asfaltos Cortados
- Emulsiones Asfálticas

#### **a) Cementos Asfálticos**

Los Cementos Asfálticos, son preparados especialmente para pavimentación.

Es un material ideal para la construcción de pavimentos ya que:

- Es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, impermeable y duradero.
- Es consistente y puro.
- Es termoplástico, es decir, se licua a medida que se va calentando.
- Es resistente a los ácidos, sales y álcalis.

Se denominan por las letras CA, y se clasifican según su grado de dureza, el que mide según el ensayo de penetración.

Podemos distinguir CA 40 – 50, CA 60 – 70, etc.; CA indica que es un cemento asfáltico y los números el rango de penetración.

Para su aplicación debe estar libre de agua y con características homogéneas. los CA más utilizados son:

- CA 40 – 50: uso en rellenos de juntas y grietas.
- CA 60 – 70: en mezcla en planta en caliente para la construcción de bases binder y carpetas de rodado.
- CA 120 – 150: usados en tratamientos superficiales.

Su aplicación no debe hacerse bajo amenaza de lluvia, temperatura ambiente bajo los 10°C y en superficies húmedas, tampoco deben ser calentadas sobre los 170 °C.

## **b) Asfaltos Cortados**

Los asfaltos cortados, **AC**, llamados también diluidos, líquidos o Cut-Backs, son asfaltos líquidos que resultan de la dilución de cemento asfáltico con destilados del petróleo. Se presenta como un líquido de color negro, de viscosidad variable.

Los solventes usados actúan como vehículos, proporcionando productos menos viscosos que pueden ser aplicados a bajas temperaturas.

Los solventes se evaporan después de su aplicación. Se clasifican según:

1.- Su velocidad de curado: lo cual se divide en 3 categorías:

1) **RC**: Asfalto Cortado de Curado Rápido (Rapid Curing), se producen al mezclar CA con destilados ligeros del tipo Nafta o Bencina. Se utilizan generalmente en:

- RC – 1 / RC – 70: Riegos de liga.
- RC – 2 / RC – 250: Mezclas asfálticas abiertas.
- RC – 3 / RC – 800: Sellos de arena, tratamientos superficiales.
- RC – 5 / RC – 3000: Sellos de arena, macadam de penetración.

2) **MC**: Asfalto Cortado de Curado Medio (Médium Curing), cuyo solvente es la Parafina o Kerosene, lo que da trabajabilidad a temperatura relativamente baja.

Se emplean en:

- MC – 0 / MC – 30: Como imprimante en bases estabilizadas.
- MC – 2 / MC – 250: Mezclas en sitio de graduación abierta y cerrada.
- MC – 3 / MC – 800: Mezclas en sitio de graduación abierta y cerrada.
- MC – 4, MC – 5 / MC – 3000: En zonas calurosas y agregados absorbentes.

3) **SC:** Asfaltos Cortados de Curado Lento (Slow Curing), los aceites son los que le dan cierta fluidez. Este tipo de asfalto ya no se utiliza.

2.- Según su viscosidad cinemática (Centistokes): 30, 70, 250, 800, 3000.

3.- Según grados antiguos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, de menor a mayor viscosidad que definen rangos en Segundos Saybot Furol.

Los asfaltos cortados (AC), no deben emplearse en días de lluvia o con amenaza de lluvia, en temperaturas inferiores a 10°C y en superficies húmedas.

### **c) Emulsiones Asfálticas**

Son de cemento asfáltico en una fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones, dependen entre otros factores, de la calidad y la cantidad de los agentes emulsificantes.

La cantidad de emulsificantes y aditivo químico utilizados varía generalmente de 0.2 % a 5 %, y la cantidad de asfalto en el orden de 60 % a 70 %.

El color de emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyéndole en un elemento auxiliar para la inspección visual.

Las emulsiones asfálticas se clasifican de acuerdo a la carga de la partícula en:

- Catiónica (Utilizadas referentemente en pavimentación)
- Aniónica. (Aplicaciones industriales, levemente en pavimentación)

En cuanto al tiempo de quiebre, se clasifican en:

- Quiebre rápido CRS
- Quiebre medio CMS
- Quiebre lento CSS
- Quiebre controlado. CQS

Las emulsiones asfálticas de quiebre rápido son el ligante más adecuado para la ejecución de tratamientos superficiales, por su facilidad de empleo y su excelente adherencia a todo tipo de áridos.

Las emulsiones de quiebre lento se emplean en riegos de liga, en la preparación de lechadas asfálticas (slurry seal) y riegos negros (fog seal).



Las emulsiones asfálticas de quiebre medio y lento se emplean en la preparación de mezclas en frío, ya sea en planta o en sitio.

Las emulsiones de quiebre controlado (conocidas como Quick Setting) se utilizan para la fabricación de slurries o lechadas asfálticas de rápida apertura al tránsito.

Otros usos para las emulsiones son reciclados en frío, estabilización de suelos, sellos de terminación, membrana de curado, riego de penetración (Macadam) y, en la agricultura, para prevenir la erosión o retardar la evaporación del agua.

## **2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PAVIMENTO FLEXIBLE**

### **Ventajas:**

- Su construcción inicial resulta más económica.
- Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.
- De más fácil mantenimiento.
- Tiempo de construcción más cortó.

### **Desventajas:**

- Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante.
- Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto y son un peligro potencial para los usuarios. Esto constituye un serio problema en intersecciones, casetas de cobro de peaje, donde el tráfico está constantemente frenando y arrancando. Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar deslizamientos, Perdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.
- Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- Las distancias de frenado para superficies de hormigón son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas.
- Una vez que se han formado huellas en un pavimento de asfalto, la experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobre carpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.

- Las huellas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.

## **2.5 TIPOS DE FALLAS**

La mejor forma de identificar las fallas del pavimento flexible y determinar porqué se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año, preferiblemente al comienzo de la primavera. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla. A demás de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no-destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento.

### **2.5.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

Los tipos de fallas comunes presentes en una estructura de pavimento flexible son:

- Fisuras y Grietas.
- Deterioro superficial.
- Otros deterioros.

A continuación se presenta la definición de cada uno de los deterioros y sus posibles causas, todo aquello acompañado de un registro fotográfico que permite tener una idea más clara de los daños que se pueden encontrar.

#### **2.5.1.1 FISURAS Y GRIETAS**

##### **2.5.1.1.1 FISURAS Y GRIETAS POR FATIGAMIENTO.**

### **Fig. 2.5.1.1 – Fisuras Y Grietas Por Fatigamiento**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente Ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.

**Posibles Causas:** La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).

- Reparaciones mal ejecutadas, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

#### **2.5.1.1.2 FISURAS Y GRIETAS EN BLOQUE.**

**Fig. 2.5.1.1.2 – Fisuras y Grietas En Bloque**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas.

#### **Posibles Causas:**

- Es causada principalmente por la contracción del pavimento asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo que se produce en ciclos de esfuerzo – deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones

- Baja capacidad de soporte de la subrasante.

### **2.5.1.1.3 GRIETAS DE BORDE.**

**Fig. 2.5.1.1.3 – Grietas De Borde**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Son grietas con tendencia longitudinal a semicircular ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m sobrecarpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0.30 m a 0,60 m

**Posibles Causas:**

- La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o borde de la calzada.

### **2.5.1.1.4 FISURAS Y GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.**

**Fig. 2.5.1.1.4 – Fisuras Y Grietas Longitudinales Y Transversales**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Corresponden a discontinuidad es en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

**Posibles Causas:**

Las causas más a ambos tipos de fisuras, son:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de fisuras longitudinales es:

- Fatiga de la estructura, usualmente se presentan en las huellas de tránsito. Otras causas para la conformación de fisuras transversales son:

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

#### **2.5.1.1.5 FISURAS Y GRIETAS REFLEJADAS.**

**Fig. 2.5.1.1.5 – Fisuras Y Grietas Reflejadas**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.

**Posibles Causas:**

- Son generadas por los movimientos de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.

#### **2.5.1.2 DETERIORO SUPERFICIAL.**

##### **2.5.1.2.1 PARCHES DETERIORADOS.**

**Fig. 2.5.1.2.1 – Parches Deteriorados**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel del pavimento asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (agua, gas, etc.)

**Posibles Causas:**

- Procesos constructivos deficientes.
- Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron.
- Deficiencias en las juntas.
- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).

**2.5.1.2.2 BACHES EN CARPETAS ASFÁLTICAS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.**

**Fig. 2.5.1.2.2 – Baches En Carpetas Asfálticas**





**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm

**Posibles Causas:**

- Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Defecto de construcción.
- Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

### 2.5.1.2.3 AHUELLAMIENTO.

**Fig. 2.5.1.2.3 - Ahuellamiento**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración. Un Ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.

#### **Posibles Causas:**

- El Ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por Deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.
- La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.

#### **2.5.1.2.4 DEFORMACIÓN TRANSVERSAL.**

**Fig. 2.5.1.2.4 – Deformación Transversal**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Las fisuras de desplazamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse por la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas.

#### **Posibles Causas:**

- Estructura insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Defecto de construcción.

- Derrame de solventes (bencina, diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

#### **2.5.1.2.5 EXUDACIONES.**

**Fig. 2.5.1.2.5 - Exudaciones**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

Esta tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

#### **Posibles Causas:**

- La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sea bajo, sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes

#### **2.5.1.2.6 DESGASTE.**

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.

**Fig. 2.5.1.2.6 - Desgaste**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

**Posibles Causas:**

- Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.
- Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.

**2.5.1.2.7 PÉRDIDA DE ÁRIDOS.**

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

**Fig. 2.5.1.2.7 – Perdida De Áridos**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

**Posibles causas:**

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

**2.5.1.2.8 ONDULACIONES.**

Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores a 1,0 m.

**Fig. 2.5.1.2.8 – Ondulaciones**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

**Posibles causas:**

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos pueden presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso afecta toda la zona de la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.

- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- Falta de curado de las mezclas en la vía.
- Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de ligante.

### **2.5.1.3 OTROS DETERIOROS.**

#### **2.5.1.3.1 DESCENSO DE LA BERMA.**

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.

**Fig. 2.5.1.3.1 – Descenso De La Berma**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

#### **Posibles Causas:**

- Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.



### **2.5.1.3.2 SURGENCIA DE FINOS Y AGUA.**

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirígidos (con base estabilizada).

**Fig. 2.5.1.3.2 – Surgencia De Finos Y Agua**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

#### **Posible causa:**

- Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje,
- exceso de finos en la estructura, filtración de aguas.

### **2.5.1.3.3 SEPARACIÓN ENTRE BERMA Y PAVIMENTO.**

Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma. Este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.

**Fig. 2.5.1.3.3 – Separación Entre Berma Y Pavimento**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

**Posibles Causas:**

- Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes aledaños o con la ausencia de liga entre la calzada y la berma cuando se construyen por separado.

## **2.6 TRABAJOS DE REPARACIÓN**

Las técnicas de mantenimiento caen dentro de dos categorías generales: actividades correctivas y actividades preventivas. Las actividades correctivas reparan una falla dada y mejoran la serviciabilidad del pavimento. La reparación de espesor completo y reparación de espesor parcial son actividades correctivas. Las actividades preventivas son actividades que retardan o previenen la aparición de una falla con el fin de mantener una buena serviciabilidad. Resello de juntas y grietas, nivelación de bermas, instalación de drenes, son técnicas preventivas que pueden actuar como técnicas correctivas así como también preventivas.

A continuación veremos el procedimiento de trabajo de las distintas técnicas de reparación en los pavimentos flexibles.

### **2.6.1 REPARACION PAVIMENTOS FLEXIBLES**

#### **2.6.1.1 SELLADO DE GRIETAS.**

Se rellenan las fisuras con concreto asfáltico, pero el agregado debe ser arena, si el borde del pavimento se ha asentado, se debe llevar a su nivel utilizando concreto asfáltico de graduación densa.

Para realizar este tipo reparación de fisuras, debemos seguir los siguientes pasos:

- Se limpia el pavimento y las fisuras con escobillón y aire comprimido.

**Fig. 2.6.1 – Limpieza Del Pavimento Y Fisuras**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

- se rellenan las fisuras con concreto asfáltico de graduación fina.

**Fig. 2.6.1-2 – Rellenado Con Concreto Asfáltico Las Fisuras**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

- Se aplica riego de liga en la sección que se va a reparar.
- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo concreto asfáltico. Se comprueba la nivelación con una regla. Posteriormente se compacta con un compactador vibrante plano. Los bordes del parche deben quedar limpios y rectos.
- Se remueve todo tipo de vegetación que se encuentre cercana al pavimento.

#### **2.6.1.2 BACHEO SUPERFICIAL.**

- Instalar señales de prevención y dispositivos de seguridad, así como contar con los bandereros y paletteros requeridos.
- Delimitar el área por remover, marcándola con pintura; darle forma rectangular o cuadrada comprendiendo toda la zona deteriorada y hasta unos 0,30 m dentro del pavimento circundante en buen estado.
- Cortar por líneas que delimitan el área por remover dejando paredes verticales (de preferencia con sierra). Remover la mezcla hasta la profundidad en que se encuentre mezcla sana, sin grietas. En los baches alcanzar como mínimo hasta el punto más profundo. Poner especial cuidado en no dañar ni soltar la base granular subyacente. Retirar los materiales

sobrantes y transportarlos solo a botaderos autorizados donde deben colocarse en forma ordenada y recubrirse completamente con, a lo menos, 0,30 m del suelo.

**a) Bacheo manual.**

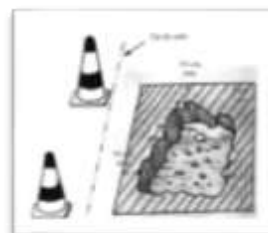
- Limpiar las paredes y el fondo de la zona removida mediante barrido enérgico y/o aire comprimido (presión mínima, 120 psi), hasta eliminar todas las partículas sueltas y el polvo
- Colocar el imprimante o liga, mediante escobillones u otros procedimientos que permitan un cubrimiento uniforme del fondo y paredes, a razón de 1.3 a 2.4 l/m<sup>2</sup>.
- Antes de colocar la mezcla asfáltica verificar que la imprimación haya penetrado al menos 10 mm en las bases granulares y que la emulsión para la liga haya quebrado.
- Extender y nivelar la mezcla asfáltica mediante rastrillos y colocar la cantidad justa y necesaria para cubrir toda el área por rellenar y dejarla 6 mm sobresaliendo del pavimento circundante. En los bordes recortar la mezcla dejando paredes verticales y retirar cualquier exceso.
- Compactar con rodillo manual. El desnivel en los bordes no debe sobrepasar los 3 mm.

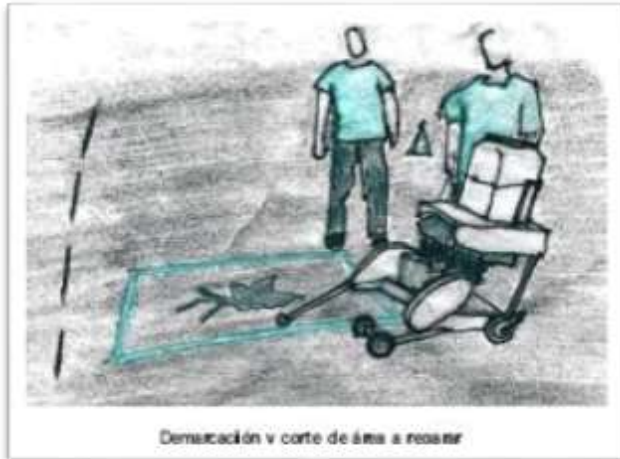
**b) Bacheo Mecanizado**

- Mediante una bacheadota mecanizada, especialmente diseñada para estos efectos, en forma secuencial limpiar el área con aire a presión, aplicar el imprimante o riego de liga, y mediante proyección a presión, colocar la mezcla de relleno.

**2.6.1.3 BACHEO PROFUNDO.**

**Fig. 2.6.1-3 - Demarcación Y Corte Del Área Dañada**

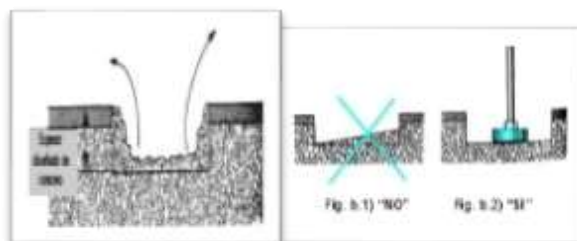




**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

- Marcar la zona a reparar, extendiéndose al menos 0.3 metros fuera del área dañada
- El área a delimitar debe ser rectangular, con dos de sus lados perpendiculares al eje del camino.
- Posteriormente, deberá cortarse sobre la demarcación realizada, utilizando un equipo de corte.
- Excavar hasta la profundidad definida por el espesor diseñado recortando las paredes de forma vertical, de modo que el fondo quede plano y horizontal.
- Para finalizar se deberá compactar el fondo hasta alcanzar el 95% del proctor modificado, de acuerdo con AASHTO T180.

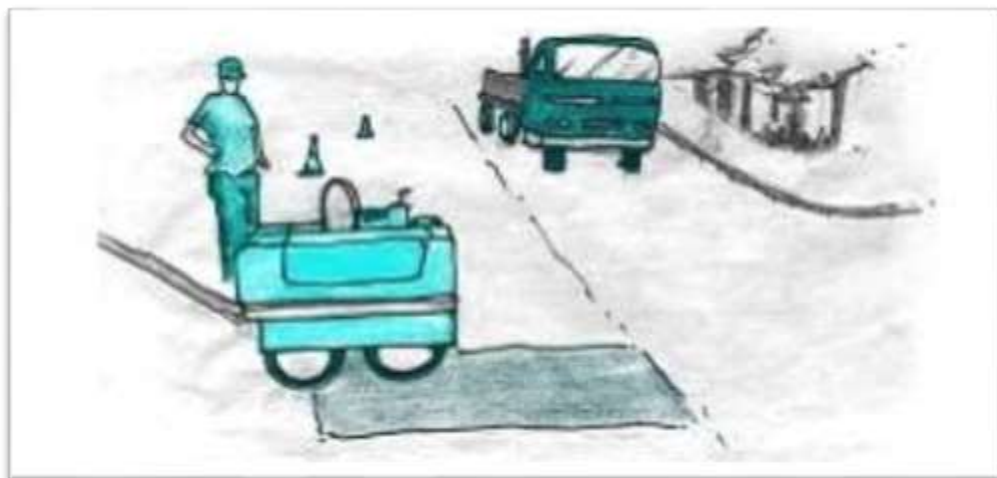
**Fig. 2.6.1-4 – Compactación Del Área Cortada**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

- Las paredes y fondo de la zona en que se realizó la remoción deben limpiarse mediante un barrido enérgico
- La superficie se recubrirá con el ligante que corresponda, para lo cual se utilizarán escobillones u otros elementos similares que permitan esparcirlo uniformemente.
- Antes de colocar la mezcla asfáltica de relleno deberá verificarse que la imprimación haya penetrado según lo especificado
- La mezcla asfáltica se extenderá y nivelará mediante rastrillos, colocando la cantidad adecuada para que sobresalga unos 6 mm sobre el pavimento circundante, en los extremos, y coincidiendo con las líneas de corte de la zona.
- La compactación deberá realizarse con un rodillo neumático o liso de 3 a 5 t de peso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual, dependiendo del espesor de la capa por compactar.

**Fig. 2.6.1-5 – Compactación Con Rodillo Neumático**



**Fuente: Deterioros En Pavimentos Flexibles Universidad Austral De Chile**

- El desnivel máximo tolerable entre la zona reparada y el pavimento que la rodea será de 3 mm.

#### **2.6.1.4 SELLOS BITUMINOSOS.**

- Se deberán efectuar los trabajos de bacheo y de sellado de grietas si corresponde
- Inmediatamente antes del sellado, deberá removerse de la superficie todo el polvo, suciedad y cualquier otro material extraño, mediante escobas mecánicas, escobillas, chorros de agua, sopladores u otros.
- El asfalto deberá aplicarse mediante un distribuidor a presión, cuando la superficie a sellar esté completamente limpia y seca. En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se deberá colocar una protección transversalmente al eje del camino, compuesta por una tira de papel o cartón de un ancho no inferior a 0,80 m. Una vez utilizado, éste deberá ser retirado de inmediato.
- El asfalto deberá distribuirse uniformemente sobre la superficie a sellar, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de  $\pm 5\%$ . Se deberá verificar la tasa de aplicación del riego cada 500 m de sello por pasada.
- Una vez aplicado el asfalto sobre la superficie a sellar, se deberá proceder de inmediato a cubrirlo con los áridos. La distribución del árido deberá efectuarse de manera que las ruedas del esparcidor, en ningún momento entren en contacto directo con el material bituminoso recién aplicado. Tan pronto como se haya cubierto un determinado tramo, éste deberá revisarse para verificar si existen zonas deficientes de áridos, las que deberán recubrirse con material adicional. Las eventuales áreas con exceso de asfalto, deberán recubrirse de inmediato con arena limpia. Los áridos aplicados en exceso o sobre superficies regadas con un sobrecancho casual, deberán ser removidos de inmediato.
- Un rodillo neumático deberá operar en todo momento detrás del equipo esparcidor de áridos, efectuando la compactación inicial del sello bituminoso con traslapes del rodillo de mínimo 0,30 m, hasta cubrir el ancho total de la superficie. La faena de compactación se deberá continuar utilizando equipo complementario hasta lograr un perfecto acomodo de las



partículas. En todo caso, la faena de compactación consistirá en un mínimo de tres pasadas completas de rodillo sobre la misma superficie, incluida la compactación inicial.

#### **2.6.1.5 NIVELACIÓN DE BERMAS.**

El procedimiento de ejecución de estos trabajos es el siguiente:

Se demarcará la zona desnivelada con respecto del pavimento. Colocar estacas que definan el área y las cotas que deben quedar. La pendiente transversal de la berma estará comprendida entre un 4 y un 5 % en tramos rectos; en curvas se ajustará de manera que la diferencia entre el peralte y la pendiente de la berma no supere el 8%.

**Bermas no revestidas en asfalto:** se deberá retirar todo el material sin dañar la superficie de pavimento adyacente, con una profundidad de 50 mm, retirando también toda piedra superior a 50 mm. Se procederá a recebar y a compactar.

**Bermas revestidas en asfalto:** cortar con sierras u otras herramientas dejando cortes limpios, luego se retirará material con una profundidad de 50 mm y toda piedra superior a 50 mm, se procederá a recebar y compactar.

Luego se aplicara un riego de liga para así poder colocar una mezcla asfáltica de reemplazo o un tratamiento superficial.

### **2.7 RECONSTRUCCIÓN PAVIMENTO ASFÁLTICO EN CALIENTE.**

Muchas veces se debe hacer una reconstrucción del pavimento flexible debido al mal estado del camino, un mal estado tanto funcional como estructuralmente debido al término de su vida útil , al final se encuentra llenos de baches, fisuras desintegración de del pavimento, etc. Reduciendo la libre circulación vehicular, bajando su velocidad hasta un 60 %.

Por todo esto es mejor hacer una reconstrucción total del pavimento flexible mostrándose a continuación su procedimiento de construcción aplicado.

#### **2.7.1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN.**

- Se procederá a remover toda la superficie deteriorada hasta poder encontrar un suelo firme y denso.
- El suelo se escarificará 0.20 m y se compactará a objeto de proporcionar una superficie de apoyo homogénea.

- Se colocará material de relleno colocado en capas. En todo caso, el espesor máximo de la capa compactada será de 0.15 m para suelo fino (arcilla - limo); de 0.20 m para finos con granulares y de 0.30 m para suelos granulares.
- La compactación se realizará hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la del Proctor Modificado, o al 80% de la densidad relativa, según corresponda.

**Fig. 2.7.1 - Proceso De Construcción**



**Fuente: elaboración propia**

### **2.7.2 IMPRIMACIÓN**

En esta Sección se definen las operaciones requeridas para aplicar un riego de asfalto de baja viscosidad, con el objeto de impermeabilizar, evitar la capilaridad, cubrir y ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la base y la capa inmediatamente superior. No se deberá efectuar

imprimaciones si el tiempo se presenta neblinoso o lluvioso. Las aplicaciones se efectuarán únicamente cuando la temperatura atmosférica sea de por lo menos 10°C y subiendo, y la temperatura de la superficie a tratar no sea inferior a 10°C.

#### **2.7.2.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A IMPRIMAR**

Antes de imprimir se deberá retirar de la superficie todo material suelto, polvo, suciedad o cualquier otro material extraño. Cuando la superficie presente partículas finas sueltas, como consecuencia de una excesiva sequedad superficial, se podrá rociar ligeramente con agua, antes de imprimir, en todo caso, no se deberá imprimir hasta que toda el agua de la superficie haya desaparecido.

#### **2.7.2.2 APLICACIÓN DEL ASFALTO**

En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se deberá colocar un papel o cartón de un ancho no inferior a 0.80 m una vez utilizado, éste deberá ser desechado de inmediato.

Cuando se deba mantener el tránsito, la imprimación deberá efectuarse primeramente en la mitad del ancho de la calzada. En tales circunstancias la imprimación de la segunda mitad deberá iniciarse sólo cuando la superficie de la primera mitad se encuentre cubierta con la capa superior y transitable, no permitiéndose el tránsito sobre superficies imprimadas.

Los asfaltos cortados no podrán ser calentados a una temperatura superior a la correspondiente al punto de inflamación. La temperatura de aplicación deberá ser aquella que permita trabajar con viscosidades comprendidas entre 20 y 120 centistokes.

Dependiendo de la textura de la superficie a imprimir, la cantidad de asfalto a colocar se determinará en terreno debiéndose establecer la cantidad definitiva considerando obtener una penetración mínima de 5 mm después de un tiempo de absorción y secado de 6 a 12 horas en ambientes calurosos; de 12 a 24 horas en ambientes frescos y de 24 a 48 horas en ambientes fríos, frescos o húmedos. Si la imprimación seca antes de 6 horas, salvo en épocas muy calurosas y secas, se deberá verificar la dosis y las características del imprimante y de la superficie que se esté imprimando. El material asfáltico deberá distribuirse uniformemente por toda la superficie, aplicando la dosis establecida con una tolerancia de 15%. Se deberá verificar la tasa de aplicación resultante cada 3.000 m de imprimación o como mínimo, una vez por día.

Si después de transcurrido el tiempo de absorción y secado establecido, aún quedaran áreas con asfalto sin penetrar, se podrá autorizar el recubrimiento con arena. Por otra parte, toda área

que no haya quedado satisfactoriamente cubierta con la aplicación del riego, deberá tratarse en forma adicional mediante riego manual.

Las estructuras, la vegetación y todas las instalaciones públicas o privadas ubicadas en el área de trabajo, deberán protegerse cubriéndolas adecuadamente para evitar ensuciarlas. Las protecciones deberán mantenerse hasta que el asfalto haya curado completamente.

Las superficies imprimadas deberán conservarse sin deformaciones, saltaduras, baches o suciedad, hasta el momento de colocar la capa siguiente; Esta sólo podrá colocarse, una vez que se verifique que el imprimante haya curado totalmente.

**Fig. 2.7.2.2 – Aplicación De Asfalto**



**Fuente:  
propia**

**2.7.3**

**EN**



**elaboración**

**MEZCLAS  
ASFÁLTICAS**

**CALIENTE**

La superficie sobre la cual se colocará la mezcla deberá estar seca. En ningún caso se pavimentará sobre superficies congeladas o con tiempo brumoso o lluvioso, o cuando la temperatura atmosférica sea inferior a 5°C. Cuando la temperatura ambiente descienda de 10°C o existan vientos fuertes deberá tomarse precauciones especiales para mantener la temperatura de compactación.

No se aceptará camiones que lleguen a obra con temperatura de la mezcla inferior a 120° C. La temperatura de la mezcla al inicio del proceso de compactación no podrá ser inferior a 110° C. El equipo mínimo que se deberá disponer para colocar la mezcla asfáltica será el siguiente:

- Terminadora autopropulsada.
- Rodillo vibratorio liso con frecuencia, ruedas y peso adecuado al espesor de la capa a compactar.
- Rodillo neumático, con control automático de la presión de inflado.

- Equipos menores, medidor manual de espesor, rastrillos, palas, termómetros y otros.

**Fig. 2.7.3 – Mezcla Asfáltica En Caliente**



**Fuente: elaboración propia**

#### **2.7.4 COMPACTACIÓN**

Una vez esparcidas, enrasadas y alisadas las irregularidades de la superficie, la mezcla deberá compactarse hasta que alcance una densidad no inferior al 97% ni superior al 102 % de la densidad Marshall. La cantidad, peso y tipo de rodillos que se empleen deberá ser el adecuado para alcanzar la densidad requerida dentro del lapso durante el cual la mezcla es trabajable.

La compactación deberá comenzar por los bordes más bajos para proseguir longitudinalmente en dirección paralela con el eje de la vía, traslapando cada pasada en un mínimo de 15 cm, avanzando gradualmente hacia la parte más alta del perfil transversal. Cuando se pavimente una pista adyacente a otra colocada previamente, la junta longitudinal deberá compactarse en primer lugar, para enseguida continuar con el proceso de compactación antes descrito. En las curvas con peralte

la compactación deberá comenzar por la parte baja y progresar hacia la parte alta con pasadas longitudinales paralelas al eje.

Los rodillos deberán desplazarse lenta y uniformemente con la rueda motriz hacia el lado de la terminadora. La compactación deberá continuar hasta eliminar toda marca de rodillo y alcanzar la densidad especificada. Las maniobras de cambios de velocidad o de dirección de los rodillos no deberán realizarse sobre la capa que se está compactando.

En las superficies cercanas a aceras, cabezales, muros y otros lugares no accesibles por los rodillos descritos, la compactación se deberá realizar por medio de rodillos de operación manual, y de peso estático mínimo 2 ton, asegurando el número de pasadas que corresponda para alcanzar los requisitos de densidad exigidas.

Durante la colocación y compactación de la mezcla, se deberá verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- Los requisitos estipulados anteriormente deberán considerar los aspectos climáticos y no se asfaltarán si ellos no se cumplen.
- La superficie a cubrir deberá estar limpia, seca y libre de materiales extraños;
- Se recomienda que la compactación se realice entre las temperaturas de 110° C y 140° C
- La mezcla deberá alcanzar el nivel de compactación especificado.
- La superficie terminada no deberá presentar segregación de material (nidos), fisuras, grietas, ahuellamientos, deformaciones, exudaciones ni otros defectos.

**Fig. 2.7.4 – Compactadoras Neumáticas**



**Fuente: elaboración propia**

## **2.8 METODO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico.

El Concreto Asfáltico es un tipo de mezcla en caliente que cumple con estrictos requisitos de control de calidad, resultando una carpeta de alta calidad, con buena calidad de agregados y bien compactada.

### **2.8.1 REFERENCIAS HISTÓRICAS**

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del Mississippi Highway Department 1

Alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por The Corps of Engineers Waterways (WES) de los Estados Unidos en 1943.

Este método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente), sin embargo, actualmente la norma ASTM D-1559 ha sido reemplazado por otro procedimiento denominado Superpave.

## **2.8.2 CARACTERÍSTICAS DE MEZCLA**

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes Características:

### **Resistencia a la Deformación Permanente**

La resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación Permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando el contenido asfáltico y vacío adecuado para la mezcla.

### **Resistencia a la Fatiga**

La mezcla no se agrietará por causa de la repetición de las cargas en un período de tiempo (período de diseño)

### **Resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas**

Esta propiedad es importante en regiones frías que experimentan bajas temperaturas. Sin embargo, para ello se utilizan aditivos diversos.

### **Durabilidad**

La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuado espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico. El curando durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.



### **Resistencia a la Humedad**

Algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades de los agregados son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.

### **Resistencia al Patinaje**

Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñados para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.

### **Trabajabilidad**

La mezcla debe ser capaz de ser colocada y compactada con razonable esfuerzo. Los problemas de trabajabilidad se presentan frecuentemente durante los trabajos de pavimentación.

### **Fundamento Teórico**

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

### **Objetivo**

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.

El método consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar.

Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinado su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura.

### **2.8.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA**

La gravedad específica de un agregado es útil para determinar la relación peso-volumen del agregado compactado y así calcular el contenido de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente compactada. Por definición, la gravedad específica de un agregado es la relación del peso por unidad de volumen de un material respecto del mismo volumen de agua a aproximadamente 23C (73.4F). La ecuación usada es:

**Ecuación 1:**

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen} * \text{peso específico del agua}}$$

Cuando se trabaja en el SI, el peso específico del agua es 1.0gr/cm<sup>3</sup>, convirtiendo la ecuación de gravedad específica en:

**Ecuación 2:**

$$\text{Gravedad Especifica} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Además, existen tres diferentes gravedades específicas relacionadas al diseño de las mezclas asfálticas en caliente que definen el volumen de las partículas de agregados:

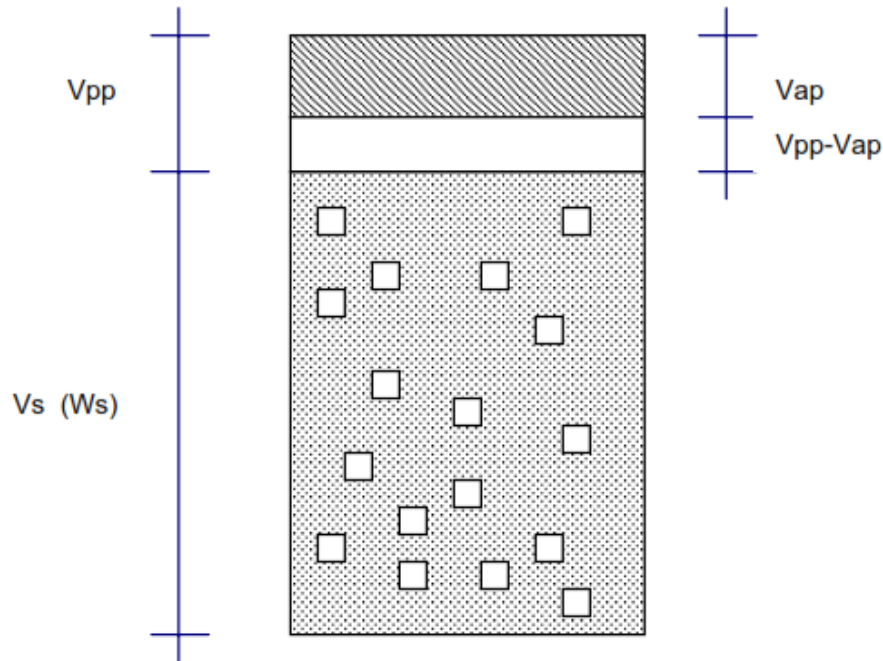
Gravedad Específica Seca Aparente

Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca) y Saturada Superficialmente Seca Bulk

Gravedad Específica Efectiva

Para ilustrar los conceptos listados utilizaremos el esquema peso-volumen de la partícula de agregado

**Fig. 2.8.3 – Esquema de Relaciones entre las Diferentes Gravedades Específicas de una partícula de agregado**



**Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González**

Donde:

$V_s$  Volumen del agregado seco incluyendo los vacíos impermeables

$V_{pp}$  Volumen de poros permeables al agua

$V_{ap}$  Volumen de poros que absorbieron asfalto

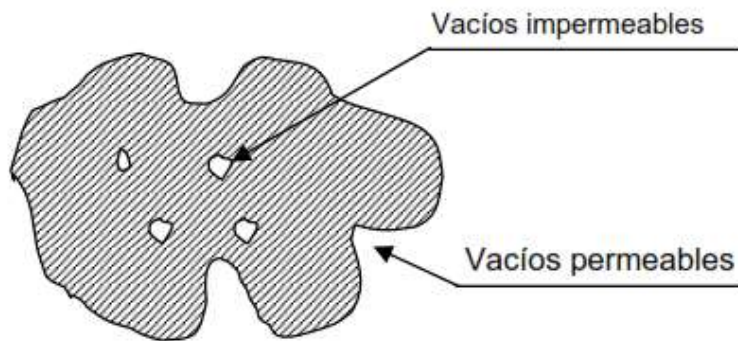
$V_{pp-Vap}$  Volumen de poros permeables al agua menos los poros que absorbieron asfalto

$W_s$  Peso de agregado secado al horno

Nota:- El agregado contiene poros impermeables que no se detallarán en las ecuaciones pero que es implícito que se están considerando.

### **Gravedad Específica Seca Aparente**

**Fig. 2.8.3-2 – Gravedad Específica Seca Aparente**



**Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González**

**Ecuación 3:**

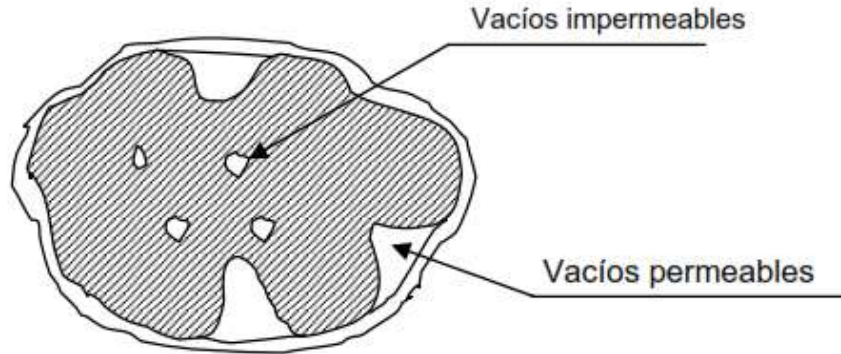
$$\text{Gravedad específica seca aparente} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado}}$$

$$\text{Gravedad específica seca aparente} = G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

La gravedad específica seca aparente incluye solamente el volumen de las partículas de agregado más los poros interiores que no han sido llenados con agua después de 24 horas de inmersión.

**Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)**

**Fig. 2.8.3-3 - Gravedad Específica Seca Bulk (Base Seca)**



**Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González**

**Ecuación 4:**

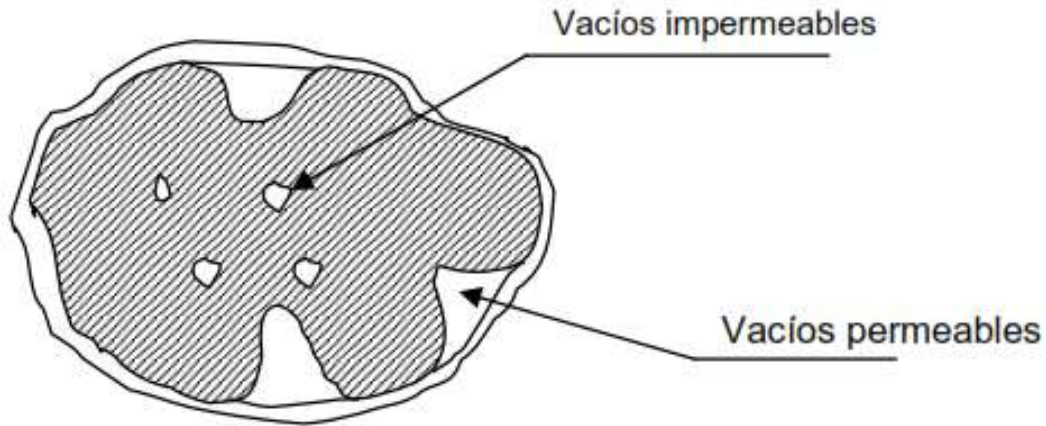
$$\text{Gravedad específica Seca Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado seco}}{\text{Volumen del agregado mas los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica Seca Bulk} = G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Incluye volumen total de las partículas de agregados, así como el volumen de poros llenos con agua luego de 24 horas de inmersión.

**Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk**

**Fig. 2.8.3-4 - Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk**



**Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González**

**Ecuación 5:**

$$\text{Grav. Esp. Saturada Superficialmente Seca Bulk} = \frac{\text{Peso del agregado saturado superficialmente seco}}{\text{Volumen del agregado mas los vacíos permeables}}$$

$$\text{Gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk} = G_{SSSb} = \frac{W_{SSS}}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Donde:

$W_{SSS}$  = Peso del Suelo Saturado Superficialmente Seco

La gravedad específica saturada superficialmente seca bulk define la relación entre el peso del agregado en su condición saturada superficialmente seca, que se obtiene secando las partículas con un paño luego de la inmersión, y el volumen del agregado más los vacíos permeables.

La gravedad específica Saturada Superficialmente Seca Bulk es usada por la U.S. Corps of Engineers para el diseño y control de Mezclas Asfálticas en Caliente cuando se usan agregados con porcentajes de absorción mayores que 2.5%.

La gravedad específica Seca Bulk y Seca Aparente de agregados gruesos y finos se pueden determinar con las normas ASTM C-127 y C-128, respectivamente.

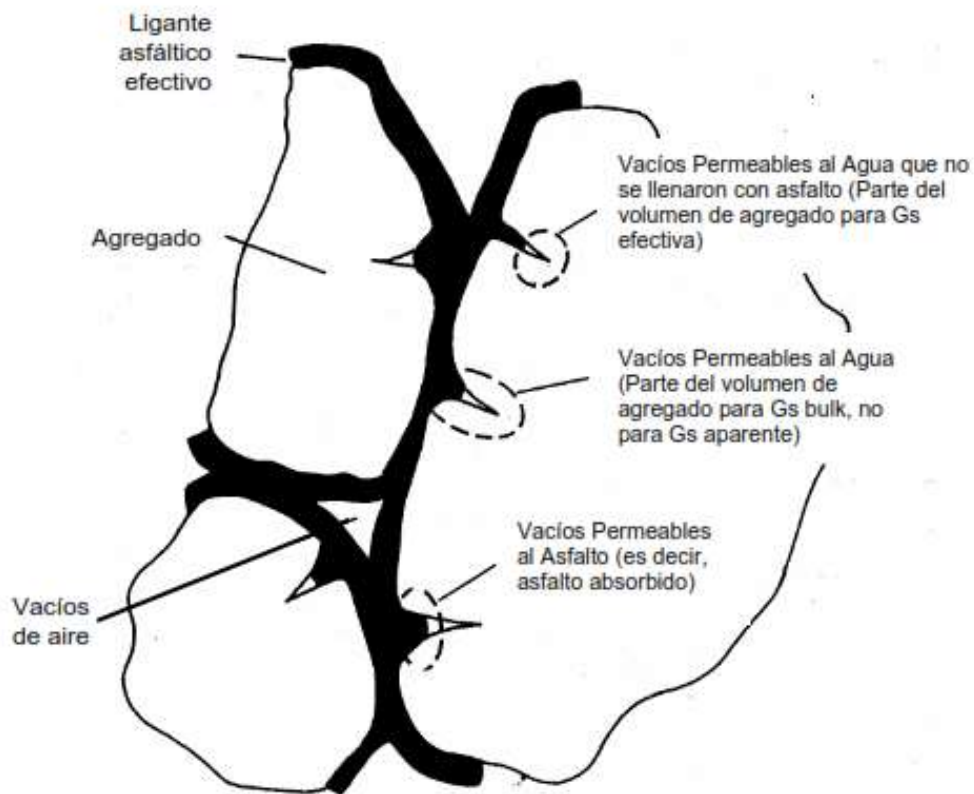
## **2.8.4 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE MEZCLAS COMPACTADAS**

Las propiedades volumétricas de las mezclas compactadas proporcionan algún indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio, estas propiedades volumétricas son vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo ( $P_{be}$ ).

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos para la determinación de éstas propiedades, de tal manera que seamos capaces de seleccionar adecuadamente el diseño de mezclas. Estos conceptos se aplican tanto a mezclas compactadas como a especímenes no disturbados extraídos de campo.

Las propiedades volumétricas se aplican en todos los diseños de mezclas como Superpave, SMA y las mezclas convencionales.

**Fig. 2.8.4 - Ilustración de gravedades específicas bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire; y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas**



Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González

## Definiciones

Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

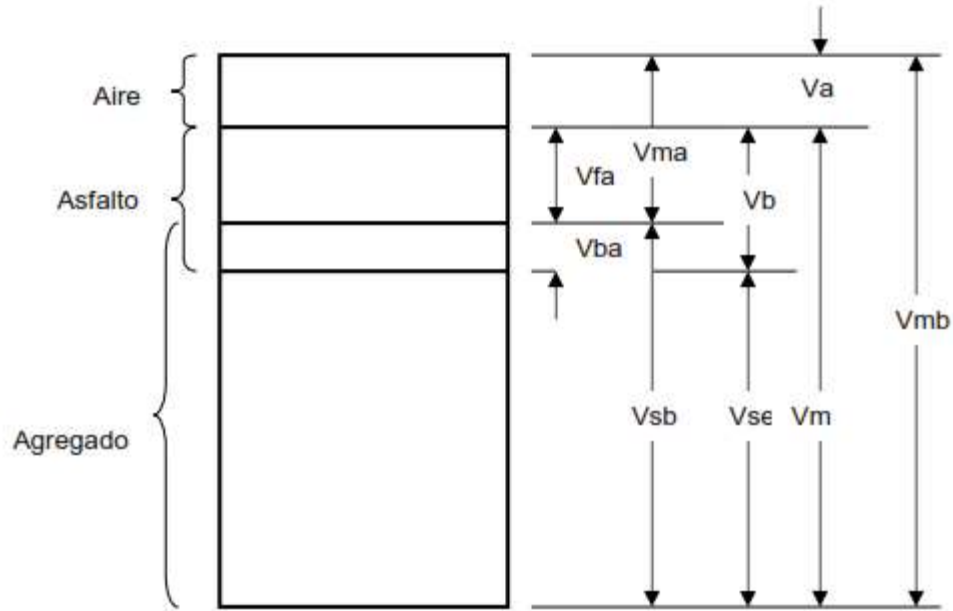
Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo y los vacíos atrapados entre los agregados recubiertos, se expresa como un porcentaje del volumen total de la muestra..

Asfalto efectivo ( $P_{be}$ )

Es el contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto que se pierde por absorción dentro de la partícula de agregado.

**Fig. 2.8.4-2 - Representación de volúmenes en especímenes de mezclas compactadas**





Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González

$V_{ma}$  = Volumen de vacíos en el agregado mineral

$V_{mb}$  = Volumen bulk de la mezcla compactada

$V_{mm}$  = Volumen de la mezcla suelta

$V_{fa}$  = Volumen de vacíos llenos con asfalto

$V_a$  = Volumen de vacíos de aire

$V_b$  = Volumen de asfalto

$V_{ba}$  = Volumen de asfalto absorbido

$V_{sb}$  = Volumen de agregado mineral (para gravedad específica bulk)

$V_{se}$  = Volumen de agregado mineral (para gravedad específica efectiva)

#### **Vacíos de aire ( $V_a$ )**

Es el volumen de aire atrapado, entre las partículas de agregado recubierto por asfalto, luego de la compactación.

#### **Vacíos llenos con asfalto (VFA)**

Es el volumen ocupado por el asfalto efectivo o el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, ocupado por asfalto.

#### **Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas, ASTM D1188**

Parte importante del diseño de mezclas es la determinación de la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada. Este método es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire en el diseño Marshall.

Los especímenes utilizados en este ensayo pueden ser mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o extraídos de campo.

El ensayo consiste en pesar el espécimen seco después que haya permanecido al aire por lo menos durante una hora, a la temperatura ambiente. El espécimen se lleva a su condición saturada superficialmente seca y se sumerge en agua y pesa.

La gravedad Específica bulk ( $G_{mb}$ ) de la mezcla asfáltica compactada es igual a:

**Ecuación 6:**

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sumergido}}$$

Donde:

$G_{mb}$	Gravedad Específica Bulk de mezcla compactada
$W_D$	Peso al aire del espécimen seco
$W_{SSD}$	Peso al aire del espécimen saturado superficialmente seco
$W_{sumergido}$	Peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido

**Gravedad Específica Teórica Máxima, ASTM D 2041**

La gravedad específica Teórica Máxima es también llamada Gravedad Especifica Rice debido a que James Rice desarrolló el procedimiento de ensayo.

Este método de laboratorio determina la Gravedad Especifica Teórica Máxima de mezclas asfálticas en su estado suelto. Para el ensayo las partículas de la muestra se separan teniendo cuidado de no fracturarlas. La muestra suelta se coloca en un recipiente y pesa, se le añade agua hasta cubrir la muestra y remover el aire atrapado con la bomba de vacíos. Se vierte con cuidado el agua y se seca la muestra ensayada.

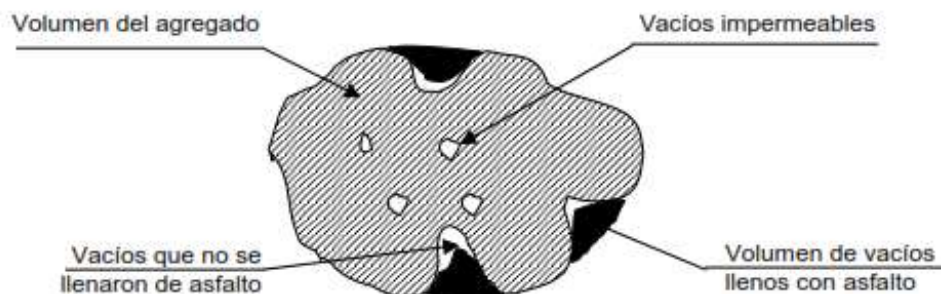
Por definición la gravedad específica Teórica Máxima es:

### Ecuación 7:

$$\text{Gravedad Específica Teórica Máxima} = \frac{\text{Peso agregado mas peso del asfalto}}{\text{Volumen del agregado mas vacios permeables no llenados con asfalto mas asfalto}}$$

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Fig. 2.8.4-3 - Gravedad Específica Teórica



Fuente: Manual De Lab. Ensayos Para Pavimentos Ing. Silene Minaya González

Donde:

$G_{mm}$  Gravedad específica teórica máxima, RICE

$P_{mm}$  Peso total de la mezcla

$P_s$  Peso del agregado

$P_b$  Peso del asfalto

$G_{se}$  Gravedad específica efectiva del agregado impregnado con asfalto

$G_b$  Gravedad específica del asfalto

### 2.8.5 PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE MEZCLAS COMPACTADAS

Se listan todas las mediciones y cálculos necesarios para el análisis de vacíos:

- (a) Medir la gravedad específica bulk del agregado grueso (AASHTO T85 ó ASTM C127) y del agregado fino (AASHTO T84 ó ASTM C128).
- (b) Medir la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 ó ASTM D70) y del filler mineral (AASHTO T100 ó ASTM D854).
- (c) Calcular la gravedad específica bulk de la combinación de agregados en la mezcla.
- (d) Medir la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041), también es conocida como RICE.
- (e) Medir la Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D1188 ó ASTM D2726)
- (f) Calcular la Gravedad Específica Efectiva del Agregado.
- (g) Calcular la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto
- (h) Calcular el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado,  $P_{ba}$
- (i) Calcular el contenido de asfalto efectivo de la mezcla,  $P_{be}$ .
- (j) Calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, VMA.
- (k) Calcular el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada,  $V_a$
- (l) Calcular el porcentaje de vacíos llenos con asfalto.

Las ecuaciones y métodos necesarios para determinar los parámetros se detallan a continuación.

La siguiente tabla ilustra los datos básicos para una muestra de mezcla asfáltica. Estos datos de diseño se usarán como ejemplo para un mejor entendimiento del lector.

### **Datos Básicos para Muestras de Mezclas Asfálticas**

a) Constituyentes:
--------------------

Material	Gravedad Especifica			Composición de Mezcla		
		Bulk	AASHTO	ASTM	% por peso del total de la mezcla	% por peso del total del agregado
Cemento asfáltico	1.030 (Gb)		T 228	D 70	5.3 (P <sub>b</sub> )	5.6 (P <sub>b</sub> )
Agregado grueso		2.761 (G <sub>1</sub> )	T 85	C 127	47.4 (P <sub>1</sub> )	50.0 (P <sub>1</sub> )
Agregado fino		2.689 (G <sub>2</sub> )	T 84	C 128	47.3 (P <sub>2</sub> )	50.0 (P <sub>2</sub> )
Filler mineral			T 100	D 854		
(b) Mezcla asfáltica						
	Gravedad especifica bulk de la mezcla compactada, Gmb (ASTM D 2726)					2.442
	Gravedad especifica teorica maxima de la mez Gmm (ASTM D 2041)					2.535

### 1. Gravedad específica bulk de la combinación de agregados.

Cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas (por ejemplo, grueso y fino), el valor de la gravedad específica promedio se calcula con la siguiente ecuación:

#### Ecuación 8:

$$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G Gravedad específica promedio

G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, ..., G<sub>n</sub> Valores de Gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..., P<sub>n</sub> Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n

La gravedad específica bulk del filler mineral es difícil de determinar. Sin embargo, si se sustituye por la gravedad específica aparente del filler, el error es despreciable. Esta ecuación se puede aplicar para determinar la gravedad específica bulk y aparente de la combinación de agregados.

## 2. Gravedad Específica Efectiva del Agregado, G<sub>se</sub>

El procedimiento para determinar la gravedad específica efectiva no está normado por AASHTO o ASTM. Los valores se obtienen a partir del cálculo de la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas (G<sub>mm</sub>) ASTM D-2041, éste ensayo se realiza sobre mezclas sueltas, de esa manera se eliminan los vacíos de aire. En general

### Ecuación 9:

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$
$$G_{se} = \frac{W_s}{V_{efec}}$$

El volumen efectivo es el volumen del agregado más los vacíos permeables al agua que no se llenaron de asfalto. En el ensayo de gravedad específica teórica máxima (G<sub>mm</sub>), se mide el volumen de la mezcla suelta y el volumen del cemento asfáltico se calcula con su peso y su gravedad específica. El volumen efectivo del agregado se determina sustrayendo el volumen del cemento asfáltico del volumen total.

### Ecuación 10:

$$G_{se} = \frac{W_T - P_b(W_T)}{V_{TV} - V_{AC}}$$
$$G_{se} = \frac{W_T - P_b(W_T)}{\frac{W_T}{G_{mm}} - \frac{W_{AC}}{G_b}}$$
$$G_{se} = \frac{1 - P_b}{\frac{1}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

W<sub>s</sub> = Peso del agregado

V<sub>AC</sub> = Volumen del cemento asfáltico total

$V_{\text{efec}}$  = Volumen efectivo

$W_T$  = Peso total de la mezcla

$V_{TV}$  = Volumen total de la mezcla suelta

$P_b$  = contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla

$W_{AC}$  = Peso total del cemento asfáltico

$G_b$  = Gravedad específica del cemento asfáltico

$G_{mm}$  = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (ASTM D2041), no incluye los vacíos de aire

### 3. Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto

En el diseño de mezclas con un agregado dado, se requiere conocer la gravedad específica teórica máxima, para cada contenido de asfalto, y de esta manera calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto. Aunque la gravedad específica teórica máxima se puede determinar para cada contenido de asfalto empleando la norma, la precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla es cerrada. Además, es más conveniente realizar el ensayo por duplicado o triplicado.

La gravedad específica teórica máxima para otros contenidos de asfalto puede determinarse con la siguiente ecuación. Para efectos prácticos la gravedad específica efectiva del agregado es constante porque el asfalto absorbido no varía apreciablemente con las variaciones del contenido de asfalto. Por definición:

#### Ecuación 11:

$$G_{mm} = \frac{W_s + W_{AC}}{V_{\text{efectivo}} + V_{AC}}$$

$$G_{mm} = \frac{W_T}{\frac{W_s}{G_{se}} + \frac{W_{AC}}{G_b}}$$

$$G_{mm} = \frac{W_T}{\frac{W_T(1-P_b)}{G_{se}} + \frac{W_T P_b}{G_b}}$$

Simplificando, y asumiendo que el peso total es el 100%

**Ecuación 12:**

$$G_{mm} = \frac{1}{\frac{1 - P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_B}}$$

Donde:

$W_s$  = Peso del agregado

$V_{AC}$  = Volumen del cemento asfáltico total

$V_{efec}$  = Volumen efectivo

$W_T$  = Peso total de la mezcla

$P_b$  = contenido de asfalto del ASTM D2041, porcentaje del peso total de la mezcla

$W_{AC}$  = Peso total del cemento asfáltico

$G_b$  = Gravedad específica del cemento asfáltico

$G_{se}$  = Gravedad especifica efectiva del agregado

**4. Porcentaje de Asfalto Absorbido, Pba**

El porcentaje de asfalto absorbido del agregado mineral usualmente se expresa por peso del agregado más que por peso de la mezcla total. La ecuación para calcular el asfalto absorbido puede obtenerse a partir de:

**Ecuación 13:**

$$P_{ba} = \left[ \frac{W_{ba}}{W_s} \right] \times 100$$

Sustituyendo, peso = volumen x gravedad específica

$$P_{ba} = \left[ \frac{V_{ba} \times G_b}{W_s} \right] \times 100$$

El volumen de asfalto absorbido es la diferencia entre el volumen bulk del agregado y su volumen efectivo. Por lo tanto,



$$P_{ba} = \frac{(V_{sb} - V_{se}) \times G_b}{W_s} \times 100$$

Sustituyendo, volumen = peso/ gravedad especifica

$$P_{ba} = \frac{\left(\frac{W_s}{G_{sd}} - \frac{W_s}{G_{se}}\right) \times G_b}{W_s}$$

Simplificando,

**Ecuación 14:**

$$P_{ba} = \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \times G_b \times 100$$

Donde:

$P_{ba}$  = porcentaje de asfalto absorbido por peso del agregado

$W_{ba}$  = peso de asfalto absorbido

$W_s$  = peso del agregado

$V_{ba}$  = peso de asfalto absorbido

$V_{sb}$  = volumen bulk del agregado

$V_{se}$  = volumen efectivo del agregado

$G_b$  = gravedad especifica del cemento asfáltico

$G_{se}$  = gravedad especifica efectiva del agregado

$G_{sb}$  = gravedad especifica bulk del agregado

### **5. Porcentaje de Asfalto Efectivo, Pbe**

El contenido de asfalto efectivo  $P_{be}$  de la mezcla es el contenido total de asfalto menos la cantidad de asfalto que absorbió el agregado. Esta es la capa de asfalto que recubre exteriormente el agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el comportamiento de la mezcla asfáltica.

**Ecuación 15:**

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba} P_s}{100}$$

Donde:

$P_{be}$  = contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

$P_s$  = contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla

$P_{ba}$  = asfalto absorbido, porcentaje por peso del agregado

## 6. Porcentaje VMA en Mezcla Compactada

Como ya se indicó el volumen de vacíos en el agregado mineral VMA es un factor importante para el diseño de mezclas.

La fórmula para VMA puede obtenerse considerando la relación peso-volumen de la figura 36. Se recomienda que el cálculo sea realizado con la gravedad específica bulk del agregado:

**Ecuación 16:**

$$VMA = \frac{V_T - V_{sb}}{V_T} \times 100$$

Simplificando,

$$VMA = 100 - \frac{V_{sb}}{V_T} \times 100$$

Sustituyendo volumen con el peso dividido entre la gravedad específica

$$VMA = 100 - \frac{\frac{W_s}{G_{sb}}}{\frac{W_T}{G_{mb}}} \times 100$$

Sustituyendo,

$$W_s = W_T - P_b \times W_T$$

Y simplificando

**Ecuación 17:**

$$VMA=100\left(1-\frac{G_{mb}(1-P_b)}{G_{sb}}\right)$$

Donde:

$V_{sb}$  = volumen bulk del agregado

$V_T$  = volumen total de mezcla compactada

$W_s$  = peso del agregado

$W_T$  = peso total de la mezcla

$G_{sb}$  = gravedad especifica bulk del agregado

$G_{mb}$  = gravedad especifica bulk de la mezcla compactada

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

**7. Porcentaje de Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada,  $V_a$**

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos de aire puede obtenerse a partir de:

Por definición,

**Ecuación 18:**

$$V_a = \frac{V_v}{V_T} \times 100$$

Sustituyendo,

$$V_v = V_T - V_{fa} - V_{sb}$$

$$V_a = \left( \frac{V_T - V_{fa} - V_{sb}}{V_T} \right) \times 100$$

$$V_a = \left( 1 - \frac{V_{fa} + V_{sb}}{V_T} \right) \times 100$$

Multiplicando el numerador y denominador por  $W_T$  y simplificando,

$$V_a = \left( 1 - \frac{\frac{W_T}{V_T}}{\frac{W_T}{(V_{fa} + V_{sb})}} \right) \times 100$$

Sustituyendo,

**Ecuación 19:**

$$V_a = \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100$$

Donde:

$V_a$  = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

$V_v$  = Volumen de vacíos de aire

$V_T$  = Volumen total del espécimen compactado

$V_{fa}$  = Volumen de vacíos llenos con cemento asfáltico

$V_{sb}$  = volumen bulk del agregado

$W_T$  = Peso total del espécimen compactado

$G_{mb}$  = Gravedad específica bulk del espécimen compactado

$G_{mm}$  = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla

Nota.- En mucha bibliografía se identifica al porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada como VTM.

$$VTM = \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100$$

**8. Vacíos Llenos con Asfalto, VFA**

VFA es simplemente el porcentaje de VMA llenado con cemento asfáltico. La siguiente fórmula se usa para calcular el VFA:

**Ecuación 20:**

$$VFA = \frac{VMA - VTM}{VMA} \times 100$$

Donde:

VFA = vacíos llenos con asfalto, porcentaje de VMA  
VMA = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk  
Va ó VTM = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

## CAPÍTULO 3

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Para fines de estudio de los dos tipos de patologías (exudación y ampollas) se escogió dos lugares para encontrar dichas fallas, uno fue en el tramo circuito Vial Erquiz – San Lorenzo y otro lugar para el estudio fue la ciudad de Tarija, ambos lugares conformados por pavimento flexible.

#### 3.2 UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Primero hablaremos del tipo de patología Exudación, esta falla se encontró en el tramo circuito vial Erquiz – San Lorenzo, por este tramo pasan las comunidades de Erquiz Oropeza y Erquis Norte con una longitud de 6 km. En este tramo podemos encontrar varias fallas de tipo exudación, de las cuales escogimos 15 muestras para estudio. Tramo que fue ejecutado por la unidad de servicios de caminos Tarija, SEDECA.

**Fig. 3.2.1 – Imagen Satelital Del Tramo Circuito Vial Erquiz - San Lorenzo**  
**Patologías de Exudación**



**Fuente: Elaboración Propia**

Tramo que fue construido en el año 2014-2015, Se trata de una ruta de alta afluencia de vehículos de transporte pesado y liviano que se encarga de importar y exportar productos hacia la ciudad de Tarija, El clima del lugar es tropical con una media de 22,18°C y a una altura promedio de 2015 m.s.n.m.

**TABLA. 3.2.1****Ubicación En Coordenadas De Patologías Tipo Exudación**

<b>COORDENADAS PUNTOS DE EXUDACION</b>			
<b>NUCLEO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>
1	316612	7623698	1953
2	315748	7624391	1953
3	317484	7622444	1941
4	317129	7622407	1935
5	316665	7623372	1956
6	316366	7624068	2005
7	315258	7624553	2030
8	315220	7624578	2027
9	314481	7624938	2048
10	314292	7625031	2051
11	313677	7625067	2068
12	313555	7625088	2070
13	313485	7625064	2074
14	313439	7625056	2074
15	313389	7625060	2076

**Fuente: Elaboración Propia**

El segundo lugar escogido para encontrar el otro tipo de patologías Ampollas o Blisters fue la ciudad de Tarija ,donde podemos encontrar varios lugares , de los cuales se presentan en este trabajo 4 lugares :

- Barrió Senac calle hermano Ruiloba y Av. José María Aviléz.
- Barrió El Tejar calle España.
- Ciudad Universitaria de la Juan Misael Saracho.
- Barrió San Martin Av. Los Sauces.

De estos lugares pudimos extraer 15 muestras del tipo de patología ampollas, la ciudad de Tarija en su gran mayoría se encuentra pavimentada del cual más del 80 % es pavimento flexible.

Ciudad con un clima tropical con una media de 24°C y a una altura promedio de 1854 m.s.n.m. la ciudad tiene una alta afluencia de vehículos de transporte liviano, mediano y pesado.

**Fig. 3.2.2 – Imagen Satelital Del Barrio Senac - Tarija**  
**Patologías de Ampollas o Blisters**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 3.2.3 – Imagen Satelital Del Barrio Tejar - Tarija**  
**Patologías de Ampollas o Blisters**





**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 3.2.4 – Imagen Satelital Del Campus Universitario UAJMS - Tarija  
Patologías de Ampollas o Blisters**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 3.2.5 – Imagen Satelital Del Barrio San Martín - Tarija**

## Patologías de Ampollas o Blisters



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA. 3.2.2****Ubicación En Coordenadas De Patologías Tipo Ampollas**

<b>COORDENADAS PUNTOS DE AMPOLLAS</b>			
<b>NUCLEO</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>
1	318931	7617055	1917
2	318938	7617051	1917
3	318936	7617047	1917
4	318931	7617059	1917
5	318934	7617048	1917
6	318930	7617052	1917
7	321403	7616418	1860
8	321420	7616441	1861
9	321505	7616605	1862
10	321447	7616496	1863
11	321682	7616355	1855
12	321680	7616340	1855
13	319538	7617467	1877
14	319525	7617527	1877
15	319511	7617476	1878

**Fuente: Elaboración Propia****3.3 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO**

Para la elaboración del presente proyecto se usó una serie de equipos y materiales mencionados a continuación:

1. **GPS Navegador.**
2. **Cámara fotográfica.**
3. **Flexómetros de 7 m.**
4. **Casco de seguridad.**
5. **Chaleco reflectante.**
6. **Pintura.**

**Fig. 3.3.1 – Imagen del material de seguridad y medición**



**Fuente: Elaboración Propia**

## 7. Máquina extractora de núcleos en pavimentos.

**Fig. 3.3.2 – Imagen del extractor de núcleos**



**Fuente: Elaboración Propia**

Esta máquina simple pero robusta es una unidad portátil, que se puede llevar fácilmente en un camión de transporte. El potente motor de 6 HP es más que adecuado para todos los tipos de trabajo y materiales. El peso relativamente pesado (110 kg) contribuye a la estabilidad de la máquina durante la extracción de las muestras. Las brocas de extracción que proponemos tienen un acoplamiento estándar que asegura la mejor alineación, de montaje y desmontaje rápido y fácil. Ver accesorios.

- Rango de brocas: hasta 200 mm de diámetro dependiendo del tipo de asfalto
- Tornillo de avance
- 4 patas estabilizadoras
- Peso aproximado: 110 kg

### CARACTERISTICAS PRINCIPALES

- Motor de gasolina 4 tiempos de alta calidad, 6 HP
- Rango de núcleos de hasta 200 mm de diámetro.

- Robusta, compacta y portátil
- Tornillo como patas verticales
- Completo con llave de correa y llave fija
- Amplia gama de brocas de extracción de testigos con acoplamiento estándar fijo disponible

Brocas de extracción de paredes delgadas con pedacitos de diamante en sectores de bronce soldados adecuadas tanto para concreto o asfalto. Acoplamiento estándar fijo asegurando la mejor alineación, montaje y desmontaje rápido y fácil. Longitud de las brocas: 400 mm aproximadamente. Pueden ser utilizadas tanto para asfalto o pavimentos de concreto. El extractor de núcleos se ofrece como un accesorio opcional y simplifica la remoción del núcleo muestra del agujero.

**TABLA. 3.3.2**

**Pesos de cada una Broca de distinto diámetro**

<b>Diámetro núcleo (mm)</b>	<b>Peso aprox. (kg)</b>
50	2,2
75	2,8
100	3,7
150	5,4
200	7,5

**Fuente: WWW. ORION RCP.COM**

## 8. Balanza con canastillo para muestras sumergidas

Fig. 3.3.3 – Imagen de la balanza más rejilla o canastilla



**Fuente: Elaboración Propia**

Con la balanza podremos sacar los diferentes tipos de pesaje.

- Peso en seco.
- Peso muestra sumergida.
- Peso con superficie seca.

## 9. Horno de laboratorio de uso general.

**Fig. 3.3.4 – Imagen Del Horno De Laboratorio**



**Fuente: Elaboración Propia**

Especialmente diseñado para los laboratorios de análisis de la industria de la construcción. Las paredes internas y externas están hechas de acero con recubrimiento de zinc aislamiento de lana mineral. La puerta de entrada es de acero inoxidable. Agujeros de escape para un enfriamiento rápido. El modelo es de convección natural de 100 litros de capacidad, son de convección forzada. Control de temperatura y pantalla con termorregulador/indicador digital. Termostato de seguridad mecánica para evitar el sobrecalentamiento. Se suministra con dos rejillas extraíbles

Características del horno:

- Temperatura máxima 200 °C,
- Convección de aire Natural,
- Potencia 1300 W,
- Dimensiones internas mm (lxdxh) 673x605x765

## 10. Equipo de compresión Marshall

Es un marco de compresión montado en una plataforma con motor y engranaje de tornillo sin fin alojado dentro de la unidad base. Incluye un interruptor de final de carrera para el límite inferior del recorrido. La máquina se suministra completa con anillo de carga de 30 kN de capacidad, incorpora un vástago de frenado para sostener la lectura máxima. Para ensayos con muestras de 6 "(152.4 mm) de diámetro, deberá utilizarse el anillo de carga 82-T1009/FC de 50 kN de capacidad



en lugar del anillo de 30 kN montado en la máquina. Todos los anillos de carga tienen un dial indicador de alta resolución 0,001 mm por división, asegurando una estricta conformidad con las normas. Con molde de estabilidad y el medidor de flujo.

- Capacidad máxima: 50 kN
- Capacidad anillo de carga: 30 kN (50 kN de capacidad si usa anillo de cara 82-T1009/FC).
- Velocidad de la placa: 50,8 mm/min
- Potencia: 736 W
- Dimensiones totales (hxlxd): 1028 x 392 x 560 mm
- Peso aprox.: 85 kg

**Fig. 3.3.5 – Imagen Equipo Marshall Más Medidor De Flujo Y Anillos**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.4 RELEVAMIENTO DE INFORMACION Y CALCULO DE RESULTADOS**

#### **3.4.1 IDENTIFICACION DE LAS PATOLOGIAS**

Para la elaboración del proyecto empezamos con la identifica y ubicación de las patologías de los dos tipos no habituales exudación y ampollas.

##### **3.4.1.1 PATOLOGIAS DE EXUDACION**

Para las patologías del tipo exudación encontramos en el tramo del circuito vial Erquiz encontramos a lo largo de 6 km. Varias exudaciones de las cuales seleccionamos 15 muestras, las más representativas y más críticas en su extensión , con ayuda de un GPS navegador pudimos ubicar mejor las muestras donde se realizaran las extracciones mediante coordenadas UTM

WGS 84 / zona 20 S y con la marcación de las mismas con pintura , como podemos apreciar en la fig. 3.4.1.1.1

**Fig. 3.4.1.1.1 – Imagen de la identificación y marcación de las fallas tipo exudación**



**Fuente: Elaboración Propia**

En los catálogos de deterioros de pavimentos flexibles, se denominan “exudaciones” a las movilizaciones de materiales bituminosos dentro del pavimento, lo que provoca segregaciones y heterogeneidades en su estructura interna que pueden favorecer y ocasionar roturas, deformaciones y otras patologías derivadas.

La mayor parte de la bibliografía atribuye la presencia de ligante en la superficie de la calzada a una sobredosificación de asfalto en la capa, a excesos de dotación de riego bituminoso o al empleo de ligante de muy baja viscosidad. Ocurre en mezclas con un porcentaje de vacíos deficientes, durante épocas calurosas. El ligante dilata, llena los vacíos y aflora a la

superficie, hecho que se ve favorecido por la acción de un tráfico intenso.

Eventualmente, se cita como causal probable el derrame de solventes, pero no se suele aludir a otros tipos de contaminaciones que pueden suceder durante la elaboración de la mezcla en la planta o en los procesos constructivos del pavimento.

Se observaron manchones aislados pero amplios de mástico asfáltico (ligante con pequeña proporción de finos) en la superficie, en sectores de pavimento con unos pocos años de servicio. Los defectos no se dan con una frecuencia homogénea, aunque por trechos parecieran guardar cierta equidistancia. Si bien se encuentran manchas en diversos sectores, aparecen con mayor asiduidad en cercanías del eje de la calzada; teniendo en cuenta que en este tramo se colocó mezcla con una sola terminadora en ancho completo, tales sectores se corresponden con los tercios medios de extendido.

**Fig. 3.4.1.1.2. Manchas por exudación de mástico asfáltico**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 3.4.1.1.3. Detalle de sector con exudación**



**Fuente: Elaboración Propia**

En algunos casos la ubicación de los manchones coincide aproximadamente con paradas de terminadora o incluso con juntas transversales.

Se tomó una muestra de pavimento de dimensiones aproximadas 40x40 cm en un sector con exudación; Fig. 3.4.1.1.4. El ligante de la mancha se percibía bastante pegajoso al tacto. Se vio además un exceso de material bituminoso en la interfase con la capa inferior.

El olor del mástico denotaba vestigios de algún solvente, aunque se supone que el mismo ya estaría mayormente volatilizado.

**Fig. 3.4.1.1.4. Extracción de muestra de pavimento en área exudada**



**Fuente: Elaboración Propia**

En la mayoría de las áreas afectadas la película bituminosa en la calzada es abundante; se dedujo que la mancha, además, ha escurrido superficialmente en el pavimento por efectos térmicos pues, al extraer testigos en sectores cercanos a los bordes de las manchas, éstos tienen un aspecto normal en todo su espesor excepto en la superficie. La Fig. 3.4.1.1.4 es un buen ejemplo de lo antedicho.

Complementariamente, se calaron testigos en sectores con manchas y en otros exentos de este deterioro. Sobre las manchas sólo fue posible extraer un testigo de espesor completo, pues las otras muestras extraídas se disgregaron fácilmente; la misma muestra además de la capa de mástico en superficie, pérdida de mortero en su parte inferior (Fig. 3.4.1.1.5, a la izquierda). Los testigos extraídos en sectores exentos de exudaciones ofrecen un aspecto normal (Fig.3.4.1.1.5, a la derecha).

**Fig. 3.4.1.1.5. Testigos extraídos: 1 sector Exudación; 2 sector “sano”**



**Fuente: Elaboración Propia**

De las indagaciones verbales se pudo saber que algunos camiones solían emplear gas oil en exceso para lubricar las cajas de los balancines. Durante la estadía para este estudio se vio que se seguía con la práctica de lubricar con tal combustible las cajas de estos camiones, aunque se observó también que en general se utilizaban cantidades moderadas.

También, se averiguó que el material para riegos bituminosos era efectivamente emulsión asfáltica, que en ocasiones se ocasionaban encharcamientos luego de la aspersion y que, eventualmente, podría no haberse tomado los suficientes recaudos para corroborar la adecuada rotura del riego antes de colocar la capa de mezcla asfáltica. Se sabe, además, que por los inconvenientes que tienen los riegos de imprimación para penetrar en los suelos de la región, suele adicionarse hasta un 15% de solvente a las emulsiones provistas aun cuando las mismas fuesen utilizadas para riegos de adherencia.

- Asfalto virgen”
- Aceite del serpentín del tanque de almacenamiento de asfalto
- Fuel oil empleado en el inyector de la llama del tambor al momento de este relevamiento
- Aceite del motor de la terminadora
- Aceite del sistema hidráulico de la terminadora
- Aditivo mejorador de adherencia

- Emulsión empleada para riego de liga al momento de este relevamiento
- Gas oil empleado para lubricar cajas de camiones de transporte de mezcla
- Practicar las reglas del buen arte en la distribución de los riegos bituminosos, cuidando los detalles para asegurar la homogeneidad y observando que la emulsión haya completado su proceso de rotura antes de efectuar la extensión de mezcla asfáltica.
- Puesto que las mezclas con mayor cantidad de ligante y menor porcentaje de vacíos son las más propensas a sufrir exudaciones, ya sea generalizadas o, como en este caso, localizadas, debería respetarse el porcentaje de ligante que se obtiene racionalmente en la dosificación tal que se cumpla con los parámetros físico-mecánico previstos. Lamentablemente, algunas especificaciones particulares indican un incremento de contenido de ligante respecto del determinado en la formulación o bien superar algún porcentaje mínimo, y en no pocas ocasiones las mezclas resultan excesivamente ricas en asfalto.

#### **3.4.1.2 PATOLOGIAS DE AMPOLLAS O BLISTERS**

Para las patologías del tipo Ampollas o Blisters las encontramos por muchos lugares de la ciudad de Tarija de las cuales seleccionamos 15 muestras, en los barrios de Senac, el Tejar, San Martín y dentro de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Las más representativas y más críticas en su extensión, con ayuda de un GPS navegador pudimos ubicar mejor las muestras donde se realizaran las extracciones mediante coordenadas UTM WGS 84 / zona 20 S y con la marcación de las mismas con pintura, como podemos apreciar en la fig. 3.4.1.2.1

**Fig. 3.4.1.2.1 – Imagen De La Identificación Y Marcación De Las Fallas  
Tipo Ampollas**



**Fuente: Elaboración Propia**

Son hinchamientos localizados de la calzada, en forma de burbujas de tamaño variable, producidas por presión de vapor o aire en zonas de capa de rodadura impermeable o débil en espesor o consistencia. Se manifiesta en una elevación o abombamiento, a modo de casquete de diámetro limitado

Este defecto también es denominado “abultamiento”, es decir, un pequeño desplazamientos



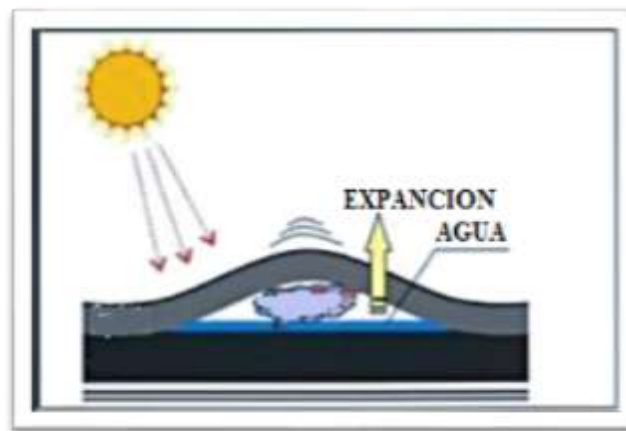
hacia arriba localizado, y se diferencia de los desplazamientos en que éstos son causados por pavimentos inestables, por ejemplo por expansión de los suelos de subrasante con presencia de arcillas del tipo expansivo.

En algunos catálogos de deterioros se indican como otros posibles factores de su aparición, el levantamiento o combadura de una carpeta de concreto asfáltico construida sobre losas de hormigón de cemento Pórtland, la expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo) y la infiltración y elevación de material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”) . Se reporta asimismo una falla de características parecidas pero debido a la presencia de sales solubles que, al cristalizar por evaporación del agua, provocan hinchazones superficiales similares a las citadas anteriormente.

Cabe destacar que las ampollas suelen ser fácilmente aplastadas por el tráfico, provocando fisuras y dejando expuestas las capas inferiores, permitiendo la entrada de agua a las mismas.

También se han detectado estos inconvenientes en aeropuertos. La Fig. 54 ilustra de un modo simple los mecanismos que originan el fenómeno y su consecuencia, la burbuja sobre el pavimento.

**Fig. 3.4.1.2.2. Ilustración del fenómeno de Ampollas**



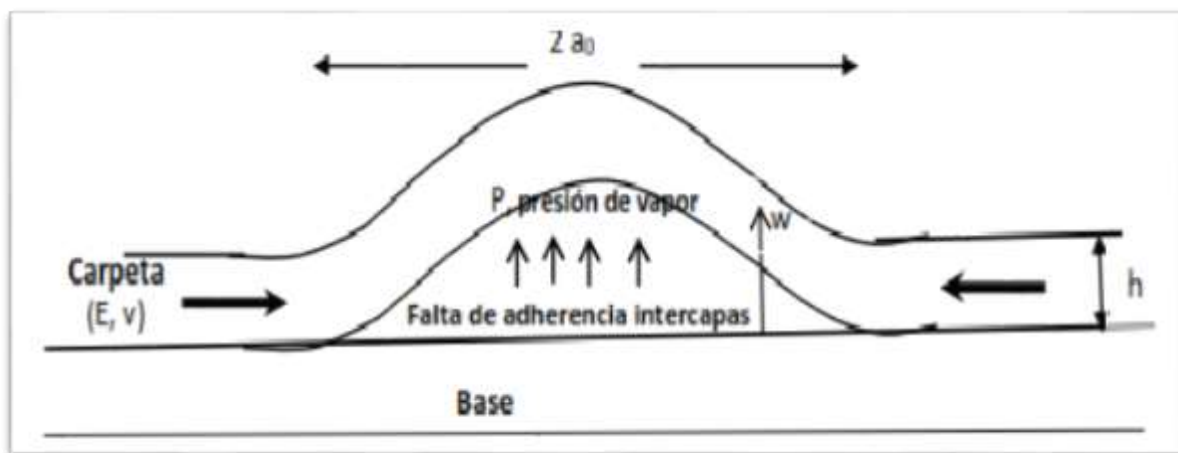
**Fuente: Elaboración Propia**

Producido por la presión de vapor atrapado debajo de la carpeta de rodadura; aunque también se aclara que podría circunstancialmente deberse a otros factores como presencia de sales solubles e incluso la acción de ciertas bacterias y que, en general, la problemática es compleja. Comienza señalando que para comprender y resolver la cuestión debe recabarse toda la información posible acerca de las condiciones imperantes, efectuar un relevamiento *in situ* y

también consultar los archivos e informes disponibles.

Posteriormente, describe las formas típicas de ocurrencia: una capa relativamente delgada e impermeable de concreto asfáltico se coloca sobre un sustrato que contiene cierto grado de humedad y con el cual existe una pobre adherencia; al aumentar la temperatura, el líquido se gasifica y en las áreas no adheridas este gas se expande, generándose una ampolla cuyo tamaño (diámetro y altura) crecerá de acuerdo a las presiones internas generadas y a la resistencia que ofrezca la capa superior. Las razones de la presencia de agua en la interfase suelen estar relacionadas con riegos de liga efectuados con emulsiones bituminosas con humedad residual al momento de extender la capa superior (producto de una ineficiente rotura), con procesos constructivos realizados en épocas húmedas y frías y con una tipología de mezcla de carpeta fina y densa. Finalmente, se desarrolla un modelo básico del defecto y se discuten sus implicancias. Se describe la existencia de un área circular no adherida entre capas, de radio  $a_0$ ; al expandirse el gas (vapor) por incremento térmico, la presión ejercida empuja hacia arriba la porción no adherida de la capa superior y comienza a generarse la ampolla cuando se vence la rigidez de la capa bituminosa; ver esquema y parámetros en Figura 55.

**Fig. 3.4.1.2.3. Esquema y parámetros de la situación planteada**



**Fuente: Elaboración Propia**

La carpeta se encuentra despegada de la base en el área circular de diámetro  $2 a_0$ . Cuando el espesor de la capa superior,  $h$ , es relativamente pequeño comparado a tal diámetro, se produce una deflexión que puede modelizarse de la siguiente forma:

$$w_{\text{máx.}} = (1/64)(P/D) a_0^4$$

donde:  $D = E h^3 / 12 (1-v^2)$

Es la rigidez a flexión de la carpeta, con E = módulo de elasticidad y v = coeficiente de Poisson de tal capa. P es la presión de vapor dentro de la burbuja. Las medidas de longitud se expresan en pulgadas y las de presión en libras/pulgadas al cuadrado.

La presión crítica (Pcr) que causa la ampolla, es:

**Ecuación 21:**

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{512 E h^3 \gamma_a}{3(1-v^2)}} \frac{1}{(2a_0)^2}$$

Donde  $\gamma_a$  es la energía de rotura de la adhesividad, en lb/pulg<sup>2</sup>

La ecuación (1) indica que la altura de la ampolla es proporcional a la cuarta potencia de su radio. Las ecuaciones (1) y (2) revelan que dicha altura es, además, inversamente proporcional al módulo de elasticidad de la carpeta (lo cual, a su vez, denota la influencia de la temperatura ambiente) y al cubo del espesor de esta capa. En tanto que la ecuación (3) muestra que la presión crítica es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la deformación, lo que significa que sectores pequeños con falta de adherencia requieren elevadas presiones para que pueda crecer la ampolla.

Se realizó una recorrida a la zona en cuestión y se decidió tomar muestras representativas. En primer lugar, se observaron “levantamientos” aislados pero reiterados en el pavimento, conformando unos “casquetes” o montículos convexos de diámetro variable pero limitado (no mayor a 40 cm), principalmente ubicados en el sector de “entre-huella”, es decir, en el tercio central de cada trocha, aunque también se visualizaban fuera de tal franja. No se vieron otras irregularidades asociadas en el pavimento, destacándose que las profundidades de las deformaciones longitudinales (“ahuellamiento”) eran irrelevantes.

Al realizarse el muestreo, que consistió en el aserrado de “placas” o “panes” del pavimento, tanto en sectores donde se manifestaba el deterioro como en aquellos en que no había irregularidades, se apreció que la carpeta de rodamiento ofrecía un buen aspecto y que estaba aparentemente bien compactada, lo cual se corroboró al ensayar los testigos extraídos. Pudo determinarse que los “levantamientos” se debieron exclusivamente a la elevación de la carpeta,

que se despegó de la capa inmediatamente inferior hasta varios milímetros, formando los domos o montículos ya mencionados; la capa inferior no mostraba alteraciones, es decir, los montículos correspondían exclusivamente a la carpeta de rodamiento.

Si bien, en principio, tales irregularidades no parecen constituir un riesgo actual en términos de seguridad vial, su evolución significará el deterioro prematuro del pavimento, con sus consecuencias correspondientes.

**Fig. 3.4.1.2.4 Caso N° 1, Ampollas En Superficie De Pavimento Flexible**



**Fuente: Elaboración Propia**

Por otra parte, se corroboró la existencia de una película bituminosa en la interfase, indicadora de la ejecución de un riego asfáltico de adherencia que indudablemente no ha cumplido correctamente con su función. Por lo observado y no quedando vestigios olfativos en el material de liga que denoten que haya sido un asfalto diluido, se infirió que lo que se utilizó fue una emulsión asfáltica, hecho refrendado por el personal que trabajó en la obra. En los sectores sin fallas, al aserrar el pavimento y también al extraer testigos se comprobó una buena adherencia entre la capa superior y la subyacente y se ratificó el buen aspecto del material de ambas capas. Consultando la bibliografía, efectuando una interconsulta con otros profesionales y disponiendo de algunos elementos de información adicional acerca de la climatología y el tránsito en la zona,

podría pensarse que las irregularidades se debieron a la convergencia de los factores enunciados en la bibliografía: mala adherencia entre capas; carpeta superior con escaso tenor de vacíos y espesor moderado; presión gaseosa por evaporación del agua residual de un riego de adherencia con emulsión bituminosa que fue esparcido en época fría y húmeda y que aparentemente no terminó de romper antes del extendido de la mezcla de la superficie de rodamiento.

Es dable destacar que las temperaturas estivales de la región pueden alcanzar los 30 °C.

Queda por dilucidar la recurrencia de aparición de estas fallas en los tercios medios de las trochas. La información recolectada induce a pensar en el tránsito pesado de la ruta: si bien es de flujo moderado, posiblemente una proporción del mismo circule con exceso de cargas. Las sollicitaciones verticales promueven tensiones laterales de compresión que se manifiestan en la zona de la entre-huella, con consecuencias magnificadas pues, al no haber adherencia entre capas, la carpeta actúa en forma aislada en vez de hacerlo solidariamente con las capas subyacentes, ofreciendo así un momento resistente mucho menor y ocasionándose deformaciones. Es posible pensar también en otro causal de este defecto, el cual estaría asimismo asociado a la presencia de agua en la interfase: la existencia de ciclos de congelación y deshielo, teniendo presente que el riego de liga, aún si hubiese sido ejecutado a la temperatura permitida por las especificaciones, pudo haber sufrido tempranamente los efectos del clima frío.

Se consideró que las deficiencias encontradas eran irreversibles y que, por lo tanto, debía reconstruirse la capa superior en los sectores donde se manifestaron las irregularidades, en un ancho que, al menos, abarcase la existencia de tales deterioros. La solución finalmente adoptada fue el fresado en todo el espesor de la calzada y la consiguiente repavimentación de las franjas de pavimento involucradas, respetando las reglas del buen arte relativas a bacheos y reparaciones superficiales y con un control riguroso, previo al tendido de la mezcla, de la extensión y la rotura de la emulsión bituminosa a utilizar como riego de liga con la capa inferior y con los bordes del pavimento cortado.

Las medidas preventivas para evitar nuevas fallas como las presentadas, se relacionan con los causales que las provocaron:

- La superficie receptora del riego de liga debe estar limpia para ayudar a la adherencia intercapas y sin irregularidades que propendan a la formación de charcos de emulsión.

- Debe evitarse el riego bituminoso en jornadas frías y húmedas, y en horas cercanas al atardecer si las temperaturas son bajas.
- El riego debe esparcirse en forma homogénea y con la dotación adecuada.
- Previo a extender la mezcla es necesario corroborar el corte total de la emulsión y también que no se haya depositado suciedad sobre la misma.

### **3.4.2 EXTRACCION DE LAS MUESTRAS**

Después de ubicar y demarca las fallas de los tipos de patologías, empezamos con la extracción de los núcleos en los lugares ya mencionados , con el extractor de núcleos provisto por una universidad,

Empezamos con la extracción de los núcleos del tipo de patología Exudación, del cual se sacaron 15 muestras, ver fig. 3.4.2.1,

Fue un tanto dificultoso sacar los núcleos de buen espesor debido a su alto contenido de asfalto , los núcleos se desprendían desarmándose en muchos pedazos, ver fig. 3.4.2.2.

**Fig. 3.4.2.1. Extracción De Los Núcleos Del Tipo Exudación**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 3.4.2.2. Extracción De Los Núcleos Del Tipo Exudación Con Altos Contenido De Asfalto**



**Fuente: Elaboración Propia**

Luego se procedió a la extracción de los núcleos de las fallas del tipo Ampollas o Blisters de los indistintos lugares de la ciudad de Tarija ya mencionados líneas arriba, al sacar estas muestras se pudo evidenciar que tenía o contaba con muy poca y casi nada adherencia entre la capa de rodadura y el paquete estructural. Ver fig. 4.3.2.3.



**Fig. 3.4.2.3. Extracción de los núcleos del tipo Ampollas o Blisters**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.4.3 MEDICION DE ESPESORES DE LOS NUCLEOS**

Terminado el trabajo de campo procedemos al trabajo de gabinete, donde en primera instancia empezamos a medir los espesores de cada núcleo de los dos tipos de patologías no habituales (Exudaciones y Ampollas)

Como se tratan de núcleos extraídos de pavimentos ya construidos y en funcionamiento, no se pudo sacar muestras de una misma altura pero si de un mismo diámetro , cada núcleo contaba con diferentes espesores, por lo cual se procedió a tomar tres medidas para luego promediarlas. Ver tablas 3.4.2.1 y 3.4.2.2

**Fig. 3.4.2.4. Medición De Los Espesores De Cada Núcleo De Los Dos Tipos De Fallas**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA. 3.4.2.1****Espesores De Cada Núcleo Del Tipo De Patología Exudación**

<b>PATOLOGIAS TIPO EXUDACION</b>					
<b>NUCLEO</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>h1</b>	<b>h2</b>	<b>h3</b>	<b>H promedio</b>
	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>
1	10	5.10	5.20	5.40	5.23
2	10	4.50	5.40	4.70	4.87
3	10	4.20	4.60	4.10	4.30
4	10	4.10	4.80	4.50	4.47
5	10	4.20	5.20	4.30	4.57
6	10	5.50	5.80	5.60	5.63
7	10	4.00	4.80	4.90	4.57
8	10	5.20	4.30	4.10	4.53
9	10	4.30	4.00	4.60	4.30
10	10	4.60	4.10	4.00	4.23
11	10	4.70	5.80	5.30	5.27
12	10	4.10	4.00	4.30	4.13
13	10	5.60	5.40	5.50	5.50
14	10	4.20	3.90	4.10	4.07

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA 3.4.2.2****Espesores De Cada Núcleo Del Tipo De Patología Ampollas o Blisters**

<b>PATOLOGIAS TIPO AMPOLLAS</b>					
<b>NUCLEO</b>	<b>DIAMETROS</b>	<b>h1</b>	<b>h2</b>	<b>h3</b>	<b>H promedio</b>
	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>
1	10	4.10	4.20	4.40	4.23
2	10	4.30	4.50	4.60	4.47
3	10	4.50	4.30	4.20	4.33
4	10	4.60	4.70	4.80	4.70
5	10	4.10	4.30	3.90	4.10
6	10	5.30	5.00	5.20	5.17
7	10	4.30	4.10	4.40	4.27
8	10	4.00	3.90	4.00	3.97
9	10	4.30	4.50	4.80	4.53
10	10	5.10	4.70	4.60	4.80
11	10	4.80	4.50	4.70	4.67
12	10	4.00	4.40	4.30	4.23
13	10	4.10	3.70	4.50	4.10
14	10	4.50	4.20	3.80	4.17
15	10	4.80	5.00	5.10	4.97

**Fuente: Elaboración Propia****3.4.4 PESAJE DE LOS NUCLEOS**

Para poder obtener el peso específico de la muestra, necesitamos los distintos tipos de pesaje:

- Pesaje del núcleo en seco.
- Pesaje del núcleo sumergido.
- Pesaje del núcleo saturado con superficie seca

#### 3.4.4.1 PESAJE EN SECO

Pesamos los 30 núcleos 15 de cada tipo de patología (exudación y ampollas), usando la balanza electrónica para mayor precisión, ver tabla 3.4.4.1 y 3.4.4.2

**Fig. 3.4.4.1.1. Medición De Los Pesos En Seco De Cada Núcleo De Los Dos Tipos De Fallas**



**Fuente: Elaboración Propia**

### 3.4.4.2 PESAJE EN NUCLEO TOTALMENTE SUMERGIDO

Pesamos los 30 núcleos 15 de cada tipo de patología (exudación y ampollas), usando la balanza electrónica para mayor precisión, ver tabla 3.4.4.1 y 3.4.4.2

**Fig. 3.4.4.2.1. Medición De Los Pesos De Cada Núcleo Sumergido De Los Dos Tipos De Fallas**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.4.4.3 PESAJE NUCLEO SATURADO SUPERFICIE SECA**

Pesamos los 30 núcleos 15 de cada tipo de patología (exudación y ampollas), usando la balanza electrónica para mayor precisión, ver tabla 3.4.4.1 y 3.4.4.2

**Fig. 3.4.4.3.1. Medición De Los Pesos De Cada Núcleo Saturado  
Superficie Seca De Los Dos Tipos De Fallas**



**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA. 3.4.4.1**



**Pesos de Los Núcleos de la Patología del Tipo Exudación**

<b>PATOLOGIAS TIPO EXUDACION</b>					
<b>NUCLEO</b>	<b>Peso en:</b>			<b>Volumen</b>	<b>Peso Especif.</b>
	<b>Aire (gr.)</b>	<b>Agua (gr.)</b>	<b>S.S. (gr)</b>	<b>cm3</b>	<b>(gr/cm<sup>3</sup>)</b>
1	677.30	417.50	689.60	272.10	2.49
2	638.20	392.50	648.00	255.50	2.50
3	560.10	341.00	569.60	228.60	2.45
4	586.10	361.00	595.10	234.10	2.50
5	599.10	363.50	607.30	243.80	2.46
6	729.40	448.00	746.50	298.50	2.44
7	599.10	361.50	603.30	241.80	2.48
8	586.10	362.00	597.10	235.10	2.49
9	560.10	336.00	562.60	226.60	2.47
10	547.00	332.50	554.40	221.90	2.47
11	690.30	425.50	707.90	282.40	2.44
12	534.00	331.00	543.20	212.20	2.52
13	716.30	440.50	726.30	285.80	2.51
14	534.00	336.00	549.20	213.20	2.50
15	690.30	425.50	702.90	277.40	2.49

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA. 3.4.4.2**

### Pesos de Los Núcleos de la Patología del Tipo Ampolla o Blisters

PATOLOGIAS TIPO AMPOLLAS					
NUCLEO	Peso en:			Volumen	Peso Especif.
	Aire (gr.)	Agua (gr.)	S.S. (gr)	cm <sup>3</sup>	(gr/cm <sup>3</sup> )
1	595.50	318.00	603.00	285.00	2.09
2	597.30	326.00	609.00	283.00	2.11
3	602.00	331.00	615.00	284.00	2.12
4	599.50	335.00	609.00	274.00	2.19
5	601.90	340.00	617.00	277.00	2.17
6	606.40	343.00	623.00	280.00	2.17
7	601.30	340.00	618.00	278.00	2.16
8	601.70	332.00	601.00	269.00	2.24
9	607.00	337.00	616.00	279.00	2.18
10	599.10	321.00	609.00	288.00	2.08
11	604.30	331.00	620.00	289.00	2.09
12	605.80	334.00	605.00	271.00	2.24
13	598.30	329.00	611.00	282.00	2.12
14	602.30	334.00	615.00	281.00	2.14
15	605.60	340.00	626.00	286.00	2.12

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 3.4.5 CALENTADO DE LOS NUCLEOS EN HORNO A 60°C

Cada uno de los núcleos de los distintos tipos de fallas después de ser pesados , metimos al horno de laboratorio para poder calentarlos y llegar a la temperatura de 60°C para empezar la práctica de estabilidad Marshall.

**Fig. 3.4.5.1. Calentado De Las Muestras En Horno A 60°C De Los Dos Tipos De Fallas**



**Fuente: Elaboración Propia**

### **3.4.6 MEDICION DE RESISTENCIA A LA DEFORMACION PLASTICA USANDO EL APARATO MARSHALL**

Se Procedió a medir la resistencia a la deformación plástica (estabilidad y fluencia) de cada uno de los núcleos, de los dos tipos de fallas no habituales (exudación y ampollas) ver fig. 3.4.6.

**Fig. 3.4.6. Medición De La Resistencia A La Deformación Plástica**



**Fuente: Elaboración Propia**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

#### VALOR DE FLUENCIA MARSHALL

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio.

Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

Obtenido los valores de estabilidad y de fluencia , procedemos a analizar los resultados y sacar las gráficas correspondiente .

Debido a los diferentes y bajos espesores de cada núcleo usamos una tabla para factores de corrección

#### **TABLA 3.4.6.1**

#### **Estabilidad Y Fluencia De Los Núcleos De Patologías De Exudación**

<b>PATOLOGIAS TIPO EXUDACION</b>							
<b>Núcleo</b>	<b>H Promedio</b>	<b>Factor de</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Est. Corregida</b>	<b>Flujo</b>	<b>Flujo</b>
	<b>Cm.</b>	<b>Corrección</b>	<b>Lb.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Plg.</b>	<b>Cm.</b>
1	5.23	1.41	1028.00	466.30	657.48	25	0.64
2	4.87	1.57	969.00	439.54	691.83	23	0.58
3	4.30	2.07	855.00	387.83	802.80	20	0.51
4	4.47	1.88	890.00	403.70	758.56	17	0.43
5	4.57	1.80	909.00	412.32	741.36	21	0.53
6	5.63	1.24	1107.00	502.14	620.14	26	0.66
7	4.57	1.80	889.00	403.25	725.04	21	0.53
8	4.53	1.88	892.00	404.61	760.26	22	0.56
9	4.30	2.07	850.00	385.56	798.11	18	0.46
10	4.23	2.19	830.00	376.49	823.38	15	0.38
11	5.27	1.36	1050.00	476.28	649.65	24	0.61
12	4.13	2.31	805.00	365.15	844.59	19	0.48
13	5.50	1.28	1087.00	493.06	629.15	27	0.69
14	4.07	2.31	810.00	367.42	849.83	14	0.36
15	5.27	1.36	1048.00	475.37	648.41	28	0.71

**Fuente: Elaboración Propia**

**TABLA 3.4.6.2**  
**Estabilidad Y Fluencia De Los Núcleos De Patologías De Ampollas**

<b>PATOLOGIAS TIPO AMPOLLAS</b>							
<b>Núcleo</b>	<b>H Promedio</b>	<b>Factor de</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Est. Corregida</b>	<b>Flujo</b>	<b>Flujo</b>
	<b>Cm.</b>	<b>Corrección</b>	<b>Lb.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Kg.</b>	<b>Plg.</b>	<b>Cm.</b>
1	4.23	2.15	1464.00	664.07	1428.42	14	0.36
2	4.47	1.90	1546.00	701.27	1335.21	11	0.28
3	4.33	2.04	1500.00	680.40	1388.02	20	0.51
4	4.70	1.72	1627.00	738.01	1267.90	13	0.33
5	4.10	2.31	1420.00	644.11	1489.83	10	0.25
6	5.17	1.43	1788.00	811.04	1155.73	15	0.38
7	4.27	2.10	1477.00	669.97	1409.61	12	0.30
8	3.97	2.50	1373.00	622.79	1556.98	15	0.38
9	4.53	1.86	1569.00	711.70	1320.20	17	0.43
10	4.80	1.64	1661.00	753.43	1237.88	25	0.64
11	4.67	1.74	1615.00	732.56	1276.13	21	0.53
12	4.23	2.15	1466.00	664.98	1430.37	18	0.46
13	4.10	2.31	1419.00	643.66	1488.78	19	0.48
14	4.17	2.22	1442.00	654.09	1454.04	16	0.41
15	4.97	1.53	1719.00	779.74	1194.56	22	0.56

**Fuente: Elaboración Propia**

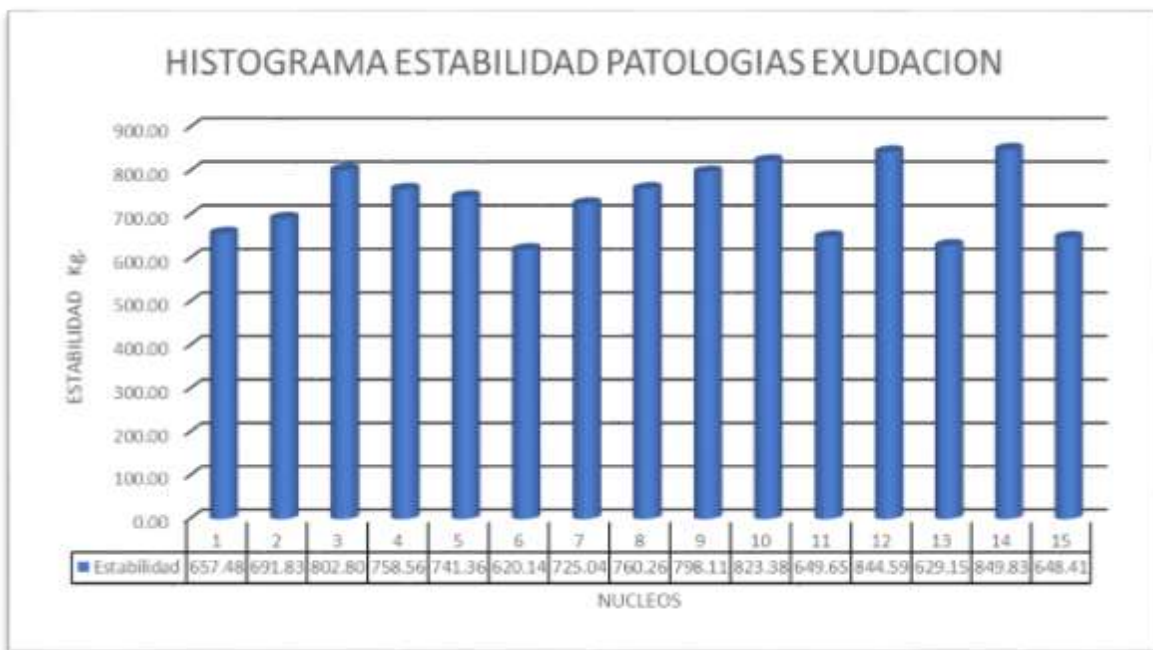
### **3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Luego del trabajo de campo y de laboratorio procedemos a analizar los resultados y a obtener las gráficas necesarias para llegar a una conclusión, que nos pueda ayudar a comprender, darnos un diagnóstico y una posible solución a los casos de patologías no habituales (exudación y Ampollas)

### 3.5.1 ANÁLISIS DEL TIPO DE PATOLOGÍA DE EXUDACIÓN

De este tipo de patología Exudación podemos sacar un histograma de la Estabilidad y de la Fluencia para ver comportamiento de las 15 muestras y así sacar un resultado.

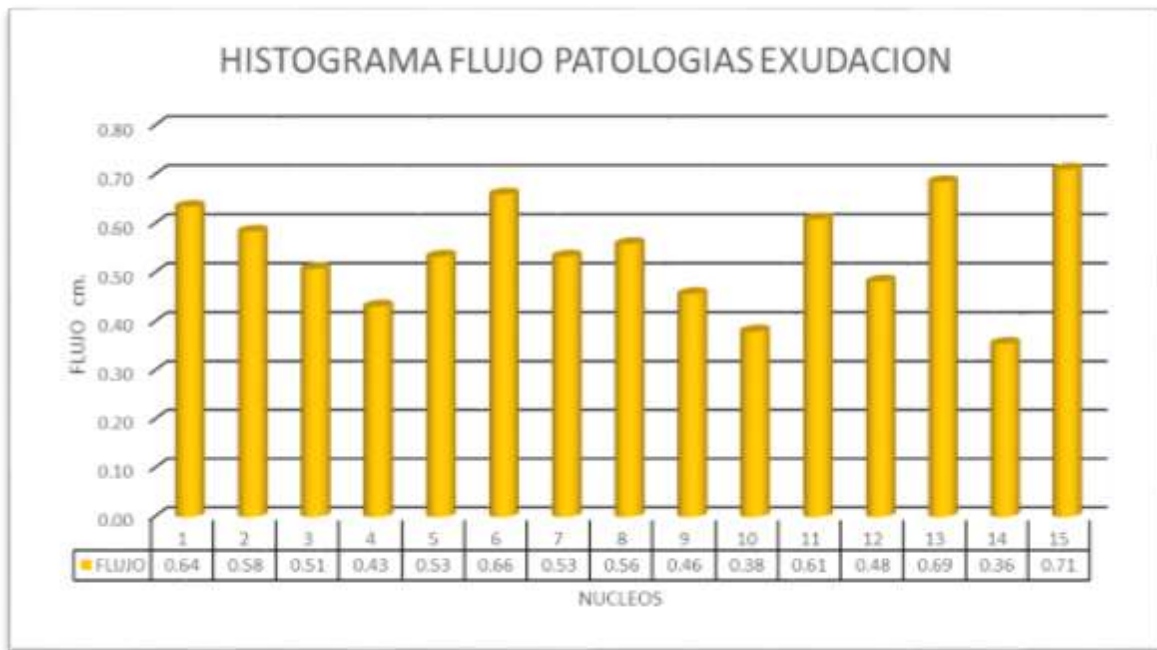
**Grafica 3.5.1.1 Histograma de la Estabilidad de la patología Exudación**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Grafica 3.5.1.2 - Histograma de la Flujo de la patología Exudación**





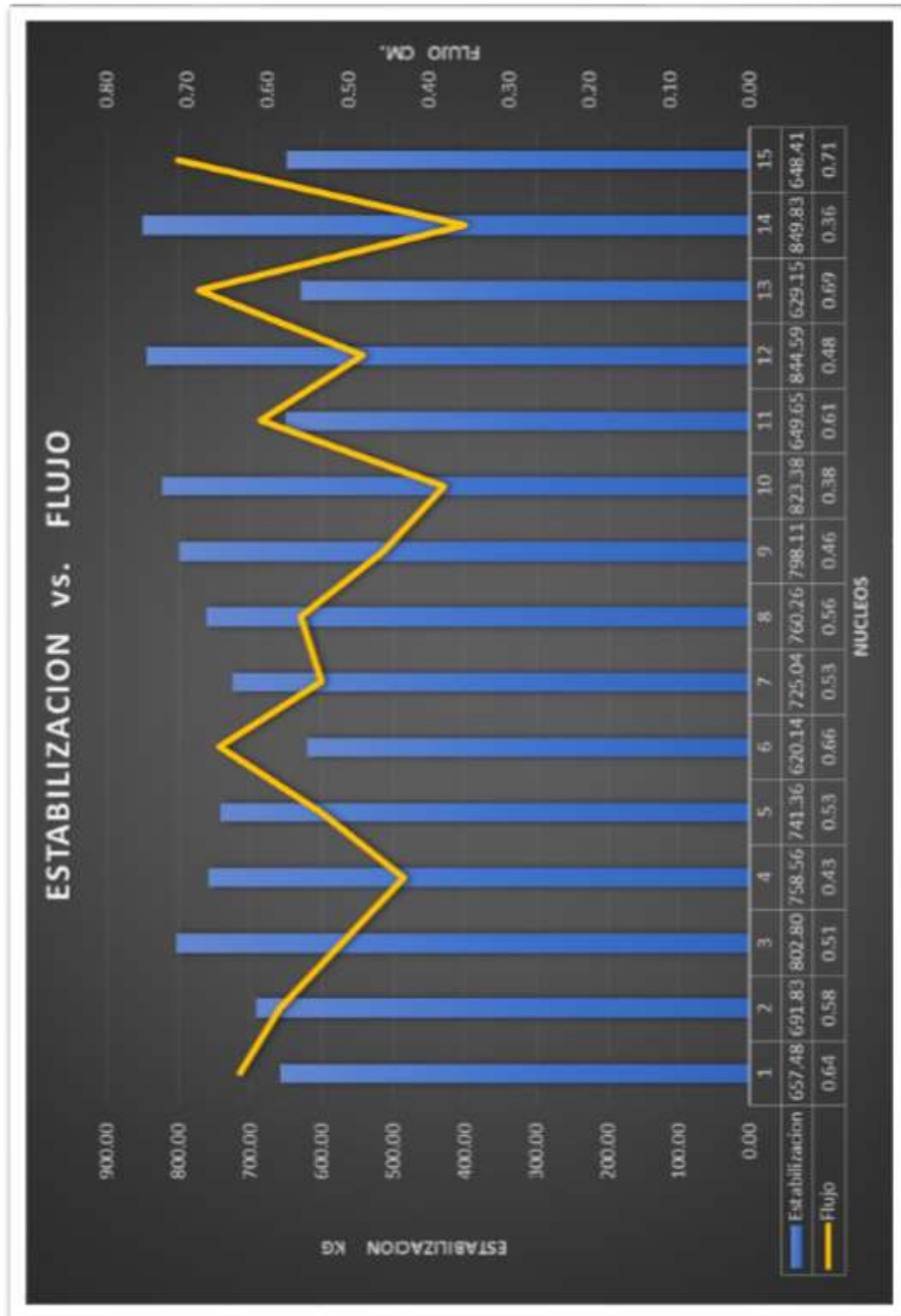
**Fuente: Elaboración Propia**

Luego de ver los tipos de histogramas procedemos a cursar la información realizando una gráfica de Estabilidad versus Flujo, de esta grafica podemos concluir que hay una tendencia a mientras mayor estabilidad hay menor flujo , lo cual demuestra que deformación plástica es frágil.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

Lo cual demuestra que nuestras fallas no tienen problema en su resistencia si no en la cantidad de % de vacíos .

**Grafica 3.5.1.3 - Comparaciones Estabilidad Y Flujo Patología Exudación**



Fuente: Elaboración Propia

**PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE EN LAS MESCLA COMPACTADA**

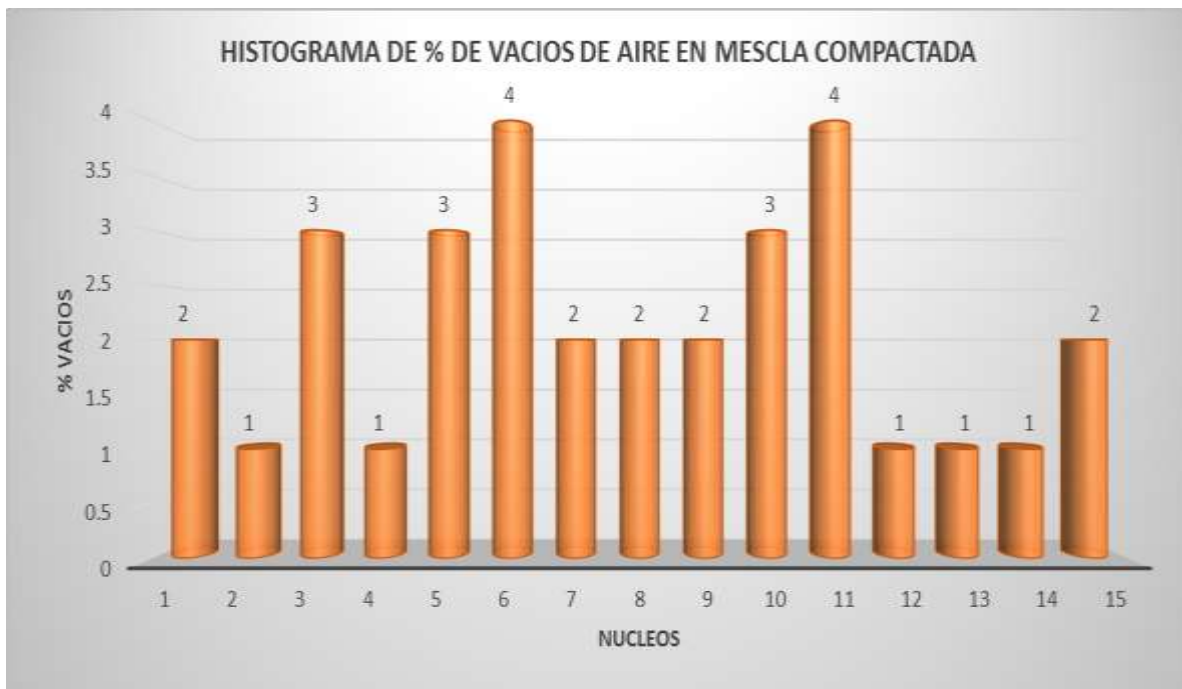
Es necesario calcular el porcentaje de aire alojado en la mezcla compactada, para así poder demostrar que uno de los causales de las patologías tipo Exudación es el poco % de vacíos, para lo cual procedimos a calcular de cada una de las muestras tomado como un peso específico teórico de 2.535 gr/cm<sup>3</sup>

**TABLA 3.5.1**  
**% DE VACIOS MESCLA COMPACTADA**

<b>PATOLOGIAS TIPO EXUDACION</b>							
<b>NUCLEO</b>	<b>Peso en:</b>			<b>Volumen cm3</b>	<b>Peso Especif. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Especif. Teorico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% Vacios aire mescla compactada</b>
	<b>Aire (gr.)</b>	<b>Agua (gr.)</b>	<b>S.S. (gr)</b>				
1	677.30	417.50	689.60	272.10	2.49	2.535	2
2	638.20	392.50	648.00	255.50	2.50	2.535	1
3	560.10	341.00	569.60	228.60	2.45	2.535	3
4	586.10	361.00	595.10	234.10	2.50	2.535	1
5	599.10	363.50	607.30	243.80	2.46	2.535	3
6	729.40	448.00	746.50	298.50	2.44	2.535	4
7	599.10	361.50	603.30	241.80	2.48	2.535	2
8	586.10	362.00	597.10	235.10	2.49	2.535	2
9	560.10	336.00	562.60	226.60	2.47	2.535	2
10	547.00	332.50	554.40	221.90	2.47	2.535	3
11	690.30	425.50	707.90	282.40	2.44	2.535	4
12	534.00	331.00	543.20	212.20	2.52	2.535	1
13	716.30	440.50	726.30	285.80	2.51	2.535	1
14	534.00	336.00	549.20	213.20	2.50	2.535	1
15	690.30	425.50	702.90	277.40	2.49	2.535	2

**Fuente: Elaboración Propia**

**Grafica 3.5.1.4 - Histograma de % de Vacíos De Aire En Mescla Compactada**



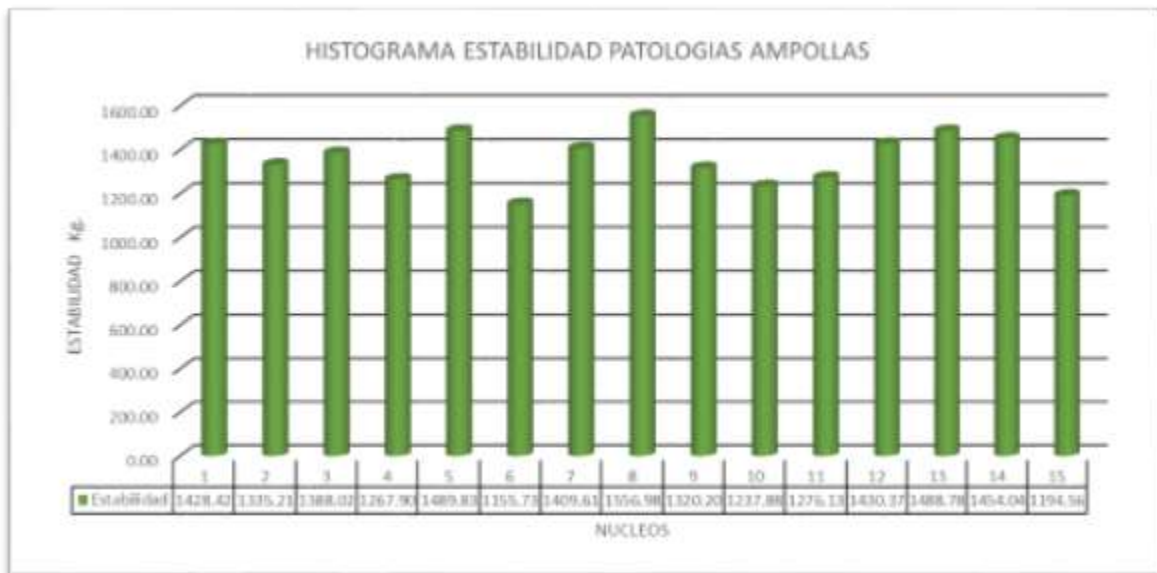
**Fuente: Elaboración Propia**

De este resultado podemos comprobar que cada una de nuestras muestras tiene un bajo porcentaje de vacíos, por lo cual el asfalto al no tener suficiente espacio para mezclarse con el agregado tiende a salir afuera, ósea exudar

### 3.5.2 ANÁLISIS DEL TIPO DE PATOLOGÍA DE AMPOLLAS O BLISTERS

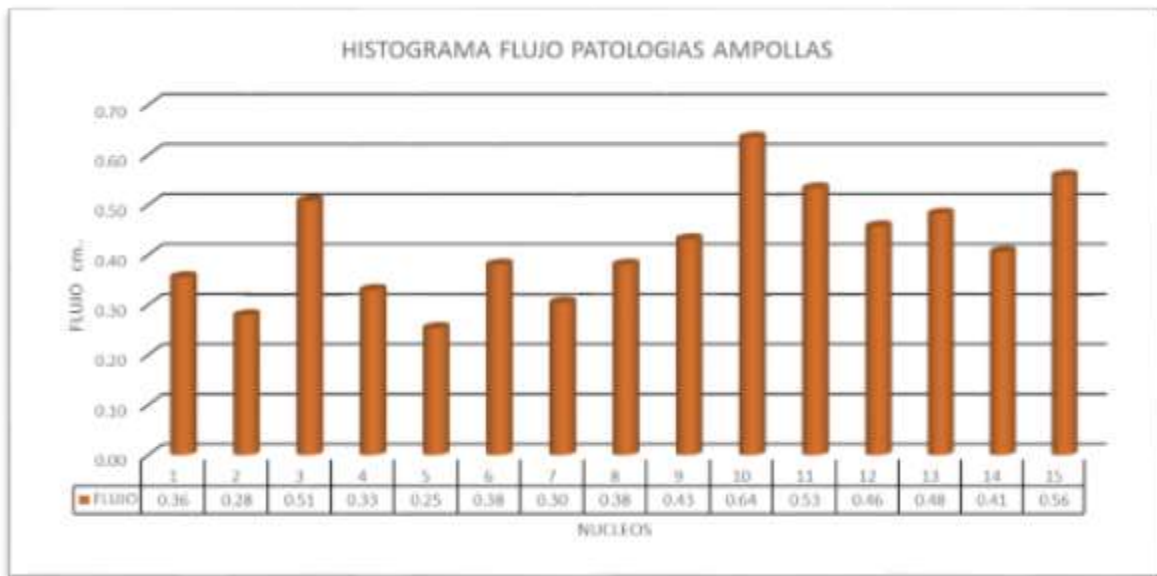
De este tipo de patología Ampollas o Blisters podemos sacar un histograma de la Estabilidad y de la Fluencia para ver comportamiento de las 15 muestras y así sacar un resultado y una conclusión.

**Grafica 3.5.2.1 - Histograma de la Estabilidad de la patología Ampollas**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Grafica 3.5.2.2 - Histograma de la Flujo de la patología Ampollas**



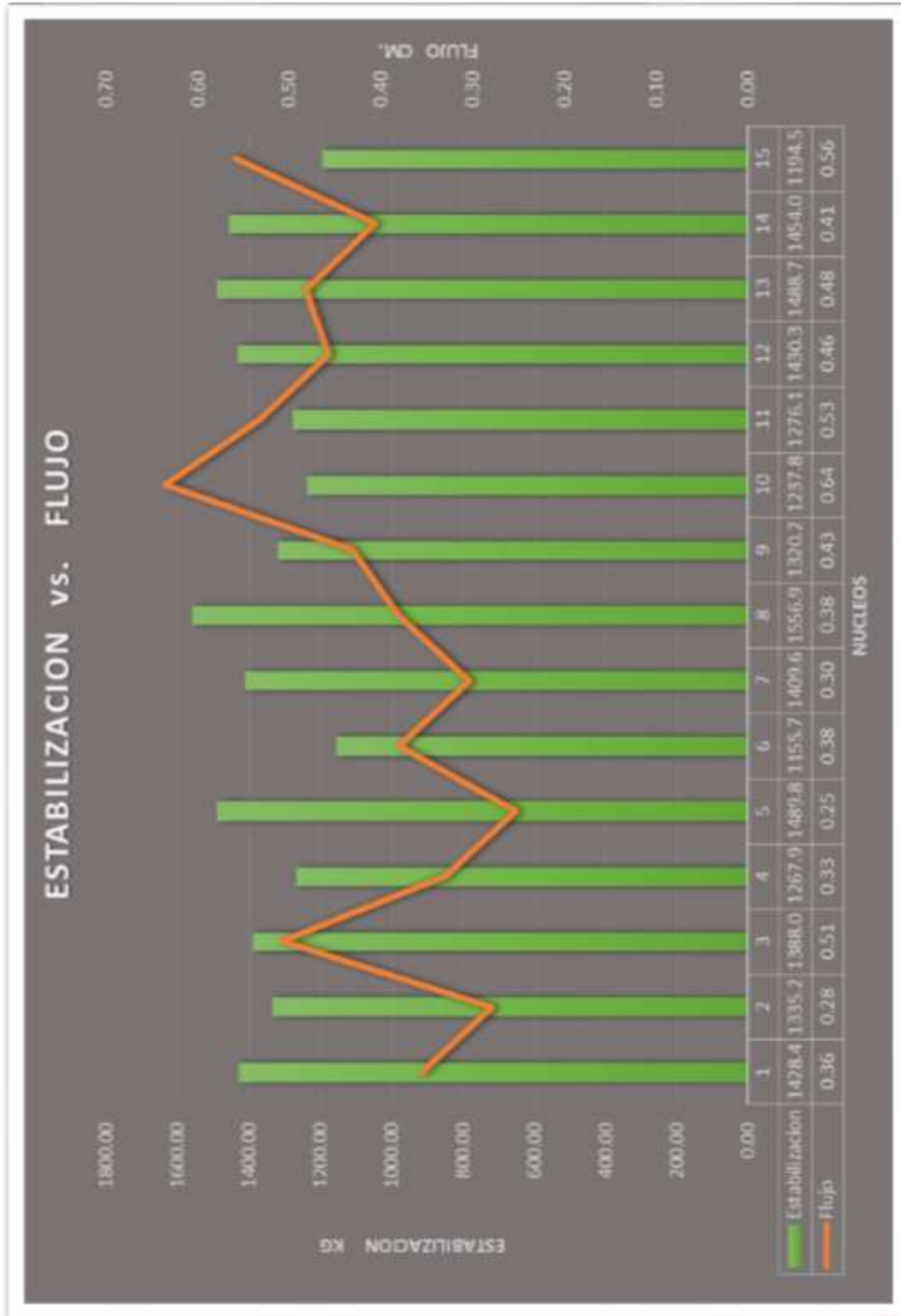
**Fuente: Elaboración Propia**

Luego de ver los tipos de histogramas procedemos a cursar la información realizando una gráfica de Estabilidad versus Flujo, de esta gráfica podemos concluir que hay una tendencia a mientras mayor estabilidad hay menor flujo, lo cual demuestra que deformación plástica es frágil.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

Lo cual demuestra que nuestras fallas no tienen problema en su resistencia si no en la falta de adherencia entra la capa de asfalto y paquete estructural .

**Grafica 3.5.2.3 – Comparaciones Estabilidad Y Flujo Patología Ampollas**



**Fuente: Elaboración Propia**

Para este tipo de patología también procedimos a calcular la presión crítica necesaria para que ocurra la falla. Realizamos mediciones de campo del diámetro de cada una de las

ampollas y conociendo el espesor de la capa de asfalto y otros valores ya mencionados líneas arriba como ser su módulo de elasticidad , coeficiente de Poisson y su energía de rotura a la adherencia procedimos a aplicar la ecuación para hallar su presión crítica de cada ampolla seleccionada para el estudio de este proyecto

**Ecuación 21:**

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{512 E h^3 \gamma_a}{3(1 - \nu^2)}} \frac{1}{(2a_0)^2}$$

**TABLA Grafica 3.5.2**

**Presión Crítica Ejercida En Las Fallas Tipo Ampollas**

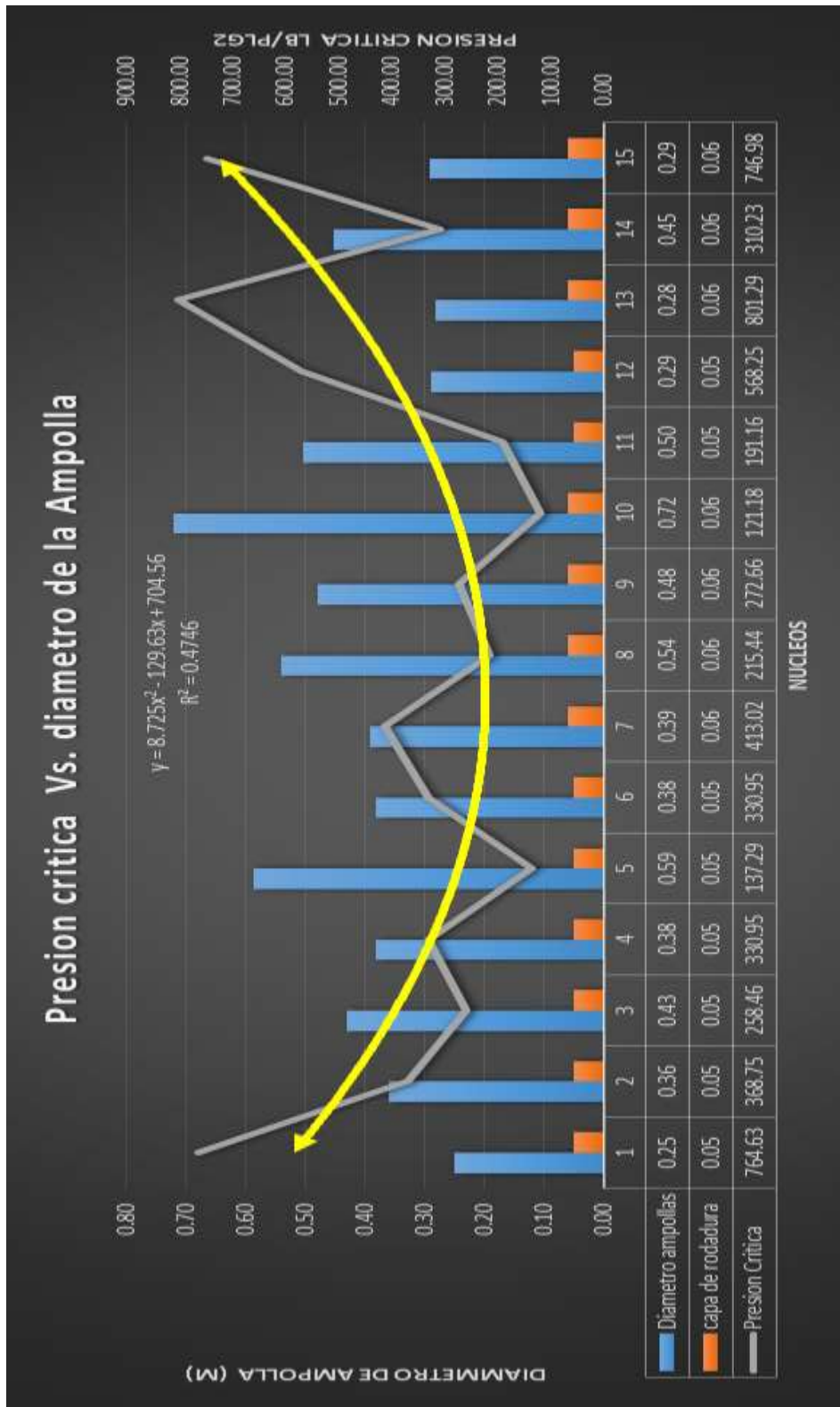
PRESION CRITICA							
NUCLEO	DIAMETRO	h	h	E	POSSION	Ya	Pcr
	2a0 (m)	m	plg	lb/plg2	v	lb/plg2	lb/plg2
1	0.25	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	764.63
2	0.36	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	368.75
3	0.43	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	258.46
4	0.38	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	330.95
5	0.59	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	137.29
6	0.38	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	330.95
7	0.39	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	413.02
8	0.54	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	215.44
9	0.48	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	272.66
10	0.72	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	121.18
11	0.50	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	191.16
12	0.29	0.05	1.97	870226.40	0.35	4.25	568.25
13	0.28	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	801.29
14	0.45	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	310.23
15	0.29	0.06	2.36	870226.40	0.35	4.25	746.98

**Fuente: Elaboración Propia**

Analizando los resultados obtenidos del cálculo de presión crítica y de la gráfica de cruzar la esta presión versus el diámetro de cada ampolla, podemos deducir que a mayor diámetro se necesita menor presión.

**Grafica 3.5.2.4 - Histograma de la Flujo de la patología Exudación**





Fuente: Elaboración Propia

### 3.6 DIAGNÓSTICO

Después de analizar los resultados y las gráficas de las distintas muestras de los 2 casos de patologías (Exudación y Ampollas) podemos llegar a los siguientes diagnósticos:

Patologías del tipo exudación.

- El principal motivo por el cual aparecen estas fallas o defectos son el exceso de cemento asfáltico y el poco porcentaje de vacíos.

Patologías del tipo Ampolla.

- El motivo Principal de la aparición de estas fallas es la falta de adherencia entre el asfalto y la capa base, generando pequeñas bolsas de aire que por efecto del calor se vuelven en vapor y al tratar de salir generan una presión hacia arriba fisurando el pavimento flexible

### **3.7 SOLUCIÓN**

La solución finalmente adoptada para ambos casos de patologías (Exudación y Ampollas) fue el fresado o remoción en todo el espesor de la calzada y la consiguiente repavimentación de las franjas de pavimento involucradas, respetando las reglas del buen arte relativas a bacheos y reparaciones superficiales y con un control riguroso, previo al tendido de la mezcla, de la extensión y la rotura de la emulsión bituminosa a utilizar como riego de liga con la capa inferior y con los bordes del pavimento cortado.

#### **3.7.1 PROCEDIMIENTO DE REPARACION**

- Se procederá a remover toda la superficie deteriorada hasta poder encontrar un suelo firme y denso.
- El suelo se escarificará 0.20 m y se compactará a objeto de proporcionar una superficie de apoyo homogénea.
- Se colocará material de relleno colocado en capas. En todo caso, el espesor máximo de la capa compactada será de 0.15 m para suelo fino (arcilla - limo); de 0.20 m para finos con granulares y de 0.30 m para suelos granulares.
- La compactación se realizará hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la del Proctor Modificado, o al 80% de la densidad relativa, según corresponda.
- Limpiar las paredes y el fondo de la zona removida mediante barrido enérgico y/o aire comprimido (presión mínima, 120 psi), hasta eliminar todas las partículas sueltas y el polvo
- Colocar el imprimante o liga, mediante escobillones u otros procedimientos que permitan un cubrimiento uniforme del fondo y paredes, a razón de 1.3 a 2.4 l/m<sup>2</sup>.

- Antes de colocar la mezcla asfáltica verificar que la imprimación haya penetrado al menos 10 mm en las bases granulares y que la emulsión para la liga haya quebrado.
- Extender y nivelar la mezcla asfáltica mediante rastrillos y colocar la cantidad justa y necesaria para cubrir toda el área por rellenar y dejarla 6 mm sobresaliendo del pavimento circundante. En los bordes recortar la mezcla dejando paredes verticales y retirar cualquier exceso.
- Compactar con rodillo manual o neumático, el desnivel en los bordes no debe sobrepasar los 3 mm.

### **3.8 PROPUESTA DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN**

Las medidas preventivas para evitar nuevas fallas como las presentadas, se relacionan con los causales que las provocaron:

Las medidas preventivas a tomar para el caso de falla tipo ampollas, son las siguientes:

- La superficie receptora del riego de liga debe estar limpia para ayudar a la adherencia intercapas y sin irregularidades que propendan a la formación de charcos de emulsión.
- Debe evitarse el riego bituminoso en jornadas frías y húmedas, y en horas cercanas al atardecer si las temperaturas son bajas.
- El riego debe esparcirse en forma homogénea y con la dotación adecuada.
- Previo a extender la mezcla es necesario corroborar el corte total de la emulsión y también que no se haya depositado suciedad sobre la misma.
- Tomar muy en cuenta, cuando no exista suficiente adherencia entre el material bituminoso y los agregados, deberá emplearse un aditivo de adherencia
- Un muy riguroso control en la conformación del paquete estructural, capa sub base y capa base.

Las medidas preventivas a tomar para el caso de falla tipo exudación, son las siguientes:

- Utilizar sólo combustible de probada calidad y eficiencia para la llama del quemador del tambor de la planta asfáltica y controlar el funcionamiento general de esta parte de la usina durante los procesos de elaboración de mezclas bituminosas.
- Verificar que el mejorador de adherencia se adicione en proporciones adecuadas; es decir, que el porcentaje a agregar sea el producto de ensayos (por ejemplo, el AASHTO 182

modificado, recomendado por la Comisión Permanente del Asfalto); y que se distribuya en forma homogénea para evitar ocasionales concentraciones en el seno del asfalto

- Practicar las reglas del buen arte en la distribución de los riegos bituminosos, cuidando los detalles para asegurar la homogeneidad y observando que la emulsión haya completado su proceso de rotura antes de efectuar la extensión de mezcla asfáltica.
- Puesto que las mezclas con mayor cantidad de ligante y menor porcentaje de vacíos son las más propensas a sufrir exudaciones, ya sea generalizadas o, como en este caso, localizadas, debería respetarse el porcentaje de ligante que se obtiene racionalmente en la dosificación tal que se cumpla con los parámetros físico-mecánico previstos. Lamentablemente, algunas especificaciones particulares indican un incremento de contenido de ligante respecto del determinado en la formulación o bien superar algún porcentaje mínimo, y en no pocas ocasiones las mezclas resultan excesivamente ricas en asfalto.

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Las patologías aquí exhibidas, que constituyen defectos prematuros en pavimentos flexibles, son ejemplos de irregularidades poco habituales, al punto de no citarse taxativamente en la gran mayoría de los catálogos de deterioros.
- El objetivo del trabajo fue identificar estas patologías no habituales, exudación y ampollas en pavimentos flexibles, para poder dar una posible solución y algunas medidas preventivas.
- En el caso patología tipo exudación podemos encontrar que cumplen con los ensayos de estabilidad y fluencia en las 15 muestras extraídas, su deformación Plástica, lo cual demuestra que la falla no se encuentra en su resistencia. Obteniendo valores arriba de las 1800 lb. Que por norma es un valor ideal y su valor de fluencia mayores a 14 plg. Podemos constatar de forma visual que de las 15 muestras extraídas para el tipo de patología exudación, existía una excesiva cantidad de cemento asfáltico,

**Fig. 4.1.1. Testigos extraídos: 1 sector Exudación; 2 sector “sano”**



**Fuente: Elaboración Propia**

**Fig. 4.1.2. Extracción de muestra de pavimento en área exudada**



**Fuente: Elaboración Propia**

Sacamos una muestra de un lugar sin fallas y podemos ver que el contenido de asfalto poco con respecto a los núcleos extraídos en lugares con este tipo de patología .

- En todo momento al tratar de sacar las muestras se nos dificultaba poder sacar una muestra completa por su alto contenido de asfalto , eran muestras muy deformables y sueltas.
- Calculamos el porcentaje de vacíos de mezcla compactada de las 15 muestras del tipo de patología exudación , ver tabla 14, comprobamos que la cantidad de vacíos es muy pobre o escasa, obteniendo un valor promedio de 2 % entre las 15 muestras ,y en norma nos recomienda que su porcentaje de vacíos se encuentre entre 3 y 5 % , lo cual al no encontrar espacio suficiente para que el asfalto pueda mezclarse con el agregado tiende a salir afuera , ósea exudar.
- De los resultados obtenidos de todos los núcleos sacados para la patología tipo exudación pudimos encontrar pocos o escasos porcentajes de vacíos y elevado contenido de asfalto.
- Para el tipo de patología tipo ampolla pudimos comprobar que su falla no se encuentra en su resistencia debido que a los 15 núcleos sacados aplicamos el ensayo de deformación plástica Marshall y obtuvimos valores altos mayores 1800 lb. Que por norma es un valor ideal.
- De forma visual pudimos comprobar que entre la carpeta asfáltica y la capa base, existía un vacío o muy poca o nada de adherencia entre estas capas.

- En varios lugares q sacamos la muestra se encontró que el asfaltado se realizó sobre algún tipo rodadura ya existente, como ser empedrados.
- Una de las causas se le atribuye a la falta de control durante las tareas inherentes al riego de liga entre la calzada y la capa de base.
- Otra casusa es a la ejecución en tiempo frio y húmedo,
- También es la distribución despereja con posibles encharcamientos e incompleta rotura de la emulsión.
- Además de no efectivizarse adecuadamente la adherencia en la interfase, al aumentar la temperatura el agua atrapada se volatiliza pero, por ser la carpeta de rodamiento impermeable, el vapor no puede escapar y comienza a ejercer una presión que puede vencer la resistencia de la capa superior, provocando deformaciones en forma de casquetes esféricos que derivan en fisuras y disgregaciones del material de la superficie, conformando una falla progresiva.
- Analizando los resultados obtenidos del cálculo de presión crítica ver tabla 15, podemos decir que las presiones están directamente proporcional al área de adherencia entre la capa de rodadura y la capa base ,
- En la fig. 73 se cruzó la esta presión versus el diámetro de las 15 muestras de tipo de patología ampolla, podemos deducir que a mayor diámetro se necesita menor presión.
- Como solución al tipo de patologías exudación solo tenemos lo que es extracción de las fallas y el parchado de las mismas , tomando en cuenta el porcentaje de vacíos adecuado y la cantidad de asfalto necesaria , de acuerdo a especificaciones.
- Como solución al tipo de patologías ampolla solo tenemos lo que es extracción de las fallas y el parchado de las mismas , tomando en cuenta mejor adherencia entre las capas de rodadura y capa base , de acuerdo a especificaciones.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que podemos dar después de haber analizado los dos tipos de patologías no habituales, exudación y ampollas son:

- Que en las fallas de exudación ampollas son deterioros de características irreversibles, que requieren una total reparación de las zonas afectadas.
- Efectuar un riguroso control de calidad en su reparación.
- Se recomienda tomar muy en cuenta el factor climático en el momento de ejecución o construcción del pavimento flexible.
- En el caso de patología tipo exudación utilizar el contenido de asfalto y porcentaje de vacíos adecuado según norma.
- En el caso de patologías tipo ampollas tomar en cuenta la adherencia entre capas.
- Control en el paquete estructural. Sobre todo en la capa base un tamaño adecuado a norma u especificación en su agregado
- Evitar la conformación de baches o encharcamientos en la capa base al momento de la imprimación para evitar futuros vapores de agua. Que generen las fallas tipo ampollas.
- Otras recomendaciones que se consideran importantes de enunciar: para casos como los presentados, los ingenieros de obra deben aceptar que la interconsulta profesional y la búsqueda de bibliografía, incluyendo la existente en la red informática, son herramientas tan útiles como los pliegos de especificaciones y los apuntes de las asignaturas con los cuales estudiaron durante su carrera.