

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. GENERALIDADES.**

Los pavimentos rígidos están constituidos en un alto porcentaje por agregados, por lo tanto estos no son menos importantes que el cemento y los aditivos por el contrario gran parte de las características de los pavimentos en estado endurecido dependen de las características y propiedades de los agregados, los cuales deben ser estudiadas para obtener concretos rígidos de buena calidad.

La variabilidad de los agregados ha sido estudiada en muchos países donde se han implementado para la construcción de obras civiles de importancia, siendo la principal de ellas la construcción de pavimentos de concreto, estas técnicas han ido evolucionando a través del tiempo en cuanto a las aplicaciones de diseños estructurales y diseño de mezclas de concreto.

Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia no deberían afectar desfavorablemente las propiedades del pavimento y que además garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del concreto.

De acuerdo con lo establecido una característica dentro de las propiedades que tienen los pavimentos de concreto rígido es el desgaste por abrasión que sufren los agregados producto del continuo esfuerzo que representa la circulación de vehículos y más aún los de transporte pesado.

Al hacer referencia del origen de los agregados podemos emplear diferentes criterios pero el camino que toma esta investigación descarta la clasificación según su origen (si el agregado es de origen sedimentario, ígneo, metamórfico o artificial), densidad, tamaño, forma o textura y simplemente establece una clasificación según el rango de calidad del agregado establecido por el ensayo del desgaste de Los Ángeles, en consecuencia a esto estudiaremos 5 tipos de agregados con un desgastes aproximados a 20%, 30%, 40%, 50%, 60%. Evidentemente no existen ni podría existir un sistema de clasificación de agregados que permitan predecir su comportamiento bajo la acción de las cargas del tráfico, ya que para ello se necesita tener conocimiento de condiciones intrínsecas del lugar donde se lo

aplicara, de las condiciones económicas que interfieren en su aplicabilidad, etc. Por ultimo en una construcción se tendrán algunas posibilidades (canteras) de utilizar un agregado y se tomara la decisión de utilizar una de ellas por economía, tiempo, idoneidad y distancia de acarreo en cercanía de la obra a la cantera, ahorro de energía y otros que en determinadas ocasiones pueden inclinar la decisión. Esto se puede evidenciar analizando que agregado se utiliza en obra, por ejemplo en Yacuiba se utiliza agregado de Yacuiba, en El Puente se utiliza agregado de El Puente, etc. Por tanto esta investigación será netamente ilustrativa y no así impositiva.

Una manera simple de tomar una decisión objetiva, de alguna posible influencia del desgaste de los agregados con la resistencia del hormigón por compresión simple y la flexión de vigas para pavimentos rígidos de tráfico pesado será el objeto de análisis que se desarrollara en el presente proyecto.

Es decir que cuando tenemos diferentes tipos de agregados a disposición del constructor, teniendo el dato de la característica del desgaste de los agregados, estos deberían corresponder a un grado de resistencia del pavimento sin variar la dosificación, curado, lugar de puesta en obra, condiciones ambientales, etc. Si se establece que a medida que la calidad del agregado decrece, y la resistencia por compresión simple del pavimento también lo hace o se mantiene constante se pueden establecer rangos, criterios, relaciones, decisiones y conclusiones; por lo contrario si para un agregado de baja calidad se encuentra buenas resistencias sin cambiar los cálculos de diseño se tendría que desechar esta formulación.

En el diseño y construcción de pavimentos rígidos para caminos de tráfico pesado, se cuenta con literatura acerca de los criterios de ejecución de pavimentos muy dispersa. Si bien existen reglas de diseño también existen gran variedad de problemas de dimensionamiento de espesores que podrían encontrar discusión de soluciones en las prácticas y ensayos como el que se tiene por objeto este análisis ingenieril.

## **1.2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA**

Como áridos para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o calizas sólidas y densas.

Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. No deben emplearse áridos que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas.

Tampoco deben emplearse áridos que contengan sulfuros oxidables (estos áridos pueden provenir de canteras que presentan vetas de pirrotina, marcasita o ciertas formas de pirita) dado el gran riesgo existente de que tales sulfuros se oxiden a largo plazo, lo que entraña un gran aumento de volumen y la consiguiente fisuración y cuarteamiento del hormigón.

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 4 mm y arena o árido fino a la menor de 4 mm.

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava.

En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general una mayor resistencia química.

Los áridos se oponen a la retracción del hormigón, tanto más cuando más resistentes son. En general la retracción disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo del árido.

### **La arena.**

Es el árido de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

### **La grava.**

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes del machaqueo.

Las buenas calizas no son rayadas por la navaja, la cual deja tan solo un ligero trazo sobre la superficie (densidad mayor de 2.6 y resistencia mayor de 100 N/mm<sup>2</sup>). Las que son rayadas por el latón (densidad menor de 2.3 y resistencia menor de 50 N/mm<sup>2</sup>) caen fuera de lo admisible. Entre ambas se colocan las que no son rayadas por el bronce. En todos los casos debe realizarse la prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco.

Una característica importante de la grava es su coeficiente de forma

1° La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados; o la tercera parte encofra por una sola cara o se trata de elementos prefabricados en taller; o los dos quintos en caso de losas superiores de forjados.

2° Los cuatro quintos de la distancia horizontal libre entre barras que no formen grupo o entre éstas y el encofrado, en el caso de barras horizontales o inclinadas a menos de 45° respecto a la horizontal; o los cinco cuartos, en el caso de barras verticales o inclinadas a más e 45° respecto a la horizontal.

La forma y la textura del agregado afectan las propiedades del concreto fresco más que el concreto endurecido. El concreto es más manejable cuando se usa agregado liso y redondeado en lugar de agregado rugoso angular o alargado. La mayoría de las arenas naturales y la grava de los lechos de los ríos son lisas y redondeadas y son excelentes agregados. La piedra triturada produce agregados mucho más angulares y alargados, que tienen una relación superficie-volumen más alta, mejores características de unión pero requieren más agua en la pasta de cemento para producir una mezcla más manejable.

La textura de la superficie del agregado puede ser lisa o rugosa. Una superficie lisa puede mejorar el proceso de trabajo, sin embargo, una superficie más rugosa genera una unión más fuerte entre la pasta y el agregado creando una mayor resistencia.

Aunque los agregados son más conocidos por ser rellenos inertes en concreto, las diferentes propiedades del agregado tienen un gran impacto en la resistencia, durabilidad, manejabilidad y economía del concreto. Estas diferentes propiedades del agregado permiten a los diseñadores y contratistas la mayor flexibilidad para cumplir con sus requisitos de diseño y construcción.

La prueba de abrasión de Los Ángeles es un método de prueba común utilizado para indicar la dureza del agregado y las características de abrasión. Las características de abrasión agregada son importantes porque el agregado constituyente en el pavimento rígido, debe resistir el aplastamiento, la degradación y la desintegración con el fin de producir un pavimento rígido de alta calidad.

La prueba de abrasión de L.A. mide la degradación de una muestra de agregado grueso que se coloca en un tambor giratorio con esferas de acero. A medida que el tambor gira, el agregado se degrada por abrasión e impacto con otras partículas de agregado y las esferas de acero (denominada "carga").

Una vez que se completa la prueba, la masa calculada de agregado que se ha separado a tamaños más pequeños se expresa como un porcentaje de la masa total de agregado. Por lo tanto, valores menores de pérdida de abrasión de L.A. indican un agregado que es más resistente y más resistente a la abrasión

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia del desgaste de los áridos mayores a 5 mm. Después de someterse al tambor giratorio, el peso del agregado que se retiene en un tamiz No. ° 12 (1.70 mm) se resta del peso original para obtener un porcentaje del peso agregado total que se ha descompuesto y pasado a través del Tamiz No 12 (1.70 mm). Por lo tanto, un valor de pérdida de abrasión de L.A. de 40 indica que el 40% de la muestra original pasó a través del tamiz No. 12 (1.70 mm).

Los agregados sufren un desgaste sustancial a lo largo de su vida. En general, deberían ser lo suficientemente duras y resistentes para resistir el aplastamiento, la degradación y la desintegración de cualquier actividad asociada, incluida la fabricación, almacenamiento, producción, colocación y compactación. Además, deben poder transmitir adecuadamente las cargas desde la superficie del pavimento hasta las capas subyacentes y finalmente, la subrasante.

Estas propiedades son especialmente críticas para el pavimento rígido, que no se benefician del efecto amortiguador del agregado fino y donde las partículas gruesas están sometidas a altos esfuerzos de contacto. Los agregados que no son suficientemente resistentes a la abrasión y al pulido pueden causar fallas estructurales prematuras y/o una pérdida de resistencia al deslizamiento

## **1.3. DISEÑO TEORICO**

### **1.3.1. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1.1. Situación problema**

Ante la necesidad creciente de contar con técnicas que permitan evaluar mejor el comportamiento del pavimento rígido bajo la acción del tránsito vehicular de alto tonelaje y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado formulaciones empíricas y experimentales sobre la posible influencia que existe entre la abrasión de los agregados con la resistencia del pavimento rígido.

Las técnicas experimentales para mejorar el desempeño de los pavimentos han sido ampliamente estudiadas. Sin embargo muchas de estas experiencias no han dado un resultado que consolide una teoría.

El problema surge en visualizar las diferencias en estas técnicas para luego establecer relaciones y poder implementarlos a una metodología de construcción de carreteras con pavimento rígido para tráfico pesado solo como referencia o comentario con la cual podamos predecir el futuro comportamiento resistente del concreto.

Por supuesto esto depende ampliamente de muchos aspectos como los materiales, mezclado, transporte, vaciado y curado; pero como se sabe los agregados conforman gran parte del conjunto y por esto es indiscutible el requerimiento de técnicas para avalar la calidad de estos.

Hasta el momento no hay una amplia discusión sobre la posible relación que puede existir entre la calidad del agregado y la resistencia del pavimento rígido

También está plenamente probado que los pavimentos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito sin implicar mucho la variación de los agregados; es decir que se tienen buenos y malos resultados aplicando los mismos agregados. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico (sobrepasados de los criterios de diseño), excesos de carga junto al incremento a la presión de inflado a las llantas y condiciones climáticas, hacen que se busque mejorar la calidad de los pavimentos por diversos métodos incluyendo el mejoramiento de la calidad de los

agregados y así optimizar inversiones, bajar costos de mantenimiento y alargar la vida óptima del concreto.

Por otro lado se plantea la necesidad de evaluar y comparar diferentes agregados y sus caracterizaciones y como este conjunto afectan en la resistencia del pavimento de concreto hidráulico, ya que no se cuenta con estudios que determinen cuál de estas, proporcionen mejores valores de resistencia a la flexión, al mismo tiempo la investigación trata de confirmar las ventajas de trabajo. Por lo tanto se trata de determinar cuál de los agregados es más factible.

### **1.3.1.2. Problema**

¿Qué influencia tiene el desgaste de los agregados en la resistencia del hormigón en pavimentos rígidos destinados al tráfico pesado?

### **1.3.2. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del desgaste de los agregados en la resistencia del pavimento rígido referido a la circulación de vehículos pesados, mediante ensayos que se desarrollan en el laboratorio, con la finalidad de reconocer claramente las variaciones de resultados.

#### **1.3.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar los efectos de variación de un rango de tipos de agregados triturados, en el comportamiento del pavimento, comparando los resultados de cada una de los ensayos que se realizaran por ejemplo peso específico del agregado grueso y fino vs resistencia del pavimento.
- Realizar las dosificaciones para cada tipo de agregado, para ver las variaciones de cantidades
- Realizar los precios unitarios por m<sup>3</sup> de hormigón simple, para realizar la comparación económica con cada uno de los agregados ensayados.
- Incluir los rangos de CBR recomendados en las capas del pavimento.
- Evaluar la calidad de los agregados triturados que generalmente se utilizan en la ciudad de Tarija por la “prueba del desgaste de Los Ángeles”, como dato de implementación para la investigación.

- Conocer las especificaciones técnicas de algunas obras de construcción de pavimento rígido que se construyeron en Bolivia, mismas que se encuentran en la página del sistema nacional de contrataciones (SICOES), esto con la finalidad de trabajar con esta misma resistencia de diseño, la cual esta normada por la Administradora Boliviana De Carreteras ABC.
- Comparar las caracterizaciones (peso específico de la grava y la arena, módulo de finura del agregado fino, granulometrías, desgaste de Los Ángeles) de cada uno de los tipos de agregados.
- Elaborar especímenes (vigas de 15x15x60) para realizar ensayos de flexión obtenidos.
- Elaborar probetas para realizar ensayos a compresión.
- Analizar y comparar los resultados en cuanto a la ruptura de los especímenes.

### **1.3.3. Hipótesis.**

Si buscamos varios tipos de agregados que se comercializan en las diferentes canteras utilizadas en la construcción de Tarija y luego realizamos el estudio detallado de cada uno de estos podemos establecer una relación entre el valor del desgaste que sufren los agregados de un pavimento a lo largo de su tiempo de vida útil con la resistencia de diseño del pavimento rígido.

Por ejemplo, se pueden establecer diferencias de capacidad de transitabilidad, luego de un cierto tiempo de uso entre dos carreteras en las que se diseñó el pavimento con las mismas variables, con la única diferencia de que se utilizó diferentes tipos de agregados, uno de mayor calidad que el otro.

Si esta investigación crea una relación entre la calidad del agregado y la resistencia del concreto se podrán evidenciar ciertas diferencias en el desempeño a lo largo de la vida de esta obra.

### 1.3.4. Definición de variables dependiente e independiente

#### 1.3.4.1. Variable dependiente

La variable que se considerara dependiente será la resistencia del hormigón por compresión simple y la resistencia a flexión que se logre alcanzar en las probetas y vigas con cada uno de los agregados con los que se harán los ensayos.

**Figura 1:** Distintos tipos de agregados que conforman la variable independiente



**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.3.4.2. Variable independiente

La variable independiente será cada una de las caracterizaciones de los agregados que se utilizaran para los ensayos. Y en si la variable independiente más importante para mi investigación es la calidad de los agregados representada por el ensayo del desgaste de Los Ángeles

$$\text{Resistencia de compresión y flexión} = F(\text{desgaste de los Ángeles})$$

A través del ensayo realizado en el laboratorio se puede concluir que el concreto presenta alta resistencia a la compresión, de la misma forma se pudo determinar qué tan resistente es el material cuando este es sometido a cargas axiales. Por otro lado se pudo ver que lo aprendido teóricamente es fácilmente aplicable en el laboratorio y partir de las ecuaciones aprendidas se pudo calcular el esfuerzo o resistencia del concreto cuando este es sometido a una fuerza de compresión.

Además se pudo obtener la máxima carga posible aplicada y por último se pudo concluir que no todos los materiales presentan la misma resistencia, esto nos indica que si un material tiene gran resistencia a la compresión es posible que tenga una baja resistencia a la tensión y viceversa.

Es por esto que es de vital importancia conocer las características de cada uno de los materiales al momento de ejecutar cualquier proyecto para así evitar cualquier tipo de

problemas que se puedan presentar debido a la falta de conocimiento del comportamiento de ellos.

### 1.3.4.3. Conceptualización de las variables

#### Variable independiente.

**Tabla 1:** Operación de la variable independiente

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
5 tipos diferentes de agregados	Son las propiedades intrínsecas de cada uno de los agregados naturales y artificiales	Tipo de evaluación	Experimental dentro del laboratorio.	Se realizara una serie de ensayos.
			Granulometría	Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T27)
			Peso específico y absorción del agregado grueso	Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)
		Tipo de propiedades	Peso específico y absorción de agregado fino	Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)
			Módulo de finura del agregado fino	Determinación del módulo de finura para las diferentes muestras ASTM C-125

	Determinación del tipo de agregado	Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358)
	Desgaste de los Ángeles	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles AASHTO T96
	Agregado grueso y fino	De diferentes canteras realizando ensayos para su aplicación
Mezclas de hormigón		Una sola clase de cemento (cemento “El Puente”).
	Cemento	Sin realizar ensayos para su aplicación puesto que la investigación no depende de esto

**Fuente:** Elaboración propia

### **Variable dependiente.**

**Tabla 2:** Operación de variable dependiente

<b>Variable</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor/acción</b>
Resistencia a compresión	Son las propiedades de resistencia ante las	Tipo de evaluación	Experimental dentro del laboratorio	Se realizaran ensayos.

simple de los concretos	fallas estructurales de la mezcla de pavimento asfáltico	Tipo de propiedad	Posible mejora de la resistencia de compresión simple del pavimento rígido	Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas AASHTO T22
			Resistencia de compresión de núcleos de la avenida Circunvalación	Toma de núcleos de hormigones endurecidos (AASHTO T24)
Resistencia a la flexión de vigas de concreto	Son las propiedades de resistencia ante las fallas estructurales de la mezcla de pavimento asfáltico	Tipo de evaluación	Experimental dentro del laboratorio	Se realizaran ensayos.
		Tipo de propiedad	Posible mejora en la resistencia a flexión del pavimento rígido	Resistencia a la flexión de las vigas de hormigón ASTM C78

**Fuente:** Elaboración propia

## 1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.4.1. Componentes

#### 1.4.1.1. Identificación del tipo de diseño de investigación

El presente trabajo es una investigación del tipo explicativo o causal; al ser este tipo de investigación se pretende establecer las causas de eventos, sucesos o fenómenos que se estudian. Como su nombre lo indica su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables; esto nos indica que el trabajo se enfocará en como afectara la calidad del agregado a las propiedades mecánicas de un pavimento rígido tomando en cuenta un tráfico pesado.

#### 1.4.1.2. Unidad de estudio

Desgaste de los agregados, los cuales tienen diferentes procedencias y calidad en cuanto a la abrasión que tiene como propiedad independiente.

Resistencia por compresión simple y resistencia a la flexión del hormigón de pavimento.

Aunque el agregado se considera relleno inerte, es un componente necesario que define las propiedades resistentes, flexionan tés, elásticas del hormigón y la estabilidad dimensional. La resistencia del agregado de compresión es un factor importante en la selección del agregado. Al determinar la resistencia del concreto normal, la mayoría de los agregados de concreto son varias veces más fuertes que los otros componentes del concreto y por lo tanto no son un factor en la resistencia del concreto de resistencia normal.

Los elementos que serán medidos son los siguientes:

Módulo de rotura a flexión ( $\text{Kg/cm}^2$ )

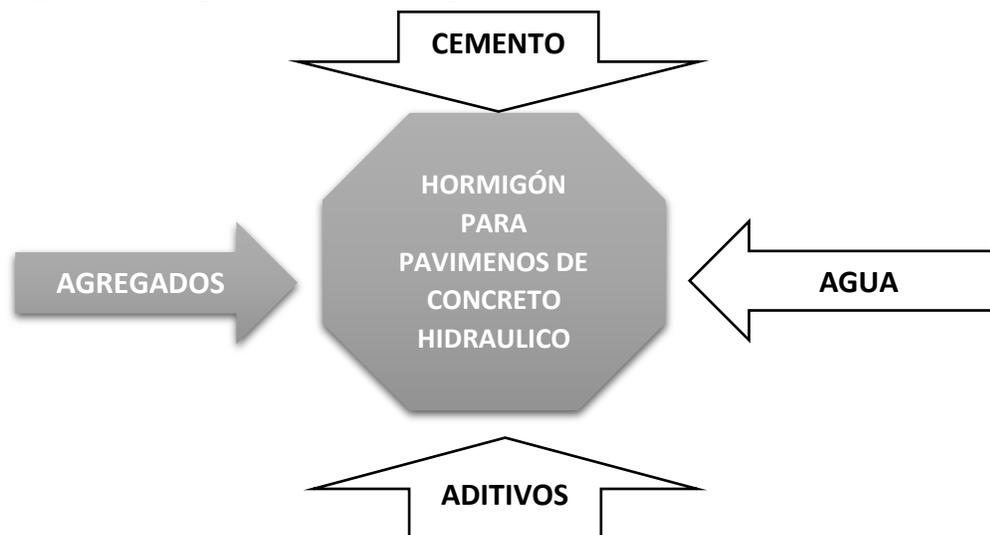
Módulo de rotura a compresión. ( $\text{Kg/cm}^2$ )

#### 1.4.1.3. Población y muestreo

Para la elaboración de los especímenes de prueba se utilizará agregados manufacturados provenientes de Lajas, chancadora de la ABC procedente de Entre Ríos, chancadora de la ABC de Bermejo, chancadora con procedencia de material de Colon y chancadora de Charaja. Los cuales posteriormente se comprobara con la realización de clasificaciones exhaustivas para que la finalidad de la investigación se conduzca por un buen camino.

Hormigón para pavimento de concreto hidráulico.

**Figura 2:** Componentes del hormigón y selección de los elementos a estudiar



**FUENTE:** Elaboración propia

## 1.4.2. Resistencias de diseño para las probetas y prismas

### 1.4.2.1. Rango de resistencia para compresión y flexión

Para obtener el rango de resistencia a la compresión y a la flexión con el que trabajaremos, utilizaremos las especificaciones técnicas de algunas obras de pavimentación rígida que se están desarrollando en Bolivia. Estas obras son realizadas por la Administradora Boliviana de Carreteras por lo que cumplen con la exigencia de ser aptas para el tráfico pesado.

**Tabla 3:** Resistencia de diseño de obras de pavimento rígido

Proyecto	Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días	Resistencia a flexión kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días
Construcción de pavimento rígido calle final José Antonio Tonelli. Gobierno Autónomo Municipal de Chuquisaca	210 Tipo A	37 a mayor
Contrato de rehabilitación y cumplimiento de estándares de la ruta 09 Santa Cruz – Trinidad – San Javier ABC	210 – 300 Tipo A – A1	37 a mayor
Conservación vial Camargo – El Puente – San Lorenzo – Tarija (Item: reemplazo de lozas) Administradora Boliviana De Carreteras	180 o mayor tipo B a mayor	30 a mayor
Conservación vial tramo Lp10: Viacha – Charaña Administradora Boliviana De Carreteras	180 a 300 tipo A – A1	37 a mayor
Conservación tramo Pt07 Kuchu Ingenio – Cotagaita Administradora Boliviana De Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor
Conservación tramo Pt11 Villazon Cañas – Limite departamental Potosí – Tarija Administradora Boliviana De Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor

Conservación tramo Pt08 Hornillos Tupiza Villazon / Hornillos Cotagaita Administradora Boliviana De Carreteras	210 tipo A a mayor	37 a mayor
Conservación tramo Potosí Uyuni Administradora Boliviana De Carreteras	210 tipo A a Mayor	37 a mayor
Mejoramiento vial de sectores puntuales el tramo Unduavi –Chulumani Administradora Boliviana De Carreteras	180 tipo B a mayor	30 a mayor

**Fuente:** Sistema de contrataciones estatales

**Resistencia a la compresión:** 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Promedio a la compresión:

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f'_{cr} = f'_c + 8.5$$

Donde:

$f'_{cr}$  = Resistencia promedio a la compresión (Mpa)

$f'_c$  = Resistencia especificada (Mpa)

Así se establece la **resistencia promedio es de 210 a 297 kg/cm<sup>2</sup>**

#### **1.4.2.2. Clases de resistencias para hormigón**

Las mezclas de hormigón serán dosificadas con el fin de obtener las siguientes resistencias características de compresión a los 28 días fijadas por la supervisión, basado en la Norma Bolivia y en las Administradora Boliviana De Carreteras y en función de la buena práctica de la ingeniería.

**Tabla 4:** Clasificación de resistencias para hormigones

<b>Clases de hormigón simple según Administradora Boliviana de Carreteras</b>	<b>Clases de hormigón simple según norma boliviana CBH 87</b>	<b>Resistencia característica cilíndrica de compresión a los 28 días</b>
P1 mayor o igual	H40	40 Mpa (400 kg/cm <sup>2</sup> )
P mayor o igual	H35	35 Mpa (350 kg/cm <sup>2</sup> )
A1 mayor o igual	H25	26 Mpa (260 kg/cm <sup>2</sup> )
A mayor o igual	H20	21 Mpa (210 kg/cm <sup>2</sup> )
B mayor o igual	H17.5	18 Mpa (180 kg/cm <sup>2</sup> )
C mayor o igual		16 Mpa (160 kg/cm <sup>2</sup> )
D mayor o igual		13 Mpa (130 kg/cm <sup>2</sup> )
E mayor o igual		11 Mpa (110 kg/cm <sup>2</sup> )

**Fuente:** Norma de la ABC

En casos especiales para estructuras de hormigón armado, se especificarán resistencias características cilíndricas mayores a 210 kg/cm<sup>2</sup> pero en ningún caso superiores a 300 kg/cm<sup>2</sup> excepto en hormigón pos tensado. Dichas resistencias deben estar controladas por ensayos tanto previos como durante la ejecución de la Obra. Los hormigones P y P1 se utilizarán en estructuras de hormigón pos tensado pudiendo especificarse para cada caso particular, las resistencias requeridas en los planos o en las Especificaciones Especiales.

Los hormigones tipo A1, A y B se usarán en las superestructuras de puentes y en infraestructuras de hormigón armado, excepto donde las secciones son macizas y están ligeramente armadas. Los hormigones depositados en agua serán también del tipo A y B, con 10 % más del cemento normalmente utilizado. Los hormigones tipo C y D se usarán en infraestructuras con ninguna o poca armadura o para la elaboración de hormigón ciclópeo. El tipo E se usará en secciones macizas no armadas o en la elaboración de hormigón de nivelación (hormigón pobre).

### **1.4.2.3. Hormigón tipo A**

#### **Preparación.**

El hormigón podrá ser preparado en el lugar de la obra. Si es elaborado en otro lugar, será rápidamente transportado para inmediata colocación. La preparación del hormigón en el lugar de la obra se realizará en hormigoneras de tipos y capacidades aprobados por la SUPERVISIÓN. Se permitirá una mezcla manual solamente en casos de emergencia, con la debida autorización de la SUPERVISIÓN y siempre que la mezcla sea enriquecida por lo menos con un 10% con relación al cemento previsto en el diseño adoptado.

En ningún caso la cantidad total de agua de mezclado será superior a la prevista en la dosificación, esta cantidad se mantendrá invariable para conservar la relación agua/cemento.

Los materiales serán colocados en la mezcladora, de modo que una parte del agua de amasado sea admitida antes que los materiales secos; el orden de entrada a la hormigonera será: parte del agua, agregado grueso, cemento, arena, y el resto del agua de amasado. Los aditivos serán añadidos al agua en cantidades exactas, antes de la introducción al tambor, salvo recomendación de la SUPERVISIÓN para usar otro procedimiento.

El tiempo de mezclado, contado a partir del instante en que todos los materiales hayan sido colocados en la hormigonera, dependerá del tipo de la misma y no deberá ser inferior a los tiempos descritos a continuación:

Para hormigoneras de eje vertical 1 minuto

Para hormigoneras basculante 2 minutos

Para hormigoneras de eje horizontal 1,5 minutos

La mezcla volumétrica del hormigón será preparada siempre para una cantidad entera de bolsas de cemento. Las bolsas de cemento que por cualquier razón hayan sido parcialmente usadas, o contengan cemento endurecido, serán rechazadas.

Todos los dispositivos destinados a la medición de los componentes utilizados en la preparación del hormigón, serán previamente aceptados y aprobados por la supervisión.

El hormigón deberá prepararse solamente en las cantidades destinadas para su uso inmediato.

**Transporte.**

Si la mezcla es preparada fuera de la obra, el hormigón será transportado al lugar de colocación, en camiones tipo agitador. El suministro del hormigón será planificado de modo que el hormigonado se realice constantemente, salvo que sea retardado por las operaciones propias de la colocación. Los intervalos entre las entregas de hormigón por los camiones a la Obra, deberán ser tales que no permitan el endurecimiento parcial del hormigón ya colocado y en ningún caso deberán exceder de 30 minutos.

A menos que la SUPERVISIÓN autorice por escrito, el camión mezclador dotado de hormigonera estará equipado con un tambor giratorio, impermeable y ser capaz de transportar y descargar el hormigón sin producir segregación.

La velocidad del tambor no será menor de dos ni mayor de seis revoluciones por minuto. El volumen del hormigón no deberá exceder el régimen fijado por el fabricante, ni llegar a sobrepasar el 80% de la capacidad del tambor. El intervalo entre el momento de la introducción del agua al tambor de la mezcladora central y la descarga final del hormigón en obra, no excederá de 90 minutos. Durante este intervalo la mezcla será revuelta constantemente, porque no se permitirá en ningún caso que el hormigón permanezca en reposo, antes de la colocación, por un tiempo superior a 30 minutos.

**Colocación.**

La colocación del hormigón sólo podrá iniciarse después de conocer los resultados de los ensayos de verificación de la dosificación presentada por el CONTRATISTA, que fue aceptada y aprobada por la SUPERVISIÓN.

Será necesario asimismo verificar si la armadura está colocada en su posición exacta, si los encofrados de madera, están suficientemente humedecidos y si del interior fueron removidos la viruta, aserrín y demás residuos de las operaciones de carpintería.

No se permitirá la colocación del hormigón desde una altura superior a dos metros, ni la acumulación de grandes cantidades de mezcla en un solo lugar para su posterior esparcido.

Las bateas, tubos o canaletas usados como auxiliares para la colocación del hormigón, deberán disponerse y utilizarse de manera que no provoquen segregación de los agregados.

Todos los tubos, bateas y canaletas deberán mantenerse limpias y sin recubrimientos de hormigón endurecido, lavándolos intensamente con agua después de cada trabajo.

El CONTRATISTA presentará al SUPERVISOR para aceptación y aprobación, el sistema de colocación del hormigón para cada caso, pero con mayor razón para aquellos donde las alturas para el colocado del hormigón sean importantes.

La colocación del hormigón bajo agua, se realizará únicamente bajo el control de la SUPERVISIÓN. Para evitar la segregación de los materiales, el hormigón se colocará cuidadosamente en su posición final, en una masa compacta, mediante un embudo o un cucharón cerrado de fondo movable o por otros medios aprobados, y no se deberá alterar después de haber sido depositado. Se tomará un cuidado especial para mantener quieta el agua en el lugar de colocación del hormigón, no se colocará directamente en contacto con agua en circulación. El método para depositar el hormigón debe regularse de modo que se obtengan capas lo más horizontales posibles.

Cuando se use un embudo, consistirá de un tubo de más de 25 cm de diámetro, construido en secciones con acoplamientos de brida provistos de empaquetaduras. Los medios para sostener el embudo serán tales, que se permita un libre movimiento del extremo de descarga sobre la parte superior del concreto y que pueda ser bajado rápidamente, cuando fuese necesario cortar o retardar la descarga del hormigón. El flujo del hormigón será continuo hasta la terminación del trabajo.

Cuando se coloque el hormigón con un cucharón de fondo movable, éste tendrá una capacidad superior a medio metro cúbico (0.50 m<sup>3</sup>). El cucharón descenderá gradual y cuidadosamente, hasta quedar apoyado en la fundación preparada o en el hormigón ya colocado, entonces será elevado muy lentamente durante el proceso de descarga.

Durante la operación se pretende mantener el agua tan quieta como sea posible en el punto de descarga y evitar la agitación de la mezcla.

Las operaciones de colocación del hormigón serán suspendidas cuando la temperatura del aire este en descenso, a la sombra y lejos de fuentes artificiales de calor, y baje a menos de 5°C, y no se reanudarán hasta que dicha temperatura del aire ascienda, a la sombra, y alejado de fuentes de calor artificial alcance a los 5°C.

Si existe una autorización escrita específica que permita la colocación de hormigón cuando la temperatura esté por debajo de la indicada, el CONTRATISTA proveerá un equipo para calentar los agregados y el agua, pudiendo utilizar cloruro de calcio como acelerador, previa autorización de la SUPERVISIÓN.

El equipo de calentamiento será capaz de producir un hormigón que tenga una temperatura de por lo menos 10°C, y no mayor de 32°C, en el momento de su colocación. El uso de cualquier equipo de calentamiento o de cualquier método, depende de la capacidad del sistema de calentamiento, para permitir que la cantidad requerida de aire, pueda ser incluida en el hormigón para el cual se hayan fijado tales condiciones. No se usarán métodos de calentamiento que alteren o impidan la entrada de la cantidad requerida de aire en el hormigón.

El equipo calentará los materiales uniformemente y se evitará la posibilidad de que se produzcan zonas sobrecalentadas que puedan perjudicar a los materiales. Los agregados y el agua utilizados para la mezcla, no deberán calentarse a una temperatura mayor a los 66°C. No se utilizarán materiales helados o que tengan terrones de materiales endurecidos.

Los agregados acopiados en caballetes podrán calentarse mediante calor seco o vapor, cuando se deje pasar suficiente tiempo para el drenaje del agua antes de llevarlos a las tolvas de dosificación. Los agregados no deben calentarse en forma directa con llamas de aceite o gas, ni colocándolos sobre chapas calentadas con carbón o leña.

Cuando se calienten los agregados en tolvas, sólo se permitirá el calentamiento con vapor o agua mediante serpentines, excepto cuando la SUPERVISIÓN juzgue que se pueden usar otros métodos no perjudiciales para los agregados. El uso de vapor pasando directamente sobre o a través de los agregados en las tolvas, no será autorizado.

Cuando se permita el uso de cloruro de calcio, dicho elemento se empleará en solución, y no deberá exceder de dos litros por cada bolsa de cemento, considerándose la solución como parte del agua empleada para la mezcla. La solución será preparada disolviendo una bolsa de 36 kg. del tipo II de cloruro de calcio concentrado, en aproximadamente 57 litros de agua, agregando luego más agua hasta formar 95 litros de solución.

Cuando el hormigón se coloque en tiempo frío y exista la posibilidad que la temperatura baje a menos de 5°C, la temperatura del aire alrededor del hormigón deberá mantenerse a 10°C, o más, por un período de 5 días después del vaciado del hormigón.

El CONTRATISTA será responsable de la protección del hormigón colocado en tiempo frío, teniendo presente que todo hormigón perjudicado por la acción de las heladas será removido y reemplazado por cuenta del CONTRATISTA.

Bajo ninguna circunstancia las operaciones de colocación del concreto podrán continuar cuando la temperatura del aire sea inferior a 2°C bajo cero.

La temperatura del hormigón de todas las estructura con excepción de losas para puentes y losas para cualquier otra estructura no deberá ser superior a los 32°C.

Cuando se coloque el hormigón en tiempo caliente, y exista la posibilidad que la temperatura del hormigón sea superior a los 32°C, el CONTRATISTA tiene la responsabilidad de proveer todo el equipo y otros recursos necesarios para controlar la temperatura del hormigón por debajo de los 32°C.

Algunas medidas que podrá adoptar el CONTRATISTA para controlar la temperatura de la mezcla del hormigón y para minimizar los efectos de la retracción térmica, pero que no deben ser consideradas limitativas, se describen a continuación:

- Resguardar los agregados bajo la sombra o en depósitos fuera de la incidencia directa de los rayos del sol.
- Resguardar bajo la sombra o enfriar constantemente los equipos de mezclado, transporte, bombeo u otro equipo que se utilice durante la producción y colocación del hormigón.
- Enfriar los agregados permanentemente con riego de agua.
- Enfriar el agua para la mezcla, refrigerándola o utilizando cubos de hielo como parte del agua componente de la mezcla. Los cubos de hielo deberán derretirse totalmente después de que se haya concluido el mezclado del hormigón.
- Hormigonar en periodo del día con temperaturas descendentes
- Utilizar cemento con temperatura no superior a 40 grados centígrados

**Consolidación del hormigón.**

La consolidación completa del hormigón dentro de los encofrados, se obtendrá mecánicamente utilizando vibradores del tipo y tamaño aprobados por la SUPERVISIÓN, con una frecuencia mínima de 3.000 revoluciones por minuto. Se permitirá una consolidación manual, solamente en caso de interrupción en el suministro de fuerza motriz a los aparatos mecánicos empleados y por un período de tiempo mínimo indispensable para concluir el moldeo de la pieza en ejecución, debiendo para este fin elevarse el consumo de cemento en un 10%, sin que sea incrementada la cantidad de agua de amasado.

Para el hormigonado de elementos estructurales, se emplearán preferentemente vibradores de inmersión, con el diámetro de la aguja vibratoria adecuado a las dimensiones del elemento y al espaciamiento de los hierros de la armadura metálica, con el fin de permitir su acción en toda la masa a vibrar sin provocar, por penetración forzada, la separación de las barras de sus posiciones correctas. No será permitido el esparcido del hormigón si no se dispone de vibradores. El empleo de vibradores externos de pared o contacto recibirá autorización de la SUPERVISIÓN y la ubicación en los encofrados será previamente estudiada y establecida.

La posición adecuada para el empleo de vibradores de inmersión es la vertical, debiendo evitarse su contacto con las paredes del encofrado y con las barras de armadura, así como su permanencia prolongada en un mismo punto, que ocasionaría segregación del hormigón.

La separación de dos puntos contiguos de inmersión del vibrador será al menos de 30 cm. En el hormigonado de losas y placas o piezas de poco espesor, se considera obligatorio el empleo de placas vibratorias.

**Curado y protección.**

El hormigón, a fin de alcanzar su resistencia total, será curado y protegido eficientemente contra el sol, viento y lluvia.

El curado continuará durante un período mínimo de siete días después de la colocación del hormigón. Para el hormigón pos-tensado, el curado proseguirá hasta que todos los

cables sean pos-tensados. En el caso de tesado por etapas, el curado tendrá una duración no menor que el tiempo de pretensado de todos los cables de la primera etapa. Si se usa cemento de alta resistencia inicial, ese período puede ser reducido.

Durante el periodo de curado, el CONTRATISTA mantendrá los elementos de hormigón permanentemente húmedos o cubiertos con agua. Los elementos más importantes serán cubiertos con arpillera o arena saturada para garantizar la humedad constante del hormigón o podrán utilizarse mantas de plástico para evitar la evaporación. El agua para el curado será de la misma calidad que la utilizada para la mezcla del hormigón. El curado por membranas puede utilizarse previa autorización de la SUPERVISIÓN.

El CONTRATISTA utilizará aditivos para controlar la pérdida de humedad de la mezcla de hormigón, para tal efecto, propondrá por escrito al SUPERVISOR el uso de aditivo indicando proporciones que utilizará en la dosificación que presente para cada tipo de hormigón, presentando además las características físico - químicas del fabricante.

#### **1.4.2.4. Validación por comparación con otros estudios.**

Se llevó a cabo una extensa investigación para reciclar el concreto de agregado de ladrillo demolido como agregado grueso. Para esto, se recogieron bloques de concreto demolido de 33 sitios de construcción diferentes de diferentes edades y se rompieron en pedazos como agregado grueso. Debido a la falta de disponibilidad de agregados de piedra en Bangladesh, la mayoría de las estructuras antiguas están construidas con ladrillos como agregado grueso, por lo que el agregado reciclado investigado en este estudio es diferente del agregado reciclado investigado en otros países, que en su mayoría son de piedra. Se probaron las propiedades del agregado reciclado, como la gravedad específica, la capacidad de absorción y la abrasión. Se realizaron más de 700 probetas de hormigón cilíndrico de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura con relaciones de agua a cemento de 0.45 y 0.55. Los especímenes de concreto se probaron a los 7, 14 y 28 días para determinar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y el módulo de Young.

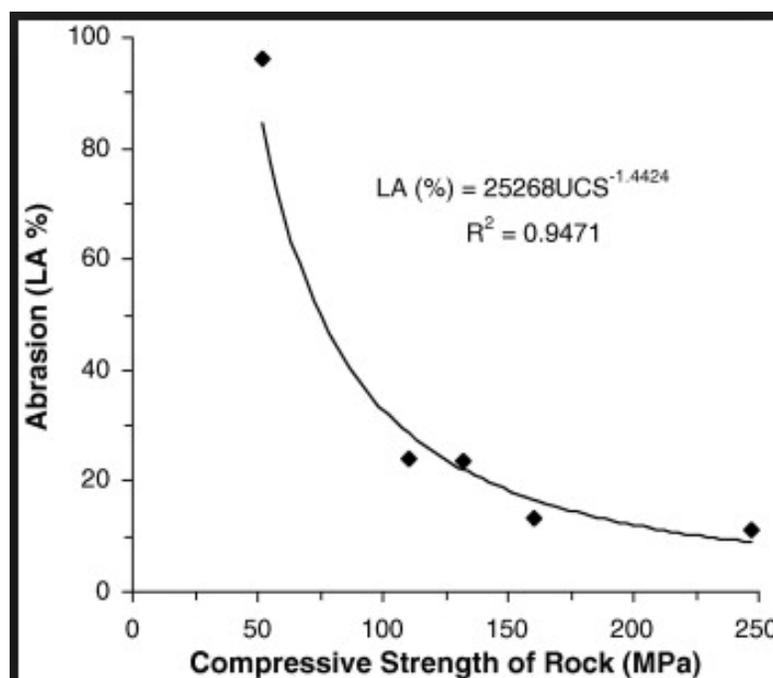
Los resultados se comparan con el agregado de ladrillos vírgenes. También se realizó un estudio ampliado sobre el reemplazo parcial (10-50%) del agregado de ladrillo virgen con agregado de ladrillo reciclado. Además, la resistencia in situ de una estructura antigua se

ha comparado con la resistencia a la compresión del concreto agregado reciclado hecho con el agregado reciclado recolectado de la misma estructura.

Con base en esta investigación, se revela que el agregado de ladrillo reciclado se puede usar como agregado grueso para hacer concreto con una fuerza de 20.7 a 31.0 MPa. Para el mismo diseño de mezcla, el concreto agregado reciclado produce una resistencia casi similar en comparación con el concreto de agregado de ladrillo virgen de primera clase comúnmente utilizado en Bangladesh. Sin embargo, se encuentra un rendimiento relativamente mejor del concreto agregado reciclado para  $W/C = 0.45$ . No se encontraron cambios significativos en la resistencia a la compresión del concreto hasta un 50% de reemplazo del agregado virgen por agregado reciclado.

Al reciclar, es posible hacer concreto con más fuerza en comparación con la resistencia in situ

**Figura 3:** Resultado de la investigación



**Fuente:** <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001043>

#### 1.4.3. Influencia de la forma del agregado (forma)

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los

machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general una mayor resistencia química.

#### 1.4.4. Lista de ensayos

Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358)

Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T27)

Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)

Determinación del módulo de finura para las diferentes muestras (ASTM C-125)

Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (AASHTO T96)

Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

Ensayo de resistencia a la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)

##### 1.4.4.1. Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos. La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarto del total de la muestra recibida. Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre 37.5 y 9.5 mm (1 1/2" y 3/8"). Se descarta el resto. El peso de la muestra dependerá del tamaño del árido.

**Tabla 5:** Peso según el tamaño de la muestra para encontrar el % de caras fracturadas

Tamaño del árido (pulg)	Peso (gr)
1 1/2" a 1"	2000
1" a 3/4"	1500
3/4" a 1/2"	1200
1/2" a 3/8"	300

**Fuente:** Norma del manual de carreteras de la ABC para hormigón

Se esparce la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario se debe lavar el árido sucio ya que eso facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.

Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de árido es redondeada presenta una fractura muy pequeña no se clasificara como partícula fracturada.

Una partícula se considerara como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada.

Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.

Se pesa las partículas fracturadas.

$$\% \text{de fracturas} = \frac{\text{peso de las partículas fracturadas}}{\text{peso de la muestra original}} \times 100$$

#### 1.4.4.2. Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T22)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

**Tabla 6:** Rango de valores para la granulometría.

**Grava y arena.-** Deben cumplir con las características de las tablas mostradas.

Tamiz n°	% que pasa	Tamiz n°	% que pasa
1½"	100	8	75 - 95
1"	35 - 100	16	55 - 85
½"	10 - 30	30	30 - 62
N° 4	3 - 5	50	5 - 26
4	95 - 100	100	3 - 7

**Fuente:** Norma del manual de carreteras de la ABC para hormigón.

### **1.4.4.3. Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)**

#### **Peso específico del agregado grueso**

Este método establece el procedimiento para determinar, el peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas determinando y registrando el porcentaje en masa seca por volumen de agregado.

#### **Peso específico del agregado fino.**

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y en peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 23 horas, expresado en un porcentaje en peso.

### **1.4.4.4. Determinación del módulo de finura de la arena (ASTM C-125)**

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumple con la norma ASTM C-125

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado (hasta el tamiz N}^\circ 100)}{100}$$

El por ciento retenido en cualquier tamiz no debe sobrepasar de 45%

La serie de tamices con tapa y bandeja para agregado fino son N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100

Una arena más fina corresponderá a porcentajes retenidos en los tamices de menor tamaño, y una arena gruesa tendrá un alto porcentaje retenido en tamices de abertura superior.

### **1.4.4.5. Método del desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASSHTO T96)**

Este dato es básico para la realización de este trabajo de investigación al ser este el que nos indica el desgaste que tiene al aplicarle una carga de abrasión que es una de las variables independientes de esta investigación y aplicaremos el ensayo “Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles AASHTO T96”

### Rango de desgaste de los agregados.

Con el afán de encontrar una relación visible de la investigación se tendrá que buscar agregados que tengan una amplia variación del porcentaje de desgaste y que deberán ser aproximadamente los valores que se muestran a continuación.

**Tabla 7:** Rango para la relación de desgaste

	Muy malo	60%
	Malo	50%
Desgaste generado	regular	40%
	bueno	30%
	Muy bueno	20%

**Fuente:** Elaboración propia

El método utiliza la Máquina de los Ángeles, y consiste en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que junto con cargas abrasivas (esferas) de una masa determinada y se le aplica un número determinado de revoluciones por minuto. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión (desgaste del material), y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra (seca) y la masa del material desgastado (seca) expresándolo como porcentaje inicial.

Tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior. Debe rotar a una velocidad entre 30 y 33 revoluciones por minuto. Debe tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Esferas (carga abrasiva). Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes distribuidas en un rango de 390 a 445 g.

Balanza. Con una capacidad superior a 10 Kg y una resolución de 1 g.

Tamices. Cumplirán lo especificado con la norma ASTM.

Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo. El tamaño original de la muestra (en Kg) debe ser igual o mayor que 2 veces el tamaño máximo nominal en mm y no menor que 50 Kg para los grados 1 al 5 y 25 Kg para los

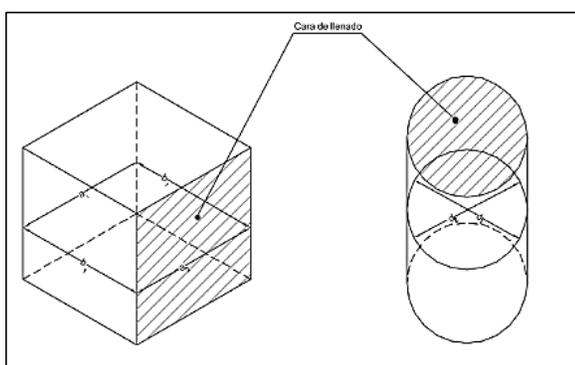
grados 6 y 7. Lavar la muestra y secarla hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Tamizar la muestra obtenida, de acuerdo con:

#### 1.4.4.6. Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensaye a la rotura por compresión de probetas cubicas y cilíndricas de hormigón. La prensa deberá cumplir con los siguientes requisitos. Acondicione las probetas para el ensaye según el método para romper las probetas si corresponde. Se mide los dos diámetros perpendiculares entre si aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta también se mide la altura de la probeta en dos posiciones distintas.

Se expresa estas medidas en milímetros con aproximación a 1 mm. Se determina la masa de la probeta. Se coloca la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de la placa. Se introducen los datos a la memoria de la prensa y se activa esta, para luego ver la lectura de las resistencias a compresión que se obtienen.

**Figura 4:** Esquema del ensayo de flexión para probetas prismáticas



**Fuente:** Elaboración propia

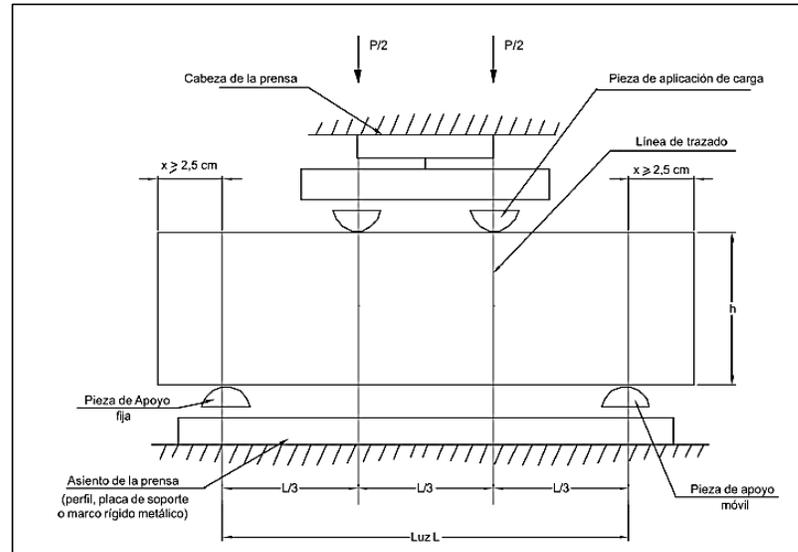
#### 1.4.4.7. Ensayo de resistencia a la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)

Este método establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas. Este método se aplicara para probetas de dimensión básica de 150 mm aplique cargas  $P/2$  en los límites del tercio central de la luz de ensaye.

Las probetas prismáticas que estaban sumergidas en agua por 28 días para su curado final, retírelas de esta inmediatamente antes de ensayar, protéjala con toallas húmedas hasta el

momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

**Figura 5:** Esquema del ensayo de flexión de vigas.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.4.5. Alcance.

La investigación se desarrolla en las prácticas de construcción que se desarrollan en Tarija más propiamente en la construcción de carreteras de pavimento rígido.

Por ejemplo se tomara en cuenta el pavimento que se utilizó en el asfaltado de la avenida circunvalación y además los posibles agregados que se tienen a disposición en las canteras de Tarija.

La consignación de esta investigación será la de poder encontrar agregados que nos muestren una relación clara entre la resistencia del pavimento rígido y la calidad del agregado, para ello se tendrá que encontrar tipos de agregados de mala calidad, agregados de muy buena calidad e intermedios.

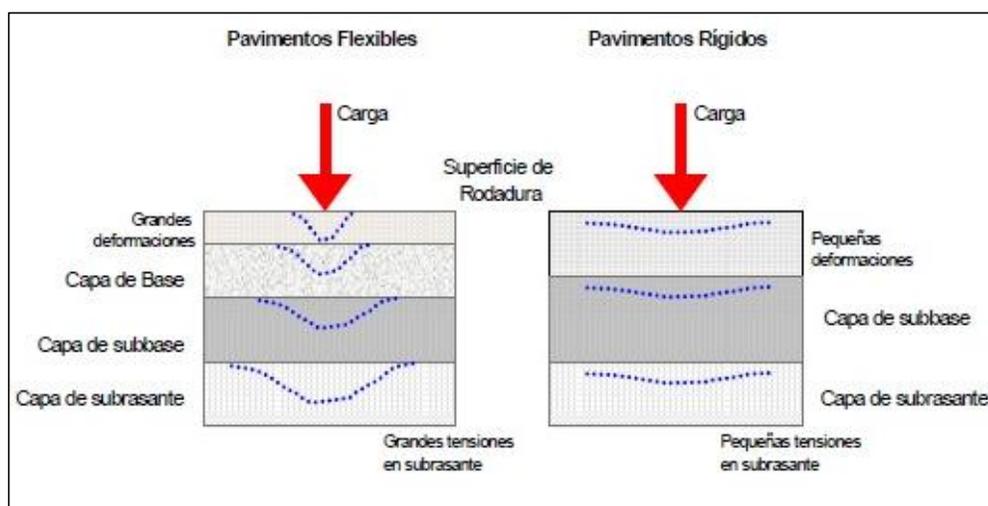
## 2. PAVIMENTOS RIGIDOS

Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno de la explanada. A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo, es transmitido hacia las capas inferiores.

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

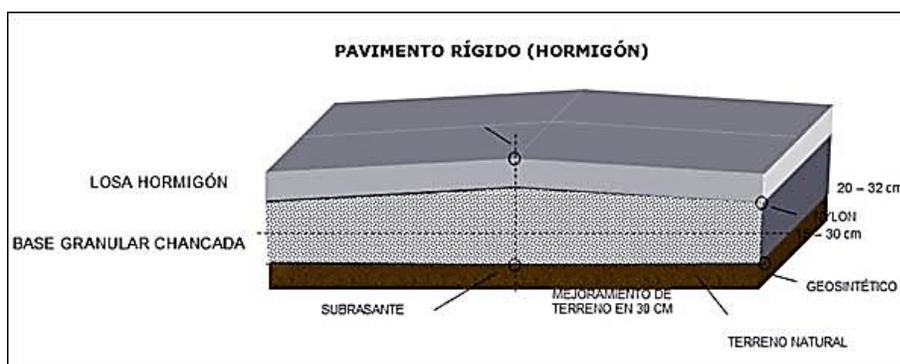
**Figura 6:** Diagrama de esfuerzos



**Fuente:** Reglamento interno de carreteras de Buenos Aires

Los pavimentos rígidos tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaran sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto.

**Figura 7:** Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido



**Fuente:** Artículo “Un grandioso paradigma carretero” de Ing. Juan Fernando González universidad Católica de Chile

Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la capa base que muchas veces puede ser también la capa sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto. Como se ve en la figura el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las caras sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa. Las ventajas de un pavimento radican en:

Velocidad en su construcción.

Mayor vida útil con alto índice de servicio

Mantenimiento mínimo.

No se deforma ni deteriora con el tiempo

Requiere menor estructura de soporte

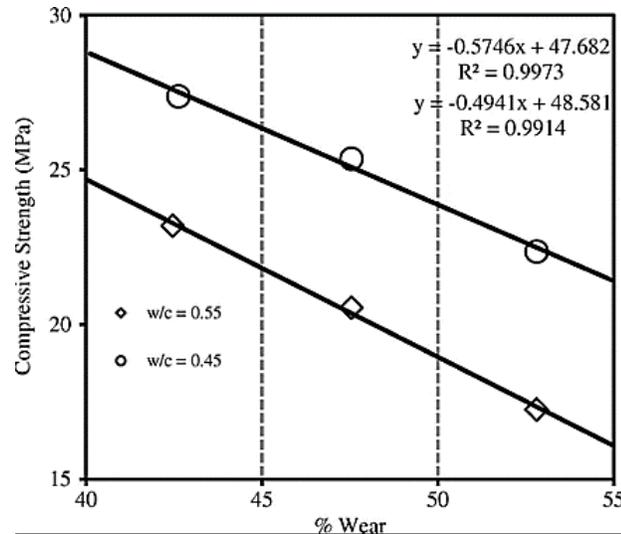
Para la elaboración de un pavimento de concreto es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento.

## 2.1. DESGASTE

Es el daño por la acción de partículas sólidas presentes en la zona del rozamiento. Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. Desgaste por abrasión: Indica la resistencia del agregado grueso al ser sometido a frotación con otro material de resistencia conocida o por frotación de las mismas partículas del agregado.

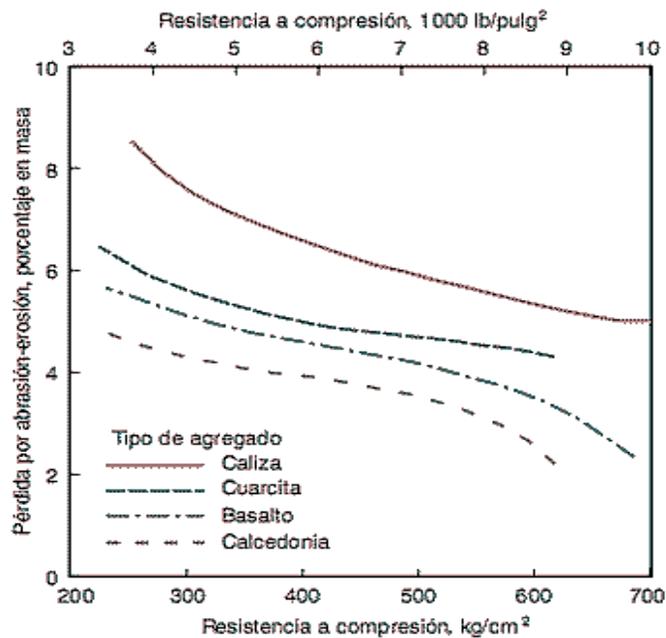
### 2.1.1. Relación desgaste resistencia (influencia)

**Figura 8:** Muestra los resultados de ensayos de resistencia a abrasión en concretos con diferentes resistencias a compresión y diferentes tipos de agregados.



**Fuente:** Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (AASHTO T96)

**Figura 9:** Muestra los resultados de ensayos de resistencia a abrasión en concretos con diferentes resistencias a compresión y diferentes tipos de agregados.



**Fuente:** Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (ASTM C 1138). (Liu 1981)

## 2.2. ENSAYOS.

### 2.2.1. Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarto del total de la muestra recibida.

Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre 37.5 y 9.5 mm (1 ½” y 3/8”). Se descarta el resto

El peso de la muestra dependerá del tamaño del árido.

**Tabla 8:** Peso según el tamaño de la muestra para encontrar el % de caras fracturadas

Tamaño del árido (pulg.)	Peso (gr)
1 ½” a 1”	2000
1” a ¾”	1500
¾” a ½”	1200
½” a 3/8”	300

**Fuente:** Norma del manual de carreteras de la ABC para hormigón

Se esparce la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula.

Si es necesario se debe lavar el árido sucio ya que eso facilitara la inspección y detección de las partículas fracturadas.

**Figura 10:** Inspección de granos con caras fracturadas



**Fuente:** Elaboración propia

Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas.

Si una partícula de árido es redondeada presenta una fractura muy pequeña no se clasificara como partícula fracturada.

Una partícula se considerara como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada.

Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos. Se pesa las partículas fracturadas

$$\% \text{de fracturas} = \frac{\text{peso de las partículas fracturadas}}{\text{peso de la muestra original}} \times 100$$

### 2.2.2. Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T22)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

**Tabla 9:** Rango de valores para la granulometría.

**Grava y arena.**- Deben cumplir con las características de las tablas mostradas.

Tamiz N°	% que pasa	Tamiz N°	% que pasa
1½"	100	8	75 - 95
1"	35 - 100	16	55 - 85
½"	10 - 30	30	30 - 62
N° 4	3 - 5	50	5 - 26
4	95 - 100	100	3 - 7

**Fuente:** Norma del manual de carreteras de la ABC para hormigón.

**Figura 11:** Distribución granulométrica “Colón”



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.3. Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)

#### Peso específico del agregado grueso

Este método establece el procedimiento para determinar, el peso específico aparente y el peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas determinando y registrando el porcentaje en masa seca por volumen de agregado.

**Figura 12-13:** Secado con toalla para obtener la condición saturada pero con superficie seca y sumersión para obtener el peso sumergido



**Fuente:** Elaboración propia

### Procedimiento.

1. Se procede a cuartear la muestra y coger de una sola diagonal las muestras
2. Esa muestra seleccionada se zarandea con la malla N° 4 y lo retenido corresponde al agregado grueso, para el agregado fino se utiliza el tamiz N° 100 así para obtener el adecuado en ambos casos.
3. Esta muestra se lava hasta alcanzar la transparencia del agua y luego se sumerge la muestra durante 24 horas.
4. Se saca la muestra del agua y en el caso del agregado grueso se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie (se deberá evitar la evaporación durante esta operación).
5. Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
6. La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.

**Figura 14:** Secado al horno



**Fuente:** Elaboración propia.

7. Se seca la muestra a temperatura constante y luego se deja enfriar y se pesa.

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y en peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 23 horas, expresado en un porcentaje en peso.

### **Peso específico del agregado fino.**

**Figura 15:** Volumen del agregado más volumen enrase hasta 500 ml



**Fuente:** Elaboración propia.

#### Procedimiento.

1. Se selecciona una muestra de 1000 gr que pueda ser obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.
2. Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme
3. Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en un molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía humedad la tensión superficial del agua entre partículas no permitirá que el molde de arena se deslice, entonces se

debe seguir secando y probando con el molde hasta ver la primera intención de desliz del agregado.

4. Se colocan 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se obtiene el peso del matraz lleno.
5. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante
6. Luego se saca del horno, se deja enfriar y se pesa.

**Figura 16-17:** Secado saturado pero con superficie seca y prueba iterativa de desmoronamiento en cono



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.2.4. Determinación del módulo de finura de la arena (ASTM C-125)**

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumple con la norma ASTM C-125

**Figura 18:** Fraccionado del agregado fino



**Fuente:** Elaboración propia.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado (hasta el tamiz N}^\circ 100)}{100}$$

$$= \frac{J+R+S+T+U+V}{100}$$

El porcentaje retenido en cualquier tamiz no debe sobrepasar de 45%

La serie de tamices con tapa y bandeja para agregado fino son N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100

### **2.2.5. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de Los Ángeles (ASSHTO T96)**

Este dato es básico para la realización de este trabajo de investigación al ser este el que nos indica el desgaste que tiene al aplicarle una carga de abrasión que es una de las variables independientes de esta investigación y aplicaremos el ensayo “Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles AASHTO T96”

### Rango de desgaste de los agregados.

Con el afán de encontrar una relación visible de la investigación se tendrá que buscar agregados que tengan una amplia variación del porcentaje de desgaste y que deberán ser aproximadamente los valores que se muestran a continuación.

**Tabla 10:** Rango para la relación de desgaste

	Muy malo	60%
	Malo	50%
Desgaste generado	regular	40%
	bueno	30%
	Muy bueno	20%

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 19:** Máquina de los Ángeles



**Fuente:** Elaboración propia

El método utiliza la Máquina de los Ángeles, y consiste en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que junto con cargas

abrasivas (esferas) de una masa determinada y se le aplica un número determinado de revoluciones por minuto.

El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión (desgaste del material), y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra (seca) y la masa del material desgastado (seca) expresándolo como porcentaje inicial.

Tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior  
Debe rotar a una velocidad entre 30 y 33 revoluciones por minuto.

Debe tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática  
Esferas (carga abrasiva). Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes distribuidas en un rango de 390 a 445 g

Balanza. Con una capacidad superior a 10 Kg y una resolución de 1 g.

Tamices. Cumplirán lo especificado con la norma ASTM

Horno. Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo

El tamaño original de la muestra (en Kg) debe ser igual o mayor que 2 veces el tamaño máximo nominal en mm y no menor que 50 Kg para los grados 1 al 5 y 25 Kg para los grados 6 y 7.

Lavar la muestra y secarla hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Tamizar la muestra obtenida, de acuerdo con:

Empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" No 4 y No 8 Dejar el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

**Tabla 11:** Elección de peso de la carga de abrasión

<b>Graduación</b>	<b>Nro. de esferas</b>	<b>Peso de la carga (gr)</b>
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
Numero de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

**Fuente:** Manual de carreteras de ABC para hormigones

Expresión de Resultados

Calcular el desgaste del pétreo como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P (\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100$$

Donde:

P = Pérdida de masa de la muestra (%)

M<sub>i</sub> = Masa inicial de la muestra (g)

M<sub>f</sub> = Masa final de la muestra (g)

### 2.2.6. Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cubicas y cilíndricas de hormigón.

La prensa deberá cumplir con los siguientes requisitos.

1. Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados

2. Tendrá un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta

**Figura 20:** Proceso de compresión



**Fuente:** Elaboración propia

3. Las superficies de aplicación de la carga son lisas y planas, y no se aceptaran desviaciones con respecto al plano a 0.015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
4. La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga será igual o superior a la arista o diámetro de la probeta.
5. La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
6. La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de  $\pm 1\%$  de la carga dentro del rango utilizable de la escala de lectura.
7. Se debe contrastar las prensas de ensaye, las de uso habitual por lo menos una vez al año y las de faena al inicio de la obra.
8. La prensa contara con dispositivos de regulación de la carga según lo especificado en el

**Figura 21:** Ensayo de compresión simple por la máquina de Los Ángeles



**Fuente:** Elaboración propia

Acondicione las probetas para el ensaye según el método para romper las probetas si corresponde. Se mide los dos diámetros perpendiculares entre si aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta también se mide la altura de la probeta en dos posiciones distintas.

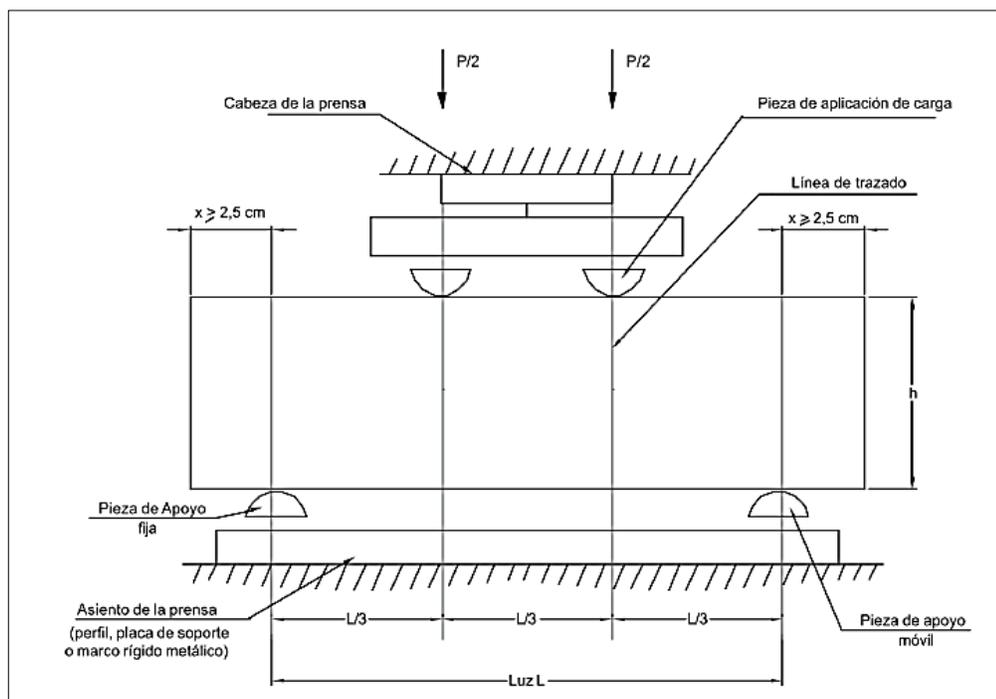
Se expresa estas medidas en milímetros con aproximación a 1 mm. Se determina la masa de la probeta. Se limpia la superficie de las placas y de las caras de ensaye de la probeta. Se coloca la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de la placa. Se introducen los datos a la memoria de la prensa y se activa esta, para luego ver la lectura de las resistencias a compresión que se obtienen.

#### **2.2.7. Ensayo de resistencia la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)**

Este método establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas. Este método se aplicara para probetas de dimensión básica de 150 mm aplique cargas  $P/2$  en los límites del tercio central de la luz de ensaye.

Las probetas prismáticas que estaban sumergidas en agua por 28 días para su curado final, retírelas de esta inmediatamente antes de ensayar, protéjala con toallas húmedas hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

**Figura 22:** Esquema del ensayo de flexión para probetas prismáticas.



**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3. ESPECIFICACIONES TECNICAS CONSTRUCCION DE PAVIMENTO RIGIDO

#### ITEM.- PAVIMENTO RIGIDO

**Unidad:** ( $\text{m}^2$ )

#### **Descripción.-**

Este trabajo consistirá en el colocado de pavimento de hormigón, con refuerzo, construido sobre una rasante compactada y capa base, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con las alineaciones, rasantes, espesores y secciones transversales típicas que serán ejecutadas cumpliendo estrictamente los planos de detalle y las instrucciones del Supervisor de Obras.

Además, este ítem se refiere a la ejecución de las juntas de dilatación en todo el ancho de la vía del espesor especificado en planos, al sellado de juntas, el curado, el colocado de

armadura y la protección con anti-sol, de acuerdo a los planos de diseño y/o instrucciones del Supervisor.

### **Materiales, herramientas y equipo.-**

El Contratista debe suministrar todos los materiales, herramientas y equipo necesarios para la fabricación y colocado del concreto en obra, considerando para este fin el transporte, colocado, vibración, protección, curado y aserrado de juntas. Para si obtener una estructura compacta de aspecto y textura uniforme, bajo la Supervisión de un Ingeniero de Obras.

El hormigón estará constituido por una mezcla homogénea de cemento Portland, armadura de construcción, Agregados, Agua y Aditivos si fuere necesario.

#### **a) Componentes del Hormigón.**

##### **Cemento.**

En general será utilizado el Cemento Pórtland Normal, definido por la Norma Boliviana N.B. 2.1-001 hasta N.B. 2.1-014. En ningún caso se deben utilizar cementos desconocidos o que no lleven el sello de calidad otorgado por el organismo competente.

Si las solicitudes exteriores, la colocación del hormigón fresco o la puesta en servicio de las estructuras, exigieran el empleo de cementos especiales, éstos deberán sujetarse a Normas ASTM.

El almacenamiento del cemento deberá realizarse de tal manera que quede protegido de la humedad. En caso de utilizar el cemento en bolsas, no se permitirá un almacenamiento en filas de más de 10 bolsas. El cemento con grumos que no pueda disgregarse con la mano, será rechazado.

Si por cualquier motivo el cemento fragua parcialmente o contiene trozos de cemento aterronado, debe ser rechazado. El cemento recogido de bolsas descartadas o usadas no debe ser empleado.

**Agregados.**

Los agregados finos para hormigón deberán adecuarse a las estipulaciones de ASTM C 33 y deben cumplir con los requerimientos de la tabla 1.

Los agregados gruesos deben adecuarse a los requerimientos de ASTM C33. La granulometría debe ser la indicada en el Tabla No 2.

El Supervisor de Obra, sobre la base del cuadro que se muestra a continuación, debe especificar el agregado que se suministrará. La gradación apropiada debe insertarse en el Tabla 3. Los porcentajes adoptados están marcados con asteriscos. Cuando los agregados disponibles localmente no pueden mezclarse económicamente para satisfacer los requerimientos de granulometría, los porcentajes pueden modificarse hasta estar de acuerdo con las características de los agregados disponibles localmente.

El porcentaje de desgaste no debe ser mayor a 40% cuando se prueba de acuerdo con el ASTM C 131 ó ASTM C 535.

No debe exceder el 40 por ciento. En algunos casos cuando no pueden conseguirse económicamente de esta calidad, pueden usarse agregados con un porcentaje más alto de desgaste si se ha demostrado un comportamiento satisfactorio de servicio de una obra durante por lo menos 5 años bajo condiciones de servicio y exposición. El Supervisor de Obra debe especificar la norma ASTM C131 para agregados más pequeños a 1 1/2 pulgadas (38.1 mm) y ASTM C535 para agregados más grandes a 3/4 de pulgada (19.05 mm).

Los agregados para la mezcla consistirán en piedras trituradas, grava triturada o no, escorias trituradas o arena natural. El agregado debe estar constituido por partículas sólidas, duras y durables y deben conformar con los requerimientos para sustancias deletéreas que se describen en ASTM C33. Los agregados de cualquier grupo de tamaño no deben contener más del 8% en peso de piezas planas o alargadas. Una partícula plana o alargada es la que tiene una proporción que excede 5 en 1 entre las dimensiones máximas y mínimas, de una prima rectangular circunscrito.

Los agregados a emplearse deberán estar libres de materias orgánicas. El contenido perjudicial de materia orgánica será determinado por el método de ASTM C40-33.

La grava debe estar exenta de arcillas y limos o barro adherido a sus granos. Se tolerarán las impurezas en los porcentajes máximos señalados a continuación, siempre que los cementos utilizados toleren su presencia.

<b>Materiales</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>
Fragmentos blandos	0%	5%
Arcilla en terrones	1.5%	0.25 %
Carbón y lignita	1%	1%
Material que pasa el tamiz N° 200	3%	1%

No serán permitidas impurezas que perjudiquen a la adherencia de la pasta de cemento, o alteren los procesos normales de fraguado y/o endurecimiento de él.

En el ensayo de "Los Ángeles", las gravas deben dar un desgaste menor al 40% después de 1 ½ minutos.

### **Agua.**

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

El agua usada en el mezclado o curado debe ser tan limpia como sea posible y libre de aceite, sal, ácidos, alcali-azúcares, vegetales, limos, arcillas y otras sustancias dañinas al producto acabado.

El agua será aprobada de acuerdo con los requerimientos de AASHTO T26. El agua que se sabe es potable, puede ser usada sin pruebas.

**Aditivos.**

En caso de ser necesario mejorar algunas de las propiedades del hormigón, se permitirá el uso de aditivos, después de que la Empresa Constructora los haya justificado con la documentación necesaria, experiencias anteriores y ensayos realizados en un laboratorio autorizado. Sin embargo solo será permitida la utilización de incorporadores de aire que pueden ser del Tipo Fro - be, que batido con el hormigón fresco en dosis recomendadas por el fabricante incorporen a la masa un volumen del aire comprendido entre el 3 y el 6%. Se tomará esta decisión solo en razón de que la zona está sujeta a acciones de heladas continuas en época de invierno, por lo que la incorporación de aire permitirá al hormigón contener minúsculas cámaras de expansión.

En todo caso su uso se hallará sujeto a la aprobación y a un cuidadoso control técnico por parte del Supervisor de Obra.

**Pasajuntas.**

El acero debe tener la sección y tipo que se establecen en los planos, en general para las barras de acero, se deberá tener en cuenta las siguientes características:

Las barras de acero no deben tener oxidación exagerada, será exento de grasas, aceites, asfaltos, material plástico, látex o cualquier película junto al acero.

Las barras no deben presentar defectos superficiales, grietas ni sopladuras. Las barras con irregularidades, rajaduras, torceduras, cambio de sección serán desechadas.

Se debe almacenar clasificado por tipo, diámetro bajo cubierta y sobre plataformas que estén separadas del suelo.

Este material a utilizarse, debe satisfacer los requisitos de las especificaciones proporcionadas por la Norma Boliviana con límite de fluencia mínima de 4200 (kg/cm<sup>2</sup>).

Se considerará como límite elástico del acero, el valor de la tensión que produce una deformación remanente del 0.2%.

Las barras transversales deben ser de acero liso y deben estar libres de rebabas u otras deformaciones que restrinjan su deslizamiento en el hormigón. Antes de su entrega a la obra, el largo de cada barra debe ser pintado con pintura Anticorrosiva.

Las barras longitudinales deben ser de acero corrugado. Antes de su entrega a la obra, la mitad del largo de cada barra debe ser recubiertas de plástico PVC, no se requiere la capa de pintura a no ser que se lo especifique para alguna condición particular.

#### **b) Características del hormigón.**

Después de la determinación detallada de las características físicas y mecánicas de los componentes, realizada por un Laboratorio autorizado, la dosificación de hormigones deberá realizarla el contratista utilizando métodos aprobados por el Supervisor de Obra, con posterioridad a la preparación de las mezclas de prueba y verificadas sus características mecánicas, se ajustarán en obra las proporciones de los materiales utilizados, con la expresa autorización del Supervisor de Obra. Deberá cuidarse expresamente la humedad superficial libre de los agregados a fin de no variar la relación agua - cemento determinada en el Laboratorio.

#### **Contenido unitario de cemento.**

En general el hormigón contará con la cantidad necesaria de cemento para obtener mezclas compactas, con la resistencia especificada, la trabajabilidad exigida y que sea capaz de asegurar la protección de las armaduras.

#### **Consistencia.**

De la mezcla será tal, que en el ensayo de un asentamiento comprendido La consistencia de la mezcla será determinada mediante ensayo de asentamiento empleando el Cono de Abrahams como la específica AASHTO T 119. La empresa constructora deberá tener en la obra un Cono Standard para la medida de los asentamientos cuando así lo requiera el Supervisor de Obra.

La consistencia estará comprendida entre 0.50" y 2.00".

**Relación Agua - Cemento en peso.**

La relación agua - cemento se determinará en cada caso basándose en los requisitos de resistencia y trabajabilidad, pero en ningún caso deberá exceder de 0.51

**Resistencia mecánica del hormigón.**

Con anterioridad a la iniciación de las operaciones de pavimentación y después de la aprobación de todos los materiales que serán usados en el hormigón, el Contratista, con la aprobación del Supervisor de Obra, determinará las proporciones de los materiales que serán usados para producir la Resistencia a la compresión y flexión especificada.

La calidad del hormigón estará definida por su resistencia a la compresión no será menor a 210Kg /cm<sup>2</sup> a los 28 días de edad.

Los ensayos necesarios para determinar la resistencia de rotura se realizarán sobre probetas cilíndricas normales de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, en un laboratorio de reconocida capacidad.

El contratista deberá tener hasta un máximo de cuatro probetas y un mínimo de dos de las dimensiones especificadas para cada prueba solicitada por el supervisor y como lo señalen las especificaciones particulares del ítem en cuestión.

Durante la ejecución de la obra se realizarán ensayos de control, para verificar la calidad y uniformidad del hormigón.

Durante el transcurso de la obra se tomarán por lo menos seis probetas en cada vaciado y cada vez que así lo exija el Supervisor de Obra, pero en ningún caso el número de probetas deberá ser menor a tres por cada 10 metros cúbicos de concreto, en todo caso serán las características propias del vaciado y la instrucción de la Supervisión que normalice esta actividad.

Queda establecido que es obligación del contratista realizar ajustes y correcciones en la dosificación, hasta obtener los resultados que correspondan. En caso de incumplimiento

del Supervisor de Obra dispondrá la inmediata paralización de los trabajos o el rechazo de los trabajos ejecutados.

### **Curado, aserrado y sellado de juntas.**

Para la aplicación del curado se utilizara antisol normalizado. Para evitar la evaporación del agua de la mezcla se usara manto plástico en toda el área de intervención y una cinta protectora para impedir el ingreso de vehículos y peatones.

Para el aserrado y sellado de juntas se emplearan discos de corte para realizar las juntas de contracción a una profundidad de 1/3 del espesor del pavimento.

También puede construir las juntas, insertando por vibración una pletina en el hormigón fresco. El espesor de la pletina es de 4 a 6 mm. Introducida a una altura de 1/3 del espesor del pavimento. Una vez retirada la pletina vibradora se introducirá una tablilla no absorbente, generalmente del tipo fibro-cemento o de otro material que no reaccione con el hormigón. Esta deberá ser consultada y aprobada por el Supervisor de Obras.

Para el sellado de juntas puede utilizarse asfalto o siliconas.

### **Procedimiento para la ejecución.**

#### **c) Métodos de construcción.**

##### **Equipo.**

El equipo y las herramientas necesarias para el manejo de materiales y el desarrollo de todas las partes del trabajo deben ser aprobados por el Supervisor de obra, en cuanto a su diseño, capacidad y condición mecánica. El equipo debe estar en el lugar de las obras antes del comienzo de las operaciones de construcción, para su examen y aprobación.

El equipo para preparar la mezcla, colocación, terminación y curado del pavimento, deberá encontrarse en óptimas condiciones de trabajo en el sitio de la obra.

**Reparación de la capa subyacente.**

Todo el material en exceso deberá ser removido y si se encuentra que el nivel está más bajo que el debido, las depresiones deberán ser rellenadas con material aprobado, procediéndose a compactarlo completamente por medio de aplanadoras o apisonadoras a mano hasta que se tenga la debida sección transversal.

Las operaciones descritas más arriba no se refieren a la operación normal de subgradación sino más bien, constituirán una comprobación final de la exactitud de la capa sub-base.

**Encofrado y colocación del encofrado.**

Los encofrados laterales deberán ser de acero, de una sección apropiada, estar libres de deformaciones y tener una altura igual al espesor del borde del pavimento. Los encofrados deberán tener al menos 15 cm. de base. Los encofrados deberán colocarse con precisión de acuerdo a la pendiente y alineamiento, debiendo estar colocadas sobre material compactado en toda su longitud, durante la colocación y terminación del concreto. En 3 m. de longitud, ellas no deberán indicar una variación mayor de 3 mm. Con respecto al plano superior de los encofrados. El Contratista deberá examinar la pendiente y Alizamiento de los encofrados laterales por medio de un regla de 3 m. de largo, debiendo alterarse si es preciso los mismos para corregir las variaciones. No se permitirá colocar tierra suelta ni guijarros como apoyo debajo de los encofrados. Si un encofrado no estuviera adecuadamente apoyado en su longitud total, se deberá retirarlo para emparejar el área de la sub-rasante donde se apoya el mismo, compactando el área y colocando nuevamente el encofrado. No se permitirá el empleo de encofrados doblados ni dañados. Los encofrados deberán limpiarse con aceite antes de emplearlos. La alineación y pendiente de los encofrados instalados se comprobará inmediatamente antes de colocarse el material en ellos y no se retirarán antes de doce (12) horas de colocado el concreto. Cuando la temperatura sea menor de 10 C, los encofrados no se removerán hasta después de treinta (30) horas. Deberá emplearse un apisonador mecánico especial para encofrados, autopropulsado que pase sobre los mismos y comprima el área de apoyo en ambos lados de éstos.

El Contratista deberá colocar y mantener una cantidad adecuada de encofrados y ajustará las operaciones para que estos detalles de corrección, compactación de declives y colocación no interfieran con la colocación del concreto. La cantidad de encofrados colocados y probados en avance de la operación de pavimentar variará con la organización y el equipo empleado.

Las fajas de concreto adyacentes podrán emplearse en vez de encofrados para soportar el equipo que proporcione la terminación siempre que se provea suficiente protección para evitar que el pavimento de la faja adyacente se dañe y que la superficie de concreto que soporta este equipo no tenga variaciones superiores de 3 mm. en una longitud de 3.00 m.; las fajas adyacentes no deberán emplearse en lugar de hormigonadas. Las ruedas de brida del equipo de terminar no deberán transitar sobre la superficie de concreto. El borde interior de las ruedas de soporte de la máquina de terminar, no deberá transitar a menos de 10 cm. del borde de la faja de concreto.

### **Carga y descarga, almacenaje y protección de los materiales.**

No se permitirá la mezcla de agregados provenientes de baches de los cuales no se haya drenado toda el agua. Los agregados que se hayan humedecido se almacenarán en capas por un mínimo de veinticuatro (24) horas antes de mezclarlo para uniformar el contenido de humedad. Los agregados se cargarán y descargarán de modo que el contenido de humedad permanezca uniforme y no cambie de dosificación. El almacenamiento se obtendrá formando capas parciales no mayores de 1 m. de altura debiendo colocarse la totalidad de una capa antes de comenzar la siguiente. No se permitirá depositar materiales formando pilas cónicas. Cada capa se colocará sobre concreto, láminas metálicas o plataformas de madera, colocando mamparas intermediarios para evitar que se mezclen.

No se permitirá mezclar en una sola capa ripio ni agregados finos de diferentes procedencias, ni se permitirá alterar las batidas.

El Contratista deberá mantener en la planta donde se efectúen las mezclas, un juego de balanzas de plataforma precisas, de capacidad mínima de 227 Kg. que pueden ser usadas por el Supervisor de Obra o Inspector para comprobar las pesadas de los agregados, y un

juego de diez (10) pesas patrones de 22.7 Kg. para probar el equipo de pesas. Esta instrucción puede ser obviada si El Contratista dispone de equipo más adecuado para volúmenes mayores que serán previamente aprobados por el Supervisor de obra.

El volumen del concreto mezclado no deberá exceder la capacidad de la mezcladora garantizada por el fabricante, tal como se especifica en los estándares para Mezcladoras de Concreto, adoptados por el Bureau de Manufactureros de Mezcladoras.

### **Mezcla preparada.**

La mezcladora deberá ser de un tipo aprobado de hormigonera, contará con un dispositivo para medir automáticamente la cantidad de agua con precisión del uno por ciento (1%); debe medir automáticamente la duración de cada carga en forma que todos los materiales puedan mezclarse en el período mínimo. Este dispositivo deberá ser fácilmente regulable y controlable para adaptarse a las diferentes variaciones requeridas. Si el dispositivo regulador del tiempo de funcionamiento fallase, el Contratista podrá continuar su trabajo durante el resto del día, mientras se repara el dispositivo, siempre que cada mezclado se efectúe en dos (2) minutos.

El período de cada mezclada para cada carga deberá tener una duración de por lo menos un (1) minuto contado desde después que todos los materiales estén colocados en el tambor. En cada mezclada el tambor girará a la velocidad de diseño, la que no deberá ser menor de catorce (14) ni mayor de veinte (20) revoluciones por minuto.

No se deberá colocar materiales para una carga nueva en la mezcladora mientras no se vacíe el tambor completamente de los materiales de la batida previa. El agua no se deberá descargar en el tambor antes de entrar parte de los agregados, sino conjuntamente con el flujo de los agregados. La descarga de toda el agua en el tambor se deberá terminar dentro de diez (10) segundos después que los agregados se hayan colocado en el tambor. El interior no deberá tener concreto endurecido.

No se permitirá el empleo de mezcladoras con conductos de distribución sin aprobación del Supervisor de Obra. El conducto de distribución y las placas de desvío en caso que se

permita su uso, deberán evitar que se produzca segregación al distribuir (colocar) el concreto fresco.

No se permitirá re-mezclar (volver a mezclar añadiendo agua o sin ella), el concreto parcialmente o endurecido.

### **Colocación y terminación del concreto.**

Las especificaciones de esta sección se refieren a generalidades para colocar y terminar concreto por los métodos aquí indicados. La faja de pavimento deberá tener un ancho máximo indicado en los planos de referencia, excepto en los casos en que se indique de otra manera. La colocación y terminación se hará por terminación normal o terminación pro - vibración excepto cuando se indique de otra manera.

La capa subyacente se regará para humedecerla, sin que se empantane, antes de colocar el concreto. El regadío deberá efectuarse en la tarde de la víspera de la colocación del concreto. Después de humedecida, deberá prestarse cuidado a proteger el alisamiento de la superficie.

El concreto se colocará y esparcirá corrigiendo la segregación y formando una capa parcial uniforme de espesor de 2.5 cm. más que el requerido para el pavimento terminado. No deben emplearse rastrillos para esparcir el concreto.

Para evitar la introducción de tierra u otra materia extraña en el concreto, los obreros que estén trabajando la mezcla no saldrán del área cubierta con concreto nuevo. Si fuese necesario que salgan del concreto nuevo, deberán limpiar completamente sus zapatos o botas antes de regresar al concreto. La omisión repetida de éste detalle será la causa suficiente para despedirlos.

Durante el emparejamiento del concreto, deberá mantenerse adelante y en todo el largo de la regla emparejadora cierta cantidad de concreto, en un lomo que tenga altura no menor de 7.5 cm.

Excepto cuando se ejecute una junta de construcción, la máquina emparejadora no deberá pasarse más allá del punto donde no puede mantenerse este lomo (cresta) delante de la regla emparejadora.

Después de la primera pasada de la máquina emparejadora deberá añadirse concreto sobre las depresiones y rellenar los intersticios, repitiéndose la emparejada. En la reemparejada deberá mantenerse la altura de las crestas uniforme en todo el largo de la regla emparejadora. Los intersticios no deberán eliminarse apisonándolos ni rellenándolos con mortero.

El concreto adyacente a las juntas transversales se compactará por medio de un vibrador interno. Los vibradores internos de tipo automático, que podrán ser propulsados por gasolina o electricidad, deberán funcionar a una frecuencia no menor de tres mil doscientos (3200) pulsaciones por minuto.

Junto con la colocación y la esparcida, el concreto se vibrará y paleará a lo largo de los encofrados y juntas.

Después de la pasada final de la máquina emparejadora y de la construcción de las juntas transversales y longitudinales, cuando el concreto comience a secarse, se deberá emparejar la superficie del pavimento con una espátula (llana) longitudinal de madera o metal que podrá ser operada a mano o por medios mecánicos. Ella deberá ser rígida, derecha, suave y de peso liviano para que no se hunda en la superficie de concreto ni la desplace. Deberá tener al menos 30.5 cm. de ancho y 3.00 m. de largo y cuando funcione a mano deberá moverse de borde a borde en arco de círculo, debiendo avanzar varios metros. Cada pasada deberá cubrir parte de la pasada anterior. Si el Supervisor de Obra lo autoriza, podrá utilizarse un rastrillo de filo cortante de 3.05 m. de longitud.

El Contratista examinará la superficie del pavimento, antes que se pase la correa, con una regla standard, aprobada de longitud no menor de 5.0 m. Las irregularidades deberán ser corregidas de inmediato. Especial atención deberá prestarse al concreto adyacente a las juntas transversales, para que los bordes de la junta y del concreto adyacente no queden

sobre el nivel especificado ni el concreto adyacente bajo el nivel especificado. Las irregularidades deberán corregirse antes del fraguado inicial del concreto.

Después que el concreto haya adquirido la pendiente, contorno y alisamiento requerido, se deberá emparejar por medio de una correa. La correa deberá tener no menos de 20 cm. ni más de 30.5 cm. de ancho y deberá ser no menos de 60 cm. más larga que el ancho del pavimento. La correa, que deberá ser de composición de lona, construida de 3 capas de cáñamo o de otro material aprobado, deberá pasarse con un movimiento combinado en sentido longitudinal y transversal hasta eliminar todas las irregularidades de la superficie. Ella podrá ser operada mecánicamente o a mano, debiendo mantenerse limpia y libre de concreto endurecido.

Para la construcción de juntas deberán emplearse métodos que produzcan juntas con bordes de la misma calidad de concreto que las otras partes del pavimento, no deberán emplearse métodos que exijan el uso de un exceso de mortero en esa área. Las marcas de las herramientas deberán eliminarse durante la construcción, y los bordes deberán quedar lisos, de acuerdo a las líneas establecidas.

Si se suspendiera la operación del concreto por un período de treinta minutos o más deberá colocarse un encofrado que produzca una junta vertical y perpendicular al eje longitudinal y a la superficie del pavimento. Si por razones de emergencia la colocación se suspende a 3.00 m. después de colocada una junta de contracción o de expansión, deberá removerse el concreto existente hasta la junta ya colocada.

Las juntas de construcción, deberán ser instaladas con o sin espigas según lo indican los planos. Cuando se reinicie la colocación del concreto, deberá removerse el encofrado y colocarse concreto nuevo el que deberá hacerse vibrar en forma uniforme e intensa contra la arista frontal del concreto anteriormente colocado. No deberá emplearse el concreto que sobra de una sección, o que se haya depositado en el exterior de los encofrados. Inmediatamente después de retirados los encofrados deberán rellenarse los bordes mal acabados o rugosos con productos apóxicos imprescindiblemente.

**Terminación a mano.**

Se permitirá la terminación a mano en las secciones de ancho variables de pavimento o en otros sitios en que el uso de la máquina emparejadora no sea práctico. La terminación a mano se hará por medio de una plancha de acero o de madera revestida de acero que se pasará con movimiento combinado longitudinal y transversal, en forma que no se levante de los extremos de los encofrados laterales. Para apisonar el concreto se deberá emplear una plancha similar. Las planchas deberán tener los agarradores requeridos.

Los demás detalles para la terminación serán los mismos especificados en los artículos correspondientes.

**Terminación corriente.**

El concreto se compactará y terminará con una máquina de esparcir y emparejar, autopropulsada, que tenga dos cerchas que funcionen independientemente. Si la máquina tiene una sola cercha, la cercha deberá tener no menos de 40 cm. de ancho, y resortes condensadores para disminuir el efecto del momento de la cercha sobre los encofrados laterales. El número de ruedas, el peso de la máquina y la potencia del motor deberán estar coordinados para impedir el deslizamiento. La parte superior de las ruedas de la máquina emparejadora deberán estar libres de concreto y tierra.

La máquina se mantendrá en perfectas condiciones de funcionamiento y será capaz de compactar y terminar al concreto como aquí se ha descrito. Si la máquina desplaza los encofrados laterales de la pendiente o alineamiento a la cual se han instalado, o causa retrasos indebidos a causa de fallas mecánicas, ella deberá reemplazarse. La máquina emparejadora deberá pasarse dos o más veces sobre cada sección de pavimento, hasta obtener el resultado requerido, que normalmente se obtendrá con dos pasadas.

Los demás detalles de la operación de terminar, deberán estar de acuerdo con las especificaciones correspondientes a cada punto.

**Terminación por vibración.**

Cuando así sea determinado por el Supervisor de Obra, el concreto se vibrará, compactará y emparejará con una máquina emparejadora de vibración, la que deberá cumplir los requisitos para la terminación corriente y pertenecer a uno de los siguientes tipos:

Este tipo de máquina emparejadora de vibración externa, deberá tener dos cerchas que funcionen independientemente. La cercha de adelante deberá tener un equipo vibratorio de frecuencia no menor a tres mil quinientas 3500 pulsaciones por minuto. Deberá existir no menos de un vibrador para cada 0.30 m. de ancho del pavimento. La cercha delantera deberá tener no menor de 30.5 cm. de ancho con su borde delantero semicircular con un radio no menor de 5 cm. Con este tipo de máquina se hará una pasada vibratoria a cada sección del pavimento, y no más de dos 2 pasadas; si no se ordenase de otra manera.

Este tipo de máquina emparejadora de vibración externa, deberá estar equipada con una batea de vibración independiente y dos 2 cerchas que operen independientemente. La batea no deberá tener contacto con los encofrados, y deberá hacer vibrar todo el ancho de la faja. Por cada 1.83 m. o fracción de 1.83 m. de longitud de la superficie vibratoria de la batea se sincronizarán para una frecuencia de no menos de tres mil quinientas 3500 pulsaciones por minuto. La cercha delantera deberá emparejar el concreto a una altura superior a la parte superior de los encofrados para permitir la apropiada compactación con la batea vibradora. Este tipo de terminación por vibración deberá operarse en forma que cada sección del pavimento reciba una pasada, y no más de dos pasadas, si no se ordena de otra manera.

Podrá emplearse, experimentalmente y sujeto a aprobación del Supervisor de Obra otro tipo de equipo que empareje por vibración, siempre que coloque y empareje el concreto con la misma consistencia y calidad requeridas por ésta especificación. Cuando el equipo que se está usando experimentalmente no de resultados satisfactorios en su funcionamiento mecánico o en colocar concreto de la resistencia requerida después de la vibración, el equipo deberá ser retirado de la obra y reemplazado por un tipo aprobado. Las máquinas que emparejen por vibración deberán ser operadas de la misma manera

especificada para la emparejada corriente. Todos los otros detalles para la operación de terminar deberán estar de acuerdo con lo prescrito en los articulados correspondientes.

### **Vibrado.**

Las vibradoras serán del tipo de inmersión de alta frecuencia y deberán ser manejados por obreros especializados.

Las vibradoras se introducirán lentamente y en posición vertical o ligeramente inclinada.

El tiempo de vibración dependerá del tipo de hormigón y de la potencia del vibrador, este tiempo será evaluado por la Supervisión, quien instruirá el tiempo necesario mediante libro de órdenes.

### **Construcción de juntas.**

#### **Juntas transversales de contracción.**

Las juntas de contracción deberán ser del tipo de ranura falsa.

La junta deberá situarse en un punto en que su intersección con la junta longitudinal forme una conexión perfectamente ajustada que provea una completa separación de la losa en todo el espesor de la junta. No deberá emplearse ninguna máquina ni método que permita una desviación de más de 6 mm. en 3.05 m. de longitud.

Se construye insertando por vibración una pletina en el hormigón fresco.

En este tipo de juntas, deben utilizarse dispositivos de transferencia de carga, los cuales serán de acero A-44-28-H, en un diámetro de 20 mm acero liso, con un largo de 60 cm y ubicadas cada 30 cm.

#### **Juntas transversales de expansión.**

Se usan solamente en determinados casos: empalmes con pavimentos existentes, empalmes con puentes o losas, o en los contornos de cámaras o sumideros.

Se usan barras de transmisión de cargas de acero A44-28H sin resalte, con un extremo recubierto con betún asfáltico o envainado en PVC.

La barra de acero deberá estar empotrada en el otro extremo del pavimento, permitiendo su movimiento en completa libertad. Correspondiendo estas barras a un diámetro de 3/4" con un largo de 460 mm y ubicadas cada 300 mm.

Todos los dispositivos para la instalación de las juntas de expansión deberán ser aprobados por el Supervisor de Obra y mantener el debido alineamiento transversal y vertical.

### **Junta longitudinal de construcción.**

Son aquellas paralelas al eje del camino, a una distancia especificada en los planos de referencia.

Se deberán usar barras de traspaso de cargas ubicadas en el centro del espesor de la losa, dispuestas en posición horizontal. Estas barras serán de acero de calidad A-44-28-H con resalte (corrugado), de un largo de 60 cm. y de diámetro 12 mm.

La separación de estas barras será de 0.60 mts. Estas indicaciones se tomarán en cuenta si el proyecto no indica otra cosa.

La junta longitudinal de contracción, será construida según los planos de detalles. No se permitirá una desviación mayor de 6 mm. en 3.05 m. de línea recta. La junta de contracción deberá ubicarse en forma que haga un ajuste perfecto con la junta transversal.

### **Aserrado y sellado de juntas**

Cuando se especifique aserrar las juntas, el Contratista debe suministrar el equipo en número de unidades y potencia adecuados para completar el corte a las dimensiones y rendimiento requeridos. El Contratista debe suministrar por lo menos una sierra de repuesto en buenas condiciones de trabajo. Debe mantenerse un número suficiente de hojas de sierra (disco de corte) en el sitio de trabajo en todo momento durante las operaciones de aserrado. El Contratista debe proporcionar instalaciones adecuadas de luz artificial para el aserrado nocturno.

Todo este equipo debe estar en el trabajo tanto en forma previa como permanentemente durante la colocación del hormigón.

Transcurridos 8 horas del vaciado de la losa, puede efectuarse el corte de juntas las mismas que deben tener un ancho de 6 a 10 mm, se debe realizar esta operación con el mayor cuidado posible ya que si se la efectúa cuando el hormigón está muy fresco pueden existir rebabas y deformaciones, en cambio si se lo realiza cuando está muy duro existe el peligro de desportillamientos o fisuras, aspecto que obligaría usar una mayor cantidad de sellante para las juntas.

Antes de iniciar el sellado las juntas deberán ser completamente limpiadas de todo material, componentes de curado u otro material extraño. La limpieza debe ser efectuada ya sea por soplado de aire a presión y/o escobillado.

Una vez terminada la limpieza, las juntas deberán ser limpiadas con aire comprimido. Las caras de la junta deberán mostrar superficie seca cuando se aplique el sello.

Previo cualquier relleno de juntas, el material existente en la junta deberá ser retirado. Si se especifica un sello de juntas nuevas o el mismo originalmente utilizado, todo el material de sello existente deberá ser retirado.

Cuando se especifique el sellado de juntas, éste se hará, usando un mastico asfáltico de aplicación en caliente, que cumpla con los requisitos de AASHTO M-173 u otro que se especifique como el asfalto, que debe ser impregnado con asfalto liviano de petróleo destilado. El relleno de asfalto se aplicará a 148.9 °C para asfalto y 107 °C para alquitrán.; no se recomienda el empleo de arena o material similar sobre el sello.

La junta construida debe tener una buena terminación libre de relleno sobrante. El contratista deberá rellenar nuevamente las juntas insatisfactorias antes de su aceptación final.

Deberán respetarse las indicaciones del Proyectista o del Proveedor en cuanto a su forma y tamaño de la junta y condiciones de colocación según el tipo de material.

El material de sellado sólo debe colocarse dentro de la caja de la junta y no sobresalir de la superficie.

Después del sellado se deberán eliminar los eventuales derrames sobre la superficie.

Los calderos para calentar el rellenedor, que no tengan otro medio de aislamiento, deberán tener una bandeja oscilante colocada entre el caldero y el pavimento que deberá proveer un espacio de aire mínimo de 5 cm. entre la bandeja y la superficie del pavimento. El equipo de calentar el rellenedor deberá tener un diseño adecuado para no quemar el rellenedor durante la iniciación o durante el calentamiento mismo.

### **Texturizado y curado.**

Con el objeto de poder proporcionar seguridad de conducción, se efectúa el texturizado del pavimento el que se lo realiza con ayuda de un bastidor de aluminio provisto de cerdas metálicas de 0.5 a 1 mm, de longitud, separadas cada 15 mm, el bastidor está inserto en un bastón también de aluminio para disminuir el peso y hacerlo manipulable para un obrero, se coloca una cinta para evitar el texturizado sobre las barras para juntas para poder efectuar el corte y sellado de juntas.

Inmediatamente después que se ha completado las operaciones de acabado y cuando no es necesario hacer arreglos en la losa, toda la superficie del hormigón recién vaciado debe ser curada de acuerdo con uno de los métodos abajo descritos. En todos los casos en que el método empleado requiera el uso de agua, se debe otorgar al curado un derecho prioritario en el abastecimiento de agua.

Cualquier falla en la provisión de suficiente cantidad de cualquier tipo de material de cobertura seleccionado por el Contratista para su empleo en las obras, o la falta de agua para atender adecuadamente tanto el curado como otros requerimientos, causará la suspensión inmediata de las operaciones de hormigonado. No debe dejarse expuesto el hormigón por más de media hora durante el período de curado. A continuación se indican los métodos alternativos aprobados para curar los pavimentos de hormigón:

Se usará la aplicación inmediata del aditivo denominado ANTISOL que consiste en la aplicación de este, 15 minutos después del vaciado de la losa en una dosificación previamente aprobada por el Supervisor de obra.

La aplicación del ANTISOL se la llevará a cabo con el uso de instrumentos atomizadores portables, para luego cubrirlos con láminas de polietileno de 200 micrones que serán también verificados previamente por la Supervisión.

Las láminas de polietileno, permanecerán sobre la superficie del concreto por lo menos por un tiempo de 48 horas, pudiendo luego procederse a su retiro. Toda esta actividad cumplirá las funciones de protección, evitar pérdida de humedad y curado.

La colocación y protección del concreto en condición de intemperie fría, el concreto no se colocará cuando la temperatura de intemperie, o de los agregados, o del agua, o de la atmósfera sea menor de 5 °C, excepto con la aprobación del Supervisor de Obra. Para colocarlo a esta temperatura será necesario calentar el agua y los agregados, o ambos. Los agregados se deberán calentar preferiblemente de modo que el concreto inmediatamente de colocado en los encofrados tenga una temperatura entre 18.3 °C y 29 °C. El agregado se deberá calentar uniformemente para impedir que se queme o se dañe. En ningún caso deberá depositarse el concreto sobre capa congelada. Deberán tomarse las precauciones para que la temperatura del concreto no descienda a menos de 10 °C hasta que haya transcurrido el período de curado. Deberá mantenerse un stock de paja, heno u otro material apropiado para proteger el concreto de las temperaturas de congelación. No deberá usarse estiércol para proteger el concreto fresco. Todo el concreto dañado por congelación deberá ser reemplazado a expensas de El Contratista.

### **Requisitos de alisamiento.**

Después del curado final del concreto y de la remoción del material colocado para proteger la superficie, ésta se barrerá, examinándose por medio de un máquina para prueba de superficie o de una regla mecánica que suministre El Contratista para probar una o más líneas de cada franja según indique el Supervisor de Obra.

Las variaciones de superficie de 6 mm. o más en 3.65 m. de longitud del pavimento, se desgastarán según lo indique el Supervisor de Obra. No se permitirá desgastar con martillo las secciones del pavimento que tengan depresiones de más de 6 mm. de profundidad en 3.65 m. deberán ser removidas y reemplazadas a expensas del Contratista. Estas secciones

deberán tener un ancho no menor que el ancho de la losa donde se encuentren las desviaciones descendentes, ni menos de 3.00 m. de longitud.

### **Tráfico.**

El pavimento se cerrará al tráfico inclusive para los vehículos del Contratista, durante 28 días después de colocado el concreto o más si las condiciones de la intemperie en la opinión del Supervisor de Obra lo hacen aconsejable. El Contratista deberá suministrar, colocar y mantener barricadas y luces según se ordene para impedir el tráfico. El daño al pavimento producido por el tráfico lo reparará el Contratista a sus expensas. Las palas mecánicas, grúas, mezcladoras y otro equipo pesado no deberán traficar o funcionar sobre el pavimento sin permiso escrito del Supervisor de Obra. El pavimento no se abrirá al tráfico antes de llenar e impermeabilizar las juntas.

### **Medición.**

Este ítem será medido en metros cuadrados, tomando en cuenta solamente las cantidades autorizados y aprobados por el Supervisor de Obra.

### **Forma de pago.**

El pago será realizado una vez verificado el cumplimiento de todos los trabajos para la ejecución del ítem. La verificación debe ser realizada en forma conjunta por el Contratista y el Supervisor.

## **2.4. CLASIFICACION SEGÚN NORMA**

### **2.4.1. Granulometría**

Los agregados que cumplen con las normas de la ASTM no siempre están disponibles económicamente y, en ciertos casos, algunos materiales que no cumplen con ellas tienen una larga historia de comportamiento satisfactorio.

Aquellos materiales que no cumplen con las normas pueden permitirse, mediante una aprobación especial, cuando se presente evidencia aceptable de comportamiento satisfactorio.

Debe observarse, sin embargo, que el comportamiento satisfactorio en el pasado no garantiza buen comportamiento en otras condiciones y en otros lugares. Siempre que sea posible, deben utilizarse agregados que cumplan con las normas establecidas.

Las limitaciones al tamaño de los agregados se proporcionan con el fin de asegurar que el refuerzo quede adecuadamente embebido y para minimizar los hormigueros.

Nótese que las limitaciones para el tamaño máximo del agregado pueden omitirse si, a juicio del ingeniero, la trabajabilidad y los métodos de compactación del concreto son tales que pueda colocarse sin que se formen hormigueros o vacíos.

#### **2.4.2. Cemento tipo IP 30**

##### **Características.**

Producto obtenido de la molienda conjunta de clinker tipo 30 de bajo contenido de álcalis y yeso. Bajo en contenido de álcalis (sodio y potasio). Se logran altas resistencias a tempranas edades.

Por el buen desarrollo de resistencias a la compresión, es usado en muchas aplicaciones. Además, tiene la capacidad de utilizarse en variados diseños de mezclas de concreto. Presenta mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Pórtland tipo I.

Sus cualidades son ampliamente conocidas por el sector construcción civil en el extranjero.

##### **Usos y aplicaciones.**

Para construcciones en general y de gran envergadura, especialmente cuando se desea una resistencia a la acción de los sulfatos y un moderado calor de hidratación.

Cemento resistente a la reacción álcali/ agregado.

##### **Recomendaciones.**

Como en todo cemento, se debe respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias y trabajabilidad.

Es importante utilizar agregados de buena calidad, si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas.

Para lograr resistencias adecuadas es recomendable curar con agua todos los elementos estructurales.

### **2.4.3. Agua**

El agua empleada en el mezclado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el concreto o el refuerzo.

El agua de mezclado para concreto pre-esforzado o para concreto que contenga elementos de aluminio embebidos, incluyendo la parte del agua de mezclado con la que contribuye la humedad libre de los agregados, no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros. No debe utilizarse agua impotable en el concreto, a menos que se cumpla con las siguientes condiciones:

La selección de la dosificación del concreto debe basarse en mezclas de concreto con agua de la misma fuente. Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado, preparados y

## **2.5. CAMPO DE INVESTIGACIÓN**

### **Rango de resistencia.**

Con anterioridad a la iniciación de las operaciones de pavimentación y después de la aprobación de todos los materiales que serán usados en el hormigón, el Contratista, con la aprobación del Supervisor de Obra, determinará las proporciones de los materiales que serán usados para producir la Resistencia a la compresión y Flexión especificada.

La calidad del hormigón estará definida por su resistencia a la compresión no será menor a **210 kg/cm<sup>2</sup> a 297 kg/cm<sup>2</sup>** los 28 días de edad. Los ensayos necesarios para determinar la resistencia de rotura se realizarán sobre probetas cilíndricas normales de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura, en un laboratorio de reconocida capacidad.

El contratista deberá tener hasta un máximo de cuatro probetas y un mínimo de dos de las dimensiones especificadas para cada prueba solicitada por el Supervisor y como lo señalen

las especificaciones particulares del ítem en cuestión. Durante la ejecución de la obra se realizarán ensayos de control, para verificar la calidad y uniformidad del hormigón.

**El porcentaje de desgaste no debe ser mayor a 35% cuando se prueba de acuerdo con el AASHTO T96.**

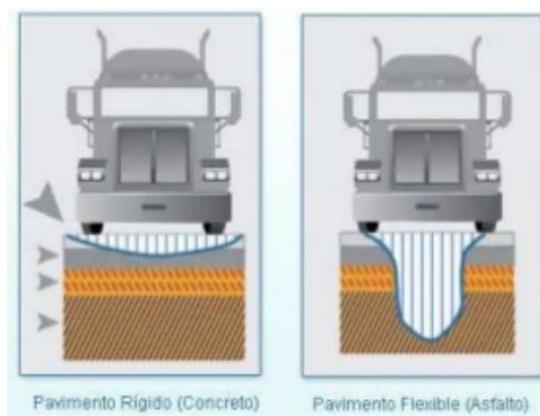
No debe exceder el 35 por ciento. En algunos casos cuando no pueden conseguirse económicamente de esta calidad, pueden usarse agregados con un porcentaje más alto de desgaste si se ha demostrado un comportamiento satisfactorio de servicio de una obra durante por lo menos 5 años bajo condiciones de servicio y exposición. Los agregados para la mezcla consistirán en piedras trituradas, grava triturada o no, escorias trituradas o arena natural.

El agregado debe estar constituido por partículas sólidas, duras y durables y deben conformar con los requerimientos para sustancias deletéreas que se describen en AASHTO T 96. Los agregados de cualquier grupo de tamaño no deben contener más del 8% en peso de piezas planas o alargadas.

Una partícula plana o alargada es la que tiene una proporción que excede 5 en 1 entre las dimensiones máximas y mínimas, de una prima rectangular circunscrito. Los agregados a emplearse deberán estar libres de materias orgánicas.

## 2.6. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

**Figura 23:** Pavimento rígido sometido a carga

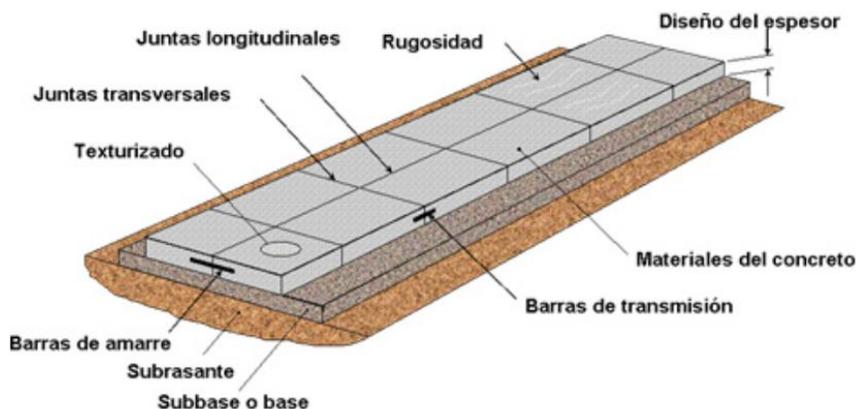


**Fuente:** Esfuerzos y deformaciones en pavimentos por: Ing. Augusto García

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce, una buena distribución de cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante.

### 2.6.1. Análisis de una estructura completa de pavimento rígido

**Figura 24:** Esquema de un pavimento de concreto hidráulico



**Fuente:** [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html)

Los diferentes métodos de diseño, como AASHTO 93, consideran al menos las siguientes capas para el diseño estructural de los pavimentos de concreto:

#### **Subrasante.**

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

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular.

#### **Subbase.**

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de una subbase implica mejorar la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

**Base.**

Para el pavimento de concreto no es común pero podría darse el caso en situaciones extremas. En ese caso la base constituye la capa intermedia entre la subbase y la carpeta de rodadura y utiliza materiales granulares de excelente gradación.

**Bases estabilizadas con cemento.**

Las bases estabilizadas permiten el empleo de materiales locales y reciclados, teniendo como ventajas: subbases menos erosionables, reducción de esfuerzos de tensiones y de flexiones, mejoramiento de la transferencia de carga entre paños, entre otras.

Se podrá estabilizar con cemento siempre y cuando el material a estabilizar sea libre de partículas orgánicas, con equivalentes de arena superiores a veinte.

**Carpeta de rodadura.**

Está conformada por mezcla de concreto hidráulico. Los métodos de diseño especifican diseños de mezcla con Módulo de Rotura a la Flexión (MR) superiores a 37 Kg/cm<sup>2</sup>, o su equivalente a  $f'c = 210$  Kg./cm<sup>2</sup>.

**Juntas transversales y longitudinales.**

Es necesario para controlar la fisuración en la losa y permitir el movimiento relativo entre paños adyacentes.

Las juntas son longitudinales y transversales y tienen el rol de inducir fisuras por contracción del concreto, aislar el movimiento de los paños de elementos ajenos al pavimento, como buzones por ejemplo, y siendo incluso parte del procedimiento constructivo.

**Índice de tensiones sobre el pavimento rígido.**

El pavimento rígido sirve a distribuir las cargas bajo las ruedas de los vehículos sobre áreas suficientemente amplias como para evitar tensiones (superiores a su capacidad) en la capa inferior del pavimento.

La carga de la rueda sobre la superficie del pavimento se aplica en un área muy reducida, causando grandes tensiones. Sin embargo estas tensiones van disminuyendo con la profundidad: el nivel de tensiones disminuye desde la capa superior de a la inferior en las

estructuras de pavimentos rígidos, una idea que nos da el Instituto de Vías de Colombia se muestra a continuación:

#### **Barras de amarre.**

Son barras de acero corrugado que controla el movimiento lateral de los carriles, las mismas que sirven de anclaje.

#### **Barras pasa juntas.**

Se pueden dar mediante la trabazón de los agregados o mediante el empleo de pasadores en las juntas de contracción transversal. Los pasadores son barras de acero lisas y con los bordes redondeados que se colocan en el plano perpendicular al corte de la junta transversal. Deben estar centrados con respecto al espesor de la losa y permitir el movimiento entre paños adyacentes, no deben restringir su movimiento.

#### **2.6.2. Tipo de textura de acabado**

Los pavimentos de hormigón deben tener una textura superficial que provea una resistencia al deslizamiento de neumáticos adecuada, para alcanzar niveles de seguridad en el tránsito acordes con el uso y categoría de la vía. La textura tiene influencia además, en los niveles de ruido generado y en el drenaje superficial de la calzada, y se efectúa generalmente mediante el arrastre o pasaje de algún elemento o herramienta en el hormigón fresco.

Los factores que más influyen sobre la textura del pavimento, para cualquier método o herramienta usado, son la consistencia y características del hormigón, el momento o tiempo de aplicación, la presión con la que se aplican las herramientas de texturizado y su limpieza.

Uno de los aspectos más relevantes en la elección del método de texturizado radica en observar las exigencias de fricción y de profundidad de textura inherentes al tipo de vía que se trate.

En particular, en arterias donde la velocidad de circulación es baja (< 60 km/h), como por ejemplo en vías urbanas, no existen en general mayores condicionamientos en la elección del método de texturizado ya que por tratarse de bajas velocidades de circulación, el riesgo

de hidropavado es bajo. Para estas situaciones, el texturizado con rastra de arpillera brinda en general buenos resultados.

En cambio, en el caso de vías donde la velocidad de diseño es superior a 60 km/h, como el caso de rutas, autovías o autopistas, se encuentra recomendado que la profundidad media de textura del pavimento sea igual o superior a 0.8 mm, medida con el método del círculo de arena, y por lo tanto el texturizado con arpillera no resulta adecuado

**Figura 25:** Texturizado con arpillera.



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

### **Césped sintético**

Una variante similar es el arrastre de una carpeta de césped sintético, que produce una textura de mayor profundidad, sin aumentar los niveles de sonoridad, y se aplica con las mismas técnicas que la arpillera. Tiene ventajas respecto a la anterior, ya que cuenta con un mayor peso y no requiere que sea mantenida húmeda durante la jornada. Además, pueden incorporarse sobrepesos sobre ella con el objetivo de incrementar la profundidad de textura a alcanzar.

Esta práctica es la habitualmente empleada por el Departamento de Transporte de Minnesota en los Estados Unidos, donde se requiere que el césped sintético a emplear cumpla las siguientes condiciones:

Largo de pelo= 15 mm – 25 mm

Cantidad de pelos= ~77.500 /m<sup>2</sup>

Peso > 2350 g/m<sup>2</sup>

### Cepillado

El cepillado puede efectuarse deslizando en el sentido longitudinal o transversal a la dirección de circulación, un cepillo en forma manual o mecánica, creando pequeñas crestas sobre la superficie del pavimento.

Es una técnica de sencilla implementación, de bajo costo y relativamente silenciosa al tránsito si se aplica en el sentido longitudinal. Empleada en el sentido transversal, puede generar un incremento significativo del ruido pavimento – neumático.

**Figura 26:** Texturizado con cepillo

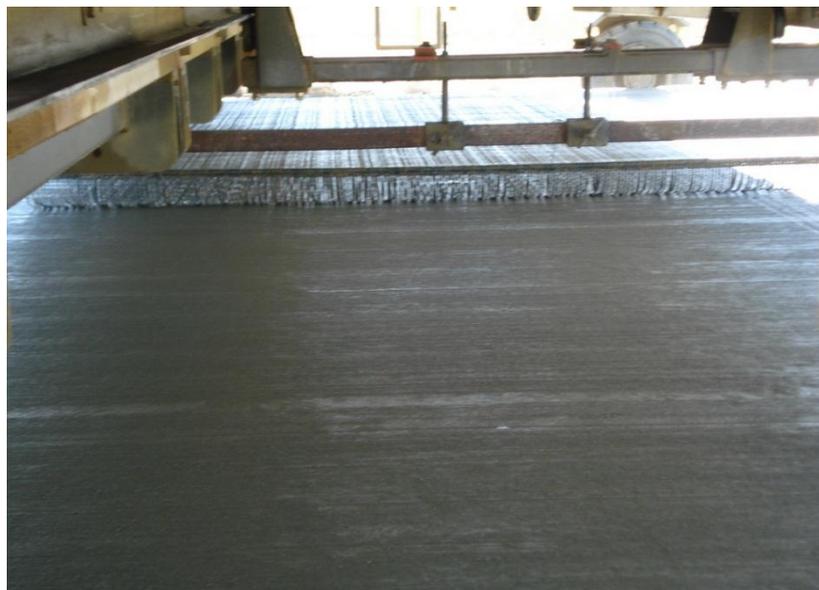


**Fuente:** [www.revistavial.com](http://www.revistavial.com)

Consiste en el arrastre en el sentido transversal de un implemento tipo peine metálico o plástico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento que funcionan como pequeños canales, a través de los cuales el agua puede escapar más fácilmente de la huella de contacto entre el pavimento y el neumático, reduciendo de esta manera el potencial de hidroplaneo, el spray y las salpicaduras.

Esta técnica de texturizado es la principalmente empleada en los Estados Unidos para vías de alta velocidad, dado que se considera que es la que en mayor medida permite alcanzar de manera consistente adecuados niveles de fricción con alta durabilidad y a bajo costo. Sin embargo, se encuentran recomendados distintos patrones a fin de controlar la generación del ruido pavimento – neumático.

**Figura 27:** Texturizado con cepillo



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

### **Agregado expuesto**

La técnica del agregado expuesto se comenzó a utilizar con éxito, principalmente en obras de pavimentación en países europeos líderes en tecnología de pavimentos rígidos (Austria, Bélgica, Alemania), por sus excelentes características friccionales y su bajo nivel de ruido. El agregado expuesto se logra quitando una delgada capa de mortero del hormigón superficial, exponiendo agregados gruesos de elevada resistencia al desgaste. La metodología requiere que la ejecución de la calzada se efectúe mediante la técnica de pavimentación en doble capa, aunque hay casos en los que se realizó exitosamente en una única capa.

La capa superior, en general cuenta con un espesor de 40 mm a 70 mm y se construye mediante el empleo de hormigón de elevada resistencia y agregados triturados de menor tamaño máximo y graduación más estricta, de elevada dureza y resistencia a la abrasión. El proceso de ejecución involucra la aplicación sobre el hormigón fresco de un retardador de fraguado sobre el cual se coloca un film de polietileno en toda la superficie del pavimento que evita la pérdida de agua por evaporación. Luego, una vez que el hormigón de la porción inferior alcanza una resistencia suficiente, se elimina mediante un cepillo mecánico, el mortero superficial que aún no fraguó, dejando expuesto el agregado grueso de la porción superior.

Si bien las características de desempeño que se obtienen con esta metodología resultan adecuadas, éstas incrementan significativamente el costo de construcción, en tanto que además requiere la implementación de metodologías y equipos especiales con personal altamente calificado.

**Figura 28:** Texturizado de agregado expuesto



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

### **2.6.3. Tipos de pavimento rígido**

Esta clasificación está hecha en base a las características que presenta la losa de concreto.

Pavimentos de concreto simple

Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas

Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

Pavimentos de concreto pre-esforzado.

A continuación se presentan las características de cada pavimento.

#### **2.6.3.1. Pavimentos de concreto simple**

La característica de este tipo de pavimento es que su resistencia depende en forma exclusiva de la resistencia del concreto simple.

**Figura 29:** Pavimento rígido simple

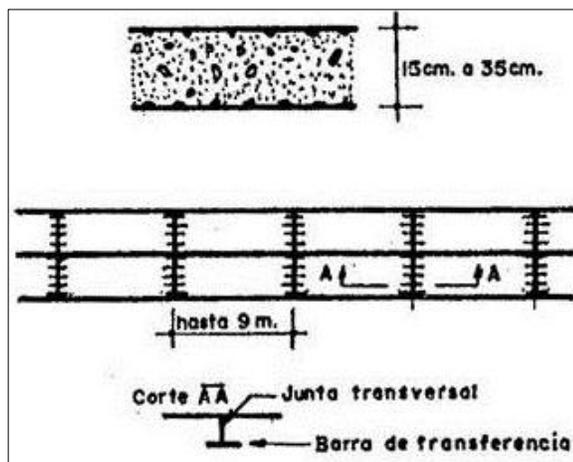
**Fuente:** [http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Urbanizacion\\_interior\\_de\\_la\\_parcela/Pavimentos\\_exteriores/Continuos\\_de\\_concreto/UXC010\\_Pavimento\\_continuo\\_de\\_concreto\\_impr.html](http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Urbanizacion_interior_de_la_parcela/Pavimentos_exteriores/Continuos_de_concreto/UXC010_Pavimento_continuo_de_concreto_impr.html)

### 2.6.3.2. Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.

En los pavimentos de concreto las juntas son consideradas las zonas críticas, por lo cual dichas entrelazan entre sí por medio de un refuerzo.

Cuando la losa está sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas.

La ventaja que ofrece el esfuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada.

**Figura 30:** Pavimento rígido con refuerzo en las juntas

**Fuente:** <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

### 2.6.3.3. Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

En este tipo de pavimento el refuerzo asume todas las deformaciones y específicamente las de temperatura, por lo cual se eliminan las juntas de contracción, quedando únicamente las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

La figuración es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento del pavimento.

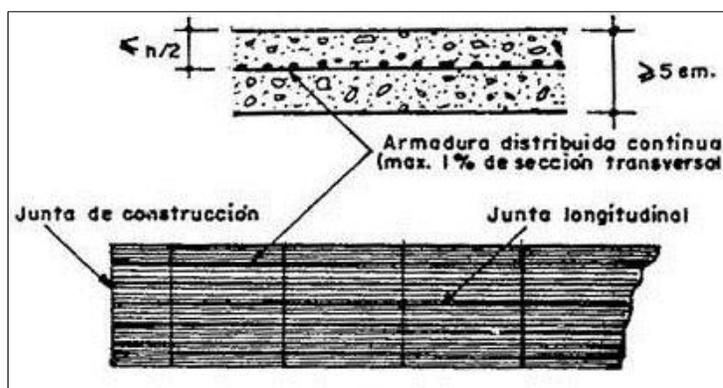
Esta técnica se ha extendido con éxito desde 1960 en los Estados Unidos y si bien exige una apropiada tecnología constructiva, no requiere de mayor conservación, manifestando poca sensibilidad a las fallas de la base.

La cantidad máxima de acero es 1.5% de la sección transversal.

Se utiliza generalmente en zonas de clima frío. También en los recubrimientos sobre pavimentos deteriorados de concreto y asfalto.

El espesor de este tipo de pavimento tiene un cálculo especial, que se especifica en las normas AASHTO y PCA.

**Figura 31:** Pavimento rígido con esfuerzo continuo



**Fuente:** <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

### 2.6.3.4. Pavimento de concreto pre-esforzado

La particularidad de este pavimento, está en que a la losa de concreto se le puede aumentar su capacidad estructural, mediante la aplicación de pre-esfuerzo.

Con esto se logra una reducción del espesor de la losa en forma notable y además las juntas van un poco más alejadas.

**Figura 32:** Pavimento rígido pre-esforzado



**Fuente:** <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>

## **2.7. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

### **2.7.1. Propiedades del pavimento rígido**

El concreto que se empleara en este tipo de pavimentos deberá ser durable y resistente y perdurable a las cargas y al desgaste.

Es necesario que cada una de estas propiedades se tenga en cuenta cuando se haga el diseño de la mezcla, por fortuna estas propiedades están ligadas directamente entre sí, esto es si un concreto es fuerte es lógico suponer que sea durable y resistente al desgaste.

Propiedades del concreto: Son tres las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

Resistencia a la tensión por flexión o módulo de rotura (MR)

Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ )

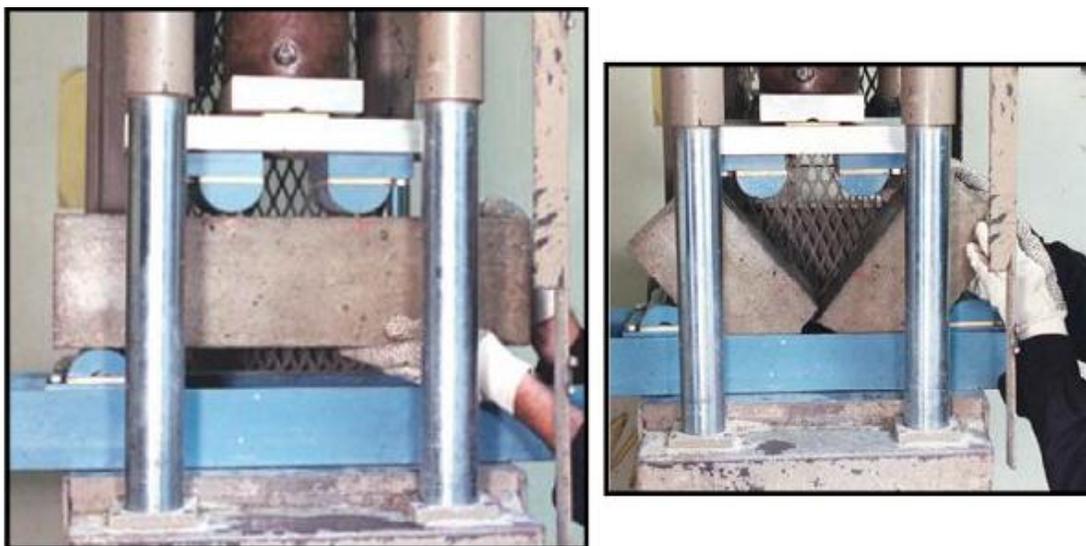
Durabilidad.

### 2.7.1.1. Resistencia a la flexión

Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a flexión por tensión ( $S'c$ ) normalmente especificada a los 28 días. El módulo de rotura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo.

Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aproximadamente 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASTHO para el diseño.

**Figura 33-34:** Medida del módulo de rotura ASTM C78



**Fuente:** <https://civilgeeks.com>

Los valores recomendados para el módulo de rotura varían desde los  $37 \text{ kg/cm}^2$  hasta los  $48 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener.

En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo con algún criterio.

De la resistencia promedio a la flexión del concreto (módulo de rotura), el ACI especifica que este no debe ser menor de  $45 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad.

**Tabla 12:** Recomendaciones para módulos de rotura recomendados

Tipo de pavimento	Flexión recomendada	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
Autopistas	48	682.70
Carreteras	48	682.70
Zonas industriales	45	640.10
Urbanas principales	45	640.10
Urbanas secundarias	42	597.40

**Fuente:** Manual de construcción Cemex

Pero si las características previamente conocidas de los cementos y agregados disponibles, indican que es difícil obtener esta resistencia económicamente, puede especificarse una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm<sup>2</sup> siempre y cuando el peralte de la losa se diseñe de acuerdo con la resistencia.

Según el comité ACI, la resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días no será menor de 280 kg/cm<sup>2</sup>, esta resistencia se toma como base para el diseño de la pasa junta y los tensores.

### 2.7.1.2. Módulo de elasticidad del concreto (E<sub>c</sub>)

Íntimamente relacionado con su módulo de rotura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el módulo de elasticidad a partir del módulo de rotura.

Los dos más utilizados son:

$$E_c = 7.75 * MR$$

$$E_c = 26.454 * MR^{0.77}$$

Estas fórmulas se aplican con unidades inglesas.

### **2.7.1.3. Durabilidad.**

En lugares donde el concreto este sujeto a condiciones severas de congelamiento y deshielos, deberá usarse concreto con aire incluido, y la proporción será tal que el agua de mezclado incluyendo el agua libre en los agregados, pero sin considerar el agua absorbida por estos, no debe exceder de 0.53 lts/kg de cemento.

En ningún caso el agua de mezclado excederá de 0.58 lts/kg de cemento en una revoltura, el contenido de cemento no será menor de 280 kg/m<sup>3</sup> de concreto.

### **2.7.2. Características del pavimento rígido**

Son muchas las características del pavimento rígido, donde algunas de ellas hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general son dos las propiedades principales de mayor envergadura.

La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, ductilidad, trabajabilidad, asentamientos, entre otros. La segunda es el grado de endurecimiento o resistencia capaz de adquirir el concreto.

La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina mediante ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre las probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el conocedor puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como la flexión, corte o tracción.

Las características que se pueden observar de un pavimento de concreto se deben principalmente a la estructura y propiedades de este material, se mencionan a continuación alguna de esas características:

#### **Alta resistencia.**

El pavimento de concreto posee una alta resistencia a la flexión y compresión; estas dependen principalmente del material (cemento) en combinación con los agregados pétreos que la conforman. Aquella, simplemente no puede ser alcanzada por un asfalto debido a las características de sus materiales.

**Rigidez.**

La rigidez o inflexibilidad, está en función de la resistencia del concreto en forma de losas y del módulo de elasticidad del concreto (E).

Esta característica de las losas, es la que da precisamente el nombre al tipo de pavimento, ya que, como se menciona más adelante, es la encargada de resistir la mayoría de los esfuerzos y deformaciones que se producen por efecto del tránsito y transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo, es decir a la sub-base, la sub-rasante y las terracerías.

**Estabilidad de la superficie de rodamiento.**

Resulta fuera de duda que la característica más importante de un pavimento rígido, desde el punto de vista del usuario, es la calidad de la superficie de rodamiento, ya que, si se siguen las técnicas de construcción adecuadas y las normas técnicas, que para el caso se sugieren, nos proporcionara una superficie plana, de mayor estabilidad y seguridad en el manejo.

Las superficies de un pavimento de concreto son altamente estables y seguras

**Color.**

Tal vez, esta característica sea despreciada por muchos proyectistas de pavimentos a la hora de hacer una elección por uno de asfalto o de concreto, pero se ha demostrado que el color natural que da el cemento Portland al concreto, hace que este posea una alta refractancia a la luz; tal vez en algunas horas al día puede ser un poco molesto pero en la noche hace que el pavimento de concreto sea mucho más visible que el asfáltico, y esto representa un enorme ahorro en cuanto a iluminación.

**2.8. MEZCLAS EN PAVIMENTO RÍGIDOS****2.8.1. Agregados**

Los agregados son fragmentos, granos pétreos o cualquier material duro e inerte formados por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezcla con material cementante para formar concreto o un material similar, procedimiento que dota de características favorables relacionadas con el desarrollo de la resistencias mecánicas,

trabajabilidad, la adherencia con la pasta de cemento y la disminución de la retracción plástica, entre otros.

Los agregados, también conocidos como áridos o inertes, son fragmentos o granos cuya finalidad es abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica.

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar el 50% de su peso en pavimentos, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad de la mezcla.

#### **2.8.1.1. Clasificación de los agregados**

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

- **Su origen**

De acuerdo con su origen, los agregados se clasifican en naturales y artificiales.

Los agregados naturales proceden comúnmente de la desintegración o fragmentación de rocas, ocasionada ya sea por causas naturales o por medios naturales o por medios mecánicos.

La diversidad de tipos y clases de rocas es la responsable de las características, tipos y clases que clasifican y dan diferentes características a los agregados.

Los agregados naturales se forman a partir de rocas de origen natural y se clasifican en:

Rocas ígneas

Rocas sedimentarias

Rocas metamórficas

Mientras que los agregados artificiales son todos aquellos que han sufrido un proceso de transformación en su forma y/o composición tales como escorias de alto horno, concreto reciclado o cualquier otro compuesto que puede ser agregado al concreto que aporte resistencia y que no sea perjudicial y reaccione químicamente con la mezcla.

- **El método de fragmentación**

El método de fragmentación clasifica a los agregados en

Naturales

Manufacturados

Mixtos

### **Agregados naturales.**

Son agregados que proceden directamente de las rocas fragmentadas por fuerzas y acontecimientos de origen natural que dan como resultado una amplia diversidad de clases y tipos.

La diversidad de clases y tipos de rocas fragmentadas da lugar a una amplia variedad de características en los agregados.

### **Agregados manufacturados.**

Los agregados manufacturados proceden de rocas comunes cuya fragmentación pudo ser ocasionada por medios artificiales.

### **Agregados mixtos.**

Los agregados que se denominan mixtos son producto de la fragmentación inicial de la roca (origen natural, bloques, cantos rodados y gravas mayores) y una subsecuente fragmentación inducida por medios artificiales, es decir, el tamaño de la roca es reducido por medio de trituración mecánica.

Este proceso se utiliza con el fin de aprovechar los fragmentos naturales de gran tamaño, los cuales que de no ser triturados, no podrían utilizarse como agregados de concreto, y también para la corrección de la curva granulométrica y el aprovechamiento integral del material disponible entre otros.

- **El tamaño de sus partículas.**

Los agregados se dividen por el tamaño de sus partículas en dos grandes categorías:

### **Agregado grueso.**

Son aquellos que están formados por partículas de  $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm) de diámetro y mayores.

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de 38mm, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulometría que se indica a continuación:

**Tabla 13:** Granulometría de la grava

<b>Malla en pulgadas y mm</b>		<b>% que pasa</b>
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	95 - 100
3/4"	19.00	35 - 70
3/8"	9.5	10 - 30
Nº4	4.75	0 - 5

**Fuente:** Mecánica de suelos de Braja M. Das

**Tabla 14:** Sustancias perjudiciales en la grava

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>%</b>
Partículas deleznable	0.25
Partículas suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

**Fuente:** Mecánica de suelos de Braja M. Das

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la tabla anterior. El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad, el desgaste de Los Ángeles 35% máximo.

Cuando la muestra este constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el supervisor podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de Los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la misma constituida por ambas materiales, en la que estén representados en la misma

proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregaos ya tratados o en donde vayan a ser utilizados.

### **Agregado fino**

Son aquellos que están formados por partículas de 0.02 a ¼ de pulgada, y de 0.508 a 6.35 mm de diámetro. Es producto de la desintegración natural o artificial de rocas minerales. El tamaño de los granos esta entre 1/16" (1.59 mm) hasta ¼" (6.35 mm). El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de 9.51 mm con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

**Tabla 15:** Granulometría de la arena

	<b>Malla en mm</b>	<b>% que pasa</b>
3/8"	9.50	100
Nº 4	4.75	95 - 100
Nº 8	2.36	80 - 100
Nº 16	1.18	50 - 85
Nº 30	0.600	25 - 60
Nº 50	0.300	10 - 30
Nº 100	0.150	2- 10
Nº 200	0.075	4 máximo

**Fuente:** Mecánica de suelos de Braja M. Das

- Cuando se tengan antecedentes de comportamiento aceptables, en el concreto elaborado por ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizadas a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionado del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.
- El porcentaje de material que pasa la malla Nº 200 esta modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 16:** Ajuste granulométrico de la arena

<b>Limite liquido</b>	<b>Índice plástico</b>	<b>Material máximo en masa que pasa por la criba 0.075 (#200), en %</b>
Hasta 25	15 – 20	4.0
hasta 25	20 - 25	1.0
25 – 35	Hasta 5	16.0
25 – 35	5 – 10	14.0
25 – 35	10 – 15	11.0
25 – 35	15 – 20	8.0
25 – 35	20 - 25	1.0
35 – 45	Hasta 5	15.0
35 – 45	5 – 10	9.0
35 – 45	10 – 15	6.0
35 – 45	15 – 20	2.0
35 – 45	20 - 25	1.0
45 – 55	Hasta 5	9.0
45 – 55	5 – 10	8.0
45 – 55	10 – 15	5.0
45 – 55	15 – 20	4.0
45 – 55	20 - 25	1.0

**Fuente:** Mecánica de suelos de Braja M. Das

**Tabla 17:** Sustancias perjudiciales para la arena

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>% máximo</b>
Partículas deleznable	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

**Fuente:** Mecánica de suelos de Braja M. Das

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad de agregado fino, a juicio del supervisor de obra se llevara a cabo la determinación de la perdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condijo no excluye las mencionadas anteriormente.

### **Cemento**

El cemento portland es el producto obtenido de la pulverización de un Clinker que consiste, esencialmente en silicatos hidráulicos de calcio obtenido por un calentamiento a fusión parcial de una mezcla homogénea de materiales que contienen principalmente; cal (CaO), sílice (SiO<sub>2</sub>), con una pequeña porción de alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y oxígeno férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Este producto tiene la propiedad de endurecer al mezclarse con agua, formando la llamada pasta cementante, que es un material cementicio que es capaz de unir porciones de sustancias no adhesivas por si mismas en un todo cohesivo.

El cemento es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente solo un 10 a 20% del peso del concreto, siendo el 80 a 90 % de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto.

De los componentes del concreto, el cemento es el más caro por unidad de peso. Sin embargo, comparando con los otros productos manufacturados, el cemento es un material relativamente barato.

El cemento se obtiene a partir de materias primas abundantes en la naturaleza.

Su elaboración se realiza en plantas industriales de gran capacidad, en donde debe ser controlado estrictamente, lo que redundará en su calidad y en la confiabilidad que sobre él pueda tener el usuario.

### **2.9. EFECTOS DE LOS CAMBIOS DE HUMEDAD**

Cuando un hormigón endurecido se deja secar experimenta una contracción de volumen que luego se revierte al permitirle absorber agua.

Si bien este comportamiento es conocido desde hace tiempo los efectos no se habían asociado claramente a sus consecuencias sobre los pavimentos.

Mediciones de laboratorio hechas en probetas prismáticas, indican que al pasar de un estado seco a saturado el hormigón experimenta un cambio en sus dimensiones del orden de 0.3 mm por cada metro de longitud.

Se ve también que la absorción de agua es relativamente rápida y lenta su expulsión; lo que refleja que el estado mecánico normal de tensiones nulas en el hormigón es el estado saturado, y que al producirse el secamiento por evaporación lenta los capilares internos se van cerrando paulatinamente.

Al existir agua libre los capilares en tensión la succionan, incorporándola tan rápidamente como la viscosidad del agua lo permite.

En el pavimento este efecto ha podido ser identificado a través del comportamiento de las aberturas de juntas.

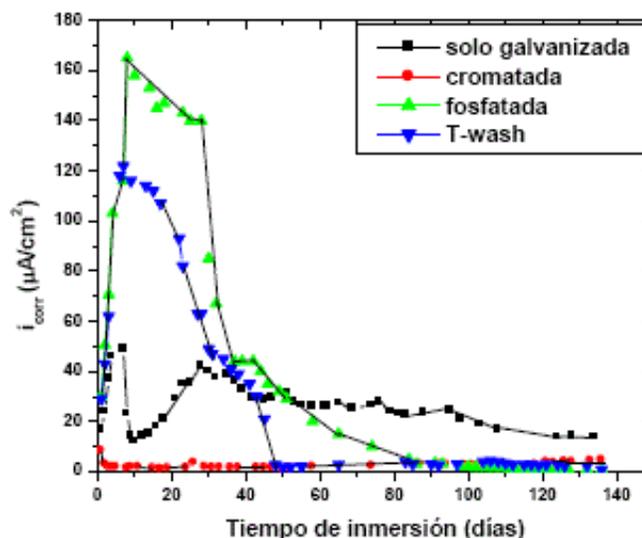
Allí se ven dos líneas paralelas separadas por una variación de aberturas de aproximadamente 0.1 mm por metro, medidos a nivel del plano medio de una losa de pavimento, que indica que a igual temperatura media en verano – otoño las juntas están más abiertas que en invierno.

Visto el comportamiento de laboratorio, esta diferencia no cabe sino interpretarla como asociada a diferentes grados de humedad, lo que en último término puede ser representado como una diferencia térmica equivalente pero de signo contrario.

Así, en el pavimento un secamiento representativo del paso del invierno al otoño equivale a aumentar la temperatura de bloqueo en unos 10° C.

Por ello, un pavimento hormigonado en tiempo frío compensa mejor los efectos adversos del secamiento por tener su sistema de juntas más cerradas desde su nacimiento.

**Figura 35:** Evolución de la elongación de la probeta en función del tiempo de inmersión de agua para distintos tipos de cementos



**Fuente:** [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932004000100005&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932004000100005&script=sci_arttext)

Durante cada estación lluviosa la estructura completa del pavimento puede suponerse que alcanza un grado de saturación relativamente uniforme y elevada. Tan pronto cesan las lluvias el secamiento del pavimento progresa lentamente desde la superficie hacia abajo. Entretanto en la base y consecuentemente en la cara inferior de las losas, el grado de saturación permanece elevado, produciéndose en el pavimento un cierto gradiente de humedad.

El efecto de este gradiente de humedad es una deformación de alabeo cóncavo, de ciclo anual, por el mayor acortamiento de las fibras superiores de las losas del pavimento. Este mismo comportamiento pudo también ser reproducido en laboratorio, imponiendo un gradiente a las probetas prismáticas, por la vía de sentadas sobre una base de agua. En resumen, todo lo visto hasta aquí se desprende que por falta de mejores cuidados en la construcción, muy fáciles de implementar, los pavimentos de hormigón suelen ser entregados al tránsito con algunos importantes hándicaps que afectan su capacidad estructural una vez puestos en servicio.

### 2.9.1. Estado plástico del concreto

Un concreto es una mezcla compuesta por pasta y agregados, cuando está recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano.

La pasta está formada por agua, cemento y aire atrapado o incluido, y los agregados que forman el concreto son generalmente arena y grava.

En términos generales, los requisitos que debe poseer un concreto en estado plástico son los siguientes:

Consistencia: que permita compactar el concreto adecuadamente

Cohesión: para ser colocado y compactado sin que presente segregación.

Durante el colocado del concreto, muchas veces se presentan grietas cuando este se encuentra en estado plástico, las cuales pueden ser evitadas conociendo las causas.

La causa básica del agrietamiento es la restricción, si todas las partes del concreto se expanden o se contrae, no habría agrietamientos ocasionados por cambio de volumen, dado que estos agrietamientos son producidos por el desarrollo de deformaciones diferenciales que inducen esfuerzos por tensión.

Generalmente estas fisuras son de dos tipos: fisuras por asentamiento plástico y fisuras por contracción plástica.

A parte de ser antiestético, el agrietamiento producido en la estructura permite la entrada y difusión de la humedad y oxígeno, capaces de corroer el acero de refuerzo y, a su vez, promover la degradación estructural y disminuir así la vida útil.

Un elemento importante en la contracción en el concreto es el contenido de agua, cuanto mayor sea el contenido de agua de un concreto, tendrá a contraerse más. Por lo tanto se deberán realizar la dosificación de la mezcla con la menor cantidad de agua posible por metro cúbico de concreto.

El tamaño máximo del agregado es un factor determinante en la cantidad de agua que se utilizara. Entre mayor es la cantidad de los agregados finos en la mezcla, aumentara la demanda de agua, esto significa evitar la mezcla con demasiada arena y preferir la mezcla con mayor cantidad de grava, siempre y cuando se obtenga una mezcla que no presente problemas en la colocación, consolidación y acabado del mismo .

Otros factores que intervienen en la cantidad de agua a utilizar son el revenimiento, la relación agua-cemento, la forma del agregado, el contenido de aire y las condiciones ambientales.

## 2.10. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

A continuación se tratarán en forma breve los procesos de construcción de la sub-base y la losa de concreto.

### 2.10.1. TRABAJOS PRELIMINARES

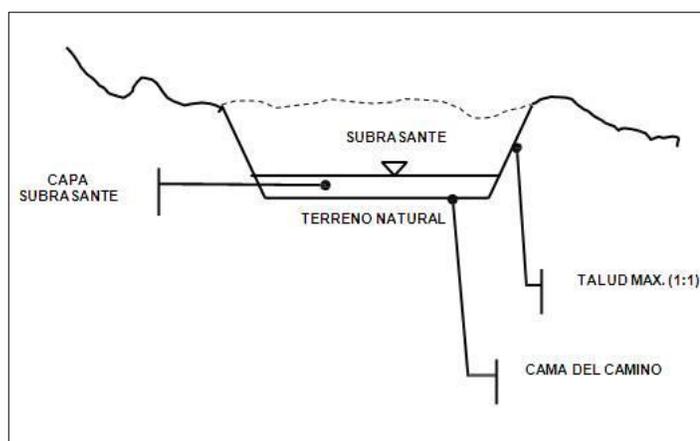
En los trabajos previos a la formación de la capa sub-rasante de cualquier obra vial, se realiza la limpieza, despalme, trazo y nivelación; en nuestro proyecto particular se nos facilita bastante llevar a cabo los conceptos de limpieza, despalme, trazo y nivelación.

Con maquinaria, se retira la basura y material orgánico en toda la longitud y ancho de avenida, después la brigada topográfica fija los bancos de terraplén y excavación y se hace el trazo horizontal mediante la colocación de estacas de madera que determina el eje del proyecto.

Para la construcción de la capa sub-rasante se fijan niveles en el tramo a construir en cada jornada de trabajo que normalmente es de 100 m de longitud por 12 m de ancho de cada tongada, generando un área aproximada de 120 m<sup>2</sup>.

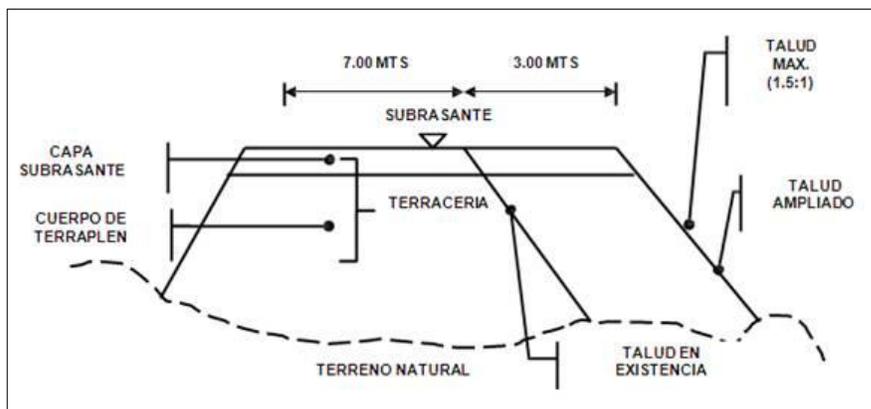
Posterior se hace el cajón en las terracerías con maquinaria cortando, rellenando o compensando según sea el caso, hasta llegar al lugar de la sub-rasante como se ilustra en la siguiente figura:

**Figura 32:** Esquema de corte transversal de la sub-rasante



**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos100/estudio-mecanica-suelos-vias/estudio-mecanica-suelos-vias.shtml>

**Figura 36:** Esquema de relleno transversal de la sub-rasante y terraplén



**Fuente:** <http://www.monografias.com/trabajos100/estudio-mecanica-suelos-vias/estudio-mecanica-suelos-vias.shtml>

Seguidamente la moto-conformadora acamellona el material correspondiente al espesor de la capa sub-rasante, extendiéndolo para después aplicarle la humedad mediante riegos de agua con pipa y de esta manera obtener una humedad cercana a la óptima, con un  $\pm 1\%$  por indicaciones dadas por el laboratorio de campo. Teniendo siempre presente que cuando se compactan materiales susceptibles a la expansión, se deberá incrementar la humedad de 1 a 2 % de la humedad óptima. Cuando se ha concluido esta operación la moto-conformadora homogeniza y extiende el material; una vez terminado, se procede a dar la compactación mediante el rodillo pata de cabra hasta alcanzar la compactación de proyecto, siendo esta del 95% de su peso volumétrico seco máximo, con apoyo en las indicaciones del personal de laboratorio de campo.

**Figura 37:** Compactación de la sub-rasante con rodillo pata de cabra



**Fuente:** Ministerio de transportes y comunicaciones

Ing. Nelly Gutiérrez

**Figura 38:** Moto-conformadora en plena nivelación



**Fuente:** Constructora NISA agro vial. Colombia

Cuando se ha concluido con la capa sub-rasante, en seguida se construye la capa de sub-base, la cual se forma con una mezcla de dos materiales: el primero es material grava-arena y el segundo es producto del terreno natural en proporción de 60-40% respectivamente. El material de banco se deposita sobre la sub-rasante terminada, se acamellona y descapota para recibir el porcentaje del terreno natural, posteriormente la moto-conformadora lo homogeniza, se aplica la humedad con valores cercanos a la óptima con  $\pm 1\%$ , se procede al tendido y compactado con rodillo liso hasta alcanzar el grado de compactación especificado del 100% de su peso volumétrico seco máximo.

### **2.10.2. Sub-base**

#### **Tipo granular.**

Es muy importante que se le de a la sub-base, una excelente conformación y acabado, porque de esto dependerá el funcionamiento de la losa de concreto y sobre todo la economía en su construcción. La sub-base debe llevar una pendiente (bombeo) según la especificada en el proyecto de que se trate, la cual mantendrá la losa para conservar un espesor constante. Las irregularidades que tenga la sub-base no deben ser mayores a 1 cm, la compactación se logra empleando el agua óptima y medios mecánicos para obtener cuando menos el 95% de la compactación óptima alcanzada en laboratorio.

**Tratada con cemento.**

La sub-base tratada con cemento, está conformada por un suelo estabilizado con cemento Portland, comúnmente llamado “suelo cemento”

Definición suelo cemento es la mezcla íntima de cantidades predeterminadas, de suelo debidamente pulverizado, cemento Portland y agua.

Esta mezcla se somete a una compactación vigorosa, para que con la edad se produzca un material sólido resistente y durable. Actualmente este tipo de sub-base tiene mas aplicación, debido a las características que presente, de donde a continuación se hablara del procedimiento de construcción de esta sub-base.

La construcción de las sub-bases tratadas con cemento sigue el siguiente orden:

- Pulverización del suelo
- Dosificación y mezclado de agua
- Compactación
- Curado
- Dosificación y mezclado del cemento
- Tendido y conformación de la mezcla
- Acabados superficiales

El primer paso es necesario para que se pueda incorporar al cemento en forma íntima. En cuanto a la segunda, depende si el mezclado se realiza en el lugar o en planta; en caso de que sea el primer caso, el suelo se tiende y se conforma en estado suelto para recibir al cemento que se dosifica superficialmente, y después por medio de alguna maquina especial, se incorpora.

Tratándose del segundo caso, el procedimiento se lleva desde el primer paso es decir, una vez que se haga la pulverización del suelo, este se lleva directamente al paso número 3.

Una vez hecha la mezcla, esta se transporta hasta el lugar de la obra, en donde se tiende y se le da la geometría superficial que aproximadamente tendrá la sub-base.

La compactación se hace con el equipo adecuado hasta lograr una compactación del 95%. En este punto no debe haber retrasos, ya que podría llegar el momento de que el material no se pudiera compactar según las especificaciones.

En cuanto al acabado superficial, este es el mismo que se sigue para las sub-bases de tipo granular.

**Figura 39:** Sub-base tratada con cemento



**Fuente:** ICPA (INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO)  
Diseño de pavimentos rígidos

Ing. Diego H. Calo

### **2.10.3. Losas de concreto**

Una vez que se han concluido las etapas de construcción de la sub-base, se procede al colocado de las losas de concreto, las cuales deben cumplir con ciertas propiedades mínimas de resistencia en base a una adecuada selección de materiales que componen la dosificación de la mezcla.

El principal cuidado que debe tenerse al ejecutar la colocación es evitar la segregación de la mezcla, la magnitud de este efecto depende del método de manejo y colocado del concreto, teniéndose que si una mezcla cae libremente de una altura mayor de 1 m pasa por canales con pendiente y cambio de dirección fuertes o experimentan un continuo traslape, se tendrá un importante efecto de segregación en la mezcla.

Para que se efectuó una correcta colocación del concreto, la descarga a la superficie deberá ser lo más directa y cercana posible.

La operación del extendido está estrechamente ligada a las operaciones de colocación, compactación y enrasado. Se lleva a cabo con máquina expendedora o bien manualmente, cuando se utiliza el último de los métodos, la cuadrilla de colocadores deberá llevar a cabo el acomodado del material en la menor cantidad de movimiento y tiempo posible, este proceso deber tener una continuidad tal que evite la formación de juntas frías de colado, buscando en todo momento que la consistencia del concreto sea lo más uniforme posible.

La superficie de las losas se debe verificar cuando el concreto llega a la etapa de fraguado inicial, mediante el empleo de una regla de 3 m que se coloca sobre el pavimento, corrigiendo de inmediato las depresiones o protuberancias que de permanecer pasarían a ser zonas de impacto con la consecuente reducción en la vida útil de la estructura. En ambos casos en que se rellenen depresiones, se debe cuidar que el concreto añadido se impregne al colado.

Dentro del proceso constructivo para el colocado de las losas de concreto, se tiene lo siguiente:

Primeramente se suministra el concreto para proceder con su colocación, una vez que la supervisión lo haya autorizado, verificando que se den las condiciones adecuadas como la cimbra correctamente instalada, que el equipo de trabajo tanto mecánico como humano este en óptimas condiciones de funcionamiento.

Los mixers depositan el concreto sobre la superficie de la sub-base, inmediatamente la masa de concreto es extendida quedando confinada lateralmente por las guarniciones y la cimbra, cuando el colocado haya avanzado un tramo determinado, se inicia el compactado mediante el vibrado, con la regla vibratoria, conformando simultáneamente el plano de la superficie del pavimento, dicha regla funciona a base de aire comprimido.

El avance de la regla se recomienda por experiencia de tal forma que produzca una película lechosa incipiente en la superficie que garantice darle un acabado adecuado.

Concluida la operación de la regla vibratoria, se procede con la operación de acabado de la losa, tomando como apoyo las guarniciones y cimbras laterales, el personal

especializado provisto de frotachas con mango largo le dan el acabado a la superficie desde los extremos que al enrasar se provoca intencionalmente la flotación de una cierta cantidad de mortero de la propia mezcla, para contar con suficiente material para el acabado final de la losa.

**Figura 40:** Operación de la regla de flotación



**Fuente:** Pavimentos rígidos Ing. José Juan Galarza Ruíz

Cuando se le ha dado el acabado con flotas, se requiere una serie de operaciones adicionales para conseguir los niveles de funcionalidad para los que se diseñó el pavimento.

Posteriormente otra cuadrilla de operarios provistos de paletas con mangos largos llamados aviones, utilizan un puente o pasarela rodante sobre la que actúan para no pisar el concreto fresco dándole el plano superficial, esta operación le da a la superficie fresca del concreto un retoque final para quitar las posibles imperfecciones localizadas en el pavimento.

Esta operación consiste en dar una textura superficial más adecuada al pavimento con el objeto de que se permita una mejor adherencia de los vehículos a dicha superficie. Esta textura puede ser longitudinal o transversal.

La textura longitudinal tiene la ventaja de que produce menos ruido al paso de las llantas, sin embargo la textura transversal da un mejor agarre a la hora de proceder al frenado de los vehículos.

**Figura 41:** Operación del texturizado final mediante cepillos



**Fuente:** Pavimentos rígidos José Juan Garza Ruíz

#### **2.10.4. Curado del concreto**

Previo a la construcción de las juntas, se realiza la operación del curado, la cual tiene la finalidad de evitar la pérdida del agua de mezclado por evaporación superficial, que además de provocar fisuras por contracción, da lugar a una disminución de la resistencia de concreto, se pulveriza la superficie del pavimento con un producto de gran poder de cubrimiento, se extiende una membrana impermeable o bien se mantiene húmeda la superficie por otros medios.

El primer procedimiento es el más adecuado siempre que se realice con los medios adecuados y utilizando un líquido de curado debidamente contrastado, este consiste en pulverizar un producto de curado sobre la superficie del concreto después de haberle dado la textura y antes que comience a desecarse.

Es difícil darle al concreto un curado óptimo en el campo para que este desarrolle todas sus características con una mayor eficiencia; pero aun así se obtienen buenos resultados con procedimientos bien llevados a cabo y con responsabilidad.

#### **Por medio de membranas.**

Cuando se termina de darle los acabados necesarios al concreto se le aplica una membrana o pintura en la superficie del concreto para impermeabilizarla y evitar pérdidas por evaporación o desecamiento, y darle un curado conveniente a la masa de concreto. De

preferencia la pintura debe ser de color claro con el fin de reflejar los rayos del sol y evitar ampollas.

### **Por aspersión.**

Se coloca sobre la superficie de concreto tela, arena o hierba; después a intervalos regulares se le da una aspersión de agua durante los primeros siete días.

Para obras muy grandes este procedimiento no es muy recomendable, ya que sería necesario contar con mucho material para cubrir la superficie; en obras pequeñas es muy bueno este procedimiento. De estos dos métodos es el primero el que más se aplica, porque además de que su aplicación es fácil, no necesita muchos cuidados después de su colocación. La dotación de estos productos, es a base de resinas, debe ser tal que no permita la evaporación del agua, las dosificaciones normales son del orden de 200 a 300 gr/m<sup>2</sup>.

Es importante para poder controlar visualmente la distribución del mismo y asegurarse de la uniformidad de la aplicación, que el líquido sea coloreado, por lo que normalmente lleva un pigmento blanco, llamado dióxido de titanio, que además de ampliar el tiempo de corte de las juntas en épocas calurosas (de 2 a 3 horas más), permite comprobar si la superficie esta curada. La aplicación del producto se realiza por medio de aspersores, que permitan curar toda la superficie extendida, caras verticales, así como los cortes efectuados durante la construcción de las juntas.

**Figura 42:** Operación del curado del pavimento rígido



**Fuente:** <http://enconcreto-mf.blogspot.com/2009/09/pre-curado-del-concreto.html>

### **2.10.5. Juntas**

La última etapa en el proceso constructivo del pavimento de concreto es la construcción de juntas, este aspecto debe tomarse con sumo cuidado y no escatimar en gastos de equipo, para obtener los resultados deseados y un comportamiento adecuado del pavimento al paso de los vehículos.

Si no se toma en cuenta o se le da poca importancia a este detalle, entonces el comportamiento del pavimento será inadecuado reflejándose en fallas estructurales y un alza en los costos de mantenimiento así como las quejas de los usuarios.

Con el desarrollo de las técnicas para construcción de juntas se pretende proporcionar:

Comodidad al paso de los vehículos

Durabilidad del refuerzo y de los materiales de sello, para hacerlos compatibles con la losa de concreto

Control de grietas y fisuras

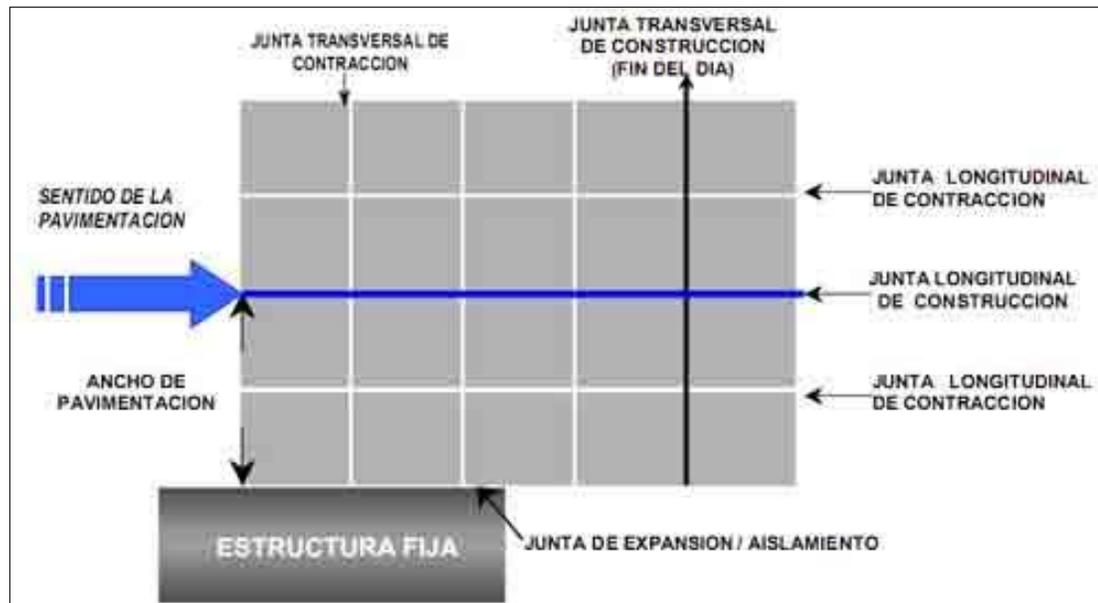
Estética a la superficie del pavimento

La construcción de las juntas se lleva a cabo mediante equipo especializado, que consiste en una cortadora mecánica portátil, llamada “soft-cut”, provista con disco de diamante.

Estas juntas son necesarias para que las fisuras, que naturalmente se producen en el concreto, tanto por contracción del concreto, por el efecto de fricción entre la losa y la sub-base, así como por el efecto combinado de las cargas del tráfico y los gradientes térmicos, aparezcan rectilíneas en la superficie del pavimento de concreto dándole una apariencia de estética y no fisuras irregulares, como ocurriría si se dejase al pavimento usurar espontáneamente.

Para ilustrar lo antes descrito se muestra la siguiente figura:

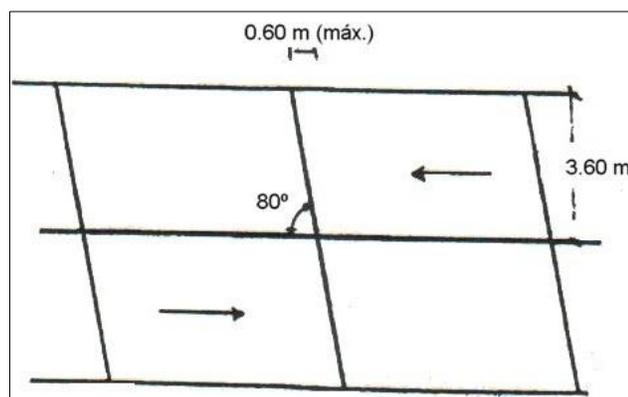
**Figura 43:** Esquema de juntas del pavimento rígido



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

El procedimiento para llevar a cabo la etapa constructiva de las juntas, primeramente se efectúa el trazo sobre la superficie del pavimento, una vez que el concreto haya endurecido lo suficiente para que el personal y equipo puedan transitar libremente sin provocar daño a la superficie del pavimento y evitar mediante esta operación la aparición de grietas por contracción del concreto durante el fraguado.

**Figura 44:** Esquema de esviaje de juntas transversales



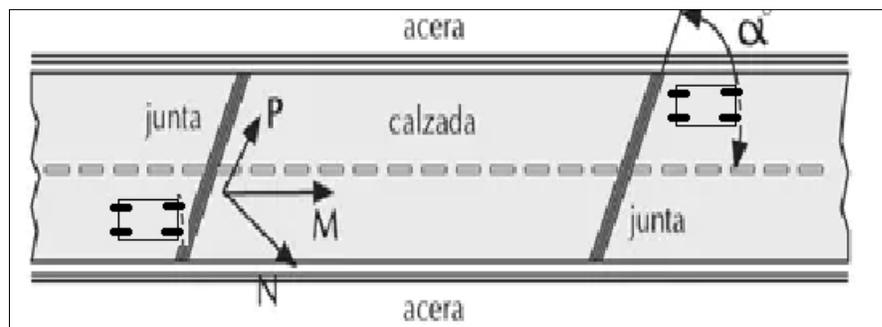
**Fuente:** "Pavimentos rígidos" José Juan Garza Ruíz

Como puede observarse en la figura anterior, las juntas transversales se diseñan de manera que formen un ángulo obtuso con respecto a la orilla exterior del pavimento (línea AB), a

esta inclinación de juntas se le llama esviaje, y por especificación este debe ser de 1/6 del ancho de la calzada de la vialidad y se construye con la siguiente finalidad:

- Los vehículos al circular pisan la junta antes con la rueda izquierda que con la derecha.
- Las cargas-ejes de los vehículos sobre una junta transversal son alternas, por lo consiguiente se reducen los esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto, así como también se reduce potencialmente el fenómeno de bombeo; lo antes descrito se ilustra en la siguiente figura:

**Figura 45:** Esquema de cargas de vehículos sobre una junta



**Fuente:** [www.cymper.com/blog/juntas-de-dilatacion](http://www.cymper.com/blog/juntas-de-dilatacion)

Una vez terminado el plazo del tablero de las juntas, se procede con la operación del cerrado de las juntas transversales y longitudinales. Por medio de este se provocan las fisuras en la secuencia deseada, compatible con las características del concreto y de preferencia deben coincidir con la juntas de las guarniciones.

Primeramente se realiza un corte inicial mediante el soft-cut cuyo disco produce una abertura de 1/4" aproximadamente, en tanto que la profundidad especificada es de 1", posteriormente se procede al serrotado definitivo mediante un disco de 3/8" de espesor, para finalmente concluir con el sellado correspondiente.

Una vez limpia y seca la junta, se procederá a colocar una tirilla de respaldo que efectivamente impida permear al sellador al fondo de la ranura de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de poliuretano expandido.

Posteriormente se procede a verter al sellador auto nivelante, cuidando que el nivel del sellador quede de 3 a 6mm, abajo del nivel del perfil de la losa.

**Figura 46:** Operación de sellado de juntas



**Fuente:** [www.cymper.com/blog/juntas-de-dilatacion](http://www.cymper.com/blog/juntas-de-dilatacion)

### **2.10.6. Mantenimiento**

Aunque las experiencias demuestran que el mantenimiento de los pavimentos de concreto es inferior al de los pavimentos flexibles, muchas veces se sobreestima dicho mantenimiento, por lo cual el comportamiento es inferior al esperado porque no tiene la debida conservación.

La supervisión juega un papel muy importante, ya que un pavimento puede tener un acabado excelente, pero si no se lleva un mantenimiento constante, el mínimo deterioro en él podría llegar a derivar en un gran problema estructural.

La supervisión deberá ser continua, esto es para que el pavimento este en buenas condiciones de funcionamiento durante su vida útil y con el menor costo posible.

### 3. ANALISIS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que se realizó una recolección y análisis de datos que se aplican a ensayos de laboratorio para determinar si existe una influencia del desgaste de los agregados en la resistencia del pavimento rígido para tráfico pesado.

Para la realización de la investigación se establecen criterios básicos que conllevan a la obtención del objetivo del trabajo como ser:

#### 3.1. ÁRIDO GRUESO Y FINO

Los áridos fueron obtenidos de Tarija como ser de la comunidad de Lajas, sobrantes de material del túnel de Alarache en Bermejo, sobrantes de material del puente canaletas en el camino a Entre Ríos, chancadora de material procedente de Colon y chancadora de Charaja, tanto la grava y gravilla, ambos de canto triturado.

**Figura 47:** Sobrantes de material de Canaletas camino a Entre Ríos



**Fuente:** Elaboración Propia

Se utilizaron arenas procedentes de la misma chancadora de trituración comercial de igual procedencia que los agregados gruesos, debido a que para obtener mezclas porosas es deseable una discontinuidad entre tamaños de 2 y 6 mm, una granulometría como la ubicada en el intermedio de las especificaciones.

### 3.2. CEMENTO PORTLAND

Como en todo cemento, se debe respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias y trabajabilidad.

**Figura 48:** Sobrantes de material del túnel de Alarache camino a Bermejo



**Fuente:** Elaboración Propia

Es importante utilizar agregados de buena calidad, si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas. Para lograr resistencias adecuadas es recomendable curar con agua todos los elementos estructurales.

### 3.3. NÚMERO DE ENSAYOS

Para esta presente investigación se realizaron 15 ensayos, por razones de optimización de tiempo, y de utilización resumida del laboratorio.

### 3.4. VALIDACIÓN POR COMPARACIÓN CON OTROS TRABAJOS

Por otra parte se puede hacer una comparación visual de los resultados obtenidos por este estudio que representa los valores de desgaste de Los Ángeles y su relación con la resistencia del pavimento rígido utilizando probetas de hormigón elaborados a base de morteros con estos tipos de agregados.

Nº	Descripción de la fuente de agregado
1	Piedra caliza de New York EEUU
2	Granito de Georgia EEUU
3	Escoria de acero de Indiana EEUU
4	Grava de Minnesota EEUU
5	Grava procedente de Nevada EEUU
6	Caliza de Iowa EEUU
7	Granito de California Del Sur EEUU
8	2da Grava de Minnesota EEUU
9	2da Caliza de Iowa EEUU
10	Grava de Pensilvania EEUU
11	Roca Caliza de Filadelfia EEUU
12	Roca Caliza de Texas EEUU
13	Arenisca de Pensilvania EEUU
14	Caliza de Minnesota EEUU
15	Limolita de Virginia EEUU
16	Basalto de Óregon EEUU

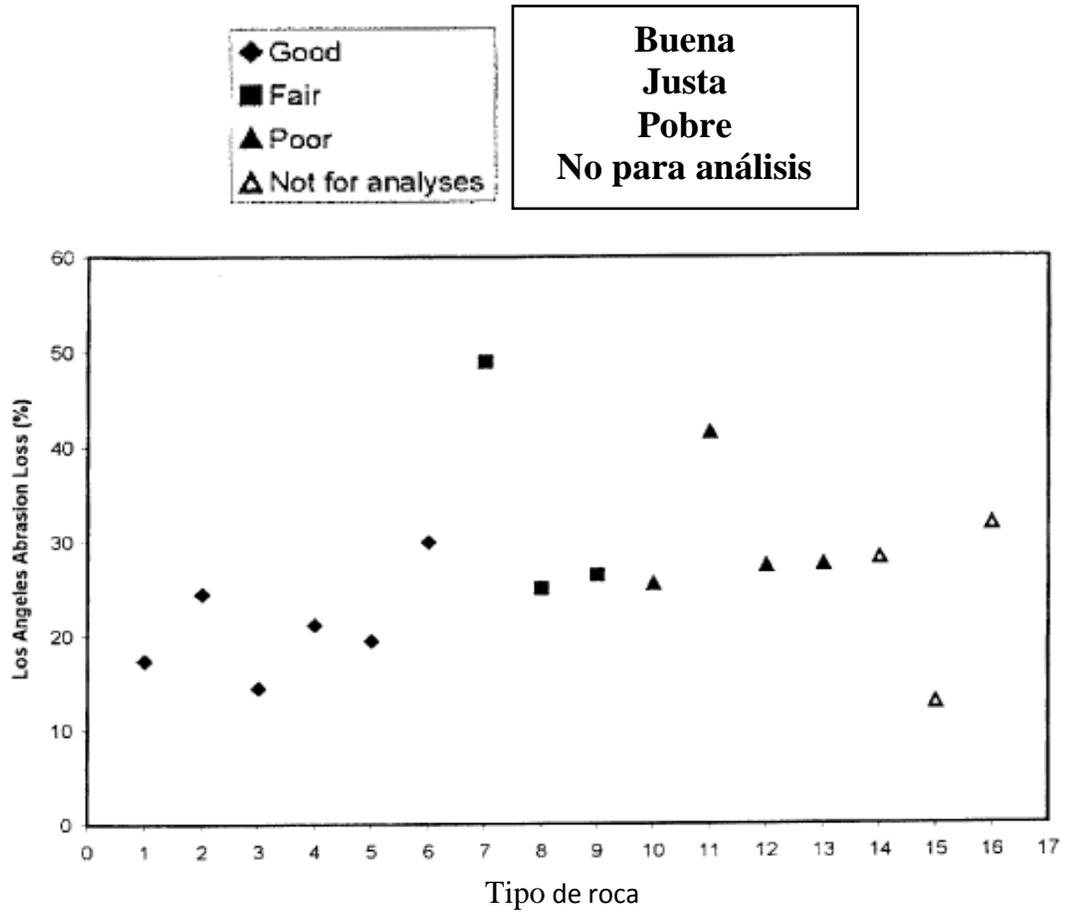
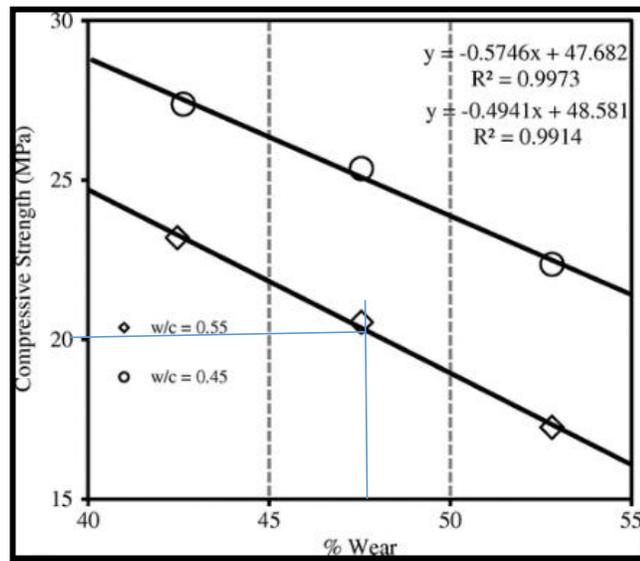


Figura 49: Estudio de compresibilidad para distintos tipos de agregados en EEUU



Fuente: Wu, Parker, and Kandhal. University, Alabama

### 3.5. ENSAYOS EN LABORATORIO

Es la parte más importante de la preparación de mezclas porosas, ya que en esta sección se determinan ciertas características y propiedades de los materiales que nos permiten posteriormente aplicar a la mezcla en sí, tales como la temperatura de mezclado, compactado y calidad de los materiales a utilizar.

Finalmente los ensayos realizados a la mezcla son determinados para obtener las cantidades óptimas adecuadas de cada componente, es decir agregados y ligante.

#### Caracterización de los agregados pétreos

Los agregados deben cumplir ciertas especificaciones de calidad para su aceptación de la mezcla. Los resultados de todos los ensayos realizados a los agregados se encuentran en las tablas de ANEXOS más adelante, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos:

##### 3.5.1. Caras fracturadas

Es un ensayo visual que se realiza con cierta cantidad de muestra la cual se pesa inicialmente, después se procede a separar todo el material que no tenga ninguna cara fracturada y se vuelve a pesar. La diferencia de pesos entre el original y el final expresado en porcentaje es el calculado para dicho material en estudio.

**Figura 50:** Muestras tomadas de agregado grueso para realizar el ensayo



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

#### Cálculos:

Se procedió a usar tres muestras para este análisis, se las peso y tamizo a través de la malla N°8

**Tabla 18:** Cálculo de cantidad de caras fracturadas que tiene la muestra

Ensayo	Lecturas			Promedio	Especificación
	1	2	3		
Numero de ensayos					
Peso total (gr)	1500.00	1500.00	1500.00		
Peso retenido tamiz N°8	985.00	987.00	983.00		
Peso caras fracturadas (gr)	887.00	884.00	882.00		
% de caras fracturadas	90.05	89.56	89.73	89.78	>75%

**Fuente:** Elaboración Propia

$$\%.C.F.= \frac{\text{PESO CARAS FRACTURADAS}}{\text{PESO RETENIDO T. N° 8}} * 100$$

Caras fracturadas (%)	Norma
89,78	> 75%

Se puede apreciar que el porcentaje de caras fracturadas es mayor al de la norma, por lo tanto es aprobado para el uso en la mezcla asfáltica.

El valor que se determino es de 89.78 % en sus caras fracturadas.

### 3.5.2. Granulometría

La determinación de la composición granulométrica del material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de mezclas bituminosas porosas es de prioridad importancia ya que depende fundamentalmente de esta para obtener la porosidad adecuada.

Según la normativa que se eligió para el diseño de la mezcla asfáltica drenante, se trata de la norma de AASHTO T-22, en donde nos muestra la granulometría conformada final a usar, considerando, la grava, gravilla y arena.

En el calculado realizado se determinara la granulometría para los tres agregados utilizados en nuestra mezcla asfáltica y los mismos tienen que cumplir con las exigencias que el diseño nos recomienda, para evitar futuras fallas al hacerlas correr en la prensa de compresión.

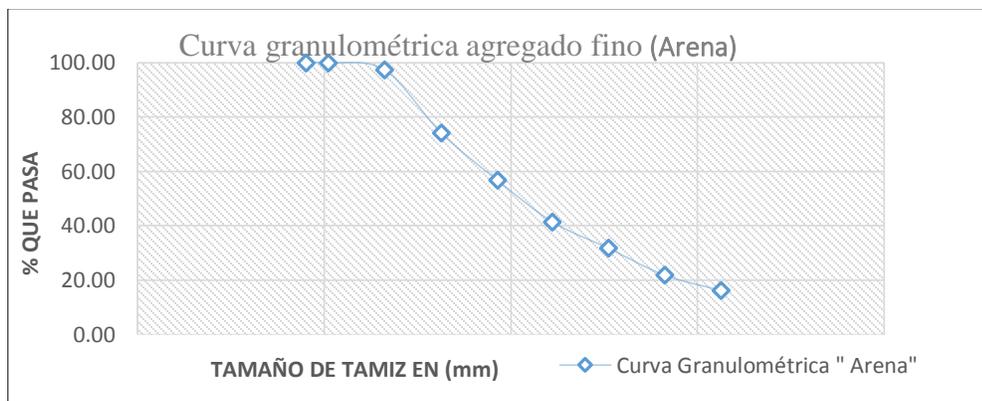
a) **Granulometría de la arena:**

**Tabla 19:** Cálculo granulométrico de la arena a utilizar Chancadora de Charaja

Peso Total (gr.)			5003		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	130,96	130,96	2,62	97,38
Nº8	2,36	1163,82	1294,78	25,88	74,12
Nº16	1,18	869,15	2163,93	43,25	56,75
Nº30	0,60	766,64	2930,57	58,58	41,42
Nº50	0,30	487,25	3417,82	68,32	31,68
Nº100	0,15	495,48	3913,30	78,22	21,78
Nº200	0,075	279,34	4192,64	83,80	16,20
BASE	-	807,54	5000,18	99,94	0,06
SUMA		5000,2			
PÉRDIDAS		2,8			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 51:** Curva Granulométrica de la arena



Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que la curva granulométrica de nuestra arena tiene una buena cantidad de filler que pasa por el tamiz Nº200, el cual nos ayudara bastante en la dosificación de nuestra mezcla drenante, ya que estamos hablando de una arena de origen triturado. También se puede apreciar que la mayor concentración de agregado se encuentra retenido en los tamices de las mallas Nº 8 y Nº16, lo que nos determina que es una arena de gradación gruesa con un buen contenido de filler en su estructura.

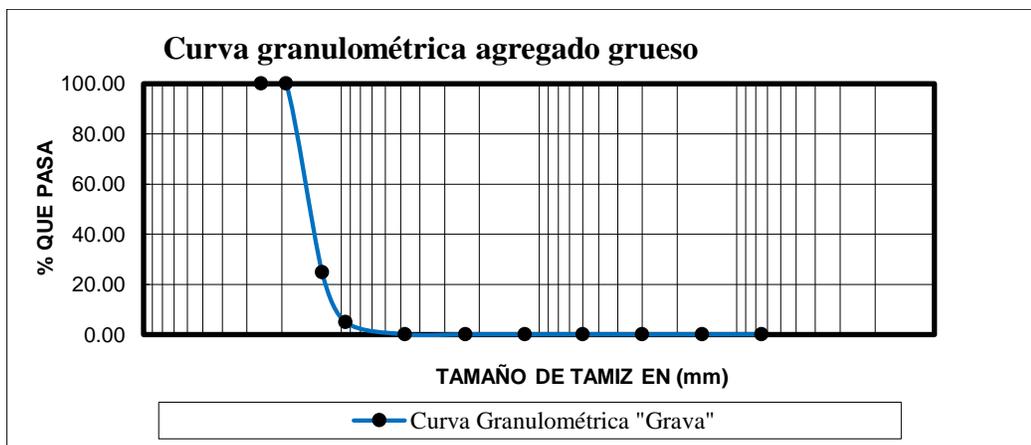
**b) Granulometría de la Grava:**

**Tabla 20:** Cálculo granulométrico de la grava a utilizar Chancadora de Charaja

Peso Total (gr.)			5004		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	3754,50	3754,50	75,03	24,97
3/8"	9,50	998,20	4752,70	94,98	5,02
Nº4	4,75	244,00	4996,70	99,85	0,15
Nº8	2,36	0,00	4996,70	99,85	0,15
Nº16	1,18	0,00	4996,70	99,85	0,15
Nº30	0,60	0,00	4996,70	99,85	0,15
Nº50	0,30	0,00	4996,70	99,85	0,15
Nº100	0,15	0,00	4996,70	99,85	0,15
Nº200	0,075	0,00	4996,70	99,85	0,15
BASE	-	3,50	5000,20	99,92	0,08
SUMA		5000,2			
PÉRDIDAS		3,8			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 52:** Curva Granulométrica de la grava



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar la gráfica y los porcentajes que nos genera la granulometría, podemos señalar y concluir que la grava usada, de origen triturado es muy uniforme en sus granulometrías ya que la mayor parte se concentra entre los tamices 1/2", 3/8" y el Nº4, ideales para nuestro diseño ya que se necesita una buena cantidad de agregado grueso, para dosificar la mezcla porosa.

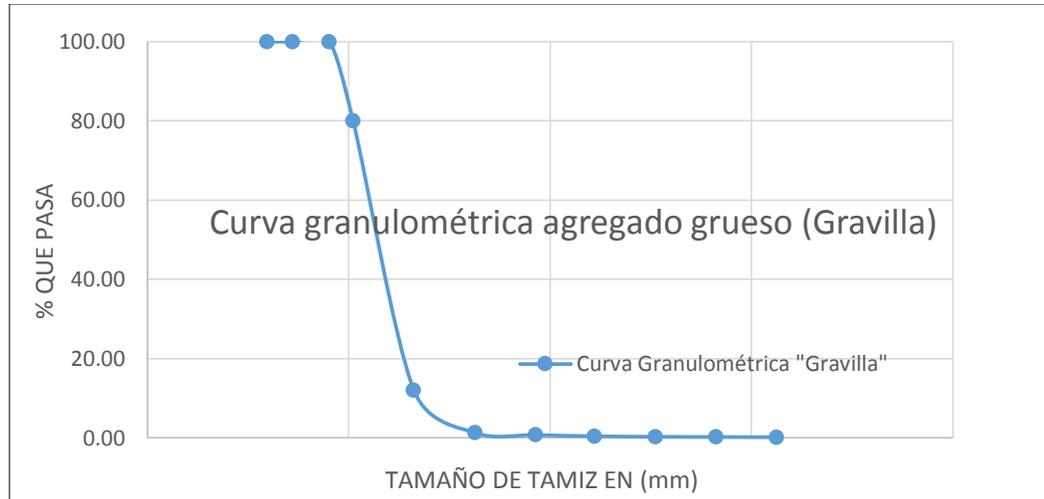
a) **Granulometría de la Gravilla:**

**Tabla 21:** Cálculo granulométrico de la gravilla a utilizar Chancadora de Charaja

Peso Total (gr.)			5001		
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	1003,10	1003,10	20,06	79,94
N°4	4,75	3396,70	4399,80	87,98	12,02
N°8	2,36	538,50	4938,30	98,75	1,25
N°16	1,18	28,20	4966,50	99,31	0,69
N°30	0,60	15,20	4981,70	99,61	0,39
N°50	0,30	7,60	4989,30	99,77	0,23
N°100	0,15	2,40	4991,70	99,81	0,19
N°200	0,075	3,20	4994,90	99,88	0,12
BASE	-	5,30	5000,20	99,98	0,02
SUMA		5000,2			
PÉRDIDAS		0,8			

Fuente: Elaboración propia

**Figura 53:** Curva Granulométrica de la gravilla



Fuente: Elaboración Propia

La granulometría de la gravilla se puede apreciar que es claramente más fina que la de la grava en donde lo retenido en el tamiz N°8 y N°16 existe una buena cantidad de material, y lo mismo ocurre en los otros tamices inferiores, con su respectiva proporción.

## Conformación de la curva granulométrica de diseño

Cálculos:

**Tabla 22:** Cálculo de la curva granulométrica conformada

Tamices	tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Are na	Grava	Gravilla	Are na	TOTAL
		Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	al 0,35	al 0,45	al 0,2	Peso Ret. 1
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	3754,50	0,00	0,00	1314,08	0,00	0,00	1314,08
3/8"	9,50	998,20	1003,10	0,00	349,37	451,40	0,00	800,77
Nº4	4,75	244,00	3396,70	130,96	85,4	1528,515	26,19	1640,11
Nº8	2,36	0,00	538,50	1163,82	0	242,325	232,76	475,09
Nº16	1,18	0,00	28,20	869,15	0	12,69	173,83	186,52
Nº30	0,60	0,00	15,20	766,64	0	6,84	153,33	160,17
Nº50	0,30	0,00	7,60	487,25	0	3,42	97,45	100,87
Nº100	0,15	0,00	2,40	495,48	0	1,08	99,10	100,18
Nº200	0,075	0,00	3,20	297,34	0	1,44	59,47	60,91
BASE	-	3,50	5,30	807,54	1,225	2,385	161,51	165,12
SUMA		5000,2	5000,2	5018,2	1750,07	2250,09	1003,636	5003,8
PÉRDIDAS		2,8	0,8	-14,2				

Según la variación de nuestros porcentajes se obtuvo lo siguiente:

Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
0,00	0,00	100,00	-	-
0,00	0,00	100,00	100	100
1314,08	26,26	73,74	70	100
2114,84	42,26	57,74	50	80
3754,95	75,04	24,96	15	30
4230,04	84,54	15,46	10	22
4416,56	88,26	11,74	-	-
4576,72	91,47	8,53	6	13
4677,59	93,48	6,52	-	-
4777,77	95,48	4,52	-	-
4838,68	96,70	3,30	3	6
5003,80	100,00	0,00	-	-

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la conformación de la curva granulométrica se tuvo que jugar y hacer variar los porcentajes de nuestros agregados para que estén dentro de nuestras fajas límites, que nos estipula la norma AASHTO T-22.

Grava de canto triturado= 35%

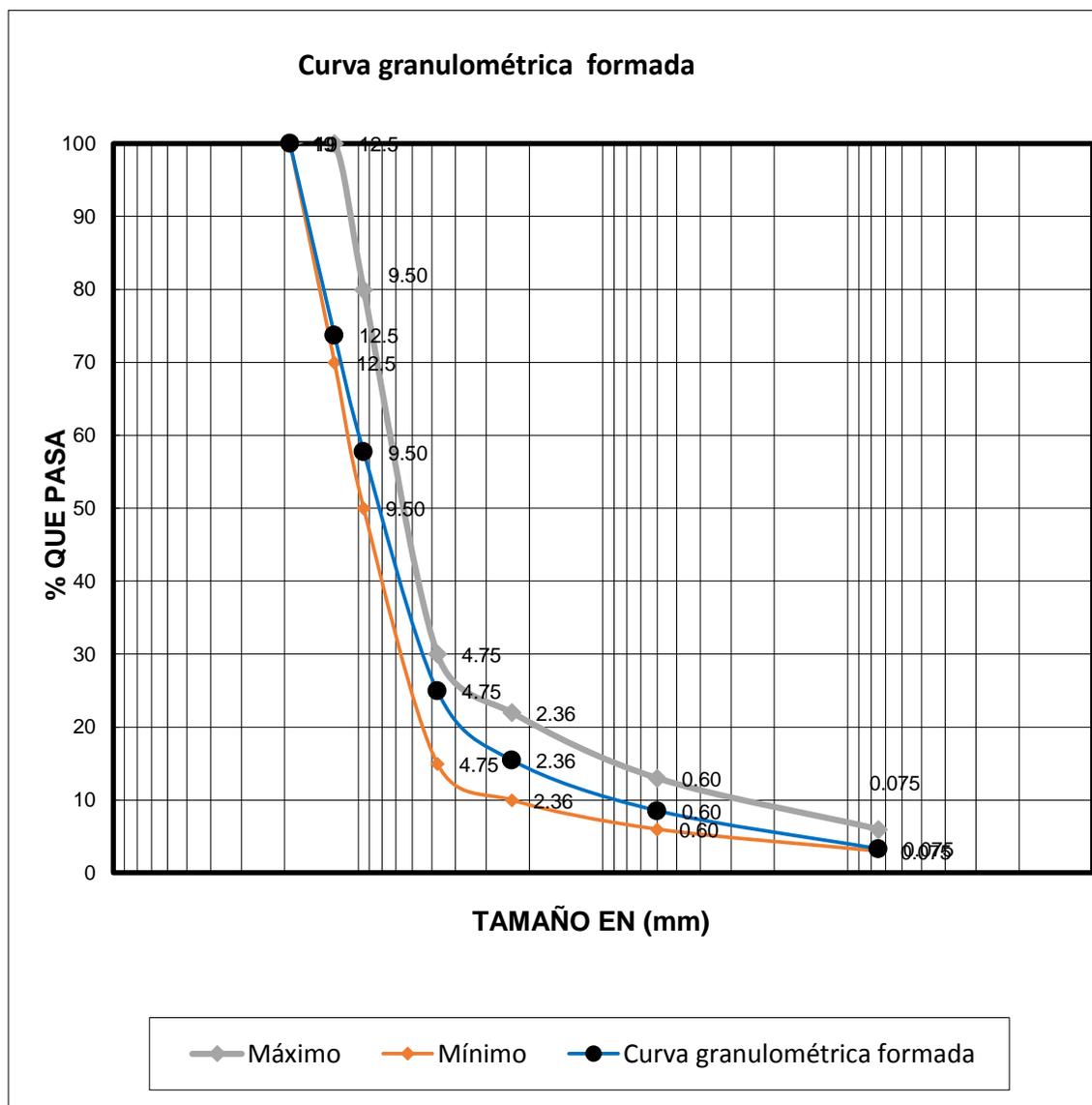
Gravilla de canto triturado= 45%

Arena de canto Triturado= 20%

Los cuales nos daban los límites que podíamos usar para no salirse de la las fajas granulométricas establecidas.

Se usó el procedimiento contemplado en **AASHTO T-22**, debido a que nos brinda un mayor rango para jugar con nuestras proporciones tanto de arena, grava y gravilla.

**Figura 54:** Curva granulométrica conformada



**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 23:** Resumen de la granulometría conformada

Tamaño	% pasa de la	Mínimo	Máximo
19	100,00	100	100
12,5	73,74	70	100
9,50	57,74	50	80
4,75	24,96	15	30
2,36	15,46	10	22
0,60	8,53	6	13
0,075	3,30	3	6

**Fuente:** Elaboración Propia

En esta tabla resumen se puede apreciar que todas nuestras granulometrías se encuentran dentro de nuestras fajas límites que nos establece.

### 3.5.3. PESO ESPECÍFICO GRAVA Y ARENA.

La muestra debe ser de 5 kg de material elegido por el método de cuarteo y de tal manera que toda la muestra a utilizar quede retenida en el tamiz de 3/8”

**Figura 55:** Pesaje de la muestra en laboratorio

**Fuente:** Elaboración Propia laboratorio de Hormigones UAJMS

Se lavó bien el material al fin de que no contenga impurezas de ningún tipo, por ejemplo camisas de arcilla o limo, luego se sumergió la muestra en un recipiente con agua durante 24 hrs de tal manera que el material quede totalmente saturado durante ese periodo. De

esta manera nos aseguramos que al realizar el pesaje tomemos en cuenta solamente la masa del material.

**Figura 56:** Lavado del material para ser sumergido por 24 horas



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

Después de las operaciones anteriores que se realizó un día antes, al momento de hacer el ensayo se sacó la muestra del agua y se procedió a secar con una toalla de tal manera que en la superficie de la graba no sea visible una película de agua, se tendrá que hacer lo más rápido posible de tal manera que se pueda evitar la evaporación en el proceso.

**Figura 57:** Secado de la muestra en laboratorio



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

Después se procedió a pesar la muestra con sus partículas saturadas, esto también debe ser lo más rápido posible de tal manera que la humedad de las piedras desaparezca por la evaporación.

**Figura 58:** Pesado de la muestra después de haber sido secado superficialmente



**Fuente:** Laboratorio de hormigones UAJMS

Una vez pesada la muestra se volvió a sumergir y esta vez se determina el peso de la muestra sumergida dentro del turril con agua.

**Figura 59:** Pesado de la muestra sumergida en el canastillo



**Fuente:** Laboratorio de hormigones UAJMS

Por último se secó en el horno a temperatura constante de tal manera que después se proceda al pesado de la misma.

**Figura 60:** Secado de la muestra al horno, para luego ser pesada



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

### Cálculos:

Se realizó el mismo procedimiento tanto para la grava y gravilla para determinar el peso específico en el laboratorio, calculando el peso específico aparente final, el cual nos servirá más adelante como dato para realizar nuestro cálculo de dosificación.

Se usaron tres muestras tanto de grava como de gravilla para realizar los siguientes cálculos. Peso específico a granel, peso específico en condición saturado con superficie seca, peso específico aparente y el % de absorción. Con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Peso específico en condición saturado con superficie seca} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100$$

A= Peso de la muestra secada en el horno (gr).

B= Peso de la muestra saturada con superficie seca (gr).

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua (gr).

**Tabla 24:** Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la grava  
Muestra: Grava de canto triturado **Datos:**

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4974.30	5048.30	3052.00
2	4972.60	5050.20	3058.00
3	4976.80	5052.60	3061.00

Se determinaron los siguientes valores:

Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturado con sup. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% de absorción
2.49	2.53	2.59	1.49
2.50	2.53	2.60	1.56
2.50	2.54	2.60	1.52
<b>2.50</b>	<b>2.53</b>	<b>2.59</b>	<b>1.52</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Obteniéndose un valor de peso específico aparente medio en el caso de la grava de **2.59 gr/cm<sup>3</sup>**. Que están dentro de los rangos para la dosificación de nuestra mezcla asfáltica y los requerimientos que exigen. Se determinó a su vez que nuestro material tiene un porcentaje de absorción de **1.52 %**, el cual nos demuestra la calidad del mismo al ser valores óptimos para nuestro diseño de mezcla porosa.

**Tabla 25.** Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la gravilla  
Muestra: Gravilla de canto triturado **Datos:**

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4935.90	5051.70	3043.00
2	4930.10	5046.20	3041.00
3	4928.50	5046.10	3040.00

Se determinó los siguientes valores:

<b>Peso específico a granel (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso específico saturado con sup. Seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso específico aparente (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% de absorción</b>
2.46	2.51	2.61	2.35
2.46	2.52	2.61	2.35
2.46	2.52	2.61	2.39
<b>2.46</b>	<b>2.52</b>	<b>2.61</b>	<b>2.36</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Obteniéndose un valor en el peso específico aparente medio de la gravilla de **2.61 gr/cm<sup>3</sup>**. Que corresponde también dentro del rango permitido para poder aplicarlo en nuestra mezcla asfáltica drenante. A su vez se pudo apreciar según los cálculos que el porcentaje de absorción es significativamente mayor que de la grava, dando un valor de **2.36 %**.

Lo que hace pensar que la gravilla absorbe más humedad que la grava, tal esto debido a que tiene más caras fracturadas y el material es mucho más fino en su granulometría.

Esto tal vez tenga cierta influencia en el preparado de muestra mezcla asfáltica y al calcular el peso específico de nuestras briquetas, haciendo fluctuar los datos, según ella cantidad de grava y gravilla que entraran en la mezcla.

### **Peso específico de la arena**

Después de asegurarse que la muestra está completamente limpia es decir libre de impurezas como ser tierra, arcilla, limo y haberla saturado 24 hrs. antes de la realización de la práctica se siguen los siguientes pasos:

Se saca la muestra y se empieza a secar uniformemente con la secadora.

A medida que se va secando la muestra se procede a hacer pruebas con el cono, se coloca primero el molde cónico y se va llenando de arena el mismo por capas de tal manera que al llenar la arena reciba 25 golpes de la varilla para compactar, se retira el cono y si la muestra está todavía húmeda la misma conservará la forma original del cono.

**Figura 61-62:** Secado de la arena con secadora / Colocado de la muestra en el matraz



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

Si la muestra está todavía húmeda se procede a seguir secando la misma de manera uniforme con la secadora, y se repite el mismo procedimiento, si la arena rueda libremente y no queda en punta esto indica que la muestra esta demasidamente seca de tal manera que se tendrá que extraer otra muestra y repetir el mismo procedimiento.

**Figura 63:** Determinación de la superficie seca de la muestra saturada



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

Cuando se logre lo indicado en la figura anterior se procede pesar 500 gr de la muestra en el matraz y luego se llena con agua hasta la marca de enrase, y para que las burbujas se salgan se procede a hacer rodar el matraz suavemente luego se coloca la muestra a una temperatura de 20 °C, luego se obtiene el peso del matraz lleno.

**Figura 64:** Pesado de la muestra, matraz y agua para llevarlo después al horno



**Fuente:** Laboratorio de Hormigones UAJMS

Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante y se espera hasta que esté completamente seco.

### **CÁLCULOS:**

Después de realizar el ensayo y tomar los datos de las tres muestras se procedió a calcular los parámetros que se necesitaba. Usando las siguientes ecuaciones de cálculo.

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V-W}$$

$$\text{Peso específico en condición sat y sup seca} = \frac{500}{V-W}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

V= Volumen del frasco (ml)

W= Peso (gr) o volumen (ml) del agua agregado al frasco

**Tabla 26:** Planilla de cálculo peso específico y porcentaje de absorción de la arenaMuestra: **Arena de canto triturado** Datos:

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matr�az (gr)	Muestra + matr�az + agua (gr)	Peso del agua agregado al matr�az "W" (ml) � (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matr�az "V" (ml)
1	500.00	178.20	1000.90	322.70	490.90	500.00
2	500.00	178.20	1001.30	323.10	491.40	500.00
3	500.00	178.20	1000.20	322.00	490.70	500.00

Se determinó los siguientes valores:

P. E. A granel (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. Saturado con sup. Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% De absorci�n
2.77	2.82	2.92	1.85
2.78	2.83	2.92	1.75
2.76	2.81	2.91	1.90
<b>2.77</b>	<b>2.82</b>	<b>2.92</b>	<b>1.83</b>

Fuente: Elaboración Propia

Según el c culo realizado se pudo determinar el peso específico de la arena que se utilizara para la dosificación de la mezcla asfáltica drenante, dando un valor alto, el cual gracias a su rango calculado nos brinda una mayor resistencia a la mezcla en conjunto con un peso específico de **2.92 gr/cm<sup>3</sup>** y un porcentaje de absorción relativamente bajo de **1.83 %**, ambos dentro de los rangos establecidos por norma.

Los cual nos brindara una mayor seguridad en nuestro diseño y dosificación de mezcla porosa.

#### **Módulo de finura del agregado fino**

La muestra debe ser de aproximadamente 1000 gr de material obtenido por cuarteo y de tal manera que pueda pasar el tamiz de 3/8" en el caso del agregado fino; dato que nos

servirá para la dosificación del concreto en la parte de correcciones de la relación agua cemento.

Se lavó el material a fin de que el módulo de finura no fuera afectado por posibles contaminaciones como arcilla o material biológico, luego se procedió al Tamizado desde el tamiz N° 4, en proporciones de tal manera que se logre la mejor separación de los tamaños

**Figura 65:** Pesaje de la muestra



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 66:** Separación por tamaños para pesaje



**Fuente:** Elaboración propia

### Cálculos.

Se realizó el cálculo del módulo con la siguiente formula

$$MF = \frac{\Sigma(N^{\circ}4, \dots N^{\circ}100)}{100}$$

Tamiz	Peso retenido	%	%acumulado	$\Sigma(N^{\circ}4, \dots N^{\circ}100)$	$\Sigma(N^{\circ}4, \dots N^{\circ}100)/100$
4	557.50	48.02	48.02	327.87	3.28= Modulo de finura
10	441.40	38.02	86.05		
40	105.00	9.04	95.09		
100	42.00	3.62	98.71		
200	13.00	1.12	99.83		
<b>BASE</b>	2.0	0.17	100.00		
<b>TOTAL</b>	1160.90				

De donde se establece que el valor del módulo de finura para este tipo de agregado fino es 3.28 adimensional.

Como se mencionó el valor del módulo de finura de la arena se alteró por el lavado del material donde las partículas de arcilla y de limo se eliminaron pero originalmente sumarian un peso adicional en el tamiz N°200 y la base.

#### 3.5.4. Desgaste de Los Ángeles

La gradación tipo A y B, se la realizo para la grava, mientras que la gradación tipo C, se la realizo para la gravilla

Para tener un valor aproximado del desgaste se procedió a usar tres muestras para cada gradación y así calcular un estimado medio del desgaste producido que se puede ocasionar.

**Figura 67:** Máquina de Desgaste de los Ángeles



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

**Figura 68:** Colocación de las muestras en la máquina de desgaste



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

**Figura 69:** Tamizado de las muestras por la malla N°10



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

**Figura 70:** Lavado de las muestras después del tamizado



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

**Figura 71:** Pesado de las muestras después del secado en el horno



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

### Cálculos:

Para realizar los cálculos se procedió a hacer un pesaje de las muestras antes y después del ensayo, cada una tenía un total de 5000 gr. Que se puede apreciar en la siguiente formula y tablas de resultados. Para un mayor detalle revisar los anexos al final.

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

$P_i$  = Peso inicial de la muestra antes del ensayo (gr)

$P_f$  = Peso final de la muestra después del ensayo (gr)

**Gradación Tipo A, N° de esferas: 12****Tabla 27:** Gradación Tipo A, N° de esferas: 12

<b>Datos de laboratorio</b>		
<b>Gradación A</b>		
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido tamiz</b>	<b>Peso retenido</b>
1½ "	1"	1251.90
1"	¾"	1251.70
¾"	½"	1250.5
½"	⅜"	1250.20

**Fuente:** Elaboración Propia

**Muestra 1**

<b>Gradación</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% de desgaste</b>	<b>Especificación ASTM</b>
A	5004.30	1981.40	60.40	35% MAX

**Muestra 2**

<b>Gradación</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% de desgaste</b>	<b>Especificación ASTM</b>
A	5000.50	1980.30	60.40	35% MAX

**Muestra 3**

<b>Gradación</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% de desgaste</b>	<b>Especificación ASTM</b>
A	5001.40	1988.20	60.25	35% MAX

Se puede apreciar que todos los desgastes de la muestra con gradación Tipo A, son mayores que el rango máximo que nos da la norma. Si sobrepasa el 35 %.

Para la investigación se puede aceptar este valor.

Este agregado fue manufacturado a partir de material de laja proveniente de la comunidad de Lajas ya que este era el único que cumplía la condición de investigación que es de que haya un agregado con un desgaste aproximado a 60 %.

Dicho dato será necesario para la visualización de la relación que se conforme y nos dé una idea clara de la influencia de los agregados en la resistencia del hormigón.

Al analizar todas las gradaciones y las pérdidas de material que se obtuvieron, podemos llegar a la conclusión de son de buena y mala calidad.

### 3.5.5. Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)

En este ensayo se necesita la ayuda de la prensa hidráulica, este equipo será el que nos marca la resistencia que obtuvimos en nuestra probeta de ensayo.

**Figura 72:** Prensa hidráulica para ensayo de compresión de probetas



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

Para comenzar con el proceso de compresión necesitamos algunos datos que la máquina nos pide como ser: el peso, el diámetro, la altura, la edad en días desde la dosificación.

**Figura 73:** Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

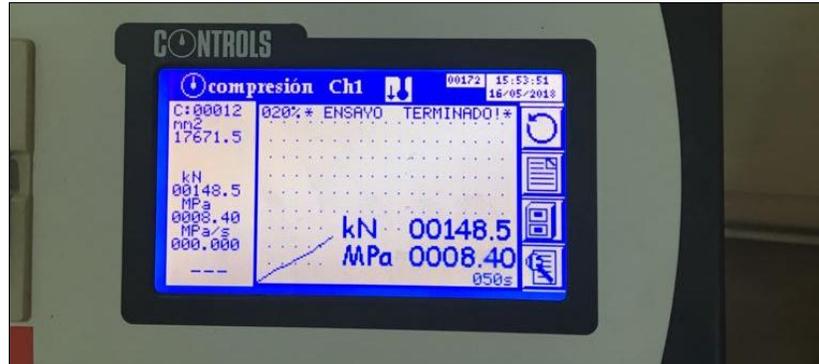
#### Datos.

Prueba N°	5
Procedencia de cantera	Lajas
Edad (días)	28.00
Velocidad de compresión (Mpa/s)	0.40
Peso (gr)	12280.00
Altura (mm)	305.00
Base (mm)	150.00

Se introduce estos datos a en la memoria de la computadora y se procede a la puesta en marcha de la compresión.

Además de estos datos previos también se obtuvo el dato de la altura y de la base con los cuales la maquina automáticamente nos dio un volumen.

**Figura 74:** Pantalla de resultado de compresión de la probeta



**Fuente:** Elaboración propia en el lab de hormigón UAJMS

Luego se procede a registrar el resultado que se arroja en la pantalla

Resistencia	Mpa=	8.40
	Kg/cm2=	88.00

#### 3.4.1. Ensayo de resistencia la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)

En este ensayo se necesita la ayuda de la prensa hidráulica, este equipo será el que nos marca la resistencia que obtuvimos en nuestra viga de ensayo.

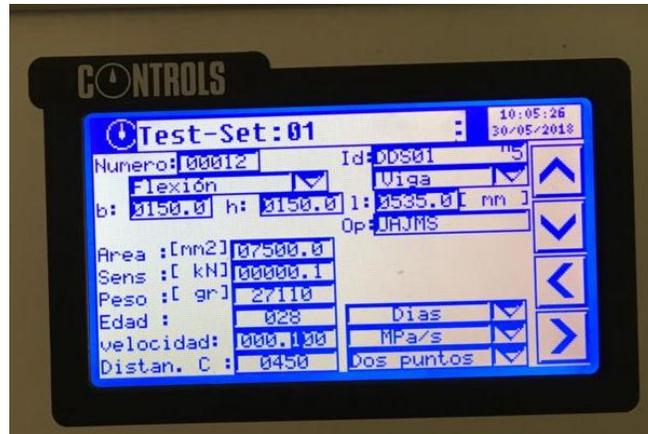
**Figura 75:** Viga en la entrada de la prensa, acomodada en el dispositivo flexionante



**Fuente:** Elaboración propia en el laboratorio de hormigón UAJMS

Para comenzar con el proceso de compresión necesitamos algunos datos que la maquina nos pide como ser: el peso, el diámetro, la altura, la edad en días desde la dosificación.

**Figura 76:** Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo



**Fuente:** Elaboración propia en el lab de hormigón UAJMS

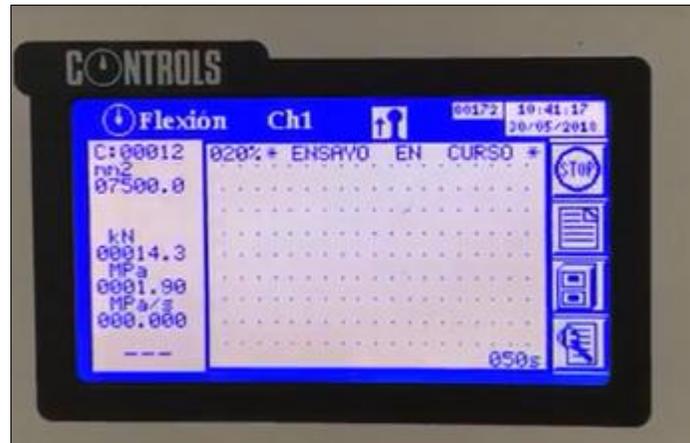
#### Datos.

Prueba N°	1
Procedencia de cantera	Lajas
Edad (días)	28.00
Velocidad de compresión (Mpa/s)	0.10
Peso (gr)	27575.00
Altura (mm)	150.00
Base (mm)	150.00
Largo (mm)	535.00

Se introduce estos datos a en la memoria de la computadora y se procede a la puesta en marcha de la compresión.

Luego se procede a registrar el resultado que se arroja en la pantalla

**Figura 77:** Pantalla de resultado de flexión de la viga



**Fuente:** Elaboración propia en el lab de hormigón UAJMS

Resistencia	Mpa=	1.90
	Kg/cm2=	19.37

### 3.5. DOSIFICACIÓN DE CADA MEZCLA Y PRECIOS UNITARIOS

#### Dosificación Charaja.

##### Datos:

**Resistencia a la compresión**= 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Promedio a la compresión:

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f^{cr}=f^c+8.50$$

Donde:

$f^{cr}$  = Resistencia Promedio a la compresión (Mpa)

$f^c$  = Resistencia especificada (Mpa)

Así se establece la **resistencia promedio de 297 kg/cm<sup>2</sup>**

**Peso específico del agregado grueso**= 2.70 gr/cm<sup>3</sup>

**Peso específico del agregado fino**= 2.78 gr/cm<sup>3</sup>

**Módulo de finura de la arena**= 2.69

**Relación agua/cemento**= 0.51

**Asentamiento**= 2"

% de arena corregido= 46.90 %

Cantidad de agua corregido= 189.44 kg/m<sup>3</sup>

**Cantidad de Cemento.**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{189.44 \text{ kg}}{0.51} = 371.45 \text{ kg/m}^3$$

Volumen absoluto de agua y cemento.

$$\text{Vol.} = \text{agua} + \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico del cemento}} = 189.44 + \frac{371.45}{3.15} = 307.36 \text{ Lt/m}^3$$

**Cantidad de agregado total.**

$$\text{Agregado total} = 1000 - 307.36 = 692.64 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 46.90\% * 692.64 = 324.85 \text{ Lt/m}^3 = 0.33 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de grava} = 692.64 - 324.85 = 367.80 \text{ Lt/m}^3 = 0.37 \text{ m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 324.85 * 2.78 = 903.10 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de grava} = 367.80 * 2.70 = 993.10 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla:

$$\frac{371.50}{371.50} : \frac{903.10}{371.50} : \frac{993.10}{371.50}$$

$$1 : 2.43 : 2.67$$

**Dosificación Colón.****Datos:**

**Resistencia a la compresión**= 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Promedio a la compresión.

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f'_{cr}=f'_c+8.50$$

Donde:

$f'_{cr}$  = Resistencia Promedio a la compresión (Mpa)

$f'_c$  = Resistencia especificada (Mpa)

Así se establece la **resistencia promedio de 297 kg/cm<sup>2</sup>**

**Peso específico del agregado grueso**= 2.69 gr/cm<sup>3</sup>

**Peso específico del agregado fino**= 2.76 gr/cm<sup>3</sup>

**Módulo de finura de la arena**= 2.52

**Relación agua/cemento**= 0.51

**Asentamiento**= 2"

% de arena corregido= 46.05 %

Cantidad de agua corregido= 189.44 kg/m<sup>3</sup>

**Cantidad de Cemento.**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{189.44 \text{ kg}}{0.51} = 371.45 \text{ kg/m}^3$$

Volumen absoluto de agua y cemento.

$$\text{Vol.} = \text{agua} + \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico del cemento}} = 189.44 + \frac{371.45}{3.15} = 307.36 \text{ Lt/m}^3$$

**Cantidad de agregado total.**

$$\text{Agregado total} = 1000 - 307.36 = 692.64 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 46.05\% * 692.64 = 318.96 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de grava} = 692.64 - 318.96 = 373.68 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 318.96 * 2.76 = 880.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de grava} = 373.68 * 2.69 = 1005.20 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla.

$$\frac{371.50}{371.50} : \frac{880.33}{371.50} : \frac{1005.20}{371.50}$$

$$1 : 2.37 : 2.71$$

**Dosificación Canaletas.****Datos:**

**Resistencia a la compresión**= 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Promedio a la compresión:

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f'_{cr}=f'_c+8.50$$

Donde:

$f'_{cr}$  = Resistencia Promedio a la compresión (Mpa)

$f'_c$  = Resistencia especificada (Mpa)

Así se establece la **resistencia promedio de 297 kg/cm<sup>2</sup>**

**Peso específico del agregado grueso**= 2.82 gr/cm<sup>3</sup>

**Peso específico del agregado fino**= 2.69 gr/cm<sup>3</sup>

**Módulo de finura de la arena**= 2.59

**Relación agua/cemento**= 0.51

**Asentamiento**= 2"

% de arena corregido= 46.40 %

Cantidad de agua corregido= 189.44 kg/m<sup>3</sup>

**Cantidad de Cemento.**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{189.44 \text{ kg}}{0.51} = 371.45 \text{ kg/m}^3$$

Volumen absoluto de agua y cemento.

$$\text{Vol.} = \text{agua} + \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico del cemento}} = 189.44 + \frac{371.45}{3.15} = 307.36 \text{ Lt/m}^3$$

**Cantidad de agregado total.**

$$\text{Agregado total} = 1000 - 307.36 = 692.64 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 46.40\% * 692.64 = 321.38 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de grava} = 692.64 - 321.38 = 371.26 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 321.38 * 2.69 = 864.51 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de grava} = 371.26 * 2.82 = 1047.00 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla.

$$\frac{371.50}{371.50} : \frac{864.51}{371.50} : \frac{1047.00}{371.50}$$

$$1 : 2.32 : 2.82$$

**Dosificación Bermejo.****Datos:****Resistencia a la compresión= 210 kg/cm<sup>2</sup>**

Resistencia Promedio a la compresión:

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f'_{cr}=f'_c+8.50$$

Donde:

 $f'_{cr}$  = Resistencia Promedio a la compresión (Mpa) $f'_c$  = Resistencia especificada (Mpa)Así se establece la **resistencia promedio de 297 kg/cm<sup>2</sup>****Peso específico del agregado grueso= 2.82 gr/cm<sup>3</sup>****Peso específico del agregado fino= 2.59 gr/cm<sup>3</sup>****Módulo de finura de la arena= 2.63****Relación agua/cemento= 0.51****Asentamiento= 2"**

% de arena corregido= 46.60 %

Cantidad de agua corregido= 189.44 kg/m<sup>3</sup>**Cantidad de Cemento.**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{189.44 \text{ kg}}{0.51} = 371.45 \text{ kg/m}^3$$

Volumen absoluto de agua y cemento.

$$\text{Vol.} = \text{agua} + \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico del cemento}} = 189.44 + \frac{371.45}{3.15} = 307.36 \text{ Lt/m}^3$$

**Cantidad de agregado total.**

$$\text{Agregado total} = 1000 - 307.36 = 692.64 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 46.6\% * 692.64 = 322.77 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de grava} = 692.64 - 322.77 = 369.87 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 322.77 * 2.59 = 835.97 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de grava} = 369.87 * 2.82 = 1043.03 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla:

$$\frac{371.50}{371.50} : \frac{835.97}{371.50} : \frac{1043.03}{371.50}$$

$$1 : 2.25 : 2.81$$

**Dosificación Lajas.****Datos:**

**Resistencia a la compresión**= 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Promedio a la compresión:

Cuando se tienen menos de 15 ensayos, para asegurar la calidad del hormigón se establece un rango de seguridad según la siguiente formula expresada en Mpa.

$$f'_{cr}=f'_{c}+8.50$$

Donde:

$f'_{cr}$  = Resistencia Promedio a la compresión (Mpa)

$f'_{c}$  = Resistencia especificada (Mpa)

Así se establece la **resistencia promedio de 297 kg/cm<sup>2</sup>**

**Peso específico del agregado grueso**= 2.37 gr/cm<sup>3</sup>

**Peso específico del agregado fino**= 2.72 gr/cm<sup>3</sup>

**Módulo de finura de la arena**= 2.49

**Relación agua/cemento**= 0.51

**Asentamiento**= 2"

% de arena corregido= 45.90 %

Cantidad de agua corregido= 189.44 kg/m<sup>3</sup>

**Cantidad de Cemento.**

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{189.44 \text{ kg}}{0.51} = 371.45 \text{ kg/m}^3$$

Volumen absoluto de agua y cemento.

$$\text{Vol.} = \text{agua} + \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico del cemento}} = 189.44 + \frac{371.45}{3.15} = 307.36 \text{ Lt/m}^3$$

**Cantidad de agregado total.**

$$\text{Agregado total} = 1000 - 307.36 = 692.64 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena} = 45.9\% * 692.64 = 317.92 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de grava} = 692.64 - 317.92 = 374.72 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 317.92 * 2.72 = 864.74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de grava} = 374.72 * 2.37 = 888.09 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla:

$$\frac{371.50}{371.50} : \frac{864.72}{371.50} : \frac{888.09}{371.50}$$

$$1 : 2.32 : 2.39$$

## PRECIOS UNITARIOS PARA HORMIGÓN SIMPLE

### CHARAJA:

1. Materiales	Unidad	Cantidad	P. unitario	Sub total
Cemento portland IP-30	Kg	371.50	1.06	393.80
Arena	m <sup>3</sup>	0.33	150.00	49.50
Grava	m <sup>3</sup>	0.37	150.00	55.50
Agua	lt	189.40	0.10	18.90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				517.70

2. Mano de obra	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Sub Total
Ayudante	hr	15.00	10.00	150.00
Maestro albañil	hr	12.00	15.00	180.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				330.00
<b>Cargas sociales</b>			60.00	198.00
<b>I.V.A. de M.O. y cargas sociales</b>			14.94	78.90
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				606.90

3. Equipo, maquinaria y herramientas	Unidad	Cantidad	P. unitario	Sub total
Mezcladora	hr	1.00	24.00	24.00
Vibradora	hr	0.80	10.00	8.00
Herramientas = (5% del total de mano de obra)				30.30
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				62.30

4. Gastos generales y administrativos	Precio productivo	Sub total
Gastos generales = % 1+2+3	10.00	118.50
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		118.50

5. Utilidad	Precio productivo	Sub total
Utilidad=% 1,2,3,4	10.00	130.40
<b>COSTO TOTAL UTILIDAD</b>		130.40

6. Impuestos	Precio productivo	Sub total
Impuestos IT= % de 1,2,3,4,5	3.09	44.30
<b>COSTO TOTAL IMPUESTOS</b>		44.30

<b>Total precio unitario adoptado</b>	<b>1478.10 Bs</b>
---------------------------------------	-------------------

**COLON:**

<b>1. Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Cemento portland IP-30	Kg	371.50	1.06	393.80
Arena	m <sup>3</sup>	0.32	140.00	44.80
Grava	m <sup>3</sup>	0.37	150.00	55.50
Agua	lt	189.40	0.10	18.90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				513.00

<b>2. Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Sub Total</b>
Ayudante	hr	15.00	10.00	150.00
Maestro albañil	hr	12.00	15.00	180.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				330.00
<b>Cargas sociales</b>			60.00	198.00
<b>I.V.A. de M.O. y cargas sociales</b>			14.94	78.90
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				606.90

<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Mezcladora	hr	1.00	24.00	24.00
Vibradora	hr	0.80	10.00	8.00
Herramientas = (5% del total de mano de obra)				30.30
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				62.30

<b>4. Gastos generales y administrativos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Gastos generales = % 1+2+3	10.00	118.20
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		118.20

<b>5. Utilidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Utilidad=% 1,2,3,4	10.00	130.10
<b>COSTO TOTAL UTILIDAD</b>		130.10

<b>6. Impuestos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Impuestos IT= % de 1,2,3,4,5	3.09	44.20
<b>COSTO TOTAL IMPUESTOS</b>		44.20

<b>Total precio unitario adoptado</b>	<b>1474.70 Bs</b>
---------------------------------------	-------------------

**CANALETAS:**

<b>1. Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Cemento portland IP-30	Kg	371.50	1.06	393.80
Arena	m <sup>3</sup>	0.32	150.00	48.00
Grava	m <sup>3</sup>	0.37	150.00	55.50
Agua	lt	189.40	0.10	18.90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				516.20

<b>2. Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Sub Total</b>
Ayudante	hr	15.00	10.00	150.00
Maestro albañil	hr	12.00	15.00	180.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				330.00
<b>Cargas sociales</b>			60.00	198.00
<b>I.V.A. de M.O. y cargas sociales</b>			14.94	78.90
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				606.90

<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Mezcladora	hr	1.00	24.00	24.00
Vibradora	hr	0.80	10.00	8.00
Herramientas = (5% del total de mano de obra)				30.30
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				62.30

<b>4. Gastos generales y administrativos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Gastos generales = % 1+2+3	10.00	118.54
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		118.54

<b>5. Utilidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Utilidad=% 1,2,3,4	10.00	130.40
<b>COSTO TOTAL UTILIDAD</b>		130.40

<b>6. Impuestos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Impuestos IT= % de 1,2,3,4,5	3.09	44.30
<b>COSTO TOTAL IMPUESTOS</b>		44.30

<b>Total precio unitario adoptado</b>	<b>1478.60 Bs</b>
---------------------------------------	-------------------

**BERMEJO:**

<b>1. Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Cemento portland IP-30	Kg	371.50	1.06	393.80
Arena	m <sup>3</sup>	0.32	150.00	48.00
Grava	m <sup>3</sup>	0.37	150.00	55.5.00
Agua	lt	189.40	0.10	18.90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				516.20

<b>2. Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Sub Total</b>
Ayudante	hr	15.00	10.00	150.00
Maestro albañil	hr	12.00	15.00	180.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				330.00
<b>Cargas sociales</b>			60.00	198.00
<b>I.V.A. de M.O. y cargas sociales</b>			14.94	78.90
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				606.90

<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Mezcladora	hr	1.00	24.00	24.00
Vibradora	hr	0.80	10.00	8.00
Herramientas = (5% del total de mano de obra)				30.30
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				62.30

<b>4. Gastos generales y administrativos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Gastos generales = % 1+2+3	10.00	118.50
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		118.50

<b>5. Utilidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Utilidad=% 1,2,3,4	10.00	130.40
<b>COSTO TOTAL UTILIDAD</b>		130.40

<b>6. Impuestos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Impuestos IT= % de 1,2,3,4,5	3.09	44.30
<b>COSTO TOTAL IMPUESTOS</b>		44.30

<b>Total precio unitario adoptado</b>	<b>1478.60 Bs</b>
---------------------------------------	-------------------

**LAJAS:**

<b>1. Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Cemento portland IP-30	Kg	371.50	1.06	393.80
Arena	m <sup>3</sup>	0.33	150.00	49.50
Grava	m <sup>3</sup>	0.37	150.00	55.50
Agua	lt	189.40	0.10	18.90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>517.70</b>

<b>2. Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Sub Total</b>
Ayudante	hr	15.00	10.00	150.00
Maestro albañil	hr	12.00	15.00	180.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>330.00</b>
<b>Cargas sociales</b>			60.00	189.00
<b>I.V.A. de M.O. y cargas sociales</b>			14.94	78.90
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>606.90</b>

<b>3. Equipo, maquinaria y herramientas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. unitario</b>	<b>Sub total</b>
Mezcladora	hr	1.00	24.00	24.00
Vibradora	hr	0.80	10.00	8.00
Herramientas = (5% del total de mano de obra)				30.30
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>				<b>62.30</b>

<b>4. Gastos generales y administrativos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Gastos generales = % 1+2+3	10.00	118.70
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>		<b>118.70</b>

<b>5. Utilidad</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Utilidad=% 1,2,3,4	10.00	130.60
<b>COSTO TOTAL UTILIDAD</b>		<b>130.60</b>

<b>6. Impuestos</b>	<b>Precio productivo</b>	<b>Sub total</b>
Impuestos IT= % de 1,2,3,4,5	3.09	44.40
<b>COSTO TOTAL IMPUESTOS</b>		<b>44.40</b>

<b>Total precio unitario adoptado</b>	<b>1480.60 Bs</b>
---------------------------------------	-------------------

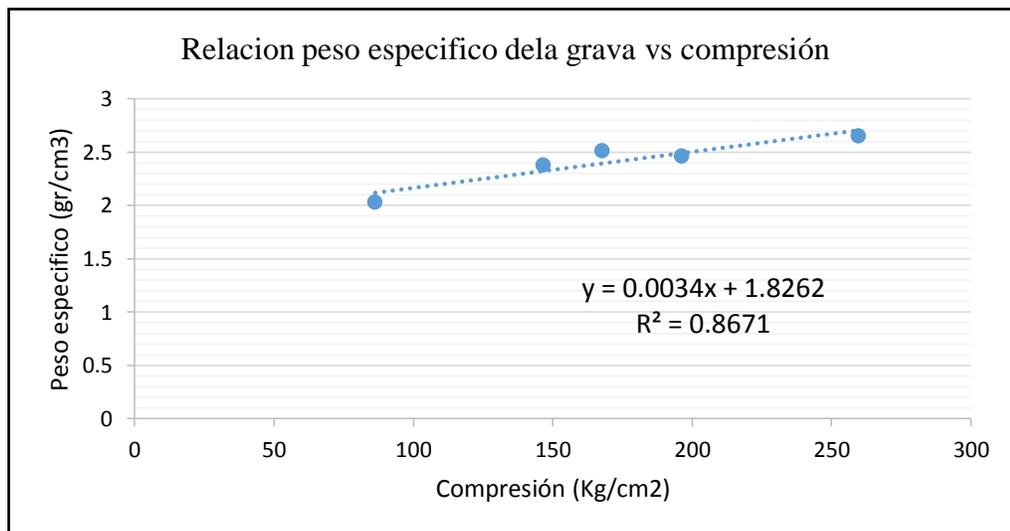
### 3.6. RELACIONES DE LAS CARACTERIZACIONES

Parte de los objetivos trazados en la presente investigación era la de obtener las diferentes relaciones de las caracterizaciones de los diferentes tipos de agregados como por ejemplo la relación que se obtiene entre el peso específico y la compresión, peso específico desgaste, peso específico y la flexión.

Lo cual no ayudara a entender el porqué de los resultados que se vayan a obtener y así formular conclusiones y recomendaciones más claras.

#### 3.6.1. Relación peso específico del agregado grueso y compresión.

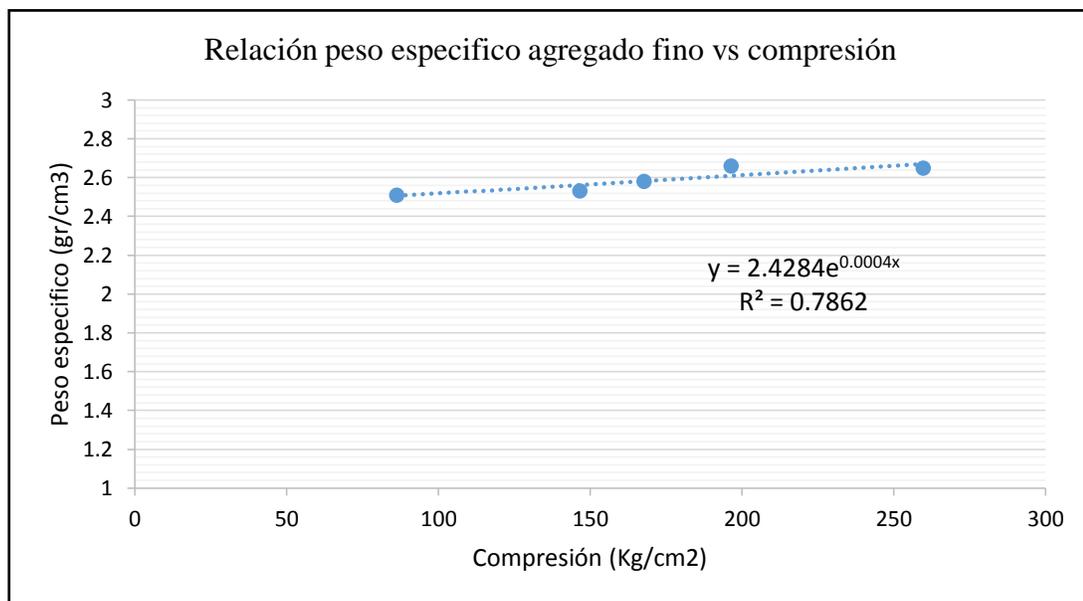
	Peso específico del agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> )	Compresión kg/cm <sup>2</sup>
<b>Lajas</b>	2.37	86.27
<b>Bermejo</b>	2.82	146.55
<b>Canaletas</b>	2.82	167.71
<b>Colón</b>	2.69	196.39
<b>Charaja</b>	2.70	259.72



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6.2. Relación peso específico del agregado fino y la compresión

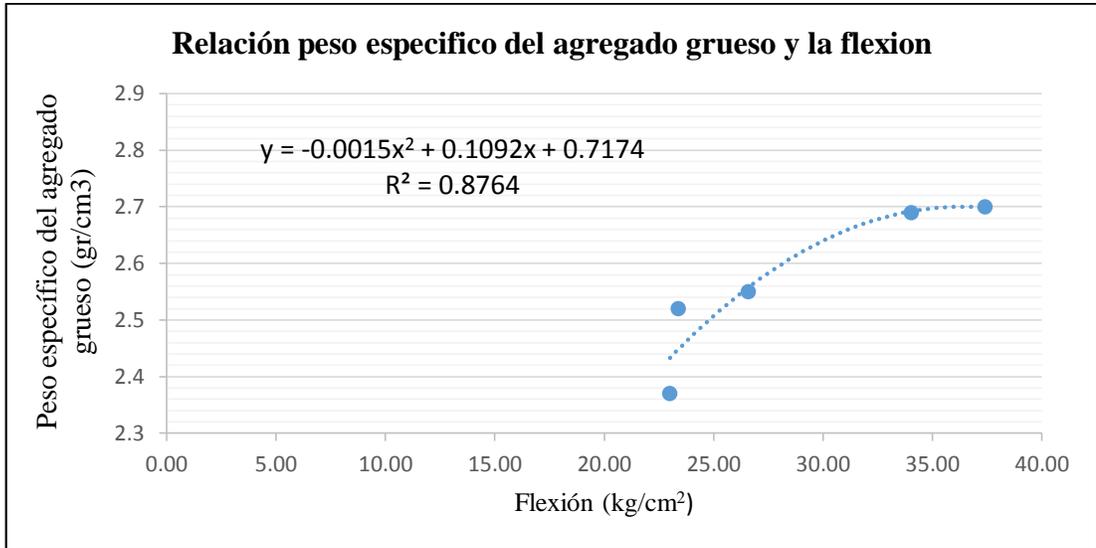
	Peso específico del agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )	Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lajas</b>	2.72	86.27
<b>Bermejo</b>	2.59	146.55
<b>Canaletas</b>	2.69	167.71
<b>Colón</b>	2.76	196.39
<b>Charaja</b>	2.78	259.72



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3. Relación peso específico del agregado grueso y la flexión

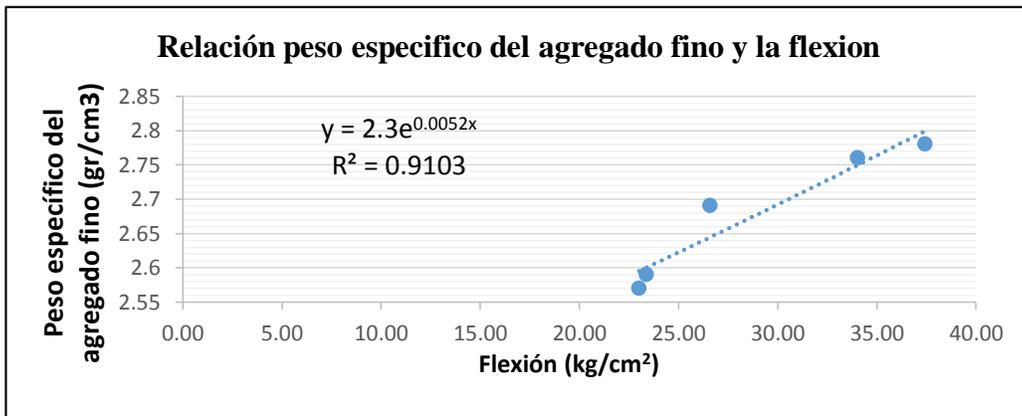
	Peso específico del agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> )	Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lajas</b>	2.37	22.99
<b>Bermejo</b>	2.82	23.39
<b>Canaletas</b>	2.82	26.60
<b>Colón</b>	2.69	34.04
<b>Charaja</b>	2.70	37.42



**Fuente:** Elaboración propia

**3.6.4. Relación peso específico del agregado fino y la flexión**

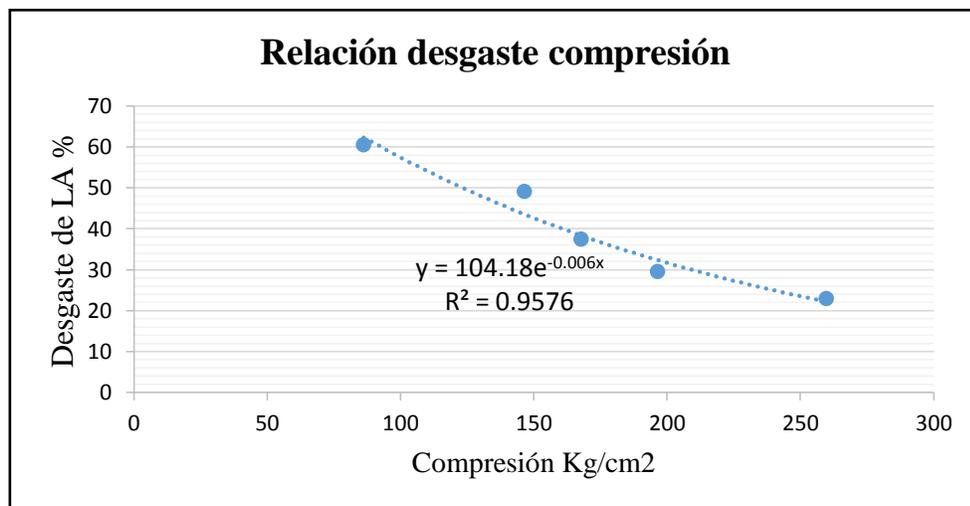
	Peso específico del agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )	Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lajas</b>	2.72	22.99
<b>Bermejo</b>	2.59	23.39
<b>Canaletas</b>	2.69	26.60
<b>Colón</b>	2.76	34.04
<b>Charaja</b>	2.78	37.42



**Fuente:** Elaboración propia

**3.6.5. Relación de la calidad del agregado y la resistencia a compresión del pavimento rígido para tráfico pesado.**

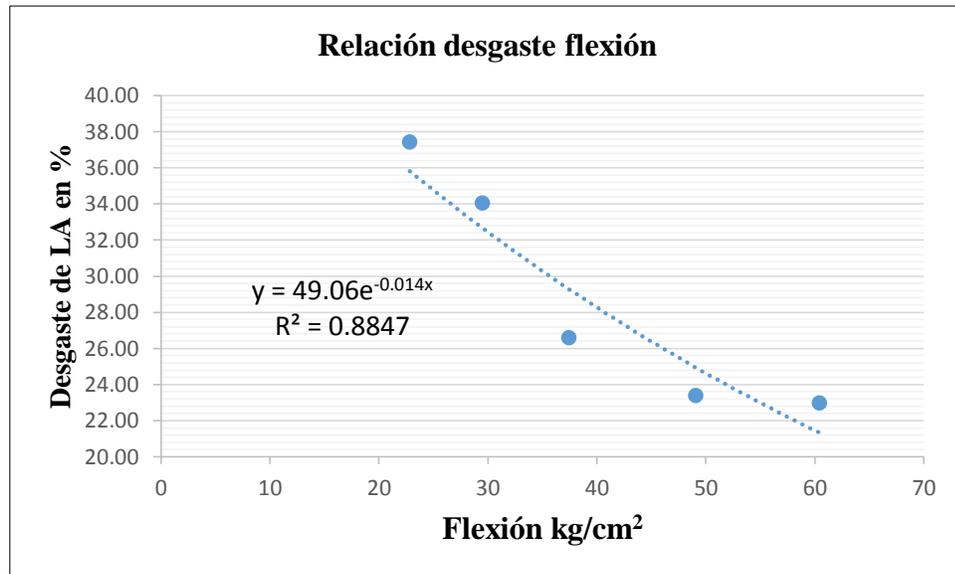
	<b>Desgaste de LA en %</b>	<b>Compresión kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Lajas</b>	60.41	86.27
<b>Bermejo</b>	49.10	146.55
<b>Canaletas</b>	37.46	167.71
<b>Colón</b>	29.48	196.39
<b>Charaja</b>	22.85	259.72



**Fuente:** Elaboración propia

**3.6.6. Relación de la calidad del agregado y la resistencia a flexión del pavimento rígido para tráfico pesado**

	<b>Desgaste de LA en %</b>	<b>Flexión kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Lajas</b>	60.41	22.99
<b>Bermejo</b>	49.10	23.39
<b>Canaletas</b>	37.46	26.60
<b>Colón</b>	29.48	34.04
<b>Charaja</b>	22.85	37.42



**Fuente:** Elaboración propia

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvo una relación que identifica la influencia que tiene la calidad del agregado con la resistencia del pavimento rígido sobre todo en el tráfico pesado, mediante la elaboración de probetas y vigas elaboradas con distintos tipos de gravas y arenas de buena y mala calidad certificadas por el ensayo del desgaste de Los Ángeles, en donde esta relación nos muestra que las mejores resistencias corresponden a buenos agregados sin variar las reglas de las normas y códigos que se utilizan en Bolivia.
- Se llegó a obtener las dosificaciones para cada uno de los agregados, como resultado se ve que existen variaciones en las dosificaciones

Charaja	1 : 2.43 : 2.67
Colon	1 : 2.37 : 2.71
Canaletas	1 : 2.32 : 2.82
Bermejo	1 : 2.25 : 2.81
Lájas	1 : 2.32 : 2.39

- Se incorporó la tabla de rangos de CBR recomendados para las distintas capas del pavimento rígido.

No. CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6,A7
3 – 7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC,S M,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Sub base y base	GM,GC,SW,SM, SP,GP	A-1b,A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a,A2-4,A-3

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

- Se analizaron las relaciones de los agregados con las caracterizaciones, obteniendo varias relaciones donde se ve que:

Para pesos específicos del agregado grueso elevados no siempre corresponde una alta resistencia y para pesos específicos del agregado fino bajo no siempre corresponde una baja resistencia.

Cuadro resumen de resistencias obtenidas en los ensayos.

	Nº de ensayo	Compresión		Nº de ensayo	Flexión
<b>Lajas</b>	1	87.39	<b>Lajas</b>	1	19.37
	2	85.86		2	23.56
	3	84.94		3	22.33
	4	85.77		4	23.56
	5	88.00		5	24.68
	6	85.66		6	24.47
<b>Bermejo</b>	1	147.55	<b>Bermejo</b>	1	24.58
	2	140.82		2	21.92
	3	147.35		3	22.54
	4	142.45		4	23.05
	5	149.08		5	25.59
	6	152.04		6	22.64
<b>Canaletas</b>	1	167.44	<b>Canaletas</b>	1	25.90
	2	168.05		2	26.72
	3	165.30		3	26.10
	4	166.42		4	25.59
	5	167.23		5	28.04
	6	171.82		6	27.23
<b>Colón</b>	1	213.84	<b>Colón</b>	1	33.45
	2	169.17		2	32.73
	3	173.05		3	35.89
	4	209.76		4	34.06
	5	216.79		5	34.87
	6	195.79		6	33.24
<b>Charaja</b>	1	257.48	<b>Charaja</b>	1	39.46
	2	246.47		2	32.33
	3	269.31		3	35.89
	4	274.41		4	38.24
	5	258.19		5	40.38
	6	252.48		6	38.24

Fuente: Elaboración propia

- Al hacer una evaluación de los agregados manufacturados que se utilizan en Tarija se puede concluir que generalmente se utiliza una gama de buenos agregados que oscilan entre el 32 y 22 % de desgaste que según norma son aptos para la construcción de todo tipo de obras civiles, si nos adentramos en otros lugares como la zona de Bermejo, Entre Ríos, Yacuiba y Villamontes, (en estos lugares cuando se debe hacer una construcción de magnitud se monta una trituradora provisional, la razón es que no existen canteras disponibles de venta de agregados, causa de que todavía en estos sitios no hay restricciones de extracción de áridos, como es el caso de Tarija en donde es necesaria la manufacturación) los agregados perteneces a un grupo de gravas de calidad intermedia, además de que en su mayoría se trabaja con agregado de canto rodado.
- Recopilando información de las especificaciones técnicas de algunas obras de Bolivia se puede entender y concluir que se utilizan hormigones de tipo A y que son utilizados por vehículos livianos, medianos y también de alto tonelaje, y brindan una gran calidad al usuario. Esto nos encamino a tratar de obtener las mismas resistencias en nuestra investigación.
- Como resultado de los ensayos se construyeron relaciones que involucran al peso específico, módulo de finura, desgaste con ensayos de compresión y flexión.
- Al realizar las dosificaciones correspondientes a cada tipo de agregados se pudo evidenciar que para obtener buena resistencia se necesita aumentar la cantidad de cemento, tener agregados limpios de limos y arcilla. Y en preferencia se debería rechazar esta clase de agregados y si no se pudiera se tendría que dosificar con aditivos que mejoren el fraguado y que disminuya la influencia de los efectos adversos de los componentes biológicos que llevan consigo estos alegados.
- Se fabricaron vigas de 150 mm de base por 150 mm de alto por 535 mm de largo; con los distintos tipos de agregados evaluando el funcionamiento mediante los ensayos de flexión, con esto se pudo ver que cuando no se pueda trabajar con un agregado de buena calidad se puede garantizar buenas resistencias en la puesta en marcha de la obra
- Se fabricaron probetas de 150 mm de base por 305 mm de altura; con los distintos tipos de agregados evaluando el funcionamiento mediante los ensayos de compresión, con esto

se pudo ver que cuando no se pueda trabajar con un agregado de buena calidad se puede garantizar buenas resistencias en la puesta en marcha de la obra

- En cuanto al análisis de y comparación de resultados a la hora de la ruptura de vigas y probetas se puede decir que hay que tener mucho cuidado en la manipulación, en el acabado rectilíneo de las superficies, apoyos en la máquina, posicionamiento central para que se tenga una presión uniforme. Cuando se produce la ruptura hay que ver la dirección y Angulo en todas las caras del cuerpo.
- Es importante destacar que en Tarija se dispone de varias canteras, que obtienen el material de varios lugares como ser, la chancadora de Erika, San mateo, San Luis, Santa Ana, Rancho, Charaja, Colon, Lajas, Portillo, Pintada, zona La Salle, etc. Las cuales tiene como materia prima diferentes procedencias, todas ellas general un material dentro de lo normal a bueno según lo que especifica la norma.
- En términos generales todos los ensayos fueron llevados a cabo con el mayor de los cuidados, minimizando las barbacanas por lo cual se obtuvieron rupturas de ángulo vertical, lo cual va en conformidad con las normas de la ABC.
- Se reconoce en segundo aspecto que se pudo ver en el caso de los agregados de mala calidad, la cara de ruptura muestra que las piedras se rompieron en amplia mayoría, en comparación con los de buena calidad las caras de ruptura revelan que las piedras no fallaron, sino el concreto; lo que se traduce en que estas muestran mayor abrasión de materia que los de mala calidad.
- En cuanto a la comparación económica que interfiere en los precios unitarios de construcción del m<sup>3</sup> de hormigón simple, en Tarija no se puede establecer grandes variaciones de uno a otro, todas las canteras manejan precios nivelados.
- Tampoco es relevante colocar en una clasificación el nivel de ventas que tienen cada una de los comercios de estos materiales, esto quiere decir que no se tiene un lugar de preferencia de compra, sino más bien la decisión de adquirir alguno de ellos, se relaciona con la cercanía de la obra.
- Las caras de corte producidas por la prensa nos revelan que el agregado acompaña de cerca la resistencia de las probetas y vigas puesto que las piedras se cortan junto con el

mortero haciendo un conjunto paralelo de ruptura, esto en más grande magnitud en el caso de los agregados de mayor desgaste en la máquina de Los ángeles.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- En lo posible no se debería aceptar ningún agregado de desgaste mayor a 40 % según lo mostrado en esta investigación en lo que se refiere a los tipos de agregados que están disponibles en Tarija.
- Se recomienda que para el diseño de una mezcla de concreto hidráulico se debe cumplir con todas las exigencias que pide la norma, tanto para agregados pétreos como el cemento a utilizar.
- En el caso del mezclado de la preparación del mortero se debe tener cuidado y utilizar siempre protección debido a que uno se encuentra en contacto directo con los materiales cementantes.
- Se debe verificar en todo momento que las cantidades de mezclado no sobrepase los rangos, al preparar el mortero, ya que éste puede influir más adelante en los valores de resistencia de las probetas y vigas al llevarlos a romper a la prensa.
- Se debe tener cuidado en el uso y manipuleo de los equipos utilizados en laboratorio, ya que la mayoría son delicados y costosos.
- Las vigas, antes de llevarlas a ensayar en la prensa, tienen que estar en un lugar aislado, fuera del contacto de las manipulaciones, porque estos factores pueden afectar considerablemente a las lecturas al llevarlas a la prensa.
- Se debe tener cuidado al realizar los pesajes de los agregados pétreos y de cemento porque influye directamente al determinar los pesos y dimensionamiento de las probetas y vigas.
- Cuando se realiza el vaciado, en el transcurso del fraguado inicial se debe manipular los cuerpos con sumo cuidado ya que un manejo brusco afectaría de gran manera la resistencia de diseño que se desea que alcance.