

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El vidrio es un material ideal para ser reciclado, pudiendo ser reciclado en un 100 %, una infinidad de veces. El uso de vidrio reciclado ayuda a ahorrar energía, es menos costoso, además de reducir residuos y el consumo de materias primas.

Principalmente la utilización del vidrio reciclado, es para la formación del denominado calcín, que es el vidrio reciclado fundido una vez más, para la conformación de nuevos productos de vidrio y en la construcción y/o en el campo de la Ingeniería Civil se utiliza en los siguientes casos.

Mezclado como base o sub-base en la construcción de carreteras.

Mezclado con asfalto para el pavimentado de vías.

Para la construcción de filtros lentos de agua, en reemplazo de la arena.

Como agregado en el hormigón en reemplazo de agregado fino.

Como material para la protección de tuberías en zanjas.

Como reemplazo de agregados en la construcción de baldosas, bloques adoquines, etc.

Dentro de esta última aplicación la utilización de materiales alternativos como base para elaboración de hormigón es motivo de estudio de varios organismos y universidades a nivel mundial, cuyo objetivo es disminuir el empleo de materias primas no renovables creando materiales de construcción con material reciclado con excelentes características de resistencia y durabilidad.

Los inicios en el estudio del vidrio reciclado como agregado para la elaboración de hormigón se dan por el año de 1970, presentándose el problema de la reacción ASR (Álcali-sílice) que provoca grietas superficiales en el hormigón debido a una

expansión generada por la reacción entre el sílice amorfo presente en el vidrio con la pasta de cemento de naturaleza alcalina; para la época este inconveniente parecía insuperable; actualmente varios estudios, técnicas y la ingeniería de materiales permiten controlar las reacciones álcali-sílice, dentro de las cuales están el empleo de cemento de bajo contenido alcalino, usar aislantes en la superficie del vidrio para impedir las reacciones, usar vidrio menos expansivo como es el de color verde, entre otras soluciones.

Dentro de las investigaciones destacadas realizadas por universidades internacionales están la universidad Austral de Chile donde se realizó una tesis para el estudio de la influencia que tiene el vidrio en hormigones de diversos grados de resistencia (H15, H20 y H30), cuyos resultados demuestran la inalterabilidad en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido al adicionar vidrio por reemplazo de arena, incluso se presenta un incremento en la resistencia cuando el porcentaje de adición en la mezcla es de 10 %.

Se han realizado varias investigaciones en la Universidad de Michigan en Estados Unidos sobre la calidad de hormigón cuando en su composición se adiciona vidrio molido pulverizado en tamaño promedio de 13  $\mu\text{m}$ , se investigó en cuanto a su resistencia mecánica, resistencia ante la presencia de agua y durabilidad, empleando para cada proceso las normas ASTM.

El porcentaje de vidrio empleado va desde el 15 al 23 %, cuyos resultados han sido considerablemente positivos, obteniéndose un hormigón compatible con el de composición normal, los resultados demuestran que la adición de vidrio mejora la absorción de humedad y la resistencia dando mayor durabilidad, otra característica mejorada ha sido la resistencia a la abrasión y resistencia a largo plazo con un contenido de 20 % de vidrio pulverizado, comprobado en el ensayo de muestras de pavimentos y bordillos, ejecutados con procesos convencionales y controlados durante dos años.

En el Ecuador no se ha dejado de lado la investigación en este aspecto, las islas Galápagos conocidas internacionalmente por su maravilloso ecosistema en pro de

minimizar el impacto ambiental conjuntamente con el apoyo de la WWF (World Wildlife Fund) y como pionera la Isla Santa Cruz se ejecuta en el año 2013 una consultoría para estudiar de la factibilidad de usar el vidrio reciclado de la isla en materiales de construcción.

En la consultoría elaborada por el municipio de la Isla Santa Cruz “Comercialización de vidrio molido a base de vidrio reciclado para aplicaciones secundarias” se investigaron muestras de adoquines, bloques y cilindros de hormigón con diferentes porcentajes de vidrio, de lo cual se obtuvo excelentes resultados para el 25 % de vidrio molido, obteniéndose similares o mejores resistencias en las probetas.

En la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se realizó una tesis “Hormigón con vidrio para la utilización en carreteras” donde se elaboraron probetas cilíndricas de hormigón con vidrio en reemplazo parcial del agregado grueso en porcentajes desde 30 al 60 % los resultados obtenidos de esta investigación fue que usar vidrio reciclado incide favorablemente en la resistencia del hormigón, la resistencia a la compresión aumenta más favorablemente al 30 % de vidrio triturado en reemplazo parcial del agregado grueso.

Como se indica en los párrafos anteriores se tiene referencias de varias investigaciones con resultados favorables documentados, que presentan al vidrio reciclado molido como un material prometedor constituyente para elaboración de hormigón.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad uno de los más grandes problemas que afronta Bolivia y el mundo, es el cuidado del medio ambiente, está en marcha el reciclaje de materiales que pueden ser empleados en todo tipo de procedimientos de manera que se pueda reducir la contaminación creando nuevos productos de manera más económica,

con menos inversión de materia prima, minimizar la explotación de recursos no renovables, es aquí donde el reciclaje del vidrio toma importancia para este trabajo.

El vidrio como material de reciclado tiene varias aplicaciones entre las más comunes tenemos, decorativas y constructivas. El vidrio como material de construcción se puede utilizar toneladas de botellas, disminuyendo la contaminación al medio ambiente y costos en la construcción.

El estudio de las propiedades mecánicas al incorporar vidrio para elaborar muestras hormigón para pavimento rígido, se ejecutara empleando agregados de la ciudad de Tarija provincia Cercado específicamente del barrio San Mateo, de la chancadora Garzón, la fuente para la obtención del vidrio fue de la ciudad de Tarija que cuenta con una población de 482.196 hab.

La finalidad de la investigación es elaborar probetas y vigas de hormigón para pavimento rígido reusando un recurso, que es el vidrio el cual no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser procesado sin perder sus propiedades (Resistencia a la compresión alrededor de  $10000 \text{ kg/cm}^2$ ) en reemplazo parcial de la arena, disminuyendo así la explotación de un recurso no renovable.

Considerándose una alternativa sustentable al obtener un hormigón para pavimento rígido con características adecuadas de resistencia mecánica trabajabilidad y sin esponjamiento, esto gracias a que el vidrio está constituido por arena o cuarzo que mantendrían inalterables las características principales del hormigón para pavimento rígido (Resistencia).

La capacidad de absorción del vidrio es 0 % a la vez se obtiene un mejor acabado estético y puede ser apreciado en sitios de poca visibilidad debido a que refleja los rayos solares.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.3.1 Situación problemática**

Conceptualización puntual del objeto de estudio.

El objeto de estudio se refiere a la variación de la resistencia a compresión y tracción del pavimento rígido con distintos porcentajes de vidrio molido en reemplazo parcial del agregado fino, en comparación con el hormigón de pavimento rígido sin vidrio.

Descripción del fenómeno ocurrido.

Al realizarse un estudio de pavimentos rígidos se puede determinar la resistencia a compresión y tracción con ayuda del equipo llamado maquina universal, obteniendo resultados en un menor tiempo y sin ocasionar deterioro de la carpeta de hormigón.

Breve explicación de las perspectivas de solución.

Se utiliza la perspectiva de analizar, es decir que vamos a analizar la variación que existe entre las resistencias a (Tracción y compresión), del pavimento rígido normal con un pavimento rígido con vidrio molido reciclado, en reemplazo parcial de la arena, indicador de calidad del pavimento nos permitirá obtener resultados confiables, en menor tiempo.

### **1.3.2 Determinación del problema**

Problema de investigación.

¿De qué forma un análisis, puede establecer la variación de resistencia a tracción y compresión del hormigón de pavimento rígido con vidrio molido?

Breve descripción sobre.

El proceso de investigación se lo realizo en el segundo semestre del año 2018,

Se comenzara por la obtención del vidrio molido reciclado y selección de los materiales, para su posterior caracterización de cada material y se concluirá con la realización de los ensayos de resistencia a compresión y tracción de las muestras, todo este proceso está planificado para realizarlo en 3 meses. El tema de investigación es factible debido a que las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, cuenta con los laboratorios de suelos y hormigones, con los equipos necesarios para poder realizar los ensayos propuestos.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar la variación de las resistencias del hormigón de pavimento rígido, utilizando vidrio molido reciclado; de tal manera, establecer la factibilidad de su aplicación.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar la variación en las resistencias a compresión y tracción del hormigón de pavimento rígido.
- Elaborar mezclas de prueba, con las dosificaciones diseñadas, y extraer probetas de dichas mezclas.
- Establecer el porcentaje adecuado de vidrio en la composición de la mezcla de hormigón para pavimento rígido.
- Comparar los resultados obtenidos del ensayo de compresión y tracción con adicción de vidrio molido reciclado en reemplazo parcial de arena y lo que se obtiene de una mezcla elaborada con hormigón sin el agregado de vidrio molido reciclado.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Si se utilizan diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado, combinando con una dosificación de hormigón para pavimento rígido, entonces, se podrá obtener las resistencias de tracción y compresión para cada porcentaje, estableciendo su respectiva variación.

## **1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1 Variable independiente**

$X_1$  = Porcentajes de vidrio molido reciclado.

### **1.6.2 Variable dependiente**

$Y_1$  = Resistencia a tracción.

$Y_2$  = Resistencia a compresión.

## 1.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### 1.7.1 Variable dependiente

Tabla N° 1: Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
resistencia a tracción	La resistencia a la tracción de una viga de hormigón es la carga axial de tracción máxima alcanzada por la sección de hormigón antes de la falla.	Volumen peso	¿cual es el tamaño nominal de la viga?	normas ASTM
		Equipo y materiales	el equipo y materiales que se usaran para elaborar la viga de hormigon para pavimento rigido	Manual de ABC V4
resistencia a compresión	La resistencia a la compresión de una probeta de hormigón es la carga axial de compresión máxima alcanzada por la sección de hormigón antes de la falla.	Volumen peso	¿cual es el tamaño nominal de la probeta?	normas ASTM
		Equipo y materiales	el equipo y materiales que se usaran para elaborar la probeta de hormigon para pavimento rigido	Manual de ABC V4

Fuente: Elaboración propia

## 1.7.2 Variable independiente

Tabla N° 2: Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Vidrio molido reciclado	El vidrio molido reciclado se obtendra de envases de vidrio en desuso limpios 0% de suciedad, para su posterior molido, de acuerdo con lo que dice la norma INE para agregado fino	calidad	Se medira de acuerdo al color natural del vidrio, que es el color verde, tratar de reciclar mas que todo envases de color verde	se obtendra de manera manual
		cantidad	obtener el porcentaje optimo de vidrio molido reciclado, para una probeta y viga para pavimento rigido	realizando la dosificacion en laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

## 1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.8.1 Tipo de investigación

Es una investigación explicativa y experimental porque se necesita hacer ensayos de tracción en varias vigas de hormigón simple y con distintos porcentajes de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena, de la misma manera ensayos a compresión de probetas cilíndricas con hormigón patrón y diferentes porcentajes de vidrio molido, tanto las vigas como las probetas se harán los ensayos mencionados a la edad de 28 días.

## 1.8.2 Población y muestra

### 1.8.2.1 Población

Conjunto de ensayos que serán realizados en componentes del hormigón para pavimento rígido.

Selección del nivel de confianza

La selección de confianza será del 95 %.

Tabla N° 3: Nivel de confianza

Confianza %	50	75	80	85	90	95	96	97	98	99
<b>Z</b>	0,574	1,15	1,28	1,44	1,64	1,96	2,05	2,17	2,33	2,58

Fuente: libro de proyecto grado CIV-501. autor Msc. Ing. Luis Yurquina

Calculo de muestra estratificada

Dónde:

$N_i$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Número total de muestras

$p$  = Probabilidad de que ocurra el suceso 80%

$q$  = Probabilidad de que no ocurra el suceso 20%

$E$  = Error de tolerancia (generalmente 5 %)

$z$  = Nivel de significancia 1.960

$W_i$  = Tamaño de la muestra/número total de muestras

$D$  = Error de tolerancia al cuadrado/ nivel de significancia al cuadrado

$$N_i * P_i * q_i = 16,16$$

$$N = 101$$

$$n = \frac{\sum_{i=1}^l Ni * Pi * qi}{\left(N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2\right) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l Ni * Pi * qi}$$

$$n = 97 \text{ ensayos}$$

Tabla N° 4: Ensayos a realizarse de la investigación

Grupo	Ni	Pi	qi	Pi*qi	Ni*Pi*qi	Wi	ni
Granulometría de grava	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Granulometría de arena	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Granulometría de vidrio	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Peso específico de grava	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Peso específico de arena	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Peso unitario de grava	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Peso unitario de arena	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Densidad aparente de grava	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Densidad aparente de arena	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Densidad real de grava	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
Densidad real de arena	3	0,8	0,2	0,16	0,48	0,0297	3
% de absorción de grava	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
% de absorción de arena	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
Finura del cemento	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
Tiempo de fraguado	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
Indicé de PH agua	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
Turbiedad	1	0,8	0,2	0,16	0,16	0,0099	1
Resistencia a compresión	31	0,8	0,2	0,16	4,96	0,3069	30
Resistencia a tracción	31	0,8	0,2	0,16	4,96	0,3069	30
TOTAL	101				16,16		99

Fuente: Elaboración propia.

### 1.8.2.2 Muestra

Conjunto de ensayos que serán realizados en componentes del hormigón para pavimento rígido.

Resumen de ensayos.

Resistencia a la compresión 15 ensayos

Tabla N° 5: Resumen de ensayos

Ensayo	ni
Granulometría de grava	3
Granulometría de arena	3
Granulometría de vidrio molido	3
Peso específico de grava	3
Peso específico de arena	3
Resistencia a compresión	15
Resistencia a tracción	15

Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la tracción 15 ensayos

## 1.9 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla N° 6: Recolección de información

Pregunta de investigación	Objeto de investigación	Unidad de muestreo
¿De qué manera, el análisis sobre la vaciación de las resistencias de pavimento rígido con vidrio molido, puede establecer si los resultados obtenidos son de confiabilidad y cumplen con las normas de pavimentos rígidos?	Análisis de la variación de las resistencias de compresión y tracción	* Mezclas con distintos % de vidrio molido. *Ensayos de caracterización de los agregados, para el hormigón. * Ensayos de resistencia a tracción y compresión

Fuente: Elaboración propia

## **1.10 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

### **1.10.1 Plan de procesamiento de información**

Revisión crítica y definida de la información recolectada.

Tabulación de datos de acuerdo a la hipótesis y sus variables.

Representación numérica y grafica de los resultados.

### **1.10.2 Plan de análisis**

Analizar e interpretar los resultados obtenidos haciendo referencia a los objetivos y la hipótesis.

Determinación de las conclusiones y recomendaciones y verificación de la hipótesis.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

El análisis de la variación de las resistencias de pavimento rígido, con vidrio molido, es un análisis comparativo entre un pavimento rígido convencional (Con 0 % de vidrio), con otro pavimento con vidrio molido en distintos porcentajes en reemplazo parcial del agregado fino (Arena), para poder realizar esta práctica se usaran agregados como (Grava, gravilla y arena), de la chancadora Garzón, se aran todos los ensayos de caracterización para los agregados, una vez hecho la caracterización se procederá a dosificar para vaciar 15 probetas para hacer el ensayo a compresión y 15 vigas para hacer el ensayo a tracción, para obtener una variación satisfactoria de las propiedades, resistencia a tracción y compresión durante un periodo predeterminado de tiempo en un entorno natural. Para el desarrollo del tema necesitamos conocer los conceptos del hormigón de pavimento rígido y sus componentes así mismo del vidrio sus componentes y características, descritos a continuación.

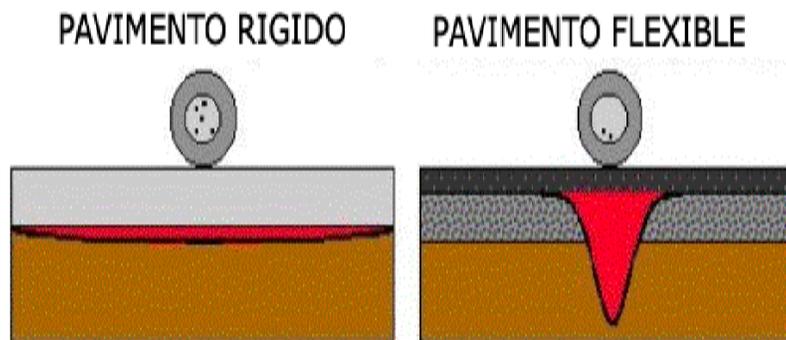
#### **2.1 PAVIMENTO RÍGIDO**

##### **2.1.2 Definición**

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como

consecuencia mayores tensiones en la sub-rasante, como se puede apreciar en la figura 1.

Figura N° 1. Esquema del comportamiento de pavimentos



Fuente: Guía de pavimentos rígidos para carreteras

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

Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Este punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculos de pavimentos rígidos, sistemas que combinan el espesor y la resistencia de hormigón de las losas, para una carga y suelos dados.

Aunque en teoría las losas de hormigón hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa.

La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de hormigón hidráulico y la sub-base, que se construye sobre la capa Sub-rasante.

## **2.2 TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

Existen 5 tipos de pavimentos rígidos.

Hormigón simple

Hormigón simple con barras de transferencia de carga.

Hormigón reforzado y con refuerzo continuo.

Hormigón presforzado.

Hormigón fibroso

### **2.2.1 Los pavimentos de hormigón simple**

Se construyen sin acero de refuerzo y sin barras de transferencia de cargas en las juntas. Dicha transferencia se logra a través de la trabazón entre los agregados de las dos caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o corte de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso tener losas cortas.

Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo.

### **2.2.2 Los pavimentos de hormigón simple con barras de transferencia de carga**

Se construyen sin acero de refuerzo; sin embargo en ellos se disponen de barras lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de cargas, requiriéndose también que las losas sean cortas para controlar el agrietamiento.

### **2.2.3 Los pavimentos reforzados**

Contienen acero de refuerzo y pasa juntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

### **2.2.4 Los pavimentos con refuerzo continuo**

Por su parte, se construyen sin juntas de contracción. Debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia de refuerzo, se desarrolla una gran transferencia de carga en las caras de las fisuras.

Normalmente un espaciamiento de juntas que no exceda los 4.50 m tienen un buen comportamiento en pavimentos de hormigón simple, así como uno no mayor a 6 m en pavimentos con pasa juntas, ni superior a 12 m en pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a estos, han sido empleados con alguna frecuencia, pero han generado deterioros, tanto en las juntas, como en las fisuras transversales intermedias.

### **2.2.5 Los pavimentos con hormigón presforzado**

Están constituidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de pres fuerza y pos tensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte y reducción de juntas.

Gracias al sistema de pres fuerza se han podido construir losas de más de 120 m de longitud, con una reducción del 50 % del espesor de la losa. Sin embargo pese a los esfuerzos para desarrollar esta técnica, en carreteras se han producido más dificultades que ventajas. Ha tenido en cambio más aplicación en aeropuertos en los cuales ha habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.

### **2.2.6 Los pavimentos de hormigón fibroso**

En este tipo de losas, el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de la resistencia a la tensión y a la fatiga, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. con una dosificación de unos 40 kg/m<sup>3</sup> de hormigón, es posible reducir el espesor de la losa en 30 % y aumentar el espaciamiento entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo.

Existen otros tipos de técnicas aplicadas a los pavimentos rígidos en donde se otorgan soluciones idóneas y se logre una óptima calidad de las obras. Lo dicho vale tanto para el caso de obras nuevas, como para el de reparaciones y rehabilitaciones. Se incluyen los siguientes temas: hormigón para rápida habilitación al tránsito (Fast track), construcción de un pavimento de hormigón sobre pavimento asfáltico existente (Whitetopping).

Sistema fast track mezcla de hormigón empleado en los pavimentos rígidos que requieren entregarse en servicio muy rápidamente, es decir, con muy altas resistencias iniciales. Es muy usual realizar este trabajo en horas de la noche cuando las temperaturas son muy bajas. El hormigón fast track permite alcanzar la resistencia a la compresión y resistencia de diseño a partir de las 12 horas de colocada la mezcla dependiendo de las condiciones climáticas. Es ideal para pavimentos que deben ser entregados al servicio a edades tempranas y obtiene un

mejor desarrollo de resistencias del hormigón para un más rápido avance de la obra.

Sistema white topping es un sistema de recuperación de pavimentos flexibles mediante la construcción de losas de hormigón (Mayores a 10 cm de espesor) sobre el pavimento flexible. El pavimento se asume como un suelo con muy buena capacidad portante.

Este tipo de sistema se coloca directamente sobre el pavimento existente, es ideal para rehabilitación de pavimentos flexibles que no han completado su periodo de servicio y tiene una mayor economía en su construcción.

## **2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

### **2.3.1 Ventajas**

El hormigón refleja la luz, lo que aumenta la visibilidad y puede disminuir los costos de iluminación en las calles hasta un 30 %, en cantidad de luminarias y consumo de energía.

El hormigón no se ahueca nunca, por lo tanto no hay acumulación de agua y, por ende, tampoco se produce hidropneumático. Por otra parte, se disminuye el efecto "spray", que es el agua que despiden los vehículos que van adelante sobre el parabrisas del de atrás, impidiendo la visibilidad.

Es fácil darles "rugosidad" a los pavimentos de hormigón durante su construcción, para generar una superficie que provea de mayor adherencia.

La rigidez del hormigón favorece que la superficie de rodado mantenga la planeidad.

El hormigón tiene una vida útil de 30 años.

La lisura es el factor más importante para los usuarios. Actualmente, los pavimentos de hormigón se pueden construir más suaves que los de asfalto.

A diferencia del asfalto, el hormigón puede soportar cargas de tráfico pesadas sin que se produzca ahuellamiento, deformaciones o lavado de áridos.

La superficie dura del hormigón hace más fácil el rodado de los neumáticos. Estudios han demostrado que aumenta la eficiencia de combustible de los vehículos.

El hormigón se endurece a medida que pasa el tiempo. Después del primer mes, el hormigón continúa lentamente ganando 40 % de resistencia durante su vida.

Los pavimentos de hormigón frecuentemente sobre pasan la vida de diseño y las cargas de tráfico.

Los pavimentos de hormigón se pueden diseñar para que duren desde 10 hasta 50 años, dependiendo de las necesidades del sistema.

Las técnicas de restauración de pavimentos pueden extender su vida hasta tres veces la de diseño.

Los pavimentos de hormigón tienen un mayor valor a largo plazo debido a su mayor expectativa de vida con los mínimos requerimientos de mantención.

La durabilidad del hormigón disminuye la necesidad de reparación y/o mantenciones anuales, en comparación con pavimentos asfálticos.

Los pavimentos de hormigón se pueden construir y dar al tránsito en tiempos reducidos, incluso de hasta 12 horas.

### **2.3.2 Desventajas**

Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible.

Se deben tener cuidado en el diseño

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

### **2.4.1 Sub-rasante**

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

### **2.4.2 Sub-base**

La capa de sub-base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub-rasante y la losa rígida.

Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub-base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub-base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo.

Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una acción drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales usados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición

necesaria. Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa sub rasante. Se emplean normalmente sub bases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc Entre otras funciones que debe cumplir son.

Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.

Incrementar el módulo (K) de reacción de la sub-rasante.

Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.

Proveer drenaje cuando sea necesario.

Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

Figura N° 2: Capas del pavimento rígido



Fuente: Pedro Figueroa construcción de pavimentos rígidos

### **2.4.3 Losa**

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

#### **2.4.3.1 Hormigón**

El hormigón es un material compuesto por un aglomerante al que se le añade áridos (Agregado fino y grueso) y agua en las convenientes proporciones para que fragüe y endurezca.

En la fabricación del hormigón intervienen tres elementos básicamente: un aglomerante (Cemento), áridos pétreos y agua, los que mezclados en la proporción adecuada, nos entregan un producto homogéneo, de docilidad controlada, convirtiéndolo en un material moldeable, y lo que es más importante, de excelentes propiedades mecánicas, siendo su principal virtud, presentar una elevada resistencia a la compresión.

Dada la enorme diversificación y aparición de nuevas necesidades y requerimientos para usos del hormigón, existen en el mercado una serie de productos químicos empleados con el fin de modificar y mejorar determinadas características del hormigón, tanto fresco como una vez endurecido, conocidos como aditivos. Los aditivos se han convertido en parte fundamental del proceso de elaboración de hormigones, por tanto se incluyen en este capítulo una mención y breve descripción de los aditivos más utilizados comúnmente y algunas de sus aplicaciones. Cada uno de estos elementos constituyentes del hormigón debe cumplir con determinados requisitos de calidad, de manera que podamos disminuir al mínimo el margen de error en el diseño de dosificaciones.

## 2.5 COMPONENTES DE LA LOSA DE CEMENTO PORTLAND

### 2.5.1 Aglomerantes

Material que en estado de pasta (Polvo fino más agua) puede ser moldeado y mezclado con otros materiales, gracias a su adherencia permite unirlos, endureciéndolos y formando un solo cuerpo con adecuada resistencia mecánica. Estos pueden ser.

**Hidráulicos.-** Como el cemento y cal hidráulica, que endurecen en presencia del agua, incluso bajo esta.

**Aéreos.-** En este grupo encontramos a la cal, el yeso, la magnesia, que son aglomerantes que fraguan en presencia del aire, no son adecuados en exposición al agua.

**Hidrocarbonatados.-** Formado por hidrocarburos en estado líquido o viscoso, como el alquitrán y el betún que adquieren dureza al evaporarse sus disolventes.

Para modificar ciertas características del hormigón se añade durante el proceso de amasado productos o materiales específicos denominados aditivos, los que permiten impermeabilizar, dar color al hormigón, fluidificar, variar la ductilidad, tiempo de fraguado, durabilidad, otros reducen apreciablemente el contenido de agua como los super-plastificantes generando hormigones manejables y resistentes.

El hormigón simple tiene una elevada resistencia a la compresión pero su comportamiento a tensión, flexión y corte no es considerablemente eficiente, motivo por el cual en la mayoría de obras civiles se lo emplea en combinación con acero de refuerzo, conformando el denominado hormigón armado.

En el campo de la ingeniería civil el hormigón constituye una de los materiales más versátiles para construir, tiene la capacidad de adaptarse a la forma del encofrado ofreciendo gran resistencia y durabilidad. Sus usos van desde cimientos y pilotes, muros de cimentación, muros de contención, losas, elementos estructurales como vigas y columnas, carreteras, aceras, etc. Constituyendo caminos, edificaciones, puentes, obras hidráulicas, entre muchas otras.

## **2.5.2 Cemento**

Conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas, con adición de yeso, que tiene la propiedad de fraguar y endurecer al contacto con el agua, adquiriendo resistencias considerables. Para la elaboración de probetas de hormigón este debe cumplir las especificaciones de la norma CBH 87 (NB2.1-001). Se clasifica según su.

### **2.5.2.1 Composición química**

Forman parte de esta categoría los cementos portland, puzolánicos, con cenizas volantes, naturales, escorias, siderúrgicos, aluminosos sulfatados.

### **2.5.2.2 Utilización**

Empleados para propósitos especiales en obras características están los cementos resistentes a los sulfatos, de alta resistencia inicial, de bajo calor de hidratación, resistentes al agua de mar, de albañilería, cementos blancos.

### **2.5.2.3 Resistencia**

Acorde a la resistencia a la compresión del hormigón a una edad determinada, a los 28 días de edad para hormigones de uso normal, y a los 90 días para uso especial.

#### **2.5.2.4 Fraguado**

Fraguado se denomina al proceso exotérmico en el cual la pasta acuosa de un conglomerante adquiere trabazón, consistencia y endurecimiento, a merced de las modificaciones físico – químicas que tiene lugar entre el conglomerante y el agua. Se considera en base al tiempo de su fraguado como lentos o rápidos, tomando como base 1 hora reloj. El tipo de cemento más comúnmente empleado es el cemento hidráulico portland IP-30 constituido por aproximadamente 60 % de caliza y 40 % de arcilla que es mezclado, llevado a hornos con grandes temperaturas y finalmente mediante pulverización se obtiene el denominado Clinker.

En la Norma Boliviana NB2.1- 001 hasta NB2.1- 014 y la NBH se denomina al cemento portland como cemento hidráulico producido por pulverización de clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos cristalinos, conteniendo usualmente uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio, hasta 5 % de piedra caliza y adiciones de proceso. La norma ASTM.C.150 clasifica a este tipo de cemento en cinco categorías, cuya base de materiales es la misma pero con la dosificación se varían algunas de las propiedades, formando cemento para determinados fines dependiendo la aplicación.

### **2.5.3 Clasificación del cemento según ASTM.C.150**

#### **2.5.3.1 Tipo I**

Cemento común, para usos generales, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren de las propiedades especiales especificadas para los otros cuatro tipos de cemento. Dentro de esta categoría se tiene al cemento Tipo IA con aditivo incorporador de aire, Tipo IE que contiene alrededor del 20 % de puzolana, y el Tipo IP con un 40 % de puzolana.

### **2.5.3.2 Tipo II**

Cemento modificado para usos generales y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación.

### **2.5.3.3 Tipo III**

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. Este cemento se obtiene por un molido más fino y un porcentaje más elevado de C3A y C3S. Dado que el cemento tipo III tiene un gran desprendimiento de calor, no se debe usar en hormigones masivos.

### **2.5.3.4 Tipo IV**

Cemento de bajo calor de hidratación. El bajo calor de hidratación en el cemento tipo IV se logra limitando los compuestos que más influyen en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Este cemento se usa para estructuras de hormigón masivo, con bajas relaciones superficie/volumen. Requiere mucho más tiempo de curado que los otros tipos.

### **2.5.3.5 Tipo V**

Cemento resistente a los sulfatos. La resistencia al sulfato se logra minimizando el contenido de C3A ( $\leq 5\%$ ), pues este compuesto es el más susceptible al ataque por sulfatos.

Este tipo se usa en las estructuras expuestas a los sulfatos alcalinos del suelo o del agua, a los sulfatos de las aguas freáticas y para exposición al agua de mar.

## **2.6 ÁRIDOS**

Según CBH 87, la naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las demás características que se exijan a éste en el pliego de especificaciones técnicas. Como áridos para la fabricación de hormigones, pueden emplearse arenas y gravas obtenidas de yacimientos naturales, rocas trituradas u otros productos cuyo empleo se encuentre aceptado por la práctica, o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la utilización de los áridos disponibles. Se prohíbe el empleo de áridos que contengan o puedan contener materias orgánicas, piritas o cualquier otro tipo de sulfuros e impurezas. Se denomina árido total o simplemente árido cuando no haya lugar a confusiones, aquel que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere (De acuerdo con N.B. /UNE 41110, N.B. /UNE 41111 Y N.B./UNE 41112).

### **2.6.1 Árido fino**

Se entiende por arena o árido fino, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz de 5 mm de malla (Tamiz 5 N.B. /UNE 7050). Los áridos recomendados son aquellos de tipo silíceo, calizas sólidas y densas, las mejores arenas son las de río, las rocas sedimentadas o volcánicas son motivo de análisis, no se deben emplear gravas originadas de calizas blandas, feldespatos, piritas, yesos o rocas porosas, las provenientes de minas deben lavarse por contener arcilla.

Una condición de la arena para aceptarse como material constituyente del hormigón es que esté limpia y crujiente al apretar en los dedos, su función es la de llenante por lo cual debe estar bien graduada y proporcionar manejabilidad al

hormigón. Si su textura tiende a ser suave y la forma es redondeada se necesitara menos cantidad de agua para el amasado.

### **2.6.2 Árido grueso**

Se entiende por grava, ripio o árido grueso, el que resulte retenido tamiz de 5 mm de malla (Tamiz 5 N.B. /UNE 7050). En lo que se refiere al agregado grueso es preferible que sean triturados, estos mejoran la adherencia con la mezcla facilitando una mayor resistencia.

Es preferible que sean agregados cúbicos o esféricos ya que necesitan menor cantidad de pasta para cubrir su superficie, al ser angulosos dificultan la trabajabilidad, también deben evitarse el uso de gravas alargadas porque están no proporcionan resistencias adecuadas además de que acumulan agua bajo su superficie. Los agregados fino y grueso deben tener densidades reales mayores a  $2.6 \text{ g/cm}^3$  para considerarse válidos en dosificaciones de hormigón.

## **2.7 PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS GRUESO Y FINO**

### **2.7.1 Peso unitario suelto**

Es la relación entre la masa del agregado suelto que llena la mitad del molde que lo contiene. El manual de ABC volumen 4 (Administradora Boliviana de Carreteras) determina el procedimiento para realizar este ensayo.

### **2.7.2 Peso unitario compactado**

Es la relación entre la masa de áridos compactada que llena en el molde cilíndrico en tres capas con 25 golpes de varilla y se enrasa con la misma. El proceso de determinación de este valor se rige en el manual de la ABC V4B.

### **2.7.3 Peso específico y absorción del agregado grueso**

Este ensayo se hace con la muestra saturada en agua durante 24 horas, es la relación entre peso de la muestra saturada y muestra saturada con superficie seca menos peso de la muestra saturada dentro el agua. Para el agregado grueso se ejecuta el ensayo con la norma ASTM C 127, empleando el método de la canastilla.

En el caso del agregado fino se determina mediante la norma ASTM C 128, donde el peso específico es el peso en el aire de la muestra seca en el horno y un volumen del matraz en ml menos el volumen desplazado con la muestra en el matraz

### **2.7.4 Capacidad de absorción de los agregados**

Es la cantidad de agua que se necesita para que el material alcance la condición saturada superficie seca, este estado indica que el agregado se encuentra en equilibrio. El material árido será de mejor calidad cuando este parámetro tenga un menor valor.

Relaciona la masa de agua en el material en estado natural y la masa cuando el material es secado al horno, denominada también contenido de humedad cuyo ensayo se basa en la norma ASTM C 128.

### **2.7.5 Granulometría de los agregados**

La granulometría es la distribución porcentual de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, según varios tamices que responden a la Serie de Tyler, ensayo correspondiente a la norma ASTM C 136 con este proceso se consigue una mezcla de agregados gruesos y finos en proporciones óptimas para elaborar hormigón. Acorde a la norma ASTM C 33 los tamices para el agregado

grueso son 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4 y para el agregado fino la serie de tamices son 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.

### 2.7.6 Curva granulométrica de los agregados

La norma ASTM C33 determina límites para la curva granulométrica dentro de los cuales se verifica si el árido empleado es apto para elaborar hormigón, si la curva está bajo la de la norma el agregado es muy grueso, y si está por sobre la curva de la norma el agregado es muy fino.

Tabla N° 7: Límites de Granulometría del agregado grueso

<b>Tamiz</b>		<b>Limite % que pasa</b>	
ASTM C33	Abertura (mm)	Inferior	Superior
2"	50.8	100	100
1 1/2"	38.0	95	100
1"	25.4	-	-
3/4"	19.0	35	70
1/2"	12.5	-	-
3/8"	9.5	10	30
N°4	4.76	0	5

Fuente: ASTM C-33. Especificación normalizada para agregados en el concreto

Tabla N° 8: Límites de granulometría agregado fino

Tamiz		Limite % que pasa	
ASTM C33	Abertura(mm)	Inferior	Superior
3/8"	9.50	100	100
N°4	4.75	95	100
N°8	2.38	80	100
N°16	1.19	50	85
N°30	0.60	25	60
N°50	0.30	10	30
N°100	0.15	2	10

Fuente: ASTM C-33. Especificación normalizada para agregados en el concreto.

### 2.7.7 Módulo de finura del agregado fino

Denominado también como módulo granulométrico, se obtiene mediante la suma de los porcentajes retenidos en los tamices de la Serie de Tyler, hasta el tamiz N° 100, esto dividido entre 100, conforme el módulo de finura disminuye se tiene un agregado más fino, este valor debe estar entre 2.3 y 3.1 para aceptarse apta el arena en la elaboración de hormigón.

### 2.7.8 Tamaño nominal máximo del agregado grueso

Denominado como el tamaño del tamiz comercial anterior al tamiz en el que se retuvo 15 % o más de agregado grueso.

### 2.7.9 Agua de amasado

En general, podrán ser utilizadas tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, todas las aguas consideradas como aceptables por la práctica.

Toda agua de calidad dudosa, deberá ser sometida a análisis previos en un laboratorio legalmente autorizado. Resulta más perjudicial para el hormigón utilizar aguas no adecuadas en su curado que en su amasado. Conviene analizar, sistemáticamente, las aguas que ofrezcan dudas para comprobar que no aumenta su salinidad o demás impurezas a lo largo del tiempo (Como suele suceder, por ejemplo, cuando el abastecimiento proviene de pozos).

#### **2.7.10 Relación agua – cemento**

El agua en exceso debilita al hormigón, por tal circunstancia este parámetro es de gran importancia en cuanto al control de calidad del concreto. Cuando se tiene una mayor relación agua cemento (A/C) la resistencia del hormigón disminuye, de esta relación también depende la durabilidad, la fluencia y la retracción.

### **2.8 ESPECIFICACIONES DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

Para realizar el diseño de un pavimento rígido, se debe contar con conocimiento de los métodos disponibles y del comportamiento del hormigón, así con información mínima confiable que permita realizar la mejor aproximación de variables de entrada que lleven a un diseño de calidad que asegure la vida útil del pavimento. En este artículo se indican los parámetros que se debe considerar para la realización del diseño de un pavimento de hormigón.

#### **2.8.1 Espaciamiento y tipo de juntas**

El diseño de las juntas, que deben realizarse en el hormigón, forma parte integrante del sistema estructural de los pavimentos de hormigón, ya que sus características (Espaciamiento, tipo, dimensiones, barras, sellos, etc.) son un factor importante a considerar con relación a las tensiones de la losa y la durabilidad del pavimento y por lo tanto condicionan importantemente su diseño y comportamiento en servicio.

Se distinguen los siguientes tipos de juntas:

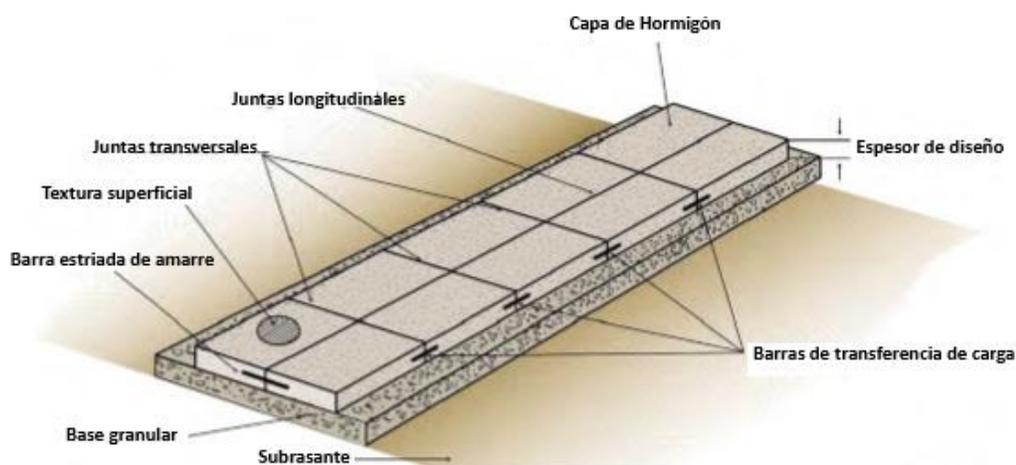
Juntas longitudinales.

Juntas transversales de dilatación.

Juntas transversales de contracción.

Juntas transversales de construcción.

Figura N° 3: Elementos principales de un pavimento de hormigón



Fuente: [https://: Diseño estructural de pavimentos rígidos.es/pdf](https://diseñoestructuraldepavimentosrigidos.es/pdf).

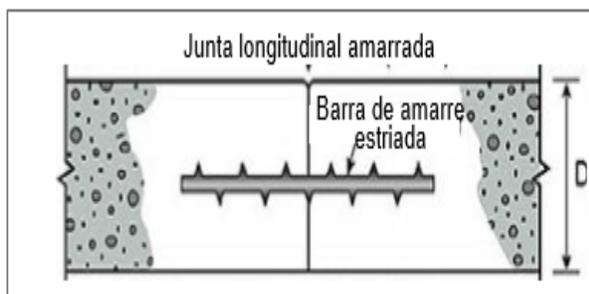
### 2.8.2 Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales tienen como principal objetivo limitar el ancho de la franja hormigonada de manera de evitar la formación de grietas en el sentido longitudinal. En el caso de que la pavimentación se realice mediante un ancho correspondiente al ancho de la pista, estas juntas se producen principalmente en la unión de dos calzadas de pavimento las que pueden tener bombeo en direcciones distintas. Dicho bombeo es normalmente materializado mediante una pendiente en la sub-rasante y base granular para mantener el espesor del hormigón constante, por lo que las franjas de hormigonado son amarradas entre sí para evitar su separación, mediante la utilización de barras circulares de acero estriado, denominadas “Barras de amarre”. Cabe destacar que para el control de este efecto

de separación, en los pavimentos urbanos colabora adicionalmente el confinamiento que producen los elementos de urbanización tales como las soleras, zarpas y aceras, que restringen la eventual separación de las calzadas en la junta longitudinal. En el caso que la pavimentación se realice a una dimensión mayor que el ancho máximo de hormigonado para evitar la grieta longitudinal, dicha junta debe ser materializada mediante el aserrado longitudinal. Los tipos de juntas longitudinales que se puede especificar para un proyecto, se describen a continuación:

**Juntas longitudinales amarradas.-** En este tipo de junta se realiza el hormigonado de tope de hormigón entre fajas de hormigonado de la calzada, generando una unión vertical en el hormigón y solo contando con la barra de amarre, en la sección media del espesor del pavimento. En el caso de usar métodos de colocación del hormigón que consideren la construcción de fajas de pavimento de más de una calzada a la vez, se pueden introducir las barras en el hormigón fresco en su posición a mitad del espesor. Luego, realizar la terminación superficial y cortar el hormigón al ancho de la calzada cuando el hormigón ya se encuentre endurecido, de manera de generar la junta en dicha posición, e inducir la separación del hormigón mediante la grieta que se forma en la junta. En la Figura 4 se presenta un corte esquemático de una junta longitudinal amarrada.

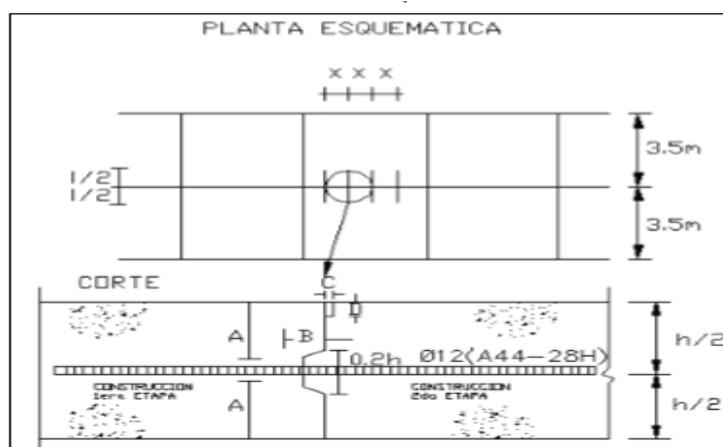
Figura N° 4: Juntas longitudinales amarradas



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

**Juntas longitudinales articuladas con llave.-** En este caso las juntas son materializadas mediante la inclusión de un elemento de articulación, materializado como una llave en la sección media del espesor del pavimento a la cual se le colocan las barras de amarre, cuya forma y dimensiones se muestran en la figura 5. En este caso, se debe disponer de la forma de la llave de la junta longitudinal en el molde para que sea materializada junto con el hormigonado.

Figura N° 5: Juntas longitudinales articuladas con llave



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

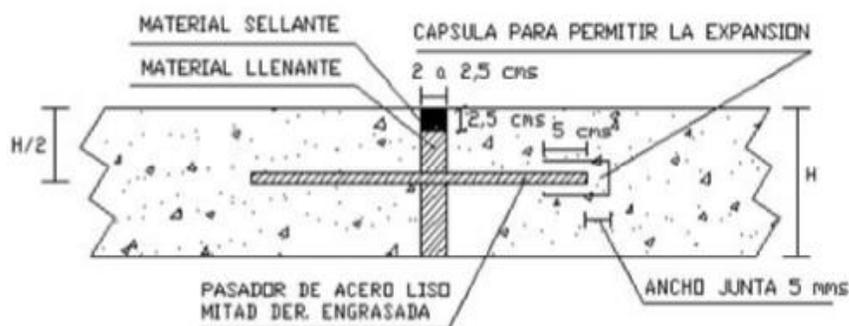
**Juntas longitudinales para el control de alabeo.-** Este tipo de junta longitudinal se realiza adicional a la junta entre calzadas, a distancias menores que el ancho de la calzada, y sirve para disminuir el efecto que tienen las cargas simétricas de los vehículos pesados sobre el alabeo de las losas, lo que produce la fatiga del material por estas cargas repetitivas.

Debido a que este efecto es mejor controlado cuando se realizan estas juntas, ya que disminuyen las tensiones de tracción en el hormigón, se puede disminuir el espesor requerido por diseño convencional de la losa para controlar la falla del hormigón. Al considerar estas juntas en el diseño se debe diseñar el espesor por medio del método mecanicista.

### 2.8.3 Juntas transversales de dilatación

Según MINVU 2008, las juntas de dilatación son el elemento más débil del pavimento, y es donde con mayor frecuencia se presenta el fenómeno de erosión por surgencia (Bombeo de finos). Las juntas pueden dejar de funcionar como tales, ya sea porque se introducen elementos extraños en ellas que las traban en expansión, o porque están muy distanciadas unas de otras (Más de 200 m) que las expansiones en estas juntas son superiores al ancho de separación de la junta, y por lo tanto las losas pueden comenzar a levantarse por compresión entre ellas.

Figura N° 6: Juntas de Dilatación



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

Por lo tanto, las juntas de dilatación deben ser estudiadas y propuestas en base a antecedentes climáticos de variaciones críticas durante día y noche, y durante invierno y verano, junto con considerar la época de colocación del hormigón, ya que estos antecedentes permiten estimar las deformaciones que puede sobrellevar un pavimento durante su operación, información que debe ser considerada por el proyectista.

### 2.8.4 Juntas transversales de contracción

Las juntas transversales de contracción tienen como función básica principal

Controlar la formación de grietas y/o fisuras derivadas de la retracción del hormigón en su proceso de endurecimiento, y controlan además el efecto del alabeo de las losas en el sentido longitudinal el que depende de la distancia entre juntas. Cuando una losa se contrae uniformemente por una disminución de su temperatura media o de su contenido de humedad, aparecen, por roce con la base, tensiones de tracción. Colocando las juntas transversales a distancias apropiadas, estas tensiones quedan reducidas a límites admisibles de operación. Cabe destacar que mientras menor es el espaciamiento de juntas menor es el efecto de la retracción del hormigón sobre la losa y el alabeo, y por lo tanto, las tensiones de tracción generadas pueden ser controladas con un menor espesor de losa de hormigón.

Por otra parte, la existencia de estas juntas ocasiona que el hormigón genere una grieta controlada, más abajo de la profundidad del corte, lo que produce una discontinuidad en el hormigón. Debido a que se requiere una continuidad para la circulación de los vehículos, por el efecto que estos tienen sobre el hormigón, se requiere lo que se denomina “Transferencia de carga” para que no queden bordes libres que deterioran el pavimento. Sin embargo, en los pavimentos de hormigón con juntas espaciadas sin elementos de traspaso de carga, este efecto es absorbido solamente por la grieta, por lo que el control de la abertura de las juntas es muy importante. En el caso en que no exista este efecto de transferencia de carga, el pavimento debe contar con elementos de traspaso de carga, como en el caso de las juntas transversales de construcción, pasando a ser pavimentos con juntas espaciadas con elementos de traspaso de carga.

En general, el distanciamiento recomendado para estas juntas de contracción en pavimentos convencionales, sin barras de traspaso de cargas es de 3,5 a 4 m, que corresponde al ancho de la calzada, con el fin de formar losas cuadradas de mejor y más uniforme comportamiento frente al alabeo.

Sin embargo, se puede utilizar menores distancias entre juntas transversales de contracción para controlar de mejor manera el alabeo, reduciendo las tensiones de

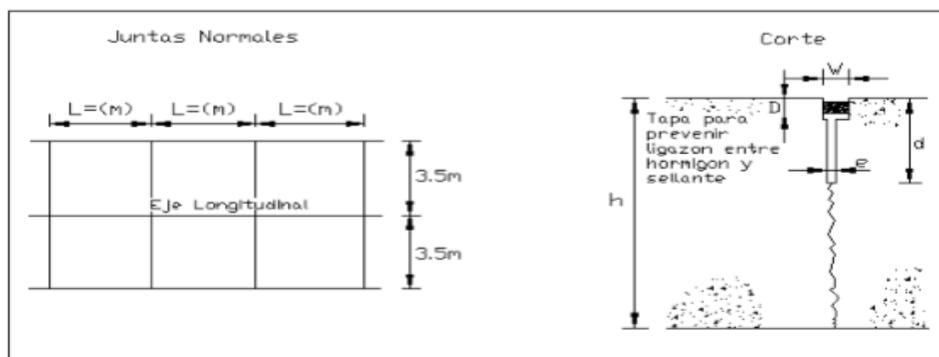
trabajo del hormigón, lo que permite utilizar pavimentos con un menor espesor que el requerido para un pavimento convencional y que mejoran además la transferencia de carga, al abrir menos las grietas en las juntas. Este último caso, los pavimentos de losa con juntas a distancias menores que el ancho de calzada, puede ser diseñado exclusivamente por medio de las técnicas de diseño mecanicista, ya que el método empírico-mecanicista de AASHTO no considera el mejor efecto de un largo de juntas menor que el del ancho de la calzada.

Adicionalmente, el hecho de considerar losas de menor distancia de espaciamiento de juntas de contracción reduce también el efecto de las cargas sobre las losas, logrando que la distancia entre ejes de un vehículo pesado evite la carga en las juntas o cerca de ellas en una misma losa simultáneamente, situación que mejora considerablemente el comportamiento del pavimento al tránsito permitiéndole una vida útil mucho mayor. Mientras menor sea el largo de las juntas menor también será la apertura de los cortes realizados en el pavimento, debido a que la deformación total del hormigón se acomoda en partes proporcionales en la mayor cantidad de cortes. Por lo tanto, la utilización de menores distancias entre juntas también permite disminuir el alabeo de las losas. El efecto de estas dos situaciones permite lograr pavimentos con mayor serviciabilidad, al disminuir la oscilación de los vehículos por el alabeo, y el golpeteo característico de circular sobre pavimentos rígidos cuando se encuentran alabeadas, al pasar las ruedas sobre las juntas del pavimento.

Las juntas pueden ser selladas o no, dependiendo del sistema de corte especificado, y el espesor de la sierra a ser utilizada, según las recomendaciones entregadas para este efecto en la sección 4 del presente código. La posibilidad de no utilizar sello de las juntas deberá quedar indicada en las especificaciones técnicas del proyecto, señalando necesariamente la utilización de sierra de corte con el menor ancho posible, usualmente de 2 mm. En el caso de las juntas con sello, se deberá considerar en su utilización las deformaciones del hormigón del pavimento por temperatura, por lo que se recomienda que el sello quede por lo

menos 4 mm bajo la superficie de rodado, de manera de evitar que su rebase de dicha altura por deformaciones de las losas, deteriore el sello por el paso de los vehículos. Un corte esquemático de las juntas con sello se presenta en la Figura 7 y en la Tabla 9 se dan recomendaciones de especificación para la abertura de juntas y su sello.

Figura N° 7: Juntas transversales de contracción con sello



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

Figura N° 8: Dimensiones de junta transversal de contracción con sello

Esesor pav. H (cm)	19 - 20	21 - 22	23 - 24	15 - 16	17 - 18
Factor de forma W	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2		
D					
Ancho superior W (cm)	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1		
Profund. sellado D (cm)	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	4 a 5	4,5 a 5,5
Profund junta d (cm)	5 a 6	5,5 a 6,5	6 a 7		
Abertura. Junta e (cm)	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6		

Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

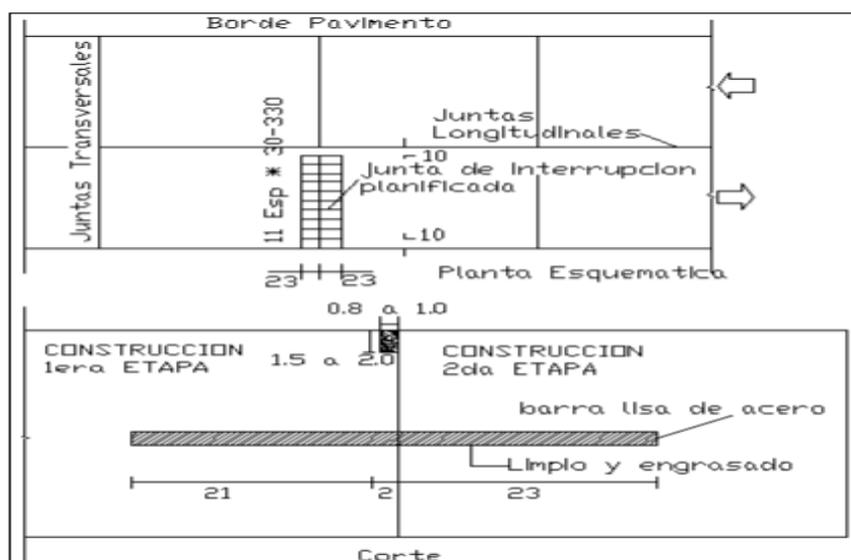
### 2.8.5 Juntas transversales de construcción

Cuando se ejecute una interrupción planificada de la pavimentación en el sentido de avance longitudinal de la pavimentación, se produce una junta fría de hormigón

denominada Junta Transversal de Construcción. Esta junta se hace normalmente en un lugar de coincidencia con una junta de contracción, y por simplicidad la terminación del hormigonado en esa junta es vertical.

Como no se puede crear una grieta para la transferencia de carga en esa junta, y al quedar la unión de hormigón antiguo y nuevo como una superficie lisa, en todo el espesor, se colocan barras para reponer la capacidad de traspaso de carga en esa junta y poder absorber el efecto de la falta de transferencia de carga que deterioran las losas. La colocación de barras de traspaso de carga en juntas transversales de construcción, se muestra esquemáticamente en la figura 9.

Figura N° 9: Justas transversales de construcción



Fuente: Diseño estructural de pavimentos rígidos

La ubicación de estas juntas es normalmente definida en terreno, ya que su posición depende de las jornadas de avance, de los rendimientos de los equipos, de factores climáticos, entre otros, lo que lleva a que la posición de la junta de contracción se ubique aleatoriamente, sin que el diseño pueda definir con anterioridad su posición. Para los efectos del diseño de juntas, éstas deben ser simplemente tratadas como una junta de contracción.

## **2.9 PROPIEDADES DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

Las propiedades del hormigón que son de interés para el análisis de diseño de los pavimentos de hormigón son la resistencia a la flexo-tracción y el módulo de elasticidad. Ambas propiedades condicionan junto al espesor de la capa de hormigón, la capacidad resistente del pavimento a absorber las tensiones que se producen en las losas debidas a las deformaciones del hormigón y de las cargas de tránsito. Por este motivo, es importante considerar en el diseño valores cercanos de las propiedades del hormigón que se utilizará en el proyecto.

### **2.9.1 Resistencia media a la tracción por flexión (Flexo tracción)**

La resistencia media del hormigón a la tracción por flexión, también denominada como flexo-tracción, debe ser usada por el diseñador y especificada en estas condiciones para el proyecto de pavimentación. Se acepta que la determinación de este valor de ensayo en el hormigón que será usado en el proyecto está fuertemente condicionada por una serie de factores que dificultan tanto el ensayo, como el transporte de muestras y los resultados que se obtienen. Por esta razón, es que generalmente la condición de ensayo que se acepta para el control de los hormigones en obra es la de resistencia a la compresión cilíndrica, por ser un ensayo más simple, con resultados de ensayo con menor variabilidad y se puede contrastar directamente los valores de resistencia, con testigos cilíndricos obtenidos del pavimento, en caso de ser necesario.

Para realizar esta correlación, es necesario conocer factores de conversión, por tipo de ensayo y especificación, de manera que se pueda indicar requisitos para pavimentos de hormigón diseñados a la flexo-tracción, con los requisitos que debiera cumplir ese hormigón cuando es ensayado en condiciones de resistencia a la compresión cilíndrica. Un valor generalmente aceptado para esta conversión y que se puede usar para proyectos de poca envergadura es 6,6 ( $f_c = f_t \times 6,6$ ), pero en casos de proyectos de cierta importancia, dicha relación deberá ser estimada en

Base a ensayos con los hormigones que serán utilizados para el proyecto. La definición de los hormigones y su designación en base a grados se encuentra indicada en la norma NCh170, para resistencia del hormigón en base a resistencia a la compresión cilíndrica y resistencia a la tracción por flexión. El diseñador deberá utilizar el valor de flexo-tracción media para su diseño, el que no deberá ser en ningún caso menor que 4,8 MPa. Para consideraciones de especificación del hormigón en obra, deberá indicar la fracción defectuosa considerada en el diseño, la que no deberá ser mayor a un 20 % y deberá obtener el valor de la resistencia a la flexo-tracción especificada, de manera que el contratista pueda considerar dicho hormigón en la obra para la solicitud al proveedor de hormigones, o su preparación en obra, de ser el caso.

### 2.9.2 Hormigón hidráulico de losas

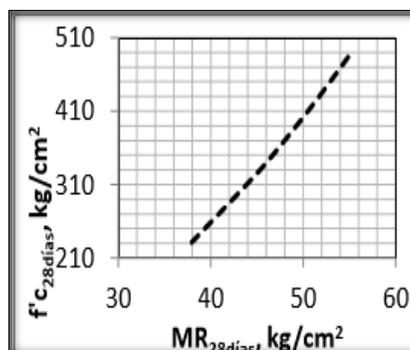
El hormigón hidráulico deberá ser grado estructural diseñado según ACI 301 para un módulo de ruptura a la flexión ( $MR_{28\text{días}}$ ) igual a 4.2 MPa (600 lb/pulg<sup>2</sup>), mediante ASTM C78. Para aplicar los procedimientos de diseño de mezcla típicos del ACI, se puede estimar el  $f'c$  28 días que produzca un MR 28 días mediante la siguiente relación.

Figura N° 10: Relación entre  $f'c$  y MR en kg/cm<sup>2</sup>

$$f'c_{28\text{días}} = \left( \frac{MR_{28\text{días}}}{9.5} \right)^2$$

$$f'c_{28\text{días}} = \text{lb/pulg}^2$$

$$f'c_{28\text{días}} = \text{lb/pulg}^2$$



Fuente: Guía para diseño de vías de alto volumen, (Pavimentos rígidos)

### 2.9.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del hormigón controla la forma de falla a rotura que tendrá la losa y su capacidad a deformarse por carga antes de generar una grieta. Generalmente para esta estimación se utilizan relaciones que se basan en la resistencia a la compresión del hormigón.

Por lo tanto, habiendo definido el valor de la resistencia media a la flexo-tracción que será usada en el diseño, se puede estimar el valor del módulo de elasticidad del hormigón, para lo cual se puede utilizar la siguiente relación propuesta por el American Concrete Institute:

$$E_c = 4.700 \sqrt{f_c'}$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad del Hormigón MPa

$f_c'$  = Resistencia a la compresión cilíndrica MPa

Como regla general, en el caso de no contar con valores de Módulo de Elasticidad para el proyecto, se recomienda en hormigones de características normales, usar el valor 29.000 MPa.

### 2.10 PROCESO DE ELABORACIÓN DE VIGAS Y PROBETAS DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO.

La elaboración de vigas y probetas con los diferentes porcentajes de vidrio seguirá un mismo procedimiento descrito en la norma ASTM C 31. Cuyo proceso se implica.

### 2.10.1 Dosificación

Consiste en el diseño de la mezcla estableciendo las cantidades de cada uno de los materiales que conformaran el hormigón, elaborada en base a las características de granulometría, propiedades físico químicas de los agregados y tipo de cemento, con el propósito de obtener propiedades adecuadas en el hormigón.

Se puede elaborar una dosificación al peso o al volumen

### 2.10.2 Dosificación método ACI

La dosificación de mezclas de hormigón es la determinación de la combinación más económica y practica de agregados disponibles, cemento, agua y en su caso aditivo que producirá una mezcla trabajable con un endurecimiento adecuado.

La dosificación de la mezcla de prueba puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

Tabla N° 9: Relación de agua cemento para distintas resistencias

F'c a los 28 días de edad kg/cm <sup>2</sup>	A/C
450	0.38
400	0.42
350	0.47
300	0.54
250	0.62
200	0.70
150	0.80

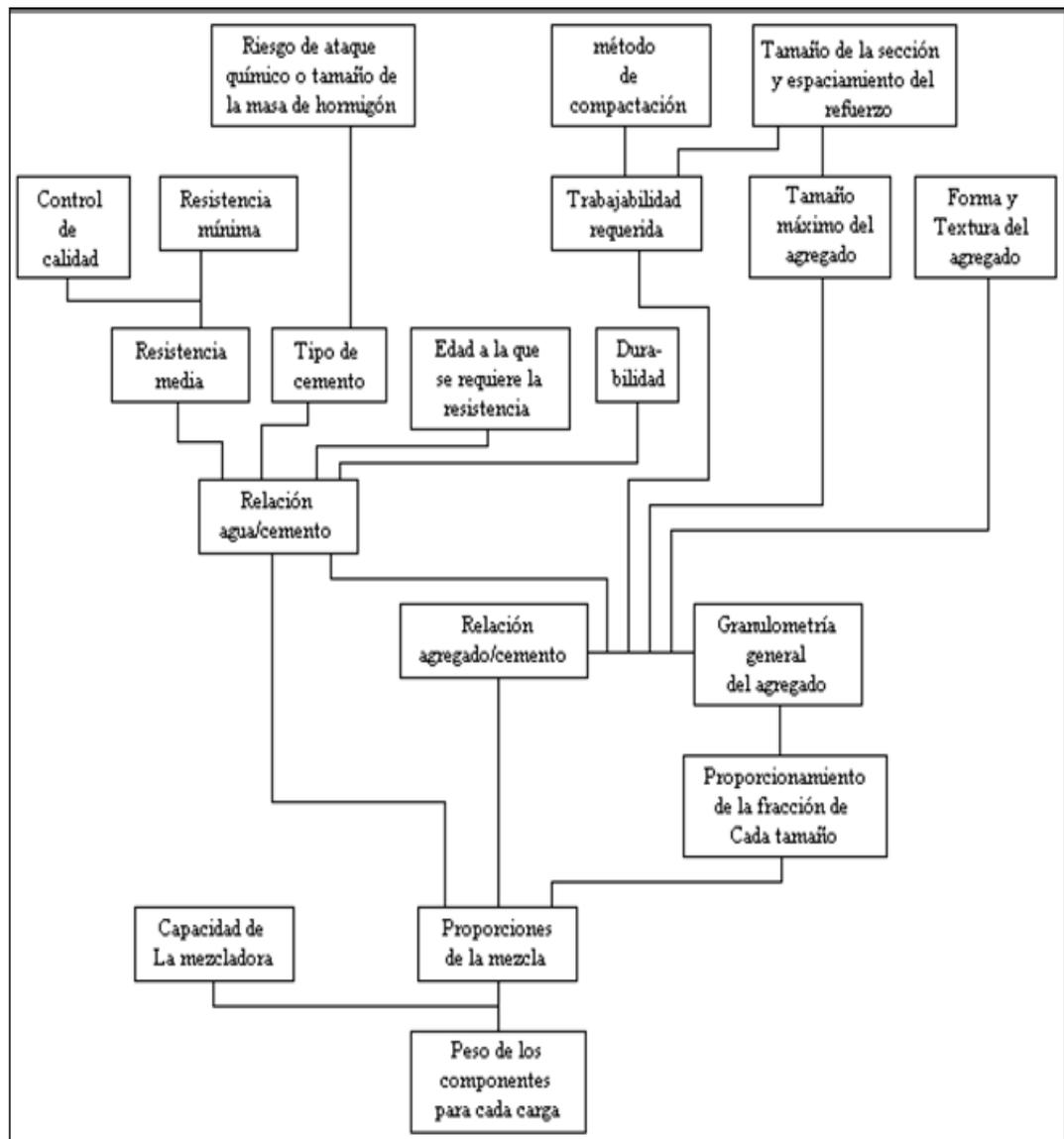
Fuente: <https://diseño-mezclas-concretoACI-23718139>

A continuación se explica la metodología de dosificación para hormigones, presentada por el comité ACI-211, donde se debe seguir el flujo grama de dosificación indicando en la figura 12; así mismo, se debe tomar en cuenta que un

diseño, en el sentido estricto de la palabra no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser evaluadas con exactitud en forma cuantitativa. Por tal motivo, es necesario hacer mezclas de prueba para revisar y ajustar las proporciones de los materiales.

Las tablas que se utilizaran se muestran a continuación.

Figura N° 11: Factores básicos de diseño de una mezcla de hormigón



Fuente: Dosificación método ACI

Tabla N° 10: Datos requeridos para la dosificación

<b>Características de diseño</b>			
<b>Ensayo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
1.- Modulo de finura de la arena (MF)		s/u	3,09
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )		kg/m <sup>3</sup>	1490
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )		gr/cm <sup>3</sup>	2,54
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )		gr/cm <sup>3</sup>	2,70
5.- Absorción de la arena ( Aa )		%	3,13
6.- Absorción de la Grava ( Ag )		%	1,5
7.- Humedad de la Arena ( Ha )		%	0,00
8.- Humedad de la Grava ( Hg )		%	0,00
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )		pulg	3/4"
10.- Tamaño Máximo ( TM )		pulg	3/4"
11.- Peso específico del cemento		gr/cm <sup>3</sup>	3,2
<b>Características de diseño</b>			
Resistencia de diseño ( fck )		<b>350</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia Característica ( fck ) (Tabla 11.12)		450	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4)		1	pulg
Relacion Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11,13)		0,38	s/u
<b>Datos de tablas</b>			
Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo ) (Tabla 11.15)		0,63	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.6)		190	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 2.10.3 Mezcla

La incorporación y mezcla se ejecuta cuidadosamente para obtener homogeneidad. Este puede ser manual o mecánico.

### 2.10.4 Prueba del cono de abrams

La consistencia es una propiedad verificada con esta prueba, que consiste en llenar un molde metálico con tres capas de mezcla apisonadas con 25 golpes de varilla,

una vez retirado el molde se mide el asentamiento que se da en la masa de hormigón con respecto a la altura inicial dada por el molde

#### **2.10.5 Llenado de moldes**

Este proceso se ejecuta conforme a la norma mencionada anteriormente, básicamente consiste en el llenado de vigas rectangulares de 6''\*6''\*15'' de madera o metálicos y cilindros normalizados (Probetas) con tres capas compactándolas cada una con 25 golpes de espiral con la varilla compactadora, para sacar el exceso de aire se emplea un martillo de goma con el que se dan golpes laterales.

#### **2.10.6 Fraguado**

Reacción química producida entre el cemento y el agua que provoca el endurecimiento del hormigón, motivo por el cual las vigas y probetas deben almacenarse en un lugar aislado del sol para evitar evaporación prematura del agua de amasado, esto durante 24 horas.

Entre los factores que intervienen en la duración del fraguado esta la finura del cemento, mientras más fino el proceso es más rápido, lo mismo sucede al emplear menos agua, en cuanto a los agregados estos deben estar libres de materia orgánica ya que eso retrasaría el fraguado, las elevadas temperaturas minimizan este tiempo.

#### **2.10.7 Curado**

Transcurridas 24 horas las probetas son desmoldadas e introducidas en una cámara de curado que mantiene la humedad del hormigón, consiguiendo que la reacción química del cemento continúe. La continuidad en el proceso de hidratación del cemento mejora la durabilidad, resistencia mecánica, estabilidad volumétrica, resistencia al desgaste e impermeabilidad.

La temperatura adecuada para el curado oscila entre los 22 a 24 °C, y el agua a usarse para este procedimiento debe ser potable, como un tiempo ideal el hormigón tiene que estar 26 días dentro del agua y un día fuera de la misma para la ruptura del hormigón a los 28 días.

#### **2.10.8 Ensayo a tracción**

Es un ensayo que se realiza en el mismo lugar donde se encuentra el objeto de análisis para determinar sus características, la resistencia a tracción es el máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse, medida en kilogramo por centímetro cuadrado.

#### **2.10.9 Ensayo de compresión**

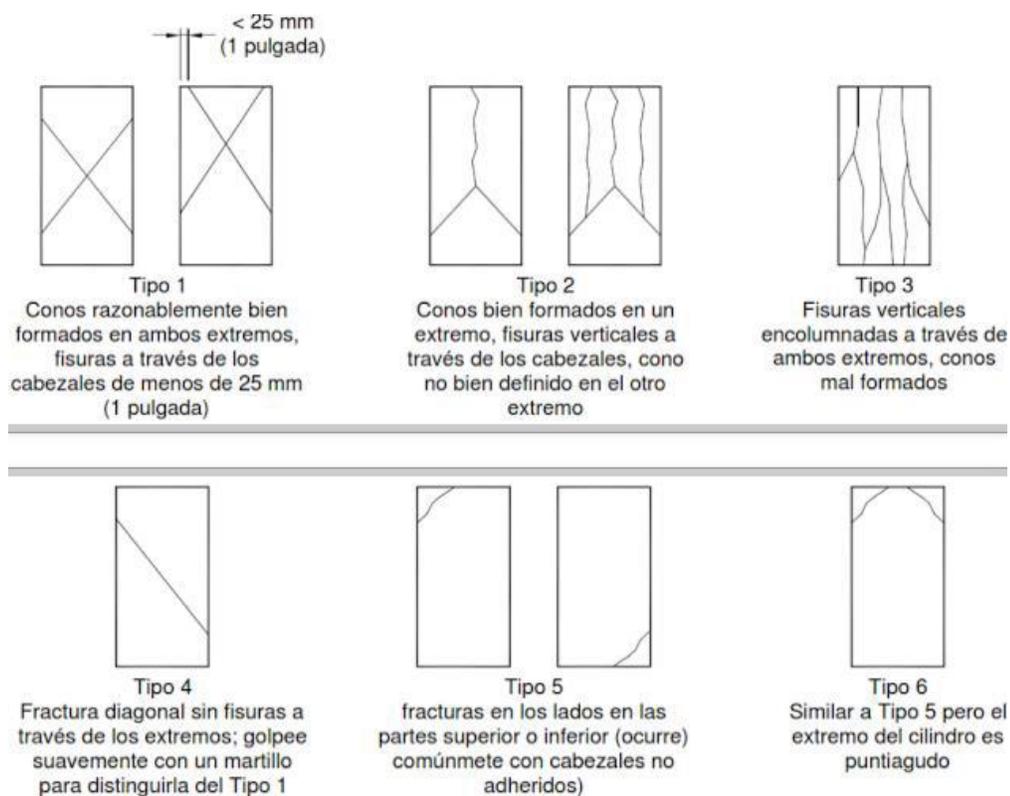
Consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros de hormigón a una velocidad entre 3.53 a 5.30 KN/s hasta que ocurra la falla, la resistencia a compresión de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima alcanzada para el área de la sección transversal de la muestra ensayada. ASTM C 39

##### **2.10.9.1 Tipos de falla en cilindros de hormigón ensayados a compresión**

Las probetas cilíndricas de hormigón presentan ligeras fisuras de adherencia producto de la retracción del fraguado, una vez que se aplica la carga de compresión estas fisuras aumentan en número y longitud de manera lineal, al alcanzar el 90 % del esfuerzo de rotura las fisuras incrementan exponencialmente hasta convertirse en rajaduras que provocan la rotura del hormigón.

La norma ASTM C 39 indica que el cilindro de hormigón debe ser sometido a compresión hasta que se haya alcanzado la capacidad máxima y se observe que la carga disminuye constantemente, a la vez en la probeta se identifique un patrón de falla específico.

Figura N° 12: Tipos de fallas de hormigón a compresión



Fuente: Fallas en probetas de hormigón a compresión. ASTM C 39

## 2.11 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

Las propiedades que se estudiarán en esta investigación serán la consistencia medida con el ensayo del cono de abrams, trabajabilidad, homogeneidad, y peso específico.

## 2.12 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

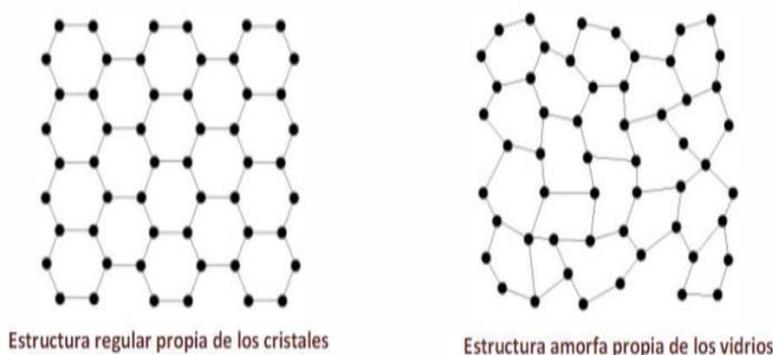
Para el ensayo previsto se requerirán conocer dos propiedades del hormigón endurecido que son resistencia, durabilidad y resistencia mecánica.

## 2.13 VIDRIO

El vidrio se atribuye como descubrimiento de los fenicios o egipcios 3000 años A.C. Teniendo conciencia de que en esa época carecían de equipos necesarios para la fabricación como son los hornos de fusión a altas temperaturas.

El vidrio es un material de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio ( $\text{SiO}_4$ ). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con éste radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo, esta diferencia se muestra en la figura 13.

Figura N° 13: Estructura atómica y cristal del vidrio



Fuente: El vidrio en la construcción de producto 2 de Marcelo Castillo

El vidrio presenta cierta transparencia, su subestructura es amorfa, reduce su viscosidad en función de la temperatura, etc., por lo que este comportamiento se asemeja mucho al de cualquier líquido. Por lo que el vidrio podría ser definido más claramente como un líquido con una viscosidad tan alta que le proporcionaría un aspecto de sólido, sin serlo.

La ASTM define al vidrio como un producto inorgánico de fusión, el cual se enfría hasta un estado rígido pero sin llegar a la cristalización. Este material se presenta como sólido, pero es un fluido de alta viscosidad, su aspecto es duro y por lo general de color transparente.

Es un material frágil, de subestructura amorfa. Se diferencia del cristal debido a que este no presenta una subestructura amorfa, sus moléculas están ordenadas, por lo general y en forma simplificada para tener una idea clara podríamos decir que vidrio son las botellas y contenedores de alimentos, y cristal son los ventanales y vajilla.

Este componente conforma la base de la investigación conjuntamente con el hormigón, sus propiedades y proporción determinaran los resultados al ensayar las probetas.

### **2.13.1 Componentes del vidrio**

Está constituido primordialmente por sílice derivado de arena, cuarzo o pedernal, constituye alrededor de las  $\frac{3}{4}$  partes. Otros componentes son el óxido de sodio como fundente, óxido de calcio como estabilizante químico – mecánico, óxido de aluminio que mejora la resistencia mecánica, al choque térmico, eleva la refractariedad, disminuye la dilatación térmica. Además se usa materiales como descolorantes, colorantes, fluidificantes, opacificantes, etc.

La sílice ( $\text{SiO}_2$ ), es el constituyente más importante conformando las tres cuartas partes de su composición, se lo obtiene de las arenas de cuarzo.

El óxido de sodio, tiene por finalidad el favorecer la formación de vidrio, rebajando su temperatura de fusión y así facilitar su elaboración, son conocidos como fundentes.

El óxido de calcio, su presencia aumenta la estabilidad química y mecánica del vidrio, por lo que desde el punto de vista funcional actúa como estabilizante.

El óxido de aluminio, es un estabilizante, añadiéndole además ciertas características como: aumento de la resistencia mecánica, un mejoramiento de la estabilidad química, una elevación de la refractariedad, una disminución del coeficiente de dilatación térmica y una mejor resistencia al choque térmico.

En la composición de los vidrios, también se observan otros constituyentes minoritarios con funciones determinadas como colorantes, afinantes, decolorantes, opacificantes, etc., haciendo especial mención a los fluoruros en su papel de fluidificantes.

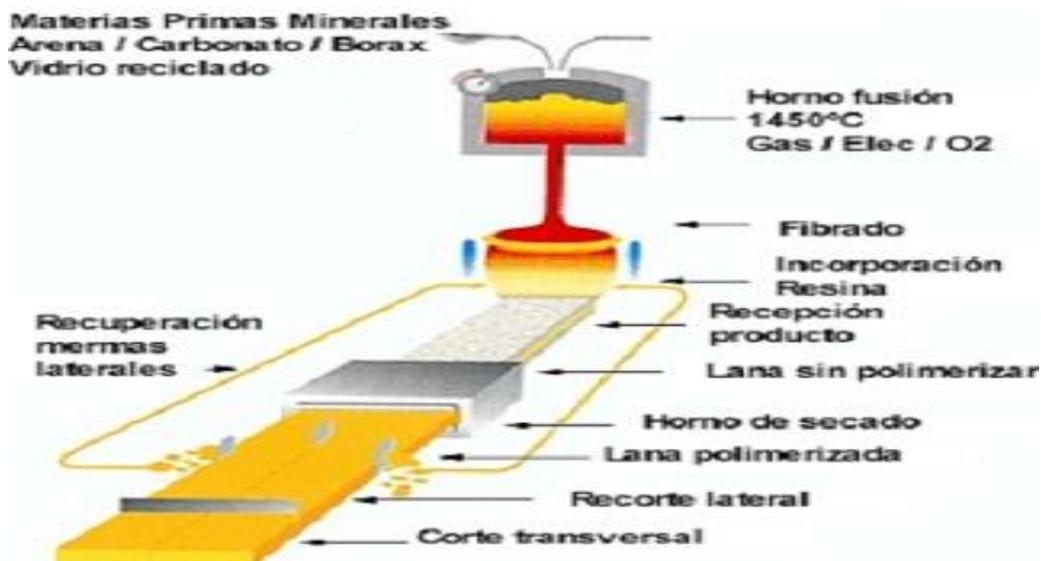
Por ejemplo para el color ámbar se añade óxido de hierro, para el color verde: óxido de cromo (CrO).

### **2.13.2 Fabricación del vidrio**

Las materias constituyentes del vidrio son molidas y almacenadas, mediante sistemas de transportación a gravedad son pesados y dosificados para proceder a la mezcla, una vez homogenizado es introducida en hornos de fusión a temperaturas alrededor de los 1500 °C, una vez fundido en su totalidad se lleva al refinador, para proceder finalmente a la tarea de figurado mediante estirado, soplado, presión, etc.

El proceso de fabricación propiamente tal, puede resumirse de la siguiente manera. A medida que materias primas son recibidas (Principalmente arena), se muelen y almacenan en depósitos de altura, esperando el momento que serán transferidas a través de un sistema de alimentación por gravedad a los pesadores y mezcladores.

Figura N° 14: Fabricación del vidrio



Fuente: <http://Proceso tecnologico del vidrio/ proceso de fabricacion del vidrio.com>

En los mezcladores las materias primas son dosificadas y combinadas con vidrio reciclado para formar una mezcla homogénea, la cual es trasladada por medio de cintas transportadoras a un sistema de almacenamiento de cargas donde es contenida antes de ser depositada en el alimentador del horno de fundición.

Al entrar la carga al horno a través de los alimentadores, ésta flota en la superficie de la masa de vidrio fundida. Una vez que se funde, pasa al frente del baño y eventualmente fluye a través de la garganta de carga al refinador, donde es acondicionada térmicamente para descargar al proceso de formado.

En la figura 14 se puede ver un esquema del proceso básico, dicho gráfico es una representación simplificada del proceso, además los materiales base no necesariamente son los utilizados para elaborar todo el vidrio que se comercializa, distintos tipos de vidrio son elaborados con fines específicos.

### **2.13.3 Propiedades físicas – mecánicas del vidrio**

Dependiendo de la composición, algunos vidrios se funde a temperaturas muy bajas, como 500 °C, mientras que otros necesitan 1650 °C, aunque por lo general, al presentar un elevado contenido de sílice, la temperatura final de fusión es más cercana a este último valor.

En cuanto a resistencia mecánica, presenta normalmente una resistencia a la tracción entre 3.000 y 5.500 N/cm<sup>2</sup>, aunque puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm<sup>2</sup> si el vidrio ha recibido un tratamiento especial. El vidrio es un mal conductor de calor y electricidad, por lo que resulta práctico para el aislamiento térmico y eléctrico.

#### **2.13.3.1 Color**

El color natural de vidrio es un tono verdoso, al que se le agregan decolorantes para hacerlo traslúcido, y colorantes para conferirle distintas tonalidades. Los envases de vidrio de colores sirven para proteger el contenido de la luz, por lo que sus principales usos se dan en la industria de alimentos (Aunque últimamente su uso es limitado a contenidos líquidos, como licores, aceites, etc.) y farmacológica.

#### **2.13.3.2 Fragilidad**

Ocasionado debido a tensiones localizadas generadas por fisuras imperceptibles en la superficie, induciendo a la disminución de su resistencia mecánica.

#### **2.13.3.3 Dureza**

Su dureza se considera alrededor de 6 a 7 en las escala de Mohs, se usa el mismo valor tanto para vidrio recocido, crudo o templado.

#### **2.13.3.4 Elasticidad**

Al ser frágil solo presenta un comportamiento plástico cuando está a altas temperaturas, se deforma plásticamente desde los 600 °C y se funde a los 1000 °C.

#### **2.13.3.5 Peso específico**

Para el vidrio comercial tiene un peso específico general de 2.59 g/cm<sup>3</sup>.

#### **2.13.4 Resistencia**

Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento inicia con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material.

##### **2.13.4.1 Resistencia a la tracción**

Está en función de las micro fisuras presentes en la superficie, teóricamente se considera cinco veces más resistente que el acero 70000 kg/cm<sup>2</sup>, en la práctica está estimada en alrededor de 1000 kg/cm<sup>2</sup> para vidrio templado y 400 kg/cm<sup>2</sup> para vidrio recocido.

##### **2.13.4.2 Resistencia a la flexión**

Es similar a la resistencia a la tracción. Las fuerzas aplicadas en el vidrio se concentran en los defectos superficiales y pueden propagarse efectivamente debido a que es un material homogéneo

### **2.13.4.3 Resistencia a la compresión**

Esta alrededor de los 10000 kg/cm<sup>2</sup>. Lo que indica su alta resistencia a fuerzas que tienden a comprimirlo.

## **2.14 TIPOS DE VIDRIO**

Existen varios tipos de vidrios entre ellos los mencionados a continuación.

### **2.14.1 Vidrio sodocalcico**

Es el tipo de vidrio más utilizado para fabricar todo tipo de contenedores (Botellas, cristalerías de mesa, ampollitas, vidrios para ventanas y vidrios laminados), los recipientes hechos a partir de vidrio sodocálcico son prácticamente inertes, de modo que no contaminan el contenido del mismo. Son poco resistentes al choque térmico.

### **2.14.2 Vidrio templado**

Vidrio con propiedades mejoradas debido a un proceso de cambio súbito de temperatura que mejora su resistencia a la flexión y choque térmico, en caso de fragmentarse lo hará en pedazos pequeños siendo más seguro para evitar accidentes.

### **2.14.3 Vidrio laminado**

Formado por la unión de dos o más láminas de vidrio con una de PVB en el centro, lamina elástica y adherente, esto permite mantener al vidrio unido cuando sufre un impacto, permitiéndolo ser más resistente.

#### **2.14.4 Vidrio armado**

Vidrio armado con malla metálica en su interior que permite mantener juntos los pedazos en caso de rotura. Inadecuado a altas temperaturas.

#### **2.14.5 Vidrio resistente a altas temperaturas**

Se obtiene este vidrio añadiendo a su composición boro silicato de sodio el cual reduce el coeficiente de dilatación térmica. El resultado es un material con propiedades de aislación térmica sin modificaciones en su resistencia.

#### **2.14.6 Reacción álcali – sílice**

Se genera por la presencia simultánea de ciertas condiciones, el agregado de vidrio reciclado molido debe contener gran cantidad de sílice amorfo no cristalino que reacciona con la pasta de cemento que contiene álcalis, en presencia de la humedad que provoca la reacción, formando un gel viscoso que esta propenso a la expansión que genera grietas superficiales en el hormigón.

Este problema es solucionado empleando cementos de bajo contenido alcalino, adicionando sales de litio como neutralizador, usar vidrio menos expansivo preferentemente de color verde, etc.

### **2.15 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Gestión de residuos se llama a todo el proceso que engloba las actividades necesarias para hacerse cargo de un residuo. La gestión de residuos comienza con la recogida de los mismos, su transporte hasta las instalaciones preparadas y su tratamiento intermedio o final, este tratamiento puede ser el aprovechamiento del residuo o su eliminación. En los últimos años se ha incrementado el interés para que esta actividad genere el menor riesgo para la salud y el medio ambiente.

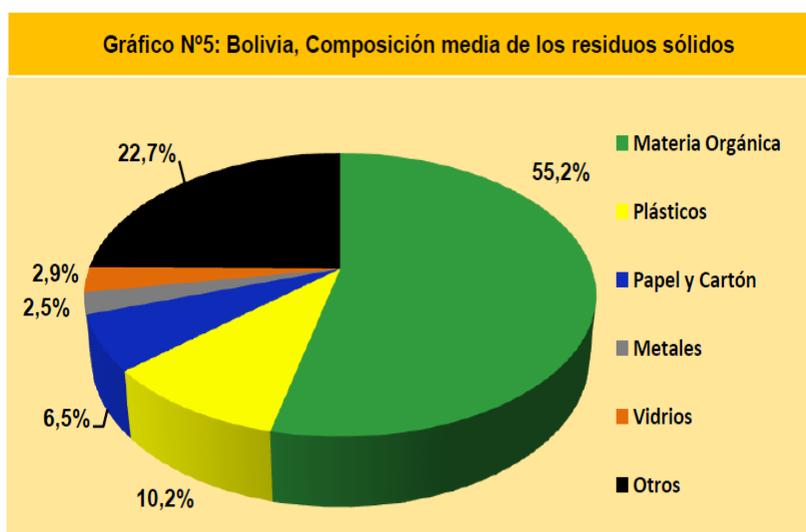
Hay diversos tipos de residuos sólidos, como los que generan en las ciudades (Domésticos, residenciales, institucionales o comerciales), agrícolas o industriales (Sectores productivos, industrias, polígonos industriales, sanitarios, etc.). Los principales residuos son producidos por la actividad humana.

Actualmente, la gran mayoría de los países se encuentra muy lejos del objetivo “Residuo cero” Según datos estimados por la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), en el mundo se genera más de 10000 millones de toneladas de residuos cada año. Solo en Latinoamérica se generan casi 160 millones de toneladas, colaborando Bolivia con más de 2 millones de toneladas de residuos al año.

### 2.15.1 Generación de residuos en Bolivia

En nuestro país, cerca de los 2 millones de toneladas de basura que se generan, el 90 % son depositadas en botaderos a cielo abierto.

Figura N° 15: Bolivia, composición media de los residuos sólidos



Fuente: Recuperado de: Ministerio de medio ambiente y agua 2011 (pág. 70)

El 37 % de los botaderos están ubicados en riberas de ríos y otros lugares como lagunas y fuentes de agua que privan a la población del acceso a este recurso. Además, del 100 % de la basura, el 55,2 % es materia orgánica, el 22,1 % es reciclable y el 22,7 % son residuos no aprovechables. Entonces estamos hablando que si se realiza una gestión integral de los residuos sólidos, se liberara más del 70 % de desechos que sean depositadas en los rellenos sanitarios.

Figura N° 16: Tarija potencial de residuos sólidos generados en diferentes municipios (Ton/día).

Municipio	Generación total urbana	RSO	Plástico	Papel y Cartón	Metales	Vidrios
Tarija	119,88	73,13	7,42	7,24	2,75	2,40
Padcaya	1,50	0,83	0,15	0,10	0,04	0,04
Bermejo	15,38	8,49	1,57	1,00	0,38	0,45
Yacuiba	64,67	35,70	6,60	4,20	1,62	1,88
Caraparí	1,21	0,67	0,12	0,08	0,03	0,04
Villamontes	11,74	6,48	1,20	0,76	0,29	0,34
Villa San Lorenzo	1,65	0,91	0,17	0,11	0,04	0,05
El Puente	1,20	0,66	0,12	0,08	0,03	0,03
Entre Ríos	0,74	0,41	0,08	0,05	0,02	0,02

Fuente: Gestión de residuos sólidos en el departamento de Tarija (2011).

Recuperado de: ministerio de medio ambiente y agua (pág. 56)

## 2.16 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN TARIJA

Actualmete Tarija genera un promedio de 140 toneladas de basura por día, de las cuales el 60 % es orgánico y el resto inorganico, es decir plasticos, vidrios, papeles y metales. Al año se estima un recojo total de 38.226.06 toneladas de basura, la producción de residuos por fuente mensual va de la siguiente manera: áreas periurbanas 9,5 %, mataderos 2,9 %, hospitales 0,38 %, domicilios nocturnos 12,5 % domicilios diurnos 64,9 %, mercados 8,1 %, y otros 1.9 %. Asi mismo, algo que no se pueda dejar reconocer, es que la ciudad de Tarija es una de las mas limpia de

Bolivia, pese a que una gran mayoría de los ciudadanos se encuentran mal acostumbrados al momento de desechar el desperdicio por más pequeño que sea, como bolsas y vasos de plástico de cualquier producto que se consume; en sus calles, los mercados o el transporte público.

### **2.16.1 Marco normativo.**

El potencial contaminante de los residuos y la necesidad permanente de encontrar nuevos sitios para su disposición final, motivaron a una reflexión internacional sobre la necesidad de reducir la cantidad de residuos ya que van a disposición final, ya sea mediante la prevención en la generación y/o la reducción de su peligrosidad o mediante su aprovechamiento para evitar su disposición final.

### **2.16.2 Marco normativo nacional.**

En Bolivia se han desarrollado algunos instrumentos normativos tales como la ley de Medio Ambiente N° 1333 y su reglamento de gestión de residuos sólidos y reglamento para las actividades con sustancias peligrosas. La implementación de estos instrumentos fue débil debido a la falta de Política de Estado y de una instancia Nacional que pueda liderar, promover y organizar su implementación y cumplimiento con la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, se da apertura a un nuevo escenario para el desarrollo de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, puesto que establece competencias para los diferentes niveles de estado.

Por otro lado, además, fue promulgada la ley de Gestión Integral de Residuos que establece responsabilidades y sanciones sobre el manejo de los residuos sólidos en los diferentes niveles de Gobierno. La ley sancionada tiene como principio básico el implementar la política general y el régimen jurídico de la gestión integral priorizando la reducción de generación de residuos, su aprovechamiento y la disposición final ambientalmente segura.

Figura N° 17: Bolivia, cronología del marco para el sector de residuos sólidos

Año	Marco Legal Promulgado
1978	Mediante Decreto Ley N° 15628, del 18 de julio de 1978, se aprueba el Código de Salud, el cual dispone la competencia de la Autoridad de Salud sobre la temática de los Residuos Sólidos.
1982	Se aprueba el Reglamento de Saneamiento Ambiental mediante Decreto Supremo N° 18886 del 15 de marzo de 1982, en el cual se introducen varios aspectos relacionados con el manejo de Residuos Sólidos.
1991	Se promulga el Decreto Supremo N° 22965, que establece el Reordenamiento del Sector de Saneamiento Básico en Bolivia, con la descentralización de los servicios básicos en las nueve prefecturas del país, mediante la creación de las Unidades de Saneamiento Básico. Entre las funciones principales están la formulación de planes y programas departamentales de ampliación de cobertura de saneamiento básico, así como la implementación de políticas, estrategias y prioridades nacionales y concentrarlas en planes operativos para la ejecución de proyectos.
1991	Mediante Decreto Supremo N° 22965, el tema de los residuos sólidos fue introducido como parte del concepto de Saneamiento Básico, entendiéndose el mismo como las actividades que contribuyen a preservar y mejorar la salud y la calidad de vida de las personas, abarcando servicios de agua potable, alcantarillado, eliminación de excretas, gestión de residuos sólidos y control de la contaminación ambiental
1992	Se aprueba la Ley N° 1333, Ley del Medio Ambiente, la misma señala que: <i>es de prioridad nacional, la promoción de acciones de saneamiento ambiental, garantizando los servicios básicos y otros, a la población urbana y rural en general.</i>
1995	Se prueban los Reglamentos de la Ley N° 1333, entre los cuales se incluye el Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, donde se establece que el Gobierno Municipal es responsable de la gestión.
1997	En la Ley N° 1788, Ley de Organización del Poder Ejecutivo (LOPE), de septiembre de 1997, se crea el Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos con atribuciones en materia de servicios básicos, para formular, ejecutar y controlar políticas y normas destinadas al desarrollo e instalación de servicios básicos.
1999	Se aprueba la Ley de Municipalidades N° 2028, reconociendo a la Municipalidad como una entidad autónoma de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio que representa institucionalmente al Municipio, forma parte del Estado y contribuye a la realización de sus fines. Entre sus funciones están: <i>regular, fiscalizar y administrar directamente, cuando corresponda, los servicios de aseo, manejo y tratamiento de Residuos Sólidos.</i>
2000	Se aprueba la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario N° 2066, que en su artículo N° 3, define al Saneamiento Básico como los Servicios de: agua potable, alcantarillado sanitario, disposición de excretas, residuos sólidos y drenaje pluvial.
2000	El sistema de regulación sectorial para saneamiento básico se ha establecido con la creación de la Superintendencia de Saneamiento Básico (SISAB) a través de la Ley N° 2066. Aunque en esta Ley no se definen las atribuciones de la SISAB para regular el subsector de residuos sólidos, permite diseñar un modelo de regulación para este subsector y establecerlo mediante una Ley específica.
2003	Se promulga la Ley N° 2446, de Organización del Poder Ejecutivo y su correspondiente Reglamento, que reconoce plena facultad al Ministro de Servicios y Obras Públicas y al Viceministro de Servicios Básicos, en el subsector de Residuos Sólidos para proponer reglamentos e instructivos para la provisión de los servicios de residuos sólidos, entre otros.

Fuente: Ministerio de medio ambiente y agua pag 44. Gestión de residuos sólidos en Bolivia 2011

También legisla sobre la separación y clasificación, es decir los productos y distribuidores se deben hacer responsables de la gestión de los residuos generados por el consumo de los productos. Este regimen aplica inicialmente, por ejemplo, a las botellas de vidrio, botellas pet, baterias, etc.

### **2.16.3 Marco normativo departamental**

En el departamento de Tarija una de las deficiencias del sector, se relaciona con la disponibilidad de un marco legal que regule la prestación del servicio de aseo municipal, de los 9 municipios, solo Tarija y Yacuiba cuentan con esta normativa.

La ciudad de Tarija cuenta con el reglamento de servicio de aseo urbano de Tarija (OM 045/1995), el reglamento de gestión de residuos de establecimientos de salud (OM 127/2007), reglamentos de gestión de escombros (Que hasta principios de año 2011, estaba en proceso de aprobacion por parte del Honorable Consejo Municipal).

La ciudad de Yacuiba cuenta con un reglamento para la prestación del servicio de aseo urbano. Referente a ordenanzas municipales la disponibilidad tambien es minima, en 5 municipios (Incluyendo los dos anteriores) se promulgaron estos instrumetos particularmente orientados a la aprobación de tasas de aseo.

A pesar de ello, en el departamento de Tarija paulatinamente se crean programas y proyectos en cuando a una buena gestion de residuos.

El objetivo de estos es educar y hacer el aprovechamiento de los residuos en los domicilios, efectuando la recolección selectiva en origen, con el consiguiente aprovechamiento, que pueda servir para la reutilizacion de solidos en diferentes proyectos.

Figura N° 18: Tarija municipios que cuentan con reglamentos y ordenanzas municipales relacionadas al manejo de residuos sólidos.

N°	Municipio	N° Ordenanza	Reglamento /Ordenanza Municipal
1	Tarija	127/2007	Reglamento para la Gestión de Residuos Sólidos de Establecimientos de Salud
		045/1005	Reglamento del servicio de Aseo Urbano de Tarija
		En elaboración	Reglamentos de gestión de escombros
		En elaboración	Reglamento de cobros de tasas e higiene y seguridad laboral.
2	Yacuiba	Sin dato	Reglamento para el Servicio de Aseo Urbano.
3	Caraparí	Sin dato	Sin dato
4	Bermejo	010/98	Ordenanza "Estructura de Tasas de Aseo Urbano de la Ciudad de Bermejo".
5	Entre Ríos	06/2009	Ordenanza "Estructura de Tasas de Aseo Urbano de la Ciudad de Entre Ríos".

Fuente: M.M.A.YA. (2011). Diagnostico de la gestion de residuos solidos en el departamento de Tarija

#### 2.16.4 Residuos de vidrio

El vidrio es un material inorganico duro, fragil, trasparente y carente de una estructura cristalina desde el punto de vista cristalografico, por lo que se le califica como amorfo. Se encuentra en la naturaleza

##### 2.16.4.1 El vidrio y su impacto ambiental

El vidrio artificial ofrece una amplia versastilidad de usos , tales como ventanas, lentes, envases, botellas y una gran variedad de productos. Se obtiene a unos 1.500 °C a partir de la arena de silice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato de sodio ( $\text{NaCO}_3$ ) y caliza ( $\text{CaCO}_3$ ). A efectos del desarrollo de esta investigación, se ha distinguido entre los siguientes tipos de vidrio, ya que el tratamiento que se les da al final de su vida util es muy diferente.

- a) Vidrio procedente de envases.
- b) Otros tipos de vidrio: Vidrio empleado en edificaciones, vidrio laminado, otros (vasos, copas, lamparas, monitores de tv y pc, etc.).

c) Residuo del proceso de reciclado de vidrio.

Este material, en cualquiera de sus formatos, resulta muy resistente, sin embargo es frágil porque con una simple caída puede quebrarse, para los componentes naturales del suelo es una tarea titánica transformarla. Aunque todo se degrada eventualmente, la diferencia radica en el tiempo que tardan los agentes biológicos en descomponerlas en químicos naturales y como estos afectan el medio ambiente.

Por eso es importante darse cuenta de que lo que constituye basura para la mayoría de las personas, cuya disposición final en un vertedero pareciera ser insuficiente, tiene en realidad un impacto grande, muy negativo y lamentablemente duradero en nuestro planeta. A continuación se presentan algunos de los materiales más comunes usados en la vida cotidiana de cada persona.

Figura N° 19: Degradación en el medio ambiente de algunos materiales



Fuente: Agruilar N.(2015) cuidado del medio ambiente.

## 2.17 RECICLAJE DEL VIDRIO

El reciclaje del vidrio debe ser complementado con la reutilización de este recurso, permitiendo de esta manera reducir el empleo de materias no renovables, disminución en el consumo de energía y combustibles empleados al momento de producir nuevos productos de vidrio, reducción en la emisión de gases dañinos para el medio ambiente, no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Este material puede formar parte de la elaboración del hormigón al presentar inalterables sus características una vez triturado. El vidrio tiene varias características que hacen de él un material excelente para ser reciclado. La primera es que puede ser reciclado el 100 % del producto, además de mantener todas sus propiedades. La segunda es que produce un ahorro en la energía, utilizando vidrio triturado de botella (Calcin) en vez de material virgen, se ahorra entre un 20 % y un 30 % en energía. El punto clave del ahorro energético consiste en la fabricación a partir del vidrio reciclado, el punto de fusión del material es menor y por tanto también lo es la energía necesaria. Reciclar una botella equivale al consumo energético de una bombilla de 110 vatios durante 4 horas; reciclar 3 botellas al consumo de un servicio de lavavajillas; y 4 botellas al de un frigorífico durante un día.

Ahorro de las emisiones de gases efecto invernadero, utilizando calcin de vidrio las emisiones de carbono se reducen entre un 20 y 50 % por cada tonelada de vidrio reciclado se evita la emisión de 200 kg de CO<sub>2</sub>. Mejora la calidad del aire y del agua reducir su contaminación. La contaminación del aire contrae un 20 %. Por cada 10 % de vidrio reciclado se reduce un 8 % la emisión de partículas a la atmosfera, en un 10 % de óxidos sulfúricos y en un 4 % de óxido de nitrógeno.

Ahorro de materias primas y conservación del medio ambiente al reducirse las necesidades de extracción. Por cada 1 kg de calcin de botellas de vidrio ahorra 1.2 kg de materiales vírgenes (Arena, piedra caliza, y carbonato de sodio).

Ahorro de recursos reciclando, se podría abastecer a la industria de la fabricación de vidrio con casi el 34 % de los recursos que se necesitan. Mejora la calidad del

agua, al disminuir la contaminación entre un 40 % y un 50 %. Se evita que los residuos vayan al vertedero. Por cada 3.000 botellas de vidrio recicladas se evita que 1.000 kg de basura acaben el vertedero. El vidrio que por distintas circunstancias no se utilice en la fabricación de nuevos envases puede ser reciclado.

### **2.17.1 Propiedades del vidrio molido**

Las partículas del vidrio reciclado, machacado y molido son, en general, angulosas con una proporción de agujas y lajas.

De forma general, el vidrio que se recupera tiene un peso específico de aproximadamente de 2,5 gr /cm<sup>3</sup>. Cabe resaltar que también el vidrio machacado presenta unos valores altos de permeabilidad, similar a los de una arena gruesa, entre 10<sup>-1</sup> y 10<sup>-2</sup> cm/s, dependiendo de la granulometría.

Químicamente el vidrio de envases es inerte, pero inevitablemente hay una cierta contaminación. Esto es debido a que presenta una serie de impurezas, como por ejemplo restos textiles, corchos, bolsas de plástico, etiquetas u otros restos que se depositan en los contenedores conjuntamente con los envases.

## **2.18 USO DEL VIDRIO MOLIDO EN CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

Afortunadamente, hoy día la sociedad ha tomado conciencia de la importancia del reciclado para el mantenimiento del planeta. La recuperación, el reciclado, la gestión y el transporte de los residuos son las tareas básicas a las que muchas empresas se están dedicando para aprovechar los recursos y materias primas, cada vez más escasas debido al uso excesivo que se ha hecho de ellas. Una de las materias primas más interesantes a nivel de reciclaje es el vidrio. De hecho, al

vidrio molido se le están dando una gran cantidad de nuevos usos y aplicaciones que aún muchas personas desconocen los usos y aplicaciones del vidrio molido.

El vidrio molido tiene una gran cantidad de usos y aplicaciones. Para la fabricación de mosaicos y azulejos, para encimeras de cuartos de baño y cocinas, para la fabricación de todo tipo de envases, y para fachadas e interiores. Con el vidrio reciclado también se pueden crear micro esferas para la señalización vial, que actúan como ojos de gatos que proyectan la luz ofreciendo una mayor visibilidad en nuestras carreteras.

El vidrio reciclado también se utiliza en la limpieza de piezas de motores, paredes o para eliminar grafitis a través de micro esferas que se proyectan con aire comprimido. Por otro lado, uno de los usos más novedosos que se le da al vidrio reciclado es como filtrador de agua de piscinas. Otras de las aplicaciones que más llama la atención es el vidrio que se recicla en forma de fibra, un excelente aislante térmico y acústico. Por último, hay que hablar del vidrio celular, conocido también como vidrio expandido, un nuevo material de construcción a partir de polvo de vidrio cocido. Gracias a estas prácticas, no se emiten emisiones a la atmósfera durante su proceso de fabricación y se reduce el consumo energético y de agua hasta en un 25%

### **2.18.1 Capas granulares**

El vidrio reciclado convenientemente machacado y molido puede ser empleado como material granular en capas de base. El vidrio, una vez reducido a tamaños inferiores a 4,75 mm presenta propiedades similares al árido fino convencional, con una estabilidad relativamente alta, debido a la angulosidad de las partículas de vidrio reciclado machacado. En general, este material debe ser mezclado con áridos gruesos convencionales para conseguir las granulometrías establecidas en las prescripciones para áridos para capas granulares. Sin embargo, no hay aplicaciones documentadas del uso de este material como áridos para capas

granulares. Para su empleo como árido en capas granulares es preciso llevar a cabo el siguiente proceso. Machaqueo y cribado, de forma que el material no tenga bordes cortantes ni con forma de aguja. Limpieza, ya que el material debe quedar libre de metales y con un contenido prácticamente nulo de residuos orgánicos e inorgánicos.

### **2.18.2 Árido para pavimentos de concreto**

Las primeras investigaciones en relación a la reutilización del vidrio desechado, pensado como un agregado para la preparación de hormigones, datan de principios de la década de 1970, pero el problema de la llamada reacción álcali-sílice (ASR, por sus siglas en inglés) era una barrera insuperable para la época. Ésta reacción suele producirse en el hormigón producto de la reactividad existente entre sus materiales componentes (Cemento Pórtland, agua, agregados, adiciones minerales y aditivos), principalmente por la presencia de sílice amorfo (No-cristalino). Al combinarse con la pasta de cemento, de naturaleza alcalina, en presencia de humedad, ésta última ataca al sílice presente en los agregados formando un gel silicato-alcalino viscoso, que finalmente provoca una expansión no uniforme en el elemento de hormigón, lo que se traduce en grietas en la superficie del mismo. Dado que esta reacción se produce en presencia de humedad, es importante controlarla especialmente en aquellas estructuras que prestarán servicio de forma permanente, o con cierta periodicidad en ambientes húmedos o bajo el agua derechamente.

Este es un problema que se manifiesta a largo plazo, pudiendo pasar incluso años antes de que sea evidente el daño provocado por este fenómeno. La complejidad de esta reacción hace que sea muy difícil establecer a priori cuando un determinado agregado es potencialmente reactivo o no. Estudios en la materia han determinado que a medida que se utilizan partículas de vidrio más fino, a partir de un tamaño de 0,15mm (Tamiz N° 100, según ASTM), se reduce y hasta logra controlarse la reacción álcali - sílice. Por otro lado reemplazar agregados naturales

del hormigón con agregado de vidrio, acarrea serias repercusiones en el diseño de la mezcla de hormigón y en la forma de producirlo. Esto debido a que el vidrio no es considerado como un agregado natural por una serie de razones: si bien es un material manufacturado, y por tanto su composición química es bien conocida, su naturaleza amorfa hace que la química pueda variar considerablemente en distintos tipos de cristales (Por ejemplo vidrio de botellas, tubos fluorescentes, cristal para ventanas, etc.) y según el fabricante.

Lo anterior añade una dificultad al pensar en el cristal de desecho como un agregado del hormigón, por lo que es necesario controlar muchas variables si se quiere trabajar el vidrio de esta manera. El cristal posee otras propiedades bastante interesantes para el efecto estudiado, la capacidad de absorción de agua es prácticamente cero en los cristales. Para el diseño de determinadas mezclas de hormigón, esto es una ventaja importante, puesto que la absorción de agua no será una variable, como sucede con la mayoría de agregados naturales. Por ejemplo, al no tener capacidad de absorber agua, no existen problemas por esponjamiento, por lo que para una determinada trabajabilidad o (Un determinado asentamiento del cono) de una mezcla, podemos utilizar una menor razón agua-cemento, mejorando la resistencia mecánica del hormigón, adquiriendo mayor durabilidad, sin necesidad de usar aditivos para tal efecto.

Otra ventaja que nos entrega el vidrio, es que proporciona una alta resistencia a la abrasión en los elementos de hormigón, hecho que lo convierte en un material apropiado para su uso en pavimentos en general, como por ejemplo carreteras, losas de aeropuertos, entre otros. Según esto es posible fabricar hormigones de alta resistencia con la incorporación de agregado de vidrio. En relación a lo señalado en el párrafo anterior, la añadidura de vidrio en la fabricación de hormigones y asfaltos para su implementación en pavimentos en general, tiene otro efecto positivo, ya que por su capacidad de reflejar los rayos de luz, es especialmente útil en condiciones de poca visibilidad, por ejemplo en pistas de aterrizaje o carreteras, ya que las luces de los vehículos son reflejadas en las partículas de vidrio,

logrando una mejor iluminación. A mediados de la década de los 90 en Estados Unidos se construyeron pistas de aterrizaje en aeródromos pequeños utilizando asfalto con un porcentaje de vidrio reciclado de un 10 %, con partículas que promediaban los 6mm de diámetro. Algunas propiedades atribuidas al vidrio molido que son de interés para el uso que se propone se mencionan a continuación:

El polvo de vidrio de un tamaño menor o igual a 45  $\mu\text{m}$  puede considerarse como un material puzolánico, de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM C618, que establece las propiedades físicas y químicas para estos materiales. Por otro lado el efecto puzolánico de la adición del cristal molido al hormigón, se hace evidente a edades más altas de los elementos, de 28 y 91 días, alcanzando valores máximos para resistencias a la compresión, a la tracción y al corte a la edad de 91 días, obteniéndose buenos resultados con un porcentaje de adición de vidrio de un 10 %.

Si bien la trabajabilidad de la mezcla de hormigón disminuye a medida que aumenta el porcentaje en peso de vidrio agregado, pérdida que se puede medir en la disminución del asentamiento del cono, por otro lado, las piezas de hormigón resultan ser más resistentes que los elementos elaborados con hormigón en base a cemento Pórtland ordinario. Además, la expansión debida a la reacción álcali - sílice, es controlada en directa proporcionalidad según sea el porcentaje de vidrio agregado a la mezcla. LAM et al (2007) propone un tamaño de partícula menor a 300  $\mu\text{m}$ , para favorecer la reacción puzolánica, y poder controlar la reacción álcali-sílice, además se sugiere realizar un tratamiento con litio al vidrio antes de su utilización, para limitar la expansión producida por la reacción ASR. Realiza una comparación entre el comportamiento del hormigón usando dos agregados distintos, el vidrio y cenizas volantes Clase F, definida según ASTM C618. En dicho estudio se pudo comprobar que el hormigón con agregado de vidrio, con un porcentaje de 10 % de dicho material, presenta una mayor resistencia a la compresión a los 28 días, que el hormigón preparado con cenizas volantes al mismo porcentaje de adición.

Por otro lado, se reafirma el hecho de que el polvo de vidrio es beneficioso para controlar la reacción álcali – sílice en el concreto, siendo este efecto directamente proporcional a la cantidad de vidrio añadido, aunque la ceniza resultó ser más beneficiosa en ese sentido, al mismo nivel de añadidura en la mezcla de hormigón.

De acuerdo a eso último, se logró demostrar que mezclas ternarias (Que contenían cemento, vidrio molido y cenizas) resultan ser muy efectivas en el control de la expansión por ASR. Cabe mencionar que hasta el momento se ha demostrado que el hormigón con agregado de vidrio de desecho, presenta buenas respuestas frente a ambientes a temperaturas hasta los 150 °C aproximadamente, incrementos de temperatura por sobre este valor tienen efectos negativos en la resistencia mecánica de este material.

La posibilidad de combinar distintos colores por su potencial estético, pensando principalmente en el valor arquitectónico y decorativo que puede tomar el concreto, añade otro beneficio al potencial uso del vidrio como un agregado en la preparación de hormigones en general. En ese sentido actualmente existen algunos fabricantes, ubicados en EEUU y Canadá principalmente, de elementos para casas habitaciones elaborados con glasscrete (Nombre con que se conoce al concreto con vidrio reciclado como agregado), como cubiertas para cocinas, vanitorios, piscinas, terminaciones para muros y escaleras, entre otros.

Finalmente mencionar el hecho de se puede contribuir a la reutilización del vidrio, y de esa forma reducir la cantidad de desechos sólidos depositados en los vertederos, mediante su uso en la elaboración de hormigones. Por ejemplo en una pista de aterrizaje de un kilómetro de largo, con un porcentaje de vidrio utilizado de un 10 %, se pueden reutilizar 450 toneladas de este material, que habrían ido a parar a algún vertedero. En el año 2007 la Región Metropolitana generó aproximadamente 2.800.000 ton/año de residuos sólidos domiciliarios (RSD), lo que en promedio es un valor superior a 1,1 kg por habitante al día.

El porcentaje de reciclado de RSD para ese año fue de un 14.4 %, del cual sólo un 4 % corresponde a vidrio, en su mayoría recolectado en Contenedores o campañas asociadas a organizaciones sin fines de lucro, cuyas campañas son apoyadas por la ciudadanía por los fines altruistas que ellas persiguen, por ejemplo la corporación de ayuda al niño quemado (Coaniquem) y el comité nacional pro defensa de la fauna y flora (CONAMA, 2007).

### **2.18.3 Resistencia a compresión**

Resistencia a la Compresión, es la máxima carga axial de compresión que alcanza una determina sección de hormigón antes de la falla, este valor es la medida más común de desempeño empleada por los ingenieros civiles al momento de diseñar estructuras de todo tipo. Normalmente se adopta como patrón la resistencia a la edad de 28 días, donde el hormigón alcanza gran parte de la resistencia total.

Fraguado, se considera en base al tiempo de su fraguado como lentos o rápidos, tomando como base 1 hora reloj. El tipo de cemento más comúnmente empleado es el cemento hidráulico portland constituido por aproximadamente 60 % de caliza y 40 % de arcilla que es mezclado, llevado a hornos con grandes temperaturas y finalmente mediante pulverización se obtiene el denominado clinker que en conjunto con el yeso y demás aditivos constituyen los distintos tipos de cemento portland.

### **2.18.4 Resistencia a tracción**

La resistencia a tracción es un ensayo que se realiza en el mismo lugar donde se encuentra el objeto de análisis para determinar sus características, la resistencia a tracción es el máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse, medida en kilogramo por centímetro cuadrado.

## CAPÍTULO III

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### 3.1 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES.

En Tarija hay varios bancos de material de distinta calidad, la mayoría lejos de la ciudad los más cercanos serían de la empresa ERIKA y del barrio San Mateo, chancadora GARZON en esta investigación se ensayaron los agregados grueso y fino de la última dirección mencionada barrio San Mateo, chancadora Garzón ubicado al norte de la ciudad con las coordenadas siguientes. Latitud: 21°28'14,98" S, Longitud: 64° 45' 3,27" O, 318586.07m E; 7624728.15 m S.

Figura N° 20: Chancadora garzón



Fuente: Elaboración propia.

**Muestra de grava.-** Para extraer la muestra de grava de la chancadora mencionada no se realizó el muestreo probabilístico porque solo fueron 2 mujeres a traer material como para poder arrastrar la bolsa de un lado hacia otro, además que había más de un silo del tamaño de  $\frac{3}{4}$  de grava, ya que el método probabilístico consiste en sacar muestra de cada lado y lugar parte del silo, ya que este método radica en dar oportunidad a todos de participar.

El muestreo que se usó para extraer la muestra de grava fue el estratificado porque había 2 silos de grava de  $\frac{3}{4}$  y se dividió en 2 cada silo de esa manera se extrae media de cada mitad de silo, una bolsa por silo y la otra del otro silo, de la misma forma se hizo el muestreo para extraer la muestra de gravilla de  $\frac{3}{8}$ .

Figura N° 21: Zona San Mateo



Fuente: Elaboración propia.

**Muestra de arena.-** Para la extracción de la muestra de la arena, tampoco se utilizó el muestreo probabilístico porque había un solo silo de arena bueno en si había 2 silos, pero uno de esos silos era de arena fina y en el hormigón se utiliza hasta el tamiz 100 y no fina en el tamiz 200. En cuanto al silo que tenía arena apta para el hormigón aparte que estaba en un lugar mojado y la misma arena estaba mojada, en la mayor parte de este silo había maquinaria pesada trabajando,

entonces se utilizó en método estratificado se procedió a dividir en 2 partes, de una mitad se extrajo fácil la muestra, pero de la otra ración se sacó la muestra haciendo un gran esfuerzo por la maquinaria que estaba, una bolsa por mitad en total dos bolsas.

**Muestra cemento.-** Para esta muestra se usó cemento El Puente IP30, es el cemento más común el que se usa en la construcción en Tarija, pero como últimamente hay mucha competencia con cemento Fancesa de Sucre que está ingresando bastante a la ciudad y según experiencias de varios maestros albañiles e ingenieros es mejor en resistencia a comparación del cemento El Puente.

### 3.2 OBTENCIÓN DEL VIDRIO MOLIDO

Para la obtención de la muestra de vidrio molido reciclado, lo primero que se hizo fue reciclar vidrio, mediante el muestro probabilístico porque se reciclo toda clase de botellas y envases, sin importar el color, grosor, forma o el producto que haya contenido. Las coordenadas de ubicación son Latitud: °21.5214, Longitud: - 64.7281 21° 31' 17" Sur, 64° 43' 41" Oeste

Figura N° 22: recolección de botellas de vidrio



Fuente: Elaboración propia.

Las botellas se obtuvieron de forma fácil de un entorno familiar, en la ciudad de Tarija, una variedad de envases, como ser botellas de fernet, cidra botellas verdes gruesas y transparente de distinta forma, botellas de vino tinto y blanco, botellas de cerveza corona, botellas de singani, botellas retornables de sodas, envases de nescafe, mermelada y por ultimo envases de perfumes, el vidrio reciclado se puede adquirir de manera muy fácil porque siempre cuando un acontecimiento social, como ser fiestas lo más común, siempre hay consumo de bebidas alcohólicas las mismas que vienen en envases de vidrio la gran mayoría, al consumir la bebida liquida el envase queda para la basura, lo más común es encontrar en gran cantidad en las discotecas que solo botan la basura (botellas de vidrio) cuando pasa el camión basurero.

Figura N° 23: Zona de recolección de envases de vidrio



Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en la figura 22 hay pocos envases eso fue porque los otros envases ya se habían lavado, estaban muy sucios con tierra por dentro y fuera, otro factor es que se arruino la cámara del celular y no se pudo sacar fotos, la recolección de los envases de vidrio están sucios para eso lo primero que se tiene que hacer es lavar

con detergente y agua, lo primero que se hace es remojar durante un tiempo determinado para que salga todas las etiquetas, los plásticos que sujetan las tapas de las botellas se sacó con ayuda de un cuchillo y la suciedad de los envases, después se enjuaga y con ayuda de un cuchillo se saca los seguros de las tapas, para después volver a enjuagar y por ultimo su secado.

Figura N° 24: Secado de las botellas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1 Molienda de las botellas de vidrio

La molienda de las botellas de vidrio se realizó de forma manual con ayuda de un Combo y una olla metálica y por su puesto la protección necesaria, que son guantes, lentes para protegerse cuando salte el vidrio al moler y un barbijo para no aspirar el aire que sale cuando se saca el yute que se ve en la siguiente foto. Después de moler todas las botellas de vidrio se guardó en una bolsa de yute con otra bolsa de nailon por dentro como se ve en la siguiente figura 26

En la figura 23 se ven los materiales que usa para protegerse del vidrio cuando este salte y también se ve una olla tapada con una bolsa de yute con un agujero,

Figura N° 25: Materiales para la molienda del vidrio



Fuente: Elaboración propia

Por dicho orificio entra el combo para moler el vidrio y para saber que este está en los rangos de la arena se procedió a tamizar por el tamiz N° 4, Lo que fue retenido en el tamiz N° 4 se volvió a moler hasta que este pase el tamiz mencionado y obviamente para saber si el vidrio es apto para reemplazar a la arena en forma parcial se hizo el ensayo granulométrico, que dio buenos resultados.

Figura N° 26: obtención del vidrio molido



Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 podemos ver el resultado de la moliendo lo que pasa el tamiz N° 4 es lo que está almacenado en la bolsa de yute y lo que fue retenido en el tamiz mencionado es lo que está en bolsa nylon color negro.

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Los ensayos realizados a los agregados que serán empleados en la elaboración de vigas y probetas de hormigón para pavimento rígido, son realizados en el laboratorio de resistencia de materiales de la carrera de Ing. Civil de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para dicha caracterización se tendrá que llevar todo el material extraído de la chancadora Garzón al laboratorio ya mencionado.

Antes de realizar la caracterización se lavaron todos los materiales con agua, la grava y gravilla fue lavada en una fuente con ayuda del tamiz N° 4 y la arena también se lavó en el tamiz N° 100 y fueron debidamente secados en el horno de dicho laboratorio, luego se hizo enfriar para ser almacenados en lugar seco en bolsas de yute.

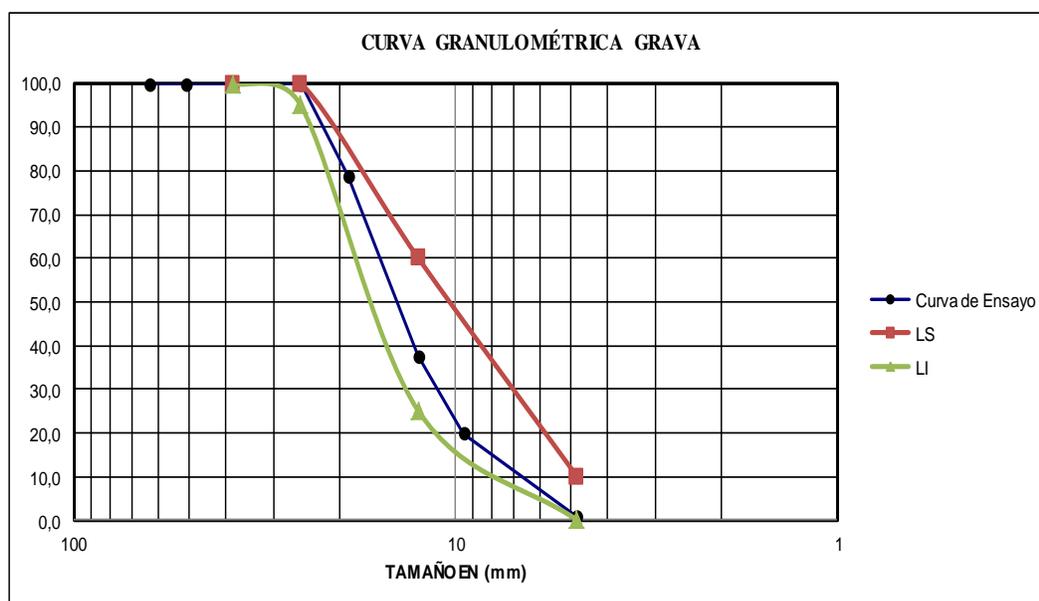
Todas las planillas de todos los ensayos realizados a los materiales que se utilizaran para elaborar esta investigación están en el anexo 1 y también todas las fotos de cada ensayo se encuentran en el anexo 2.

#### **3.3.1 Ensayo N° 1.- Análisis granulométrico**

Se realiza el ensayo a los agregados fino y grueso, los materiales mencionados se hace pasar por los tamices que determina la norma ASTM.C136, con el fin de verificar si son los adecuados para la elaboración de probetas y vigas de hormigón de pavimento rígido.

**Granulometría de la grava.-** Para hacer este ensayo lo primero que se hace es cuartear la muestra hacer en 4 partes iguales, después se toma 5 kg o 3 kg de muestra por cada parte para colocar en los tamices, como la grava es de  $\frac{3}{4}$  se utiliza tamices desde 1" al N° 4 los grandes una vez teniendo el equipo y el material pesado se procede a colocar los tamices en el equipo rotor y dejar que este un tiempo mínimo de 15 minutos, si al sacar la muestra del equipo no está bien tamizada se tiene que hacer otra vez el tamizado o hacerlo de forma manual una vez hecho bien el tamizado se tienen que pesar lo que se quedó retenido en cada tamiz para hacer los cálculos en las planillas y la respectiva curva si se encuentra o no dentro de los límites siguiendo la normativa del laboratorio.

Gráfico N° 1: Granulometría de la grava



Fuente: Elaboración propia

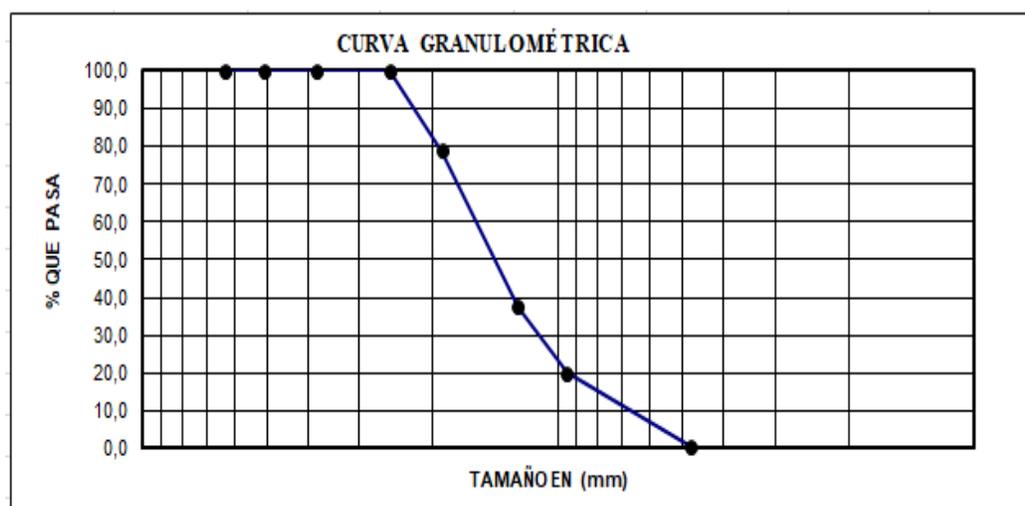
Una vez hecho los cálculos se tiene la siguiente gráfica para verificar si la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites (Los límites se encuentran en las planillas), como se puede ver en el gráfico 1 la curva granulométrica de la grava es

la de color azul y si está dentro del límite inferior que es de color verde lechuga y límite superior en color rojo.

Como se ve en el gráfico mencionado al ingresar la curva entre los límites choca con el punto del límite superior esto se debe a que no paso casi el 100 % quedo retenido algo del material y al finalizar la curva granulométrica vuelve a chocar pero esta vez en el límite inferior esto puede ser que paso unas cuantas piedritas del tamiz n° 4, después de todo la curva si se encuentra dentro de los límites esto quiere decir que el material es apto para la elaboración de vigas y probetas para pavimento rígido.

**Granulometría de la gravilla.-** La gravilla se hace el mismo procedimiento que la grava pero varia en los tamaños de los tamices para la gravilla se utiliza tamices de  $\frac{3}{4}$ " al tamiz N° 200, y la muestra tiene que ser de 1  $\frac{1}{2}$ " kg a 3 kg, se coloca los tamices al equipo de rotor para tamizar tal y como la grava, luego trascurrido el tiempo de tamizado se saca y se vuelve a pesar lo retenido en cada tamiz, para hacer los respectivos cálculos.

Gráfico N° 2: Curva granulométrica de la arena

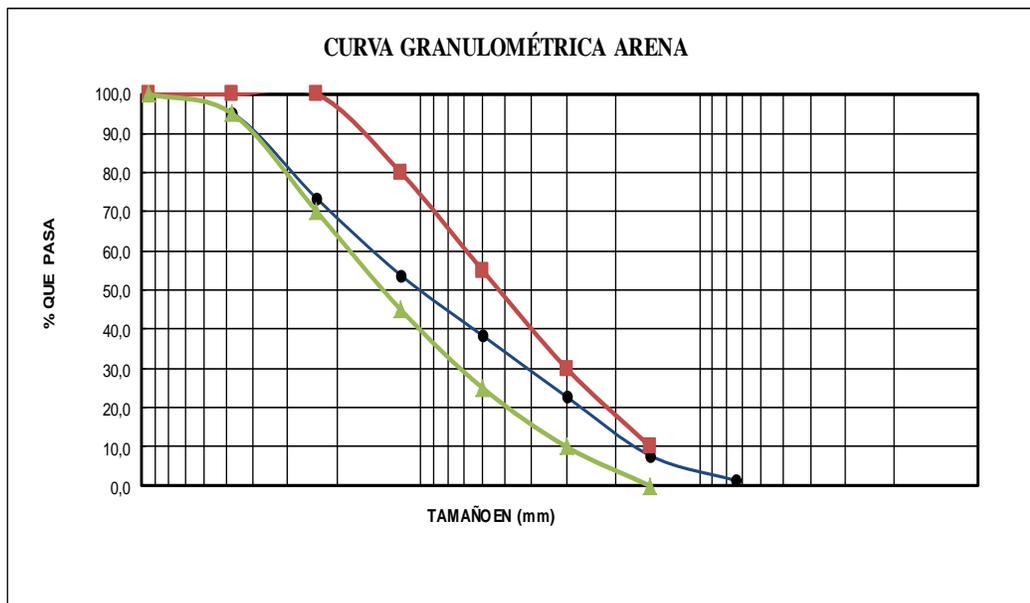


Fuente: Elaboración propia

Para la gravilla también se sigue el mismo proceso de análisis de la curva que la anterior como la gravilla tiene que estar unida a la grava se agarra los límites de la grava para verificar si está dentro de los límites, y solo se hace una comparación y efectivamente está dentro la curva, es apto para la elaboración de esta investigación.

**Granulometría de la arena.-** El ensayo granulométrico de la arena se hace igual forma que los anteriores ensayos ya mencionados solo que varía el tamaño de los tamices aquí se utiliza desde el tamiz 3/8" al N° 200 y se toma una muestra de 500 gr de igual manera se coloca la rotor durante 15 minutos transcurrido el tiempo se saca del equipo y se procede a pesar lo retenido en cada tamiz para hacer los cálculos y obtener la curva granulométrica y así poder verificar si está dentro de los límites.

Gráfico N° 3: Curva granulometría de la arena



Fuente: Elaboración propia

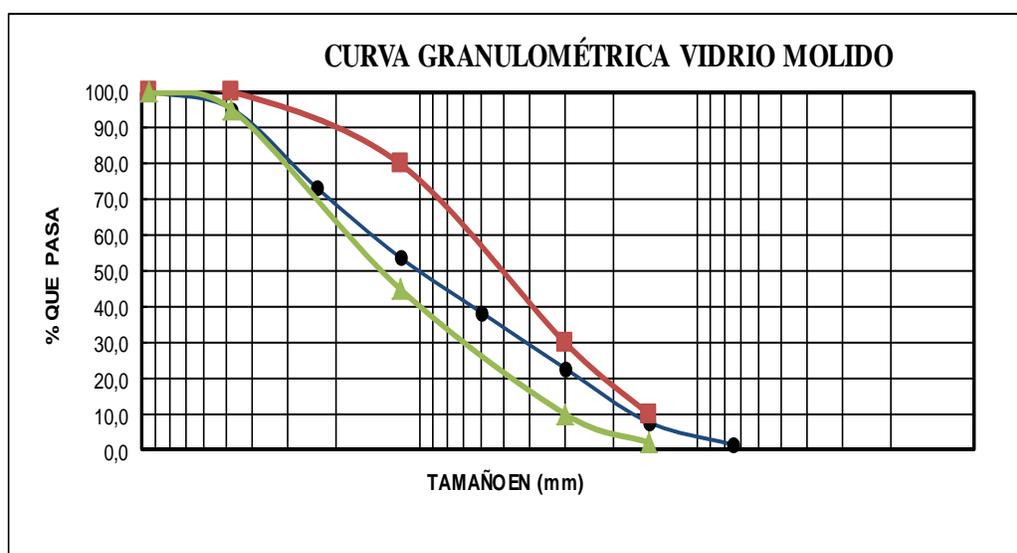
Como se puede ver en el gráfico la curva granulométrica de la arena en color azul.

Si está dentro de los límites establecidos pero al ingresar la curva está chocando con el límite inferior en color verde, esto es porque queda retenido más del 5 por ciento entre el tamiz 3/8" al N° 8 siguiendo la curva lo demás está dentro de los límites hasta llegar al tamiz N° 100 se mantiene dentro de los límites pero como se tamiza hasta el tamiz N° 200 y la base, los límites están hasta el tamiz N° 100 que es hasta este tamiz que se utiliza la arena en el hormigón pasado este tamiz ya no se usa porque el cemento es quien cubre todos los finos a partir del tamiz 100.

Como la curva se pasa del tamiz 100 entonces quiere decir que hay mucho fino y se tiene que tamizar la arena para elaborar las vigas y probetas de esta investigación, la arena tiene un módulo de finura de 3,09 está dentro de los límites de la arena que son 2,3 – 3,10.

**3.3.1.1 Granulometría del vidrio molido.-** Este ensayo se realiza de igual forma que la granulometría de la arena, porque se está reemplazando a la arena parcialmente por eso se da el mismo trato, se obtiene un valor del módulo de finura de 3,95.

Gráfico N° 4: Curva granulométrica del vidrio molido



Fuente: Elaboración propia

Al obtener la curva granulométrica del vidrio molido se verifica que si está dentro de los límites establecidos pero al ingresar la curva dentro de los límites está chocando con el límite inferior esto se debe que en tamiz N° 4 se quedó material retenido más del cinco por ciento y al salir la curva de los límites en el último punto está chocando con el límite superior esto se debe a que paso más del 10 por ciento en el tamiz causa de eso existe mucho limo en el vidrio molido, esto si es muy cierto porque al moler el vidrio de forma manual no se puede evitar moler un solo tamaño.

### 3.3.2 Ensayo N° 2.- Peso específico

**Peso específico grava.-** Para el ensayo de peso específico el material se remoja durante 24 horas antes de hacer el ensayo transcurrido el tiempo se toma un trapo seco y limpio, se procede a secar de forma superficial, hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, se evita la evaporación durante este proceso. Se pesa la muestra con un peso de 3 kg con superficie seca y se coloca a en un canastillo para poder obtener el peso de la muestra sumergida en agua, la misma muestra sumergida se vacía en una fuente para secar en un horno a 105 °C, después se deja enfriar y se pesa.

Una vez obtenido todos los datos necesarios se hace el cálculo para encontrar el peso específico de la grava, obteniendo un valor de 2,70 gr/cm<sup>3</sup>.

El mismo procedimiento se lo hace a la gravilla dando un resultado de peso específico de 2,72 gr/cm<sup>3</sup>.

**Peso específico de la arena.-** Para realizar este ensayo lo primero que se debe hacer es dejar el material sumergido en agua durante 24 horas, la cantidad de 2 kg. Al momento de realizar este ensayo se tiene que tener un matraz para hacer el ensayo, pipeta, termómetro y una balanza. Transcurrido el tiempo de remojo se saca el material y se seca con ayuda de una secadora, para inspeccionar que tan

seca esta la muestra, se coloca en un molde cónico y se retira este hacia arriba quedando la arena en una forma de cerrito, si la arena rodara libremente cuando se levante el cono y queda el centro intacto, esto quiere decir que la arena esta seca y lista para realizar el ensayo. Se coloca 500 gr de muestra en un matraz y se llena agua hasta la marca máxima que tiene el matraz esto se hace con ayuda de la pipeta y después se eliminan todas las burbujas del matraz rodando sobre sí mismo para después pesar el matraz más muestra y más agua, se hacen 3 pruebas y antes se pesa el matraz seco y después con agua. Se vacía el contenido del matraz en una fuente para secar en un horno a 105 °C.

Teniendo todos los datos se procede a realizar el cálculo, una vez terminado de realizar los cálculos tengo un resultado de peso específico de la arena de 2,54 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.3.3 Ensayo N° 3.- Peso unitario

**Peso unitario de la grava.-** Para este ensayo primero se calibra el molde con agua, para saber la cantidad exacta del volumen de agua de 10000 cm<sup>3</sup> y se pesa el molde para hacer los cálculos. La muestra debe ser representativa del agregado a la humedad ambiente o que el material este seco, hace tres muestras de peso unitario suelto y tres de peso unitario compactado, para el compactado se procede a llenar el molde en 3 capas, cada capa apisonada con una varilla con 25 golpes sin llegar al fondo del molde, cuando se tiene lleno el molde se enrasa con la varilla, teniendo como guía el borde del molde y se vuelve a pesar el molde más la muestra compactada.

Para el peso unitario suelto se hace de la misma manera que el peso unitario compactado, solo que no se compacta con la varilla, solo se hecha en tres capas, se enrasa y se pesa. El resultado final de este ensayo muestra un valor de peso unitario compactado de 1,49 gr/cm<sup>3</sup> que está dentro de los límites que establece la norma mencionada en planilla de anexos.

**Peso unitario de la gravilla.-** Este ensayo se hace igual que el peso unitario de la grava no cambia nada ni el procedimiento ni el tamaño del molde.

El resultado final de este ensayo muestra un valor de peso unitario compactado de  $1,505 \text{ gr/cm}^3$  que está dentro de los límites que establece la norma mencionada en planilla de anexos.

**Peso unitario de la arena.-** Este ensayo se hace el mismo procedimiento del peso unitario de la grava tanto para peso unitario suelto y compactado, pero si cambia el tamaño del molde para la arena se usa un molde con un volumen del recipiente  $3000 \text{ cm}^3$ .

El resultado final de este ensayo muestra un valor de peso unitario compactado de  $1,810 \text{ gr/cm}^3$  que está dentro de los límites que establece la norma mencionada en planilla de anexos.

### **3.3.4 Ensayo N° 4.- Desgaste de la máquina de los ángeles de la grava**

Máquina del desgaste de los ángeles que consiste de un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las dimensiones interiores de 70 cm. (28") y 50 cm. (20") de largo, el tambor puede ser montado en forma adecuada y acoplado a un motor de 1HP de potencia aproximadamente en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto.

El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. Para este ensayo se tiene que tener una muestra según la tabla siguiente, la muestra requerida es lo que dice la columna 5, el peso de la muestra tiene que ser de 2500 gr que quede retenido en el tamiz  $\frac{1}{2}$ " y el mismo peso en el tamiz  $\frac{3}{8}$ ", una vez que se tenga la muestra y el equipo listo se vacía la muestra en el equipo y

se coloca la cantidad de esferas que dice en tabla mencionada, tiene que estar un tiempo de 20 minutos. Pasado ese tiempo se saca la muestra para tamizar en el tamiz N° 12, al tamizar lo único que sirve es lo retenido en dicho tamiz lo que pasa queda para la basura.

Al terminar de tamizar la muestra que sirve se lava y por último se pone a secar al horno a temperatura de 105 °C, cuando la muestra esta seca se procede a pesar, al obtener todos los datos se procede a hacer los respectivos cálculos para determinar el porcentaje de desgaste. El resultado obtenido es un valor de 29,95%.

Figura N° 28: Grado de ensaye (Definidos por sus rangos de tamaño, en mm)

Tamaño de Partículas (mm)		1	2	3	4	5	6	7
ASTM		(75-37,5) (3" - 1 1/2")	(50-2,36) (2" - N°8)	(37,5-19) (1 1/2" - 3/4")	(37,5-9,5) (1 1/2" - 3/8")	(19-9,5) (3/4" - 3/8")	(9,5-4,75) (3/8" - N° 4)	(4,75-2,36) (N° 4 - N° 8)
(mm)	ASTM	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	3" - 2 1/2"	2.500 ± 50						
63 - 50	2 1/2" - 2"	2.500 ± 50						
50 - 37,5	2" - 1 1/2"	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25,0	1 1/2" - 1"		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25,0 - 19	1" - 3/4"			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5	3/4" - 1/2"				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5	1/2" - 3/8"				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3	3/8" - 1/4"						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75	1/4" - N° 4						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36	N°4 - N°8							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)		10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas								
numero		12			12	11	8	6
masa (g)		5.000 ± 25			5.000 ± 25	4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones		1.000			500			

Fuente: Manual de la ABC volumen 4, pag.58

### 3.3.5 Ensayo N° 5.- Caras fracturadas de la grava

Este ensayo se lo realiza para determinar el porcentaje en peso del material que presente uno o más caras fracturadas. Se pesa el material dependiendo del tamaño si es de 1" a 3/4 se pesa 1500 gr. lo que se retiene en 3/4 se escoge las caras

fracturadas y se pesa. El resultado es la relación que existe en eso inicial y el peso de las caras fracturadas expresado el resultado en %. El resultado que se tiene después de haber hecho los cálculos es de 75,53 %, esto quiere decir que la mayoría de la grava es con cara fracturada o triturada, eso es muy bueno porque se adhieren mejor la mezcla del hormigón.

### **3.3.6 Ensayo N° 6.- Peso específico del cemento**

El peso específico del cemento se lo realiza similar al ensayo de peso específico de la arena, el líquido que se utiliza es la gasolina y se llena al nivel de 300 ml en el matraz que este a temperatura de ambiente, se toma 64 gr de muestra y se va introduciendo de a poco al matraz evitando que salte el líquido, luego se eliminan las burbujas del matraz rodando en sí mismo de forma inclinada, cuando ya se sacaron todas las burbujas de aire se mide el nivel desplazado de la gasolina. El resultado es la relación entre el peso de la muestra y el volumen desplazado en ml.

Este ensayo se tendría que hacer en un frasco de le chatelier, ese frasco no hay en laboratorio donde se hace esta investigación por lo mismo no se hace valer este resultado del peso específico del cemento, entonces se tomara el valor del peso específico que dice en la bolsa de cemento a utilizar que es 3,15.

### **3.3.7 Ensayo N° 7.- Finura del cemento**

Para la finura del cemento, lo primero que se hace es tamizar la muestra en los tamices N° 40 y 200, por un tiempo de 15 minutos como mínimo, con una muestra de 50 gr, luego se pesa lo que se retiene en cada tamiz para su respectivo calculo. Dando un resultado de 1,5 siendo un valor muy aceptado que se encuentra en el rango establecido por la norma.

### 3.3.8 Resumen de la caracterización de los agregados

Tabla N° 11: Caracterización de los resultados

Material	Muestra gr	Grupo	Granulometria												
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	n° 4	n° 8	n° 16	n° 30	n° 50	n° 100	n° 200	B	
Grava	3000	Grava													
		% que pasa del total	100	78,9	37,6	19,9	0,7	0							
Arena	500	% que pasa del total				100	95,2	73,3	53,8	38,4	22,8	7,7	1,4	0,2	
Vidrio molido	500	% que pasa del total				100	89,8	53,8	30,9	17,2	8,9	4,5	2,2	0,1	
Gravilla	3000	% que pasa del total		100	97,4	72,1	4,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0	
<b>Peso específico (gr/cm³)</b>															
Grava	3000	1	P.E. granel		P.E. S.S.S.		P.E. Aparente		% de absorcion						
			2,6		2,64		2,7		1,48						
Gravilla	3000	2	2,58		2,63		2,72		2,04						
Arena	500	3	2,35		2,42		2,54		3,13						
vol (cm³)			<b>Peso unitario (gr/cm³)</b>												
Grava	10000	1	Peso unitario suelto					Peso unitario compactado							
			1,438					1,49							
Gravilla	10000	2	1,434					1,505							
Arena	3000	3	1,697					1,81							
<b>Desgaste de la maquina de los angeles (%)</b>															
Grava	5000,4	1	3652,9		Peso del material retenido en el tamiz numero 12					26,95					
	5000,2		3686,2							26,28					
<b>Caras fracturadas (%)</b>										75,53					

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 DOSIFICACIÓN

Todas las tablas que se usaron para la dosificación se encuentran en el Anexo 2.

Para hacer la dosificación para esta investigación se hará por el método de la ACI donde sigue eflujo de la tabla 12. La dosificación de mezclas de hormigón es la determinación de la combinación más económica y practica de agregados

disponibles, cemento, agua y en su caso aditivo que producirá una mezcla más trabajable con un endurecimiento adecuado.

En la siguiente tabla se ve todos los resultados de la caracterización de los agregados para la elaboración de la dosificación de probetas y vigas par esta investigación.

Tabla N° 12: Dosificaciones

<b>Dosificaciones de hormigones</b>			
<b><u>METODO ACI-211</u></b>			
<b>Características de los agregados</b>			
<b>Ensayo</b>		<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
1.- Modulo de finura de la arena (MF)		s/u	3,09
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )		kg/m <sup>3</sup>	1490
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )		gr/cm <sup>3</sup>	2,54
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )		gr/cm <sup>3</sup>	2,70
5.- Absorción de la arena ( Aa )		%	3,13
6.- Absorción de la Grava ( Ag )		%	1,5
7.- Humedad de la Arena ( Ha )		%	0,00
8.- Humedad de la Grava ( Hg )		%	0,00
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )		pulg	3/4"
10.- Tamaño Máximo ( TM )		pulg	3/4"
11.- Peso específico del cemento		gr/cm <sup>3</sup>	3,15

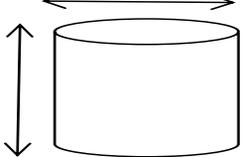
Las características de diseño es en base a la resistencia, de acuerdo a varias referencia bibliográficas encontré que la resistencia a compresión es 250 kg/cm<sup>2</sup> pero las experiencias de algunos ingenieros esta resistencia es 350 kg/cm<sup>2</sup>, para hacer esta dosificación se tomó el valor máximo por que todo se diseña al valor más crítico. Todos los demás datos se sacan de tablas de acuerdo a la resistencia a diseñar.

<b>CARACTERISTICAS DEL DISEÑO</b>			
Resistencia de diseño ( fck )		<b>350</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia Característica ( fck ) (Tabla 11.12)		450	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4)		2	pulg
Relacion Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11,13)		0,38	s/u
<b>DATOS DE TABLAS</b>			
Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo ) (Tabla 11.15)		0,63	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.6)		190	kg/m <sup>3</sup>
<b>CALCULOS</b>			
Peso Agregado Grueso ( Pag )	= (b/bo)xPUC	<b>938,4459</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso cemento ( Pc )	= A / (a/c )	<b>500,00</b>	kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso ( Vag )	= Pag/γg	<b>347,34</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen del cemento ( Vc )	= Pc/γc	<b>156,25</b>	lt/m <sup>3</sup>
Volumen de Arena ( Vaf )	= 1000 - Vc - A - Vag	<b>306,41</b>	lt/m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino ( Paf )	= Vaf x γf	<b>778,52</b>	kg/m <sup>3</sup>
<b>PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m<sup>3</sup>) DE CONCRETO</b>			
Ingrediente	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Volumen absoluto lt/m <sup>3</sup>	Peso especifico gr/cm <sup>3</sup>
Cemento	500,00	156,25	3,2
Agua	190	190	1
Grava	938,4459	347,34	2,70
Arena	778,52	306,41	2,54
<b>TOTAL</b>	<b>2406,96</b>	<b>1000,00</b>	
<b>PESOS HUMEDOS DE LOS MATERIALES</b>			
Peso Húmedo de la arena ( Pha )	= Paf x ( 1 + Ha )	<b>778,52</b>	kg/m <sup>3</sup>
Peso Húmedo de la Grava ( Phg )	= Pag x ( 1 + Hg )	<b>938,45</b>	kg/m <sup>3</sup>

La dosificación salió en una proporción de **1:2:2** y no así en la proporción de **1:2:3** esto se debe a que la arena era gruesa porque está en el límite superior y no así dentro de los límites.

<b>CORRECCION DEL AGUA</b>		
Agua corregida a la grava ( Acg )	= Pag x(Ag - Hg)	lt/m <sup>3</sup>
	13,92	
Agua corregida a la Arena ( Acf )	= Paf x (Aa - Ha)	lt/m <sup>3</sup>
	24,34	
Total Agua Corregida ( Atc )	= Acg + Acf	lt/m <sup>3</sup>
	38,26	
<b>PESOS HUMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m<sup>3</sup>) DE HORMIGON</b>		
Ingrediente	Peso Seco kg/m <sup>3</sup>	Peso Húmedo kg/m <sup>3</sup>
<i>Cemento</i>	500,00	500,00
<i>Agua</i>	190,00	228,26
<i>Grava</i>	938,45	938,45
<i>Arena</i>	778,52	778,52
<i>TOTAL</i>	2406,96	2445,23
<b>PROPORCIONES DE MEZCLA</b>		
Cemento	Arena	Grava
1,0	2,00	2,00

Una vez obtenido cada ingrediente en la unidad de kg/m<sup>3</sup> tanto para la muestra seca y húmeda, se tiene que sacar el volumen del molde en el cual vamos a vaciar nuestras probetas, las dimensiones de una probeta y el volumen calculado para dicha probeta que se muestra en la siguiente figura.

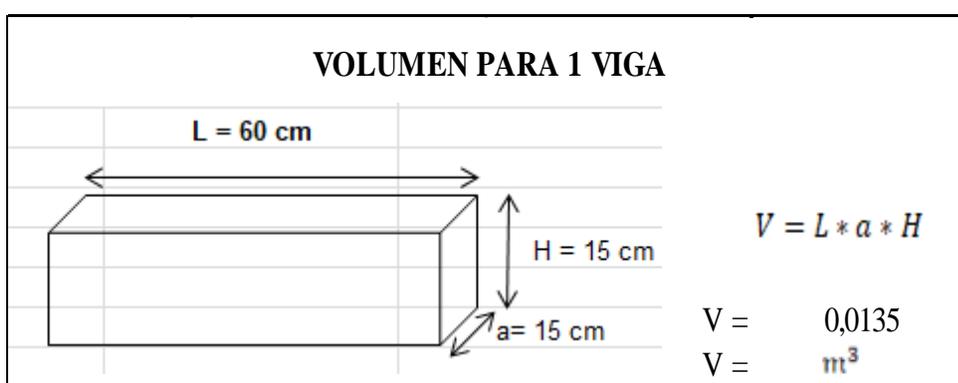
<b>VOLUMEN PARA UNA PROBETA</b>		
	D = 15 cm	
H = 30 cm		
		$V = \pi * r^2 * h$
		V = 0,0053
		V = 0,0053 m <sup>3</sup>
<b>HORMIGON CONVENCIONAL 0% VM</b>		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 4 probetas	kg para 4 probetas
<b>Cemento</b>	12,7	12,7
<b>Agua</b>	4,8	5,8
<b>Grava</b>	23,9	23,9
<b>Arena</b>	19,8	19,8
Gravilla al 35% de la grava se sac de acuerdo a la granulometria		

Cuando ya se tiene la dosificación con todos los materiales principales, se procede a cuantificar cuanto de gravilla entrara y eso se hace sacando los porcentajes de la curva granulométrica de la grava, al sacar el porcentaje de gravilla sale al 35%, para cada porcentaje se sacara el 35 por ciento de la grava para incrementar gravilla.

<b>HORMIGON CON 10% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Peso Húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	13,4	13,4
<b>10% VM</b>	1,5	1,5
<b>HORMIGON CON 20% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Peso Húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	11,9	11,9
<b>20% VM</b>	3,0	3,0
<b>HORMIGON CON 30% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Peso Húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	10,4	10,4
<b>30% VM</b>	4,5	4,5
<b>HORMIGON CON 40% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Peso Húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	8,9	8,9
<b>40% VM</b>	5,9	5,9

Para implementar el vidrio molido solo se saca el % que se quiera reemplazar. Si se quiere reemplazar un 10 % de vidrio molido a la arena, pues solo se saca ese % de la arena y se lo reemplaza por el material que se quiera investigar en este caso vidrio molido reciclado.

Para el caso de las vigas se hace el mismo procedimiento pero se vaciara en moldes rectangulares, las dimensiones se muestran a continuación en la siguiente imagen.



Cuando ya se tiene el volumen de las vigas se lo multiplica por el material que está en unidades de  $\text{kg}/\text{m}^3$  de esta manera se saca el peso en kg para todos los materiales, como ya se tiene el material para el porcentaje del 0% de vidrio molido del peso de la grava se saca el 35 % para incorporar gravilla.

Para los porcentajes de vidrio molido se saca el 10 por ciento de la arena para reemplazarlo por vidrio molido, y así se hace para todos los porcentajes siguientes como son el 20, 30 y 40 por ciento.

Después se sigue el mismo procedimiento que el de las probetas, primero se saca para el hormigón convencional que sería 0 % de vidrio molido y del peso de la grava

<b>HORMIGON CONVENCIONAL 0% VM</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 2 vigas</b>	<b>kg para 2 vigas</b>
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	25,22	25,22
<b>0% VM</b>	0,00	0,00
<b>HORMIGON CON 10% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 2 vigas</b>	<b>kg para 2 vigas</b>
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	22,70	22,70
<b>10% VM</b>	2,52	2,52
<b>HORMIGON CON 20% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 2 vigas</b>	<b>kg para 2 vigas</b>
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	20,18	20,18
<b>20% VM</b>	5,04	5,04
<b>HORMIGON CON 30% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 2 vigas</b>	<b>kg para 2 vigas</b>
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	17,66	17,66
<b>30% VM</b>	7,57	7,57
<b>HORMIGON CON 40% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 2 vigas</b>	<b>kg para 2 vigas</b>
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	15,13	15,13
<b>40% VM</b>	10,09	10,09

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1 Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón

Para empezar a elaborar las probetas lo primero que se hace es lavar la grava, gravilla y arena, por último secar todos los materiales al horno, después dejar enfriar para poder guardar en un lugar donde no haya humedad ni suciedad. Cuando llega el día del vaciado se procede a pesar todos los agregados de acuerdo a la dosificación hecha.

Figura N° 27: Materiales pesados para la respectiva mezcla



Fuente: Elaboración propia

Una vez pesado todos los materiales necesarios para la mezcla se procede a ajustar las probetas y poner aceite a los moldes cilíndricos para desmoldar con facilidad. Cuando ya está listo los materiales y los moldes se procede a echar todos los agregados a la mezcladora, se hecha a la mezcladora en 2 partes primero se hecha la mitad de cada material y después la otra mitad en el siguiente orden; en primer lugar se echa el agua la mitad de la media, luego la grava, arena, vidrio molido y por último el cemento, después se hecha todo el material restante en el orden dicho anteriormente. Se deja que se mezcle un determinado tiempo, cuando la mezcla está homogénea, se vacía de la mezcladora en una fuente como se ve en la siguiente figura 27.

Figura N° 28: Vaciado la mezcla de la mezcladora a una fuente



Fuente: Elaboración propia.

Una vez la mezcla ya está en la fuente se procede a realizar el cono de abrams, llenado con la mezcla en 3 capas, cada capa con 25 golpes con una varilla metálica.

Figura N° 29: Cono de abrams y probetas



Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a llenar los moldes cilíndricos con 3 capas cada una apisonado con la varilla con 25 golpes, después se golpea con un combo de goma hasta que la capa quede uniformé para llenar la próxima capa, este procedimiento se hace hasta llenar la probeta.

Figura N° 30: llenado de la probeta de hormigón



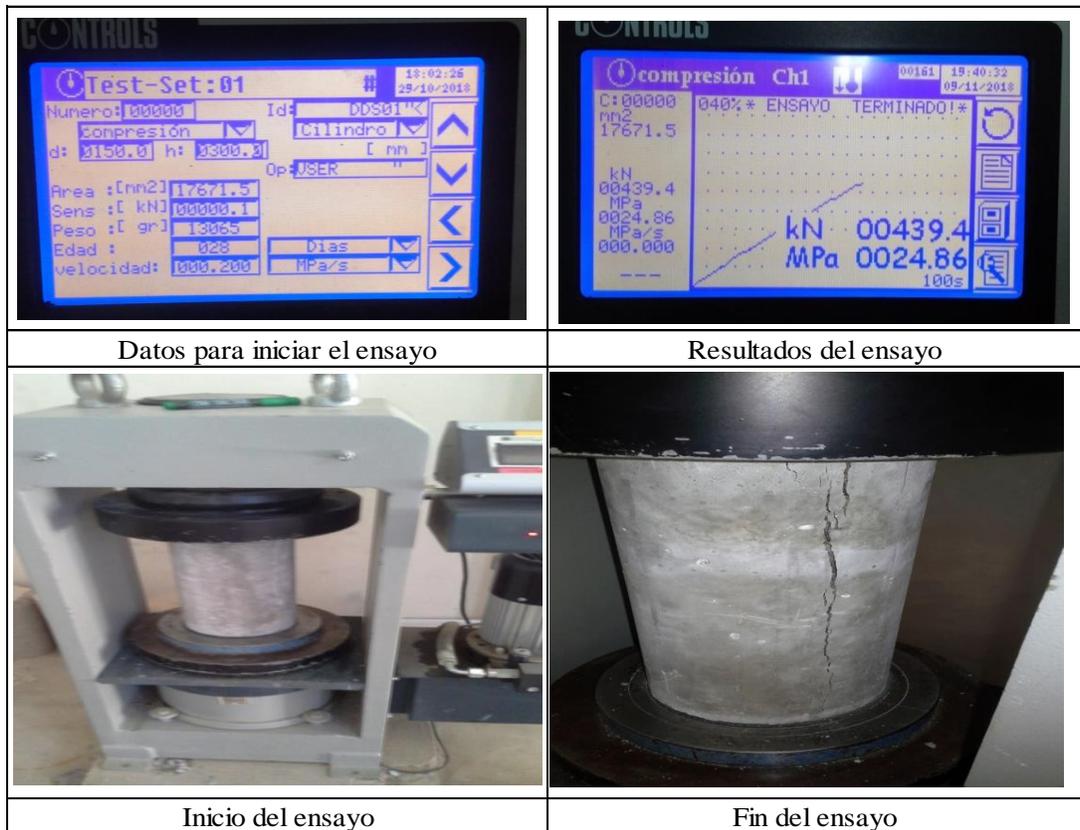
Fuente: Elaboración propia

Cuando la probeta ya está llena se enrasa con el badilejo, luego se deja media hora en el lugar del vaciado para después guardar, se deja 24 horas en el molde cilíndrico y se desmolda pasado ese tiempo para poner a curar.

### 3.4.2 Ensayo de compresión de las probetas de hormigón

El ensayo a compresión se realiza cuando la probeta ya cumplió el tiempo de curado en la piscina, una vez cumplido el tiempo se saca de la piscina y se deja secando a temperatura ambiente, pasado las 24 horas de secado se procede al a realizar el ensayo a compresión de la probeta.

Figura N° 31: Ensayo a compresión



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 Elaboración de vigas de hormigón

Las vigas de hormigón se realizan de la misma manera que las probetas de hormigón. Lo primero es pesar todos los agregados para su posterior mezcla, después se procede a poner aceite a los moldes de las vigas.

Figura N° 32: Material listo para vaciar vigas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 33: Sacando las burbujas de aire de la viga



Fuente: Elaboración propia

Las vigas de hormigón de igual manera que las probetas se llena en 3 capas cada una de ellas con 50 golpes con la varilla metálica y con su respectivo golpes con el martillo de goma hasta que la mezcla este homogénea en línea recta, para así poder poner la otra capa hasta llenar el molde.

#### 3.4.4 Ensayo a tracción de vigas de hormigón

El ensayo a flexo-tracción se lo realiza cuando las vigas de hormigón ya cumplieron los 26 días de curado en la piscina de agua, después se saca del agua y se deja que se seque durante 24 horas antes de someterlo al ensayo a flexo – Tracción.

Cuando la viga ya está seca se hace el ensayo de flexo – Tracción colocando la viga en un molde puesto que en sus lados estará con gomas, estas para que no pueda recorrer del molde y caer y otra encima de la viga a 1/3 de su longitud donde actuara la carga para romper la viga mencionada, a continuación las figuras que se muestran el ensayo.

Figura N° 34: Ensayo Flexo – Tracción



Fuente: Elaboración propia

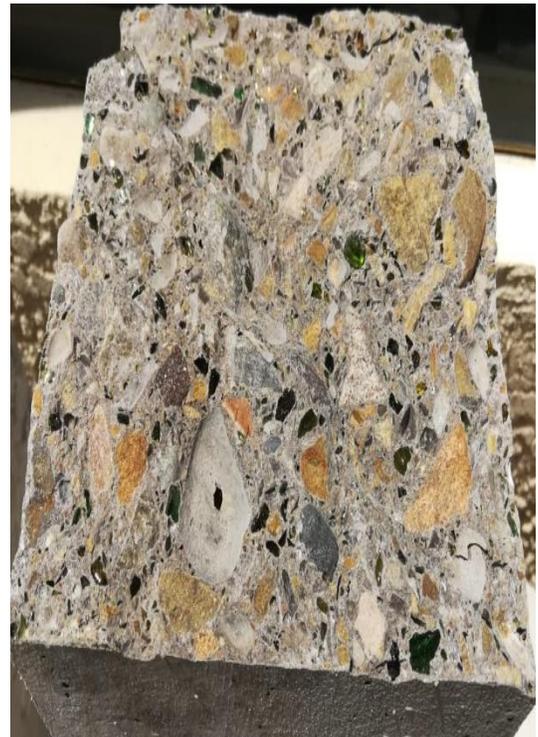
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 PRESENTACION DE RESULTADOS

En este capítulo se analizaran todos los resultados obtenidos de la caracterización, dosificación y más a fondo los resultados de la resistencia a compresión, resistencia a tracción y analizar si llegaron a la resistencia para la cual fueron dosificadas si no llegaron analizar del porque no se llegó a la resistencia dosificada. El resultado de la dosificación fue en proporción de 1:2:2, este resultado se debe porque la arena tiene tamaños gruesos que quedan retenidos en el tamiz n° 4 y también muy finos que quedan retenidos en el tamiz n° 200 y la base más de lo que debería retenerse.

Al realizar la caracterización de los materiales antes se lavó los materiales todos para realizar el vaciado tanto de las vigas y probetas de hormigón para pavimento rígido se lavó para eliminar todo el limo que tienen las partículas de la grava, gravilla y más que todo de la arena, la arena se lavó en los tamices 100 y 200 para eliminar mejor el material que no sirve, en el hormigón ya no sirve lo que llega al tamiz n° 200 y peor lo que llega a la base, porqué el cemento cubre todas la parte de fino en la mezcla de concreto. Al romper la viga en el ensayo de ruptura por el ensayo de flexo tracción se ve que hay desprendimiento de grava y no así del vidrio.



En forma general la resistencia de compresión no llego a la resistencia a la cual se dosifico pero si supero la resistencia mínima que es los 250 kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado la resistencia a tracción llego cerca la resistencia dosificada que fue de 35 kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia que llego cerca fue al 40 por ciento de vidrio molido llegando a una resistencia de 33,30 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N° 26: Caracterización de los resultados

Material	Muestra gr	Grupo	Granulometria											
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	n° 4	n° 8	n° 16	n° 30	n° 50	n° 100	n° 200	B
Grava	3000	Grava												
		% que pasa del total	100	78,9	37,6	19,9	0,7	0						
Arena	500	% que pasa del total				100	95,2	73,3	53,8	38,4	22,8	7,7	1,4	0,2
Vidrio molido	500	% que pasa del total				100	89,8	53,8	30,9	17,2	8,9	4,5	2,2	0,1
Gravilla	3000	% que pasa del total		100	97,4	72,1	4,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>														
Grava	3000	1	P.E. granel		P.E. S.S.S.		P.E. Aparente		% de absorcion					
			2,6		2,64		2,7		1,48					
Gravilla	3000	2	2,58		2,63		2,72		2,04					
Arena	500	3	2,35		2,42		2,54		3,13					
vol (cm <sup>3</sup> )			<b>Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>											
Grava	10000	1	Peso unitario suelto					Peso unitario compactado						
			1,438					1,49						
Gravilla	10000	2	1,434					1,505						
Arena	3000	3	1,697					1,81						
<b>Desgaste de la maquina de los angeles (%)</b>														
Grava	5000,4	1	3652,9		Peso del material retenido en el tamiz numero 12					26,95				
	5000,2		3686,2							26,28				
<b>Caras fracturadas (%)</b>										75,53				

Fuente: Elaboración propia

Se muestra la caracterización de los resultados en la tabla anterior y están la mayoría de los ensayos que se hicieron y son aptos para la elaboración de las probetas y vigas de hormigón.

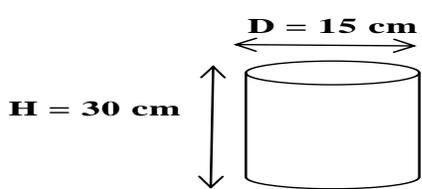
### 4.1.1 Dosificación

La dosificación obtenida del cálculo de esta investigación es en proporción de:

Cemento	Arena	Grava
1,0	2,00	2,00

Esta dosificación salió en esa proporción porque la arena tiene tamaños desde 3/8” a tamaños en cantidad muy pequeños como pasar el tamiz n° 200. Para la elaboración de las probetas se hicieron con los pesos siguientes de los materiales y se vaciaron 4 probetas la primera vaciada, esto para romper una probeta a compresión a los 7 días para verificar si la resistencia llega o no a la resistencia dosificada.

Efectivamente se rompió una probeta a la edad de 7 días y proyectando llegaba a una resistencia de 270 kg/cm<sup>2</sup>, como todas la probetas iban a curarse a los 28 días donde llega a la resistencia máxima se siguió vaciándolos demás porcentajes.

VOLUMEN PARA UNA PROBETA		
	$V = \pi * r^2 * h$ $V = 0,0053$ $V = 0,0053 \text{ m}^3$	
HORMIGON CONVENCIONAL 0% VM		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 4 probetas	kg para 4 probetas
Cemento	12,7	12,7
Agua	4,8	5,8
Grava	23,9	23,9
Arena	19,8	19,8
Gravilla al 35% de la grava se sac de acuerdo a la granulometria		

Como se ven los pesos para cada porcentaje de vidrio molido se vació según la tabla siguiente, hubo variación de la cantidad de agua de acuerdo al tiempo y el

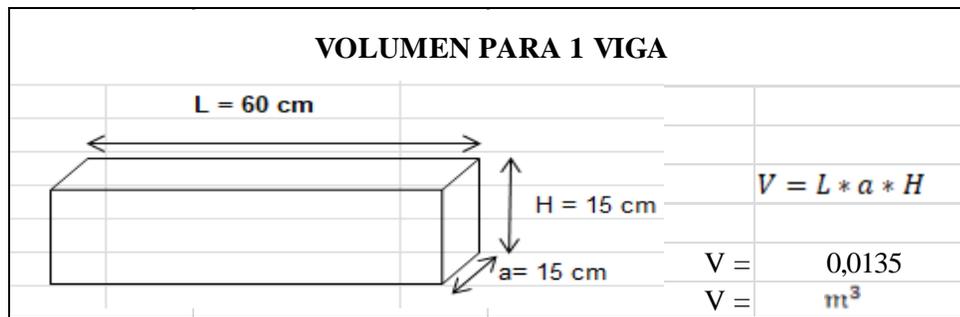
horario en que se procedió a elaborar dichas probetas, hubo días donde hizo una tremenda calor y otros días temblado

<b>HORMIGON CON 10% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	13,4	13,4
<b>10% VM</b>	1,5	1,5
<b>HORMIGON CON 20% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	11,9	11,9
<b>20% VM</b>	3,0	3,0
<b>HORMIGON CON 30% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	10,4	10,4
<b>30% VM</b>	4,5	4,5
<b>HORMIGON CON 40% VIDRIO MOLIDO</b>		
<b>Ingrediente</b>	<b>Peso seco</b>	<b>Peso húmedo</b>
	<b>kg para 3 probetas</b>	<b>kg para 3 probetas</b>
<b>Cemento</b>	9,5	9,5
<b>Agua</b>	3,6	4,4
<b>Grava</b>	11,6	11,6
<b>Gravilla</b>	6,3	6,3
<b>Arena</b>	8,9	8,9
<b>40% VM</b>	5,9	5,9

**Para la resistencia a tracción** hubo inconvenientes porque no habían muchos moldes de vigas metálicas para vaciar, entonces lo que hice fue, hacerme hacer

moldes de madera con las dimensiones de los moldes de metal para vaciar con facilidad y no esperar por turno para utilizar los metálicos que solo habían 2.

En la siguiente figura se muestra como se sacó el volumen para la viga y proceder a sacar los peso de todos los materiales para el hormigón.



Cuando se vació las vigas de hormigón para pavimento rígido con 0 por ciento de vidrio molido hizo mucha calor y también se aumentó agua más de lo que decía el cálculo, porque se vacía afuera del laboratorio y ahí llega el sol en la mañana y en la tarde es sombra para vaciar, pero como era por turno no había posibilidad de escoger el horario.

Al incrementar el porcentaje de vidrio molido se tendría que disminuir la cantidad de agua pero no fue así porque, los días que vacié hacía calor, época de primavera verano no había como evitar el calor.

Cabe resaltar que todos los materiales fueron lavados y secados previamente en el horno de laboratorio y respetivamente enfriados par ser almacenados en un lugar donde no haya humedad ni contacto con basura .

En toda la tabla siguiente se ve todos los pesos de todos los materiales que se usaron para la fabricación de vigas y probetas de hormigón.

HORMIGON CONVENCIONAL 0% VM		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 2 vigas	kg para 2 vigas
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	25,22	25,22
<b>0% VM</b>	0,00	0,00
HORMIGON CON 10% VIDRIO MOLIDO		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 2 vigas	kg para 2 vigas
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	22,70	22,70
<b>10% VM</b>	2,52	2,52
HORMIGON CON 20% VIDRIO MOLIDO		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 2 vigas	kg para 2 vigas
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	20,18	20,18
<b>20% VM</b>	5,04	5,04
HORMIGON CON 30% VIDRIO MOLIDO		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 2 vigas	kg para 2 vigas
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	17,66	17,66
<b>30% VM</b>	7,57	7,57
HORMIGON CON 40% VIDRIO MOLIDO		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg para 2 vigas	kg para 2 vigas
<b>Cemento</b>	16,20	16,20
<b>Agua</b>	6,16	7,40
<b>Grava</b>	19,76	19,76
<b>Gravilla</b>	10,64	10,64
<b>Arena</b>	15,13	15,13
<b>40% VM</b>	10,09	10,09

#### 4.1.2 Resistencia a tracción

Tabla N° 26: Resultados de ensayo a tracción

N°	% De vidrio	L cm.	H cm.	a cm	Área cm <sup>2</sup>	Peso Kg	Carga KN	Carga Kg	Esfuerzo a Traccion Kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>t</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
1	0%	53,3	15,3	15,2	2906,3	29,475	23,4	2385,32	30,8	28,76
2		53,3	15,3	15,2	2906,3	30,045	19,1	1946,99	25,8	
3		53,3	15,3	15,2	2906,3	30,225	22,5	2293,58	29,68	
4	10%	53,3	15,3	15,2	2906,3	29,42	19,8	2018,35	31	28,00
5		53,3	15,3	15,2	2906,3	29,45	24	2446,48	25	
6		53,3	15,3	15,2	2906,3	29,4	22,35	2278,29	28	
7	20%	50,4	15,5	15,5	2824,1	28,94	25,8	2629,97	28,3	28,20
8		50,4	15,5	15,5	2824,1	29,1	21,7	2212,03	28,1	
9		50,4	15,5	15,5	2824,1	29,28	22,58	2301,73	28,2	
10	30%	50,4	15,5	15,5	2824,1	28,875	27,5	2803,26	26	28,70
11		50,4	15,5	15,5	2824,1	28,65	25,8	2629,97	31,4	
12		50,4	15,5	15,5	2824,1	28,75	26,6	2711,52	28,7	
13	40%	53,3	15,3	15,2	2906,3	28,615	22,4	2283,38	34,2	33,30
14		53,3	15,3	15,2	2906,3	29,37	22,2	2263,00	33,2	
15		53,3	15,3	15,2	2906,3	28,94	22,3	2273,19	32,5	

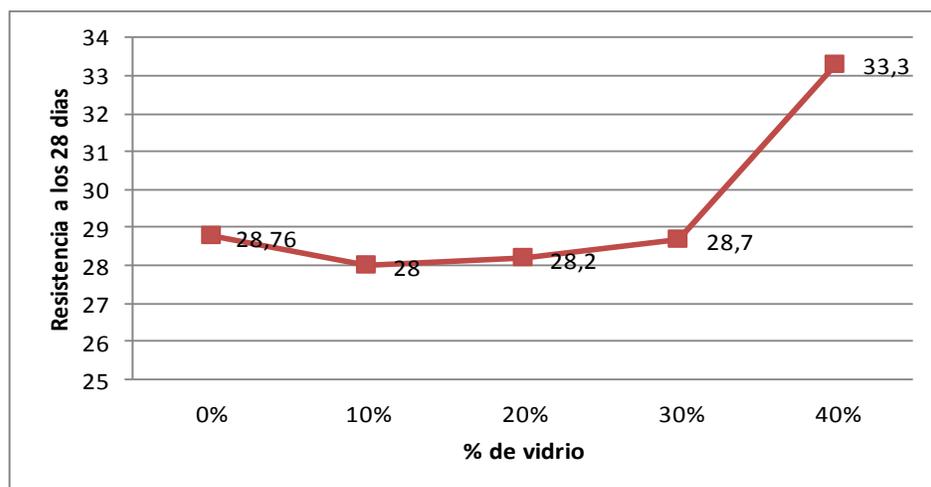
Fuente: Elaboración Propia

Como se ve en el tabla 26 la variación de las resistencias de las vigas sometidas a flexo - tracción dio buenos resultados, como está resistencia es el 10 % de la resistencia a compresión entonces se ve en el gráfico 5, que el hormigón patrón (0 % de vidrio molido) llego a una resistencia de 28,76 kg/cm<sup>2</sup> las vigas. Siendo un valor muy cercano a la resistencia de diseño que es 35 kg/cm<sup>2</sup> y con el incremento de vidrio molido dio un valor muy cercano a la resistencia dosificada. Cabe resaltar que el día en el que se elaboró las vigas de hormigón convencional hizo una calor insoportable por la cual se aumentó un poco más de agua de lo calculado

Las vigas con un porcentaje de 10 % de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena llegaron a una resistencia de 28 kg/cm<sup>2</sup> siendo un valor inferior al hormigón patrón, esto quiere decir que no es apto para incrementar en los pavimentos rígidos con el porcentaje del 10 % de vidrio molido porque no tendría una buena resistencia que con lleva con la vida útil del mismo.

Las vigas con el porcentaje de 20 % de vidrio molido tampoco supera la resistencia del hormigón patrón pero si al porcentaje del 10 % como se ve en el siguiente gráfico, este porcentaje tampoco se recomienda para el uso en la losa de hormigón de pavimento rígido porque no iguala ni supera la resistencia del hormigón patrón.

Gráfico N° 5: Variación de la resistencia a Flexo - Tracción a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje empleado del 30 % de vidrio molido en las vigas llega a una resistencia de 28,7 kg/cm<sup>2</sup> que casi iguala a la resistencia patrón como se ve en el gráfico N° 5 este porcentaje tampoco se puede emplear en la construcción de pavimento rígido porque no supera la resistencia del hormigón patrón, para poder emplear un porcentaje de vidrio molido tiene que superar la resistencia patrón.

El porcentaje del 40% de vidrio molido llega a una resistencia de 33,3 kg/cm<sup>2</sup> superando a la resistencia patrón y a los porcentajes de 10, 20 y 30 % este porcentaje es aconsejable sustituir al agregado fino de forma parcial en la construcción de pavimentos rígidos que ayuda a mejorar la resistencia a flexo - tracción y por supuesto su vida útil del mismo.

A mayor porcentaje de vidrio molido debería reducirse la cantidad de agua porque el vidrio es impermeable no absorbe agua, pero esto no sucedió así en la elaboración de las vigas de hormigón con vidrio molido, el motivo fue que hizo mucha calor que ocasiono evaporación del agua de la mezcla y puede ser una razón por la cual no llego a la resistencia de  $35 \text{ kg/cm}^2$ .

Se tiene que tener mucho cuidado en el momento de apisonar las vigas, si no se apisona bien la mezcla en el molde con los 50 golpes con la varilla quedan huecos al desmoldar las vigas, para evitar eso hay que sacar las burbujas de aire con el combo de goma, así evitamos los vacíos y huecos al desmoldar.

Las características físicas de las vigas al momento de poner a curar y después de ser curadas mantenían el color y tenían un poco de porosidad, además de una textura muy lisa y resbaladiza esto paso en todos los porcentajes que se incorporaron vidrio molido. En cuanto el peso fue aumentando a medida que se incrementaba el porcentaje de vidrio molido, en el porcentaje del 40% de vidrio molido las vigas pesaban más que todas las demás.

En cuanto al ensayo a flexo – Tracción todas las vigas se partieron en 2 al finalizar el ensayo a flexo-tracción, y se evidencio desprendimiento de la grava que tiene canto rodado este que no tiene buena adherencia con la pasta de hormigón y no hay buena adherencia con los demás áridos, vidrio molido y pasta.

La única desventaja que tiene el vidrio molido es que se tiene que usar protección como guantes para no cortarse con el vidrio, lentes para evitar que llegue al ojo las partículas de vidrio y muy importante el barbijo para evitar ingerir el aire del vidrio molido que es muy dañino para la salud.

La ventaja más favorable que tiene el usar vidrio molido reciclado es que reduce la contaminación del medio ambiente y reduce la cantidad de los materiales no renovables como los áridos.

Cuando se realizó el ensayo de flexo-tracción se observó la adherencia entre la pasta y el vidrio molido que por cierto es muy buena a excepción del canto rodado que tenía la grava.

El análisis de la resistencia a tracción o flexión tracción dio muy buenos resultados llegando a un valor cercano a la resistencia de dosificación, en comparación a la resistencia a compresión a pesar que se utilizaron los mismos materiales.

#### 4.1.3 Resistencia a compresión

Tabla N° 27: Resultados del ensayo a compresión

N°	% De vidrio	Ø cm.	h cm.	Área cm <sup>2</sup>	Peso Kg.	Carga KN	Carga Kg.	Esfuerzo de compresion Kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
1	0%	15	30	176,7	13,01	344,5	35117,2	282	280,2
2		15	30	176,7	13,1	363,3	37033,6	280,89	
3		15	30	176,7	13,0	314,5	32059,1	277,89	
4		15	30	176,7	13,0	388,5	39602,4	279,89	
5	10%	15	30	176,7	12,9	303,6	30948,0	255,8	254,6
6		15	30	176,7	12,9	359,3	36625,9	253,79	
7		15	30	176,7	13,0	301,5	30733,9	254,3	
8	20%	15	30	176,7	13,1	406,1	41396,5	257,8	258,4
9		15	30	176,7	13,2	439,4	44791,0	258,56	
10		15	30	176,7	13,1	430,8	43914,4	258,89	
11	30%	15	30	176,7	13,1	304,8	31070,3	265,6	264,7
12		15	30	176,7	13,0	304,5	31039,8	264,8	
13		15	30	176,7	13,1	393,7	40132,5	263,6	
14	40%	15	30	176,7	13,2	370,1	37726,8	301,95	301,0
15		15	30	176,7	13,2	418,2	42630,0	302,3	
16		15	30	176,7	13,2	394,3	40193,7	298,89	

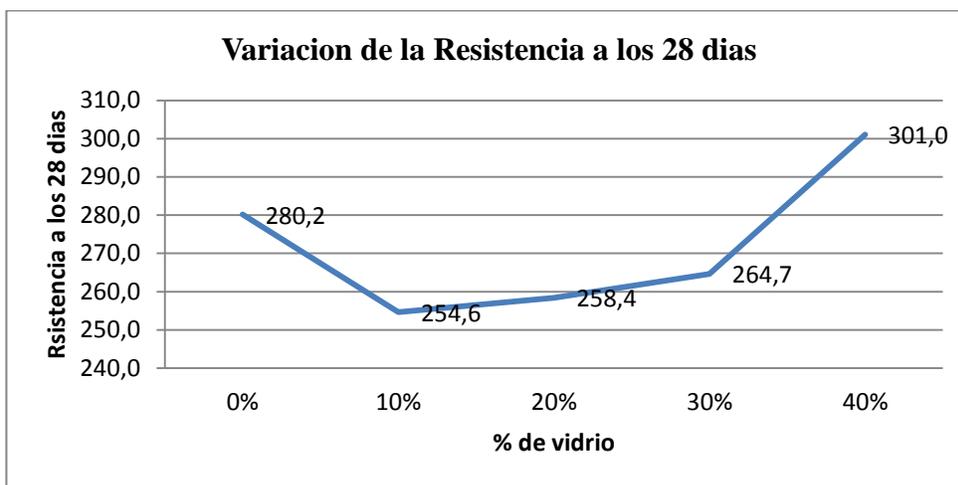
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión no fueron los esperados, porque las resistencias de las probetas no llegaron a la resistencia de diseño, pese a que todos los materiales se lavaron para eliminar el limo que existe en ellos. Otra causa es el tamaño del material que se usó de  $\frac{3}{4}$  y que en la mayoría de los pavimentos se usa de 1" pero se comprueba que el vidrio molido en reemplazo parcial de la arena si aumenta l resistencia del mismo

El hormigón patrón con un porcentaje de 0 % de vidrio molido llegó a una resistencia de 280,2 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días, no llegó a la resistencia dosificada que es 350 kg/cm<sup>2</sup> como se ve en la gráfica N° 6 a pesar que los materiales que se usaron en la mezcla fueron lavados y secados respectivamente.

Las probetas con un porcentaje del 10 % de vidrio molido llegó a una resistencia de 254,6 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con el hormigón patrón bajo la resistencia, esto quiere decir que no es recomendable trabajar con un porcentaje del 10 % en reemplazo del agregado fino ya que disminuye su resistencia del mismo.

Gráfico N° 6: Variación de la resistencia a compresión a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

El hormigón con un porcentaje del 20 % de vidrio molido en reemplazo de la arena tampoco alcanzó la resistencia de diseño, en comparación con el hormigón patrón dio una resistencia relativamente menor de 258,4 kg/cm<sup>2</sup>, entonces tampoco es aconsejable trabajar con este porcentaje de vidrio molido.

Los cilindros con un porcentaje del 30 % de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena si aumento la resistencia en comparación con los porcentajes de 10 % de

vidrio molido subió como se en la grafico 6, dando un valor de  $264,7 \text{ kg/cm}^2$  y en comparación con la resistencia el 20 % disminuye  $6 \text{ kg/cm}^2$ .

Las probetas con un 40 % de vidrio molido dio resultados muy buenos llegando a una resistencia de  $300,1 \text{ kg/cm}^2$ , superando a los porcentajes de 0, 10, 20 y 30 %, esto quiere decir que es recomendable trabajar con este porcentaje ya que aumenta la resistencia del hormigón considerablemente.

Es recomendable trabajar con el 40 % de vidrio molido en mezclas de hormigón ya que el vidrio es impermeable y en cuanto a estética en el pavimento rígido brilla en contacto con las luces de los vehículos que circulan en la misma.

El vidrio molido en contacto con el cemento entra en una química muy beneficiosa, entonces el cemento mejora mucho más con el vidrio molido en tamaño de la arena u el cemento, mejorando la resistencia y mejor a un que no absorbe agua a diferencia del cemento.

Uno de los factores porque no se llegó a la resistencia es por el tamaño del agregado grueso se utilizó de  $\frac{3}{4}$ " y según el pliego de especificaciones técnicas de Mendoza se utiliza entre 2" a 1" como tamaño máximo nominal, al utilizar un tamaño menor del agregado grueso disminuye la resistencia del mismo.

Al someter al ensayo a compresión las probetas con porcentajes de 0, 10, 20 y 30 % todas se partieron unas en 3 partes y otras en 2, pero las probetas con un porcentaje del 40 % de vidrio molido en reemplazo parcial de la arena no de partieron en 2 ni en 3 partes solo hubo fisuras, esto quiere decir que hay una mejor adherencia el vidrio molido con la pasta de hormigón.

Depende mucho del clima para vaciar las probetas, en el laboratorio de hormigón y resistencia de materiales se vacía el hormigón fuera del laboratorio y como se vació en época de verano hace mucha calor y el agua se evapora rápido de la mezcla, esto provoca que se aumente más agua de lo necesario que repercute en la

resistencia del mismo y si no se aumenta agua tampoco cumple el asentamiento del cono de abrams.

Es muy importante que a la hora de llenar las probetas con la mezcla de hormigón apisonar muy bien cada 25 golpes con la varilla en su respectiva capa de igual manera al sacar en lo posible todas la burbujas de aire de la probeta con ayuda del combo de goma.

Otro factor importante es que todos los materiales estén secos a la hora de vaciar la mezcla de hormigón, porque si están cada uno en distinta humedad afecta mucho, en la cantidad del agua y eso repercute en la resistencia.

En el momento de proceder a realizar el ensayo a compresión las probetas se tienen que sacar como mínimo un tiempo de 24 horas de la piscina de curado para que escurra toda el agua. Si no se deja secar como mínimo el tiempo mencionado tiende a no llegar a la resistencia requerida del hormigón.

## **4.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

La estadística emplea métodos descriptivos y de inferencia estadística. Los primeros se ocupan de la recolección, organización, tabulación, presentación y reducción de la información. En el caso de la estadística descriptiva se sustituye o reduce el conjunto de datos obtenidos por un pequeño número de valores descriptivos, como pueden ser: el promedio, la mediana, la media geométrica, la varianza, la desviación típica, etc.

Estas medidas descriptivas pueden ayudar a brindar las principales propiedades de los datos observados, así como las características clave de los fenómenos bajo investigación. Por lo general, la información proporcionada por la estadística descriptiva puede ser transmitida con facilidad y eficacia mediante una variedad de herramientas gráficas, como pueden ser:

**Gráficos de tendencia:** es un trazo de una característica de interés sobre un periodo, para observar su comportamiento en el tiempo.

**Gráfico de dispersión:** ayuda al análisis de la relación entre dos variables, representado gráficamente sobre el eje x y el correspondiente valor de la otra sobre el eje y.

**Histograma:** describe la distribución de los valores de una característica de interés.

Así, la estadística descriptiva constituye un modo relativamente sencillo y eficiente para resumir y caracterizar datos. También ofrece una manera conveniente de presentar la información recopilada. Este método es potencialmente aplicable a todas las situaciones que involucran el uso de datos. Además de ayudar en el análisis e interpretación de los datos, constituye una valiosa ayuda en el proceso de toma de decisiones.

Tabla N° 28: Tratamiento estadístico de resistencia a compresión

N°	% VM	Datos	M	MG	MA	MC	Rango	V	S	CS
1	0	282,00	280,924	280,925	280,924	280,928	2,110	1,114	1,055	0,0038
2		280,89								
4		279,89								
5	10	255,80	254,627	254,629	254,627	254,631	2,010	1,092	1,045	0,0041
6		253,79								
7		254,30								
8	20	257,80	258,416	258,416	258,416	258,417	1,090	0,312	0,559	0,0022
9		258,56								
10		258,89								
11	30	265,60	264,664	264,665	264,664	264,668	2,000	1,013	1,007	0,0038
12		264,80								
13		263,60								
14	40	301,95	301,039	301,043	301,039	301,051	3,410	3,519	1,876	0,0062
15		302,30								
16		298,89								
Media		271,94								
Desv		17,74								

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 29: Tratamiento estadístico de resistencia a tracción

N°	% VM	Datos	M	MG	MA	MC	Rango	V	S	CS
1	0	30,8	28,575	28,658	28,575	28,819	5,000	6,872	2,621	0,092
2		25,8								
3		29,62								
4	10	31	27,785	27,892	27,785	28,107	6,000	9,069	3,012	0,108
5		25								
6		28								
7	20	28,3	28,200	28,200	28,200	28,200	0,200	0,010	0,100	0,004
8		28,1								
9		28,2								
10	30	26	28,530	28,615	28,530	28,785	5,400	7,333	2,708	0,095
11		31,4								
12		28,7								
13	40	34,2	33,285	33,293	33,285	33,307	1,700	0,730	0,855	0,026
14		33,2								
15		32,5								
Media		29,39								
desvi		2,76								

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1 Cálculo del % óptimo

Como se sabe la resistencia a compresión del pavimento rígido varía de 250 kg/cm<sup>2</sup> a 350 kg/cm<sup>2</sup>, si sacamos la media de esos valores tenemos una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup> entonces mi porcentaje óptimo será el porcentaje que me de 300 kg/cm<sup>2</sup> para eso solo se hace una interpolación entre los porcentajes de 30 y 40.

Resistencia a compresión

$$\begin{array}{l}
 30 \% \text{ VM} - 266.664 \text{ kg/cm}^2 \\
 X - 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 40\% - 301,039 \text{ kg/cm}^2
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 30 \% \text{ VM} \\ X \\ 40\% \end{array}} \right\} X = 39,69 \%$$

El % óptimo para la resistencia a compresión es de:

$$39,69\% - 300 \text{ Kg/cm}^2$$

### Resistencia a tracción

$$\left. \begin{array}{l} 30 \% \text{ VM} - 28,53 \text{ kg/cm}^2 \\ X - 30 \text{ kg/cm}^2 \\ 40\% - 33,285 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right\} X = 33,25 \%$$

El % óptimo para la resistencia a tracción es de:

$$33,25\% - 30,0 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 4.2.2 Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis también llamada hipótesis estadísticas derivadas se refiere a dar un valor de veracidad o falsedad de la hipótesis planteada en una investigación mediante los resultados obtenidos.

#### Hipótesis

Si se utilizan diferentes porcentajes de vidrio molido reciclado, combinando con una dosificación de hormigón para pavimento rígido, entonces, se podrá obtener las resistencias de tracción y compresión para cada porcentaje, estableciendo su respectiva variación.

#### Resistencia a compresión

Datos:

$$\bar{X} = 271,94$$

$$n = 15$$

$$S = 17,74$$

$$\mu_1 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

#### Resistencia a tracción

Datos:

$$\bar{X} = 29,69$$

$$n = 15$$

$$S = 2,76$$

$$\mu_2 = 30 \text{ kg/cm}^2$$

**Pasó 1.-** En el primer paso se determinan la hipótesis nula y la hipótesis alterna esta la sospecha de la cual pudiera ser cierta, ambas hipótesis son planteadas por el investigador.

La resistencia compresión de un pavimento rígido esta entre  $250 \text{ kg/cm}^2$  a  $350 \text{ kg/cm}^2$ , en este caso tomaremos la media de estos dos valores que es  $300 \text{ kg/cm}^2$  como la resistencia a tracción es el 10 % de la resistencia a compresión de igual manera tomaremos la media que es  $30 \text{ kg/cm}^2$

Hipótesis nula  $H_0 =$  Resistencia a compresión  $300 \text{ kg/cm}^2$ , resistencia a tracción  
 $30 \text{ kg/cm}^2$

Hipótesis alterna  $H_1 \neq$  Resistencia a compresión  $300 \text{ kg/cm}^2$ , resistencia a tracción  
 $30 \text{ kg/cm}^2$

**Pasó 2.-** Determinar el método que se va a utilizar esto depende del número de datos que se haya hecho la investigación:

$n > 30$  datos se utiliza distribución normal

$n < 30$  datos se utiliza t – student

**Pasó 3.-** Se escoge el método a utilizar que es t- student.

Lo primero que se hace en el método de t – student es calcular las coordenadas para entrar a la tabla de t – student, alfa esa dividido entre 2 porque mi  $H_1$  está que sea diferente de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , en la hipótesis dice que tiene que haber una variación, si se diría que sea mayor o menor al número mencionado, alfa estaría dividido entre 1.

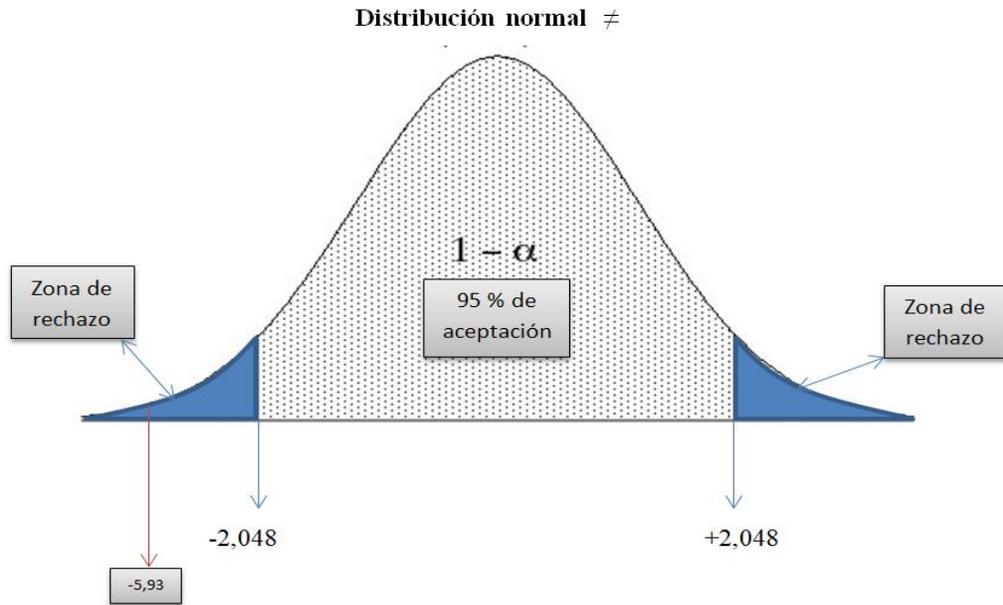
$$t = (n_1 + n_2 - 2), \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$t = (28 - 1), \left(1 - \frac{0.005}{2}\right)$$

$$t = (28), (0,975)$$

Entrando a la tabla de t – student (la podemos encontrar en el anexo 5) entramos a la tabla de t con las siguientes coordenadas de t = (Y), (X), entonces entramos a la tabla de t – student y sacamos el valor de t.

$$t_{28} = 2,0484$$



### Estadística de prueba $t_c$

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} = -5,929$$

$$t_c = -5,929$$

El  $t_c$  cae en la zona de rechazo, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que si hay una variación con respecto al valor de un convencional con otro adicionando vidrio molido reciclado en la resistencia a compresión y tracción.

Con este valor de la hipótesis alterna se puede dar veracidad a la hipótesis planteada. Comprobando que el empleo de vidrio molido obtenido del reciclaje de botellas de vidrio en reemplazo parcial de la arena, para la elaboración de probetas y vigas de hormigón de pavimento rígido permite una variación de las resistencias a compresión y tracción.

### **4.3 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA**

Las **especificaciones técnicas** son los documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción de obras, elaboración de estudios, fabricación de equipos.

En el caso de la realización de estudios o construcción de obras, éstas forman parte integral del proyecto y complementan lo indicado en los planos respectivos y en el contrato. Son muy importantes para definir la calidad de los trabajos en general y de los acabados en particular.

#### **4.3.1 Especificación técnica con vidrio molido**

##### **a) Definición**

**Pavimento de concreto.-** Es un pavimento rígido, de concreto de cemento hidráulico, con o sin refuerzo, que se diseña y construye para resistir las cargas o como indiquen los planos.

##### **b) Descripción**

Este trabajo consiste en la construcción sobre sub rasante, y base preparada y aceptada previamente, de la losa de pavimento de concreto, de acuerdo con los planos, incluyendo la fabricación y el manejo, colocación, compactación, acabado, curado y protección del concreto de acuerdo con lo indicado en estas

especificaciones, ajustándose a los alineamientos horizontal y vertical, espesores y secciones típicas de pavimentación, dentro de las medidas y tolerancias estipuladas, de conformidad con estas especificaciones, disposiciones especiales y/o planos del proyecto.

### c) **Materiales**

Los materiales para pavimentos de concreto de cemento hidráulico, deben llenar los requisitos siguientes:

**Cementos hidráulicos.-** Estos cementos deben cumplir con una clase de resistencia de 28MPa (4,000 psi, 280kg/cm<sup>2</sup>) o mayor.

**Agregado fino.-** Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos sobre cantidad de finos allí estipuladas. El agregado fino debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto.

**Agregado grueso.-** Debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

**Agua.-** El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua proveniente de

abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable puede usarse sin ensayos previos.

**Aditivos.-** El aditivo que se utilizara para el concreto es vidrio molido reciclado en un porcentaje del 39,70 en parcial de la arena, con la aprobación previa del Supervisor y de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica. Previa a la autorización del uso de aditivos, el contratista deberá realizar mezclas de pruebas de campo, utilizando los materiales y equipo a emplear en el proyecto u obra. Si se emplea más de un aditivo, debe cuidarse de que los efectos deseables de cada uno se realicen y no interfieran entre si. Cuando se empleen aditivos acelerantes en tiempo caluroso, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar un fraguado del concreto.

#### **Requisitos para la clase y resistencia del concreto**

El concreto de cemento hidráulico para pavimentos, debe ser como mínimo clase 28 (4,000psi o 245kg/cm<sup>2</sup>) con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 28 MPa (4,000psi o 28kg/cm<sup>2</sup>) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 4.2 MPa (600psi o 42.2kg/cm<sup>2</sup>), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días.

#### **Composición del Concreto de Cemento Hidráulico para Pavimentos**

Relacion agua/cemento max	Temperatura del concreto	Asentamiento AASHTO T 119	Tamaños agregados AASHTO M 43	Resistencia a la compresion AASTHO T-22	Resistencia a la flexion AASHTO T 97
0,38	20 ± 10 °C	40 ± 20 mm	551.04 (b)	28 Mpa	3.5 Mpa

Estas especificaciones se refieren al hormigón de cemento portland, para la losa de hormigón de pavimento rígido.

### **Requisitos de construcción**

#### **a) Equipo para pavimentación**

El Contratista debe suministrar el equipo adecuado al procedimiento de construcción previsto. El equipo propuesto debe ser inspeccionado y/o ensayado y aprobado previamente por el supervisor.

**Procedimiento de formaleta deslizante.-** Debe consistir en pavimentadoras o terminadoras autopropulsadas, capaces de extender, consolidar, enrasar y acabar el concreto fresco colocado frente a ellas, en una sola pasada completa de la máquina, de modo que se requiera un mínimo de acabado manual, para proporcionar un pavimento denso y homogéneo.

#### **b) Colocación y compactación del concreto**

**Acondicionamiento de la superficie.-** Las losas de concreto deben ser construidas sobre la superficie de la sub - rasante, sub-base o base, previamente preparadas, de conformidad con las Especificaciones Generales

#### **c) Acabado, texturizado y ranurado del concreto.**

**Texturizado y ranurado utilizando pavimentadora de formaleta deslizante.-** Inmediatamente detrás de la alisadora o llana mecánica de la pavimentadora, y una vez el concreto está próximo a perder el brillo se procede al texturizado y ranurado según se describe en las Especificaciones Generales

**Texturizado y ranurado utilizando formaletas fijas.-** Debe hacerse preferentemente con un carro o marco texturizador o ranurador como los indicados

para la pavimentadora deslizante. En zonas pequeñas e irregulares donde esto no sea factible tanto el texturizado fino longitudinal como el texturizado grueso o ranurado transversal pueden hacerse manualmente con ayuda de rastrillos o escobas adecuados.

#### **d) Alisado**

Después del enrasado y nivelado indicados, la superficie debe ser uniformizada, alisándola transversal o longitudinalmente, o en ambos sentidos, por medio de una llana o flotador de tipo adecuado.

De preferencia, el alisado se debe ejecutar en el sentido longitudinal, excepto en los lugares en los que esta forma no sea factible. El alisado puede ser efectuado manualmente o por máquinas alisadoras que produzcan resultados equivalentes.

**Alisado longitudinal** La llana o flotador de tipo longitudinal, operado desde un andamio, debe ser aplicado con un movimiento de aserrado, conservándolo en posición paralela al eje de la vía y desplazándolo gradualmente de un lado al otro del pavimento. La llana o flotador debe moverse hacia adelante, la mitad de su longitud y la operación se repite hacia atrás.

**Alisado transversal** La llana o flotador transversal debe ser operado a lo ancho del pavimento, principiando en uno de sus bordes, moviéndolo gradualmente hasta el centro y regresándolo de nuevo al borde. El flotador se debe mover luego hacia adelante y a la mitad de su longitud y la operación se debe repetir. Se debe poner cuidado especial en no remodelar la sección transversal del pavimento.

#### **e) Medida**

La medida se debe hacer del número de metros cuadrados, con aproximación de dos decimales, medidos, ya colocados en su posición final, satisfactoriamente

construidos y aceptados de acuerdo a estas especificaciones, disposiciones especiales y planos correspondientes.

El área se debe determinar por procedimientos analíticos. El ancho y la longitud. No se harán descuentos por el volumen del acero de refuerzo ni por material de juntas.

#### **f) Pago**

El pago se debe hacer por el número de metros cuadrados, medidos como se indica en satisfactoriamente construidos y aceptados como lo establecen los planos, estas especificaciones y disposiciones especiales, al precio unitario de contrato, correspondiente a pavimento de concreto.

No se reconoce ningún pago adicional por la eliminación de la capa vegetal, materia orgánica, material inadecuado, caminos de acceso y obras complementarias para la explotación de los bancos de materiales, ni por operación de las plantas, por el apilamiento y almacenamiento de los agregados.

### **4.4 ANALISIS DE COSTOS**

En este análisis se realizara los costos para un pavimento rígido con vidrio molido reciclado y otro pavimento sin vidrio para verificar si es; o no factible esta investigación, para eso se investiga los precios de todos los materiales que componen el pavimento rígido, entre ellos los fierros, sus diámetros, tipo de hierro, que es el componente de las juntas transversales y longitudinales.

A continuación se muestran imágenes de las juntas longitudinales y transversales que se utilizan en el pavimento rígido, cuando se colocan dichas juntas recién se vacía hormigón sobre ellas y con ayuda de palas se dispersa el hormigón que vacía el mixer.

Figura N° 35: Juntas transversales

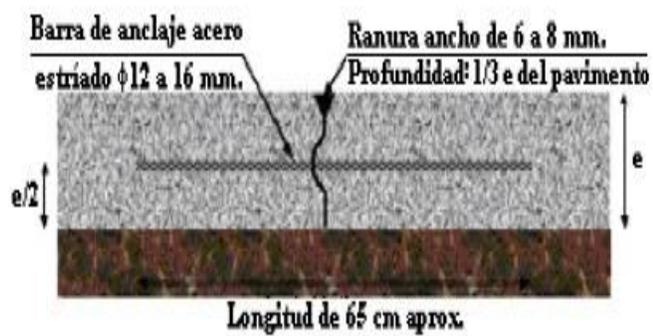


Fuente: Elaboración propia

Figura N° 36: Juntas longitudinales



### JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Costos del hormigón convencional

Actividad	Carpeta de hormigón convencional para pavimento rígido					
Unidad	m <sup>3</sup>					
Moneda	Bs					
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				
1	-	Cemento portland	kg	350,00	1,11	388,50
2	-	Arena	m <sup>3</sup>	0,62	120,75	74,87
3	-	Grava triturada	m <sup>3</sup>	0,66	136,50	90,09
4	-	Fierro corrugado	kg	7,10	6,33	44,94
5	-	Fierro liso	kg	8,22	8,50	69,87
6		Clavos	kg	0,93	12,50	11,63
7		Alambre	kg	1,60	12,00	19,20
8	-	Madera	P2	10,00	8,00	80,00
9		Antisol	kg	7,00	15,00	105,00
>	D	<b>TOTAL MATERIALES</b>			(A) =	<b>884,09</b>
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Albañil	hr	2,50	20,50	51,25
2	-	Ayudante	hr	2,50	13,50	33,75
3		Topógrafo	hr	1,50	20,00	30,00
4		Operador de maquinaria pesada	hr	2,00	20,00	40,00
>	E	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			(B) =	<b>155,00</b>
	F	Cargas Sociales		67.00% de	(E) =	103,85
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	38,67
>	G	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			(E+F+O) =	<b>297,52</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1		Mixer	hr	1,00	350,00	350,00
2		Vibradora	hr	1,50	13,00	19,50
3		Regla niveladora	hr	1,00	35,00	35,00
4		Cortadora	hr	0,40	18,00	7,20
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	432,29
>	I	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			(C+H) =	<b>432,29</b>
>	J	<b>SUB TOTAL</b>			(D+G+I) =	<b>1.613,90</b>
	L	Gastos grales. y administrativ		10.00% de	(J) =	161,39
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	177,53
>	N	<b>PARCIAL</b>			(J+L+M) =	<b>1.952,82</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	60,34
>	Q	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			(N+P) =	<b>2.013,16</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>2.014,00</b>

#### 4.4.2 Costos del hormigón con vidrio molido

Actividad	Carpeta de hormigon con 39,7 % de vidrio molido para pavimento rígido					
Unidad	m <sup>3</sup>					
Moneda	Bs					
	A	MATERIALES				
1	-	Cemento portland	kg	350,00	1,11	388,50
2	-	Arena	m <sup>3</sup>	0,37	120,75	44,68
3	-	Grava triturada	m <sup>3</sup>	0,66	136,50	90,09
4	-	Fierro corrugado	kg	7,10	6,33	44,94
5	-	Fierro liso	kg	8,22	8,50	69,87
6		Vidrio molido	m <sup>3</sup>	0,25	205,00	51,25
7		Clavos	kg	0,93	12,50	11,63
8		Alambre	kg	1,60	12,00	19,20
9		Madera	P2	10,00	8,00	80,00
10		Antisol	kg	7,00	15,00	105,00
11		Material para protección	Pz	1,00	30,50	30,50
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>935,66</b>
	B	MANO DE OBRA				
1	-	Albañil	hr	2,50	20,50	51,25
2	-	Ayudante	hr	2,50	13,50	33,75
3		Topógrafo	hr	1,50	20,00	30,00
4		Operador de maquinaria pesada	hr	2,00	20,00	40,00
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>155,00</b>
	F	Cargas Sociales		67.00% de	(E) =	103,85
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	38,67
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>297,52</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
		Mixer	hr	1,00	350,00	350,00
		Vibradora	hr	1,50	13,00	19,50
		Regla niveladora	hr	1,00	35,00	35,00
		Cortadora	hr	0,40	18,00	7,20
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	432,29
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>432,29</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>1.665,46</b>
	L	Gastos grales. y administrativ		10.00% de	(J) =	166,55
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	183,20
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>2.015,21</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	62,27
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>2.077,48</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>2.078,00</b>

Si nos basamos en el costo es más barato o económico el pavimento rígido convencional que el pavimento rígido con 39,70% de vidrio molido, en los cálculos de costos el hormigón convencional vale 2.014 Bs mientras que el pavimento rígido con él % óptimo de vidrio molido vale 2.078 Bs. Con una diferencia de 64 Bs, no es mucho la diferencia, ya que con este % aumentaría la resistencia del pavimento rígido y cuidaremos más al medio ambiente.

Es razonable que se incrementa el costo del pavimento con vidrio molido porque moler del vidrio no es fácil, se tiene que tener mucho cuidado, protección y la máquina que muele o tritura el vidrio funciona con corriente eléctrica ahí hay otro costo adicional, ya que es fácil reciclar el vidrio porque hay en gran cantidad, lo que cuesta es trasladar el material al lugar donde se va a moler el vidrio.

## CAPÍTULO V

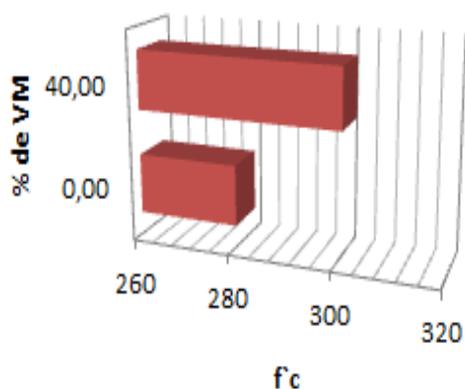
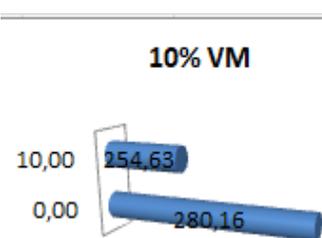
### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Al procesar el vidrio molido reciclado de botellas previamente lavadas, el vidrio molido se obtuvo de forma manual cuya curva granulométrica permitió ser aceptado como material apto para la elaboración de probetas de hormigón en reemplazo parcial de la arena, porque la curva está dentro de los límites establecidos en la norma.

Se alcanzó un módulo de finura del vidrio molido de 3,95 correspondiente al límite inferior de arenas gruesas, mientras que en la arena se obtuvo un módulo de finura de la arena de 3,09 tendiendo al límite inferior de las arenas gruesas.

A los 28 días las muestras ensayadas permitieron que las mezclas cuyo valor añadido de vidrio molido en porcentajes de 10 y 20 % alcanza una resistencia menor a la resistencia obtenida de hormigón común (0 % de vidrio molido).



En los porcentajes de 30 % de vidrio molido no supera la resistencia patrón de las probeta y 40 % llega a una resistencia de 301 kg/cm<sup>2</sup> como se muestran en gráfico 6 se puede observar que aumenta la resistencia en comparación de las probetas convencionales con 0 % de vidrio molido.

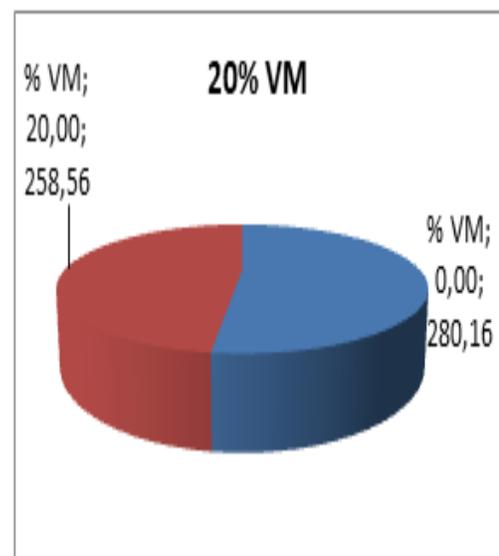
En el ensayo a compresión las probetas cilíndricas, todas las probetas de 0 a 30 % con vidrio molido se partieron en 2, otras probetas en 3, menos las probetas con el porcentaje de 40 %, un factor importante para que se rompan así las probeta se debe a que tienen menor porcentaje de vidrio.

Las resistencias de las probetas no llegaron a la resistencia calculada, pese a que todos los agregados fueron lavados y secados previamente al vaciar, es difícil llegar a una resistencia como  $350 \text{ Kg/cm}^2$  sin un buen adictivo, los materiales aunque estén 100% lavados no se puede eliminar los limos de la grava sobre todo de la arena y eso que lave en el tamiz N° 200, pero lo que indica la norma es que solo usamos hasta el tamiz N° 100 y no así el N° 200.

Mucho tiene que ver el llenado de las probetas en el momento de llenar las mismas se tiene que apisonar muy bien en cada capa, se llena 3 capas y en cada capa se apisona y de la misma manera con el combo de goma se da golpes, para que así llegue a la resistencia dosificada.

Se produjo un ligero asentamiento conforme se incrementa el vidrio molido, esto es porque el vidrio es impermeable, no absorbe agua.

En varias veces se incrementó más del agua calculada, porque la mezcladora se utiliza fuera del laboratorio de hormigón de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en los días que se vació las probetas con 20 % de vidrio molido, en la mañana hizo mucha calor, esto provoco que el agua se evapore en la mezcladora y por ende aumentar agua para cumplir el asentamiento, además de tener una pasta homogénea.



Si aumentamos en exceso el agua esto puede repercutir en la resistencia de las probetas, es una causa para que no llegue a la resistencia dosificada.

Cuando se termina de llenar una probeta es aconsejable no mover del lugar donde se vació porque esta tiende a moverse la mezcla ocasionando burbujas de aire.

En cuanto a las características físicas de las probetas antes y después de ser curadas que presentaron una leve porosidad el color se mantuvo similar para todas las muestras con vidrio molido en cuanto a la textura lisa y resbalosa de estas al incrementar el vidrio molido.

La mayoría de las probetas por no decir todas se partieron en 3 partes y en otras en 2 partes, menos las probetas del porcentaje del 40 % solo tuvieron fisuras similares en las 3 probetas como se puede ver en el anexo 2, el factor que ocasiono esto es el incremento del % de vidrio molido ya que el material fue el mismo que se utilizó para todas las vigas y probetas, el material de San Mateo, Chancadora Garzón, tenía canto rodado, esto no es bueno porque no se tiene una buena adherencia con la mezcla de hormigón.



Al finalizar el ensayo a compresión de las probetas se evidencio que el vidrio molido en reemplazo parcial de la arena, tiene una buena adherencia con la mezcla de hormigón.

El incremento de resistencia del hormigón se da con la edad, debido a que al usar el vidrio molido este sigue el mismo fenómeno físico de endurecimiento que el cemento, sus partículas se hidratan progresivamente, inicialmente de manera superficial, y desde ahí el endurecimiento continúa hasta llegar al núcleo de las partículas

En cuanto al ensayo a flexo – tracción todas las vigas se partieron en 2 al finalizar el ensayo, y se evidencio desprendimiento de la grava que tiene canto rodado, el canto rodado no tiene buena adherencia con la pasta de hormigón, tampoco con los demás áridos, vidrio molido y pasta.

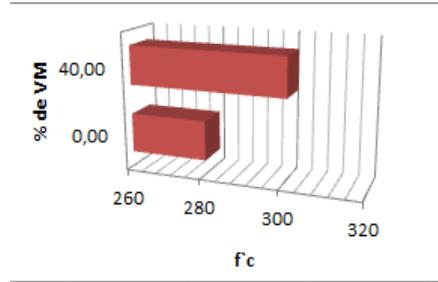
La mayoría de los resultados llegaron cerca de la resistencia dosificada, como se ve en el grafico 5 de ensayo a flexo – tracción, la mayor resistencia llego al 40 % con  $33,3 \text{ kg/cm}^2$  siendo el valor más alto superando al hormigón patrón.



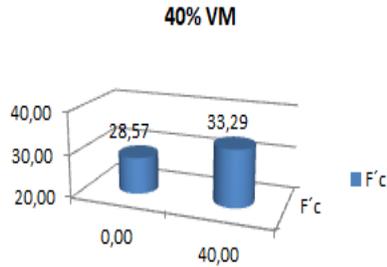
Tanto las probetas como las vigas que se partieron tienen una buena imagen hablando estéticamente se ve muy bonito.

De acuerdo a lo investigado, se puede mencionar como la importancia de la buena selección de materiales a emplearse para la elaboración del hormigón para que esté presente las mejores condiciones técnicas para enfrentar las condiciones climatológicas, para eso los agregados deben cumplir las características especificadas en las normas, como trabajabilidad y su resistencia.

Se concluye que la elaboración de pavimento rígido con vidrio molido reciclado en reemplazo parcial del agregado fino es una opción viable para las carreteras con un porcentaje

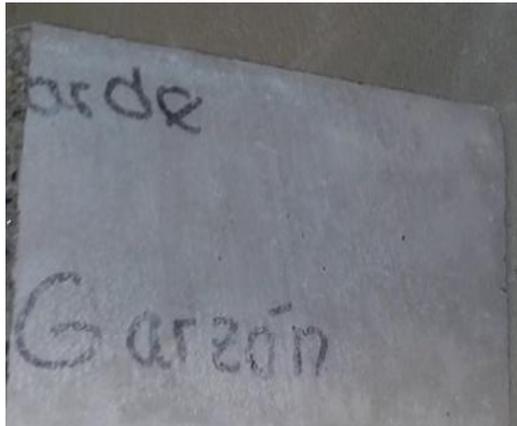


del 40 %



para tener mejor resistencia del pavimento rígido y su vida útil como en beneficio del medio ambiente, que reduce su contaminación y el uso de material no renovable en este caso la arena.

Al incrementar el porcentaje de vidrio molido queda una textura muy lisa capas de resbalar en ella, en la carretera de pavimento rígido en contacto con las ruedas de los vehículos y la lluvia puede ocurrir varios accidentes, por eso se sigue lo siguiente.

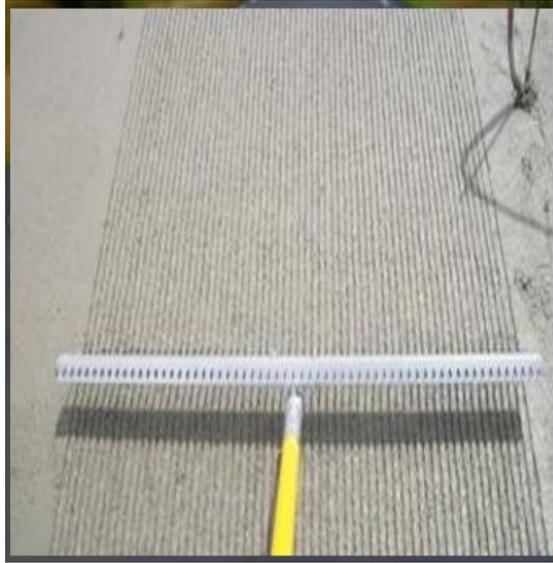


En la construcción de un pavimento



rígido, cuando se termina de vaciar lo primero que se hace es nivelado, después una micro texturizado longitudinal en el pavimentado se arrastra una tela de yute húmeda para evitar el deslizamiento de los vehículos.

Luego se hace un macro texturizado



transversal que consiste en rayar el pavimento en forma transversal para formar canales de drenaje que eliminen el problema de hidropelaje, es deseable que las ranuras se dispongan a separaciones variadas, para evitar un zumbido molesto al circular vehículos

Con todo esto se evitara que los vehículos resbalen cuando este mojado el pavimento.

Si nos basamos en el costo es más barato o económico el pavimento rígido convencional que el pavimento rígido con 39,70% de vidrio molido, en los cálculos de costos el hormigón convencional vale 2.014 Bs mientras que el pavimento rígido con él % óptimo de vidrio molido vale 2078 Bs. Con una diferencia de 64 Bs, no es mucho la diferencia con este % aumentaría la resistencia al pavimento rígido y cuidaremos más al medio ambiente

## 5.2 RECOMENDACIONES

Al momento de moler el vidrio usar protección siempre más que todo al aspirar el polvo del vidrio ya que es nocivo para la salud y también en el manipuleo de la mezcla de hormigón al incrementar vidrio molido usar guantes de protección por que las partículas de vidrio tienen filo.

En el momento del vaciado emplear áridos que se encuentren en condiciones de humedad igual a todos los materiales para garantizar sus resultados más precisos y ser comparados con cada %.

En el momento de llenar a los moldes ya sea probetas cilíndricas o vigas, se tiene que apisonar muy bien con la varilla en su respectiva capa, cuando se está varillando la 2da capa solo se varilla esa capa no se varilla la capa 2 y la 1 a la vez, se varilla la capa respectiva de igual manera al golpear con el combo de goma, así eliminar la mayor cantidad de aire del molde.

Dejar secar las 24 horas requeridas antes de ensayar la probeta al ensayo de compresión e igual la viga la ensaya a flexo – tracción, para obtener la resistencia requerida. Cuando se deja secar un periodo menor a las 24 horas la probeta esta húmeda y tiende a bajar su resistencia.

El curado de las probetas y vigas es muy importante se pone a curar las probetas y vigas pasado de un periodo de 24 hay que desmoldar, para esto se tiene que tomar muy en cuenta la temperatura del ambiente que este entre los 10 y 30 °C, este proceso es muy favorable al desarrollo de las propiedades del hormigón.

La utilización de un material proveniente de reciclaje favorecería a la disminución en la explotación de materias no renovables y por su puesto disminuye la contaminación al medio ambiente.

Secar los cilindros antes de ensayarlos, es factible hacerlo media hora descansado el cilindro sobre la una cara y media hora sobre la otra, así se impide que el agua proveniente del curado se concentre en una zona y provoque falla anticipada del cilindro.

El estudio ejecutado analiza la resistencia a compresión del hormigón al adicionar vidrio molido en reemplazo de la arena hasta en un 40 %, es recomendable continuar con estudios en el tema con el motivo de conocer la influencia que pueda tener en la resistencia la adición de porcentajes mayores.

En general es posible disponer de los materiales que constituyen el hormigón con vidrio molido (Arena, grava, cemento, vidrio molido y agua), el vidrio de botellas se puede conseguir en casas particulares que sin duda no tienen ninguna utilidad, también se encuentran botellas en las fábricas de sodas, vinos, cervezas y más aún en las discotecas o en cualquier fiesta que haya, además que son fáciles para trasladar de un lugar a otro y no dependen de una ubicación geográfica.

Evitar el fraguado falso que es el endurecimiento rápido de una pasta de hormigón sin desprendimiento apreciable de calor, la plasticidad se recupera continuando la mezcla de la pasta sin añadir agua.

Evitar el fraguado rápido que es el endurecimiento rápido de una pasta de hormigón generalmente con desarrollo de apreciable cantidad de calor, la rigidez de la pasta no se elimina ni su rigidez se recupera, continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adicción de agua.

Motivar a los estudiantes a hacer más investigaciones implementando el vidrio reciclado pudiendo ser en reemplazo parcial de la grava, cemento para cuidar el medio ambiente y disminuir la utilización de materiales no renovables, también se puede utilizar en distintas capas de las carreteras. También se podría reciclar las bolsas nylon, envases de plásticos y ver la manera de usar en la construcción, así cuidar el medio ambiente.