

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La construcción de carreteras de pavimentos rígidos de concreto ha tomado gran importancia en los últimos años en el mundo y en nuestro país; ganando aceptación debido a sus múltiples ventajas, como procesos constructivos, capacidad de carga, durabilidad de las obras.

La implementación de concreto en la construcción de carreteras es cada vez más necesaria. Esto ocasionó que durante los últimos años en laboratorios de diferentes países se realizase gran variedad de investigaciones, con el objeto de identificar la optimización de ciertas propiedades, como la resistencia a la flexión, estas investigaciones están basadas en análisis realizados en los diseños de mezclas utilizando diferentes especificaciones granulométricas que no son más que un proceso de optimización de agregados y así poder reducir la cantidad de cemento a utilizar y mejorar su calidad.

El presente trabajo trata de desarrollar un análisis comparativo de mezcla de concreto utilizando agregados de distintos lugares de origen.

En el desarrollo de este trabajo se ha recolectado un amplio rango de información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación relacionados con las metodologías que se usan en el diseño de mezclas nos servirán como antecedentes y como base para la realización del mismo; posteriormente se mencionan los objetivos que se pretenden cumplir así como también los alcances que tendrá este trabajo, luego se detalla la justificación, los motivos por los cuales es necesario hacer la evaluación y comparación de los resultados de módulos de rotura utilizando diferentes agregados en la dosificación.

También se evaluará que efecto tiene en los espesores de diseños, lo que se hará es utilizar la resistencia a flexión obtenido con los distintos agregados y ver qué efecto

tiene a la hora de diseñar un espesor de losa de concreto que es usado en los pavimentos rígidos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

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

El presente estudio pretende determinar un análisis comparativo de las características mecánicas de la mezcla con diferentes agregados, tomando en cuenta que la proyección mundial está orientada a utilizar técnicas que generan ventajas mecánicas a corto, mediano y largo plazo en la estructuras de concreto dentro de los pavimentos rígidos.

La utilización de éstas puede permitir actividades como la rápida apertura de carreteras, reducción en el contenido de cemento en la mezclas, mejores resistencias a la flexión, de esta manera se puede realizar procesos de optimización granulométricas, para ello es necesario investigar propiedades que nos permitan conocer su comportamiento en la región, así como determinar la resistencia a la flexión que es la propiedad relevante en el diseño de concreto, utilizado en pavimentos rígidos.

El desarrollo de esta investigación es muy importante ya que se quiere demostrar la variabilidad de los agregados que existe en nuestro medio en función a la resistencia de mezclas de concreto bajo la metodología de la norma ACI, llevará a cabo una evaluación comparativa de los resultados en función como afecta a la dimensión del espesor de la losa de hormigón del pavimento rígido, se pretende identificar que influencia tienen las características de los agregados en el diseño de mezclas de concreto para pavimentos rígidos, elaborando especímenes para obtener su resistencia. Los resultados obtenidos después de la elaboración de los especímenes serán analizados y comparados, entre los mismos tan entre agregados naturales, como

agregados triturados, para determinar cuál de estos presenta mejores resultados de resistencia a la compresión y a la flexión, se pretende demostrar cuál es más factible.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problema

La granulometría de los agregados es uno de los parámetros más importantes empleados para la dosificación del concreto (la mayoría de los métodos de dosificación presentan especificaciones sobre las granulometrías óptimas que deben tener los agregados), puesto que constituyen su esqueleto y tienen gran influencia sobre sus propiedades. Desde los comienzos de la tecnología del concreto, los investigadores han dedicado un tiempo preferencial al estudio de las características granulométricas, la forma y textura del agregado, han relacionado estas características directamente con la compacidad del agregado.

La literatura proporciona investigaciones acerca de la especificación granulométrica, en donde se plantea una granulometría óptima de los agregados; en la cual se sustenta que usando una curva granulométrica adecuada se puede mejorar la resistencia mecánica y otras características del concreto fresco y endurecido.

Por otro se plantea la necesidad de evaluar y comparar diferentes agregados y cómo afecta en la resistencia del hormigón, ya que no se cuenta con estudios e investigaciones que determinen cuál de éstas, proporciona mejores valores de resistencia a la flexión, al mismo tiempo la investigación trata confirmar las ventajas en cuanto a la trabajabilidad. Por lo tanto se pretende determinar cuál de los agregados es la más factible a utilizar en la elaboración de mezclas de concreto utilizados para la construcción de pavimentos rígidos.

1.3.1.2 Problema

¿Qué variabilidad existe entre los agregados, tanto en naturales y triturados que son usados en nuestro medio en la elaboración de mezcla de concreto utilizado para la construcción de pavimentos rígidos?

1.3.2 Objetivos De Investigación

1.3.2.1 Objetivo general

Evaluar y comparar la variabilidad de los agregados en la mezcla de concreto, utilizados en pavimentos rígidos. Para determinar que agregado se comporta mejor a la resistencia a compresión y flexión.

1.3.2.2 Objetivos específicos

- Fundamentar los conocimientos teóricos sobre la dosificación de mezclas de concreto utilizando agregados naturales y triturados.
- Realizar la caracterización de los agregados naturales y triturados de los diferentes lugares que serán estudiados para la investigación.
- Elaborar especímenes para realizar ensayos a la flexión. Para luego someterlo al dispositivo de ensayo a flexión del laboratorio.
- Analizar y comparar los resultados de diferentes ensayos a la Flexión obtenidos de los diferentes especímenes ensayados.
- Determinar la resistencia a la compresión de los especímenes (Método de ensayo estándar para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto) a la edad de 28 días.

1.3.3 Hipótesis

Realizando los ensayos de laboratorio aplicando diferentes agregados, en la elaboración del hormigón para pavimentos rígidos, una vez obtenidos los resultados de los ensayos podemos comparar entre ellos y evaluar la variabilidad de los agregados en el hormigón y ver cómo se comporta a la resistencia a compresión y flexión, así de

esa manera podemos tomar en cuenta que tipo de agregado elegir o usar a la hora de realizar un diseño de pavimento rígido.

1.3.4 Definición De Variables Independientes y Dependientes.

1.3.4.1 Variable Independiente

Mezclas de concreto utilizados en pavimentos rígidos con diferentes agregados.

Tabla 1: Operacionalización de variable independiente

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACION	OPERACIONALIZACION		
		DIMENSION	INDICADOR	VALOR DE ACCION Y TECNICAS
Mezcla de concreto utilizados en pavimentos rígidos aplicando varios agregados	Realizar hormigon para pavimentos rígidos aplicando los diferentes agregados	Cemento	Cemento IP 30	Cemento utilizado en nuestro medio según ABC
		Agregados	*Natural *Triturado	Resistencia en el hormigon para pavimento rígido

Fuente: Elaboración propia

1.3.4.2 Variable Dependiente

Módulo de rotura, resistencia a flexión y compresión.

Tabla 2: Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACION	OPERACIONALIZACION		
		DIMENSION	INDICADOR	VALOR DE ACCION Y TECNICAS
Modulo de ruptura, resistencia a flexion y compresion	Con la realizacion de los hormigones con diferentes agregados ,procedemos a realizar ensayos para determinar su resistencia y comparar en funcion al espesor de la losa de H°	Ensayo a flexion (vigas)	Modulo de ruptura, resistencia a flexion	Analisis de resultados obtenidos en el laboratorio
		Ensayo a compresion (cilindrios)	Modulo de ruptura, resistencia a compresion	Analisis de resultados obtenidos en el laboratorio

Fuente: Elaboración propia

1.4 DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1 Componentes

La unidad de estudio

- Resistencia en hormigón para pavimentos rígidos, aplicado diferentes agregados.

Los elementos que serán medidos son las siguientes:

- Módulo de rotura a flexión. (kg/cm^2)
- Módulo de rotura a compresión. (kg/cm^2)

Población

Hormigón para pavimentos rígidos

Figura 1: Componentes del hormigón

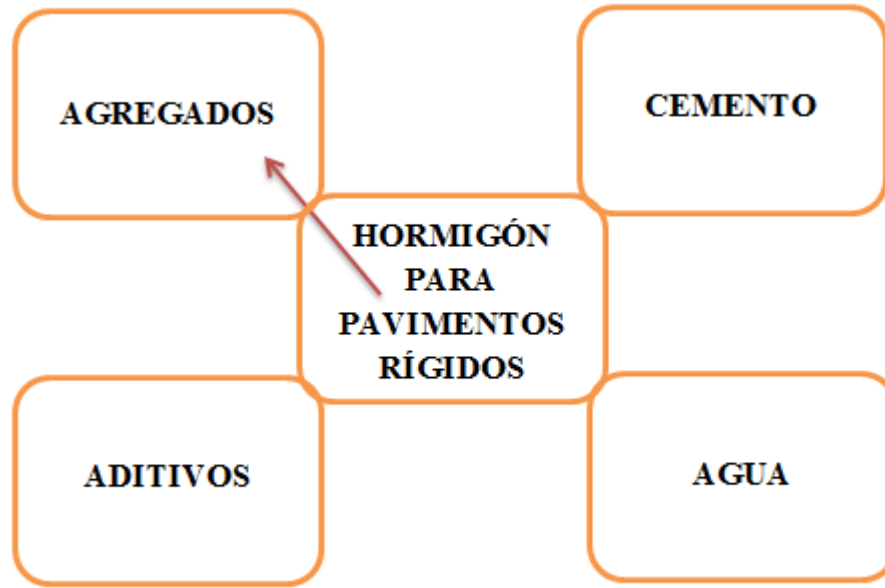


Fuente: Elaboración propia

Muestra

Selección de los principales elementos que serán estudiados en este trabajo de investigación.

Figura 2: Selección de los elementos a estudiar



Fuente: Elaboración propia

Muestreo

Para la elaboración de los especímenes de prueba se utilizará agregados naturales provenientes de las canteras de Santa Ana, Guadalquivir y Erquiz de acuerdo con una inspección visual y manual, se supuso que era el lugar ideal donde se encontraría material granular por las características de la zona. El cual posteriormente se comprobará con la realización de una clasificación del material para realizar nuestro propósito, y también se usará material triturado de Rancho, agregados de Charaja que está ubicada cerca de Chocloca y material triturado de San Mateo.

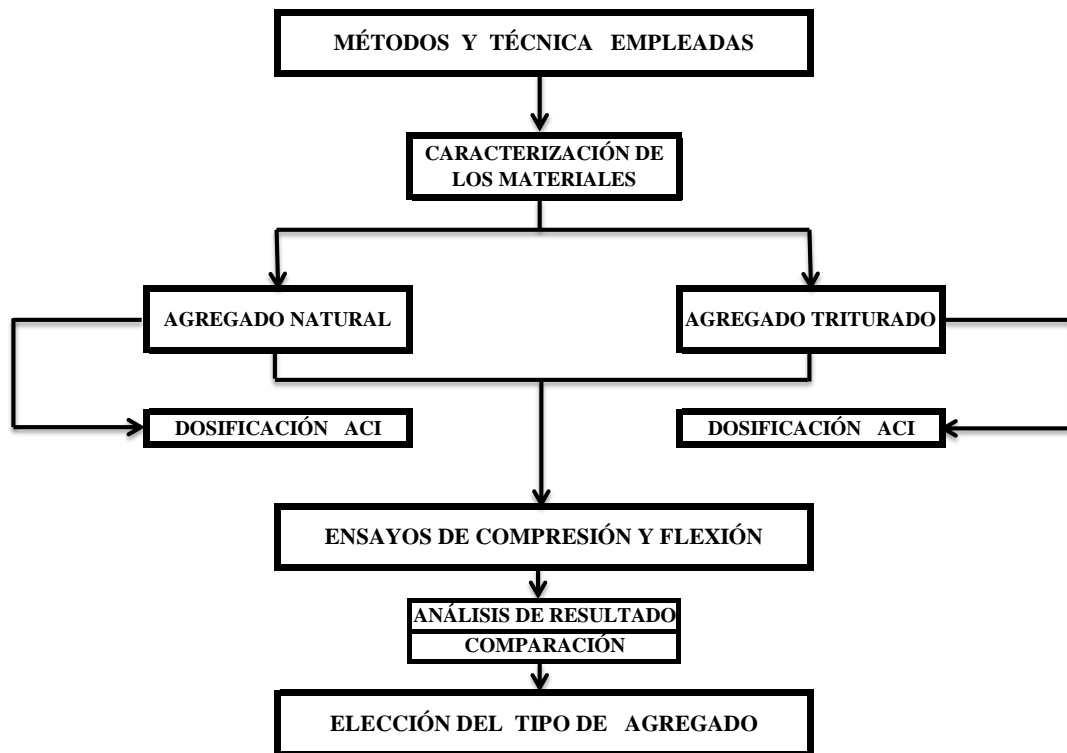
1.4.2 Procedimiento de Aplicación

El diseño de mezcla de concreto para pavimentos rígidos incluye muchas propiedades que se deben tomar en cuenta entre las cuales se puede mencionar la resistencia a la flexión, compresión, la trabajabilidad y la durabilidad de la mezcla de concreto.

La variabilidad de los agregados que son las que se estudian en esta investigación, comprenden el estudio de la resistencia a la flexión, además de tener en cuenta las propiedades de los agregados que se van a utilizar para la realización de las mezclas de concreto, para ellos es necesario realizar diferentes pruebas de laboratorio a los agregados; en donde cada una de éstas pruebas sustentadas según las especificaciones en la ASTM. Las metodologías comprenden las siguientes etapas:

- Selección de los agregados
- Estimación del agua
- Estimación del cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino

Figura 3: Flujograma de análisis e interpretación de la información



Fuente: Elaboración propia

1.4.3 Alcance de la investigación

Determinar la resistencia a flexión del hormigón para pavimentos rígidos, elaborado con agregados naturales y triturados, cumpliendo con todo lo establecido en norma. El tipo de cemento que se usara es IP 30 por el ser el de mayor uso en nuestro medio.

Dicha investigación está encaminada a determinar la resistencia a la flexión de viguetas y resistencia a compresión de cilindros a las edades de 28 días de curado.

La investigación se desarrollará siguiendo los procesos y lineamientos descritos según las normativas pertinentes a los diseños en estudio.

El diseño de mezcla se realizara para una resistencia a la flexión de 45 kg/ cm^2 y la resistencia a compresión 280 kg/ cm^2 , utilizando agregados naturales y triturados de distintos orígenes, se pretende realizar una base de datos que nos permita efectuar un análisis comparativo y su influencia en el concreto fresco y endurecido. Además se espera que con el módulo de rotura se pueda demostrar la variabilidad de los agregados en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos.

CAPÍTULO II

PAVIMENTOS RÍGIDOS Y SUS COMPONENTES

2.1 ANTECEDENTES

Desde los senderos hechos a fuerza de paso, hasta las grandes carreteras de concreto, el hombre ha modificado su entorno de acuerdo con las necesidades de su tiempo. Actualmente, en la era de las comunicaciones, la necesidad de construir caminos más fuertes y más seguros intensifica su mirada en el concreto, material de grandes posibilidades para el desarrollo de los caminos en el mundo contemporáneo.

Este tipo de caminos, junto con otros realizados con piedras, grava y arena, fueron diseñados para los bajos volúmenes y velocidades de los primeros vehículos, hasta que la industria automotriz, al ir creciendo a pasos agigantados, fue demandando mejores carreteras y caminos urbanos.

2.1.1 Historia de los pavimentos rígidos

Surgen en los Estados Unidos de Norteamérica como una necesidad en las carreteras para el paso de los vehículos los cuales tenían que hacer largas jornadas de camino de un lugar a otra dada las pésimas condiciones de las carreteras que generalmente eran para el uso de carretas tiradas de caballos. Es entonces cuando se aplica el concreto en las carreteras el cual tiene un gran auge a partir de 1905 en donde se utilizaba en la mayoría de las carreteras y caminos rurales de los Estados Unidos.

La cronología de la expansión de caminos de concreto en el siglo XX, es la siguiente:

- **1920 - 1939:** Uso de pavimentos de concreto, en el Sistema de carreteras de los Estados Unidos, difundiéndose en Europa.
- **1940 - 1950:** Inicios de la aviación comercial; se construyen aeropuertos que utilizan pistas de concreto.
- **1960 - 1970:** Uso intensivo de pavimentos de concreto en el sistema de carreteras y aeropuertos de Estados Unidos.
- **1990:** Era de la sobre carpeta de concreto hidráulico o whitetopping.

Hasta el año de 1920 no se contaba con una investigación seria de dichos pavimentos, por lo que el Departamento de Caminos Públicos y la Junta de investigación de Carreteras iniciaron una investigación sobre los mecanismos necesarios para la construcción de pavimentos de concreto. H. M. Westergaard en el año de 1926 amplió los análisis relacionados con los esfuerzos desarrollados en las losas de pavimentos rígidos. En su teoría consideraba a los pavimentos rígidos como un líquido denso el cual reaccionaba de una manera proporcional a la deformación de una losa en un punto dado. Este diseño es en la actualidad la base de los métodos de diseño de espesores de los pavimentos rígidos. En el año de 1950 se desarrollaron cartas de influencia para simplificar los cálculos de los pavimentos rígidos, hechas por Gerald Pickett y G.K.Ray.

Las fórmulas teóricas desarrolladas hasta la actualidad poseen algunas limitaciones, por lo que han surgido caminos de prueba, los cuales se hacen a escala para aplicar las fórmulas empíricas en situaciones más reales de pavimentos rígidos. Uno de los caminos de prueba más representativo es el camino de prueba de la AASHTO.

En el año de 1966 La Portland Cement Association (P.C.A) desarrollo un método de diseño basándose en los estudios teóricos de Westergaard y las cartas de influencia de Pickett y Ray.

2.1.2 Pavimento rígido

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

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

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

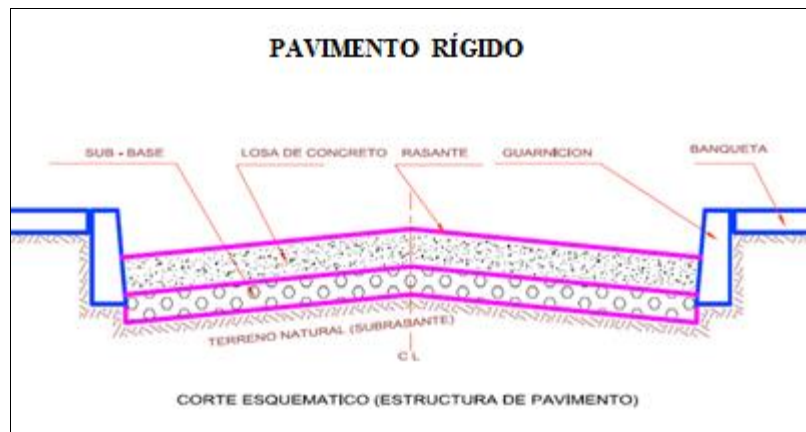
Figura 4: Absorción de esfuerzo que se ejerce sobre el pavimento



Fuente: Ingeniería de pavimentos Alfonso Montejo Fonseca

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

Figura 5: Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido



Fuente: Ingeniería de pavimentos Alfonso Montejo Fonseca

Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la base que muchas veces puede ser la sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto.

Como se ve en la figura el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las cargas sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa. Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- Velocidad en su construcción.
- Mayor vida útil con alto índice de servicio
- Mantenimiento mínimo
- No se deforma ni deteriora con el tiempo
- Requiere menor estructura de soporte

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

2.1.3 Estructura de pavimento rígido

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

Figura 6: Pavimento rígido sometido a una carga



Fuente: Ingeniería de carreteras vol. I Víctor Sánchez B.

2.1.4 Elementos que integran un pavimento rígido

2.1.4.1 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

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

2.1.4.2 Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Especificaciones técnicas para la subbase:

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, subbases granulares o bases granulares y estabilizadas:

Para la construcción de afirmados y sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras clasificados y aprobados por el Supervisor o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Los materiales para base granular sólo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva.

Para el traslado del material para conformar sub bases y bases al lugar de obra, se deberá humedecer adecuadamente los materiales y cubrirlos con una lona para evitar emisiones de material particulado, a fin de evitar que afecte a los trabajadores y poblaciones aledañas de males alérgicos, respiratorios y oculares.

Los trabajos de sub bases y bases consisten en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado o material granular sobre la subrasante terminada (ó sub base si existiera), de acuerdo con la presente especificación.

El material para sub bases y bases se colocará en capas de 10 cm a menos que la capa sea de menor espesor, procediéndose a la compactación utilizando planchas vibratorias, rodillos vibratorios o algún equipo que permita alcanzar la densidad especificada.

Subbase de afirmado o material granular:

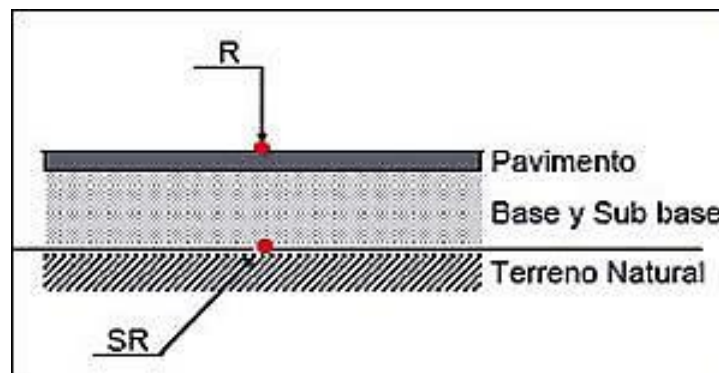
Se denomina sub base a la capa intermedia de la estructura de un pavimento ubicado entre la subrasante y la capa de base, sus funciones son económicas y estructurales con las siguientes características:

- Distribuir las cargas solicitantes, de manera que sobre las subrasantes actúan presiones compatibles con la calidad de ésta.
- Absorber las deformaciones en las subrasantes, debido a cambios volumétricos.
- Servir de dren para evacuar el agua que se infiltra desde arriba o impedir la ascensión capilar hacia la base.

2.1.4.3 Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Figura 7: Esquema de un pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

2.1.5 Tipos de pavimento rígido

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

- Pavimentos de concreto simple

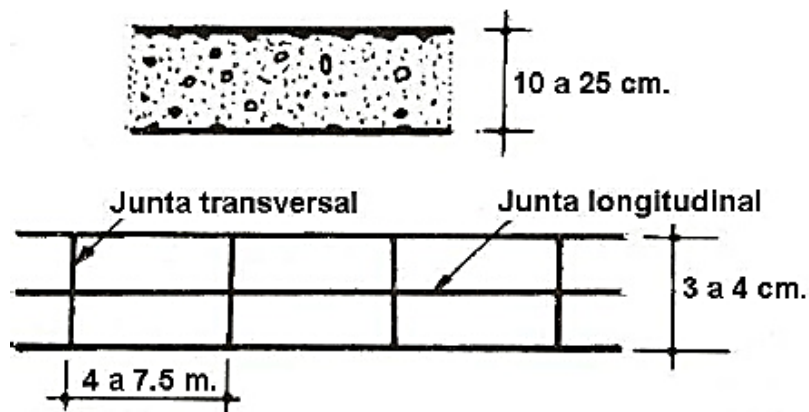
- Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.
- Pavimentos de concreto preesforzado.

A continuación se presentan las características de cada tipo de pavimento.

2.1.5.1 Pavimentos de concreto simple

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

Figura 8: Pavimento rígido simple



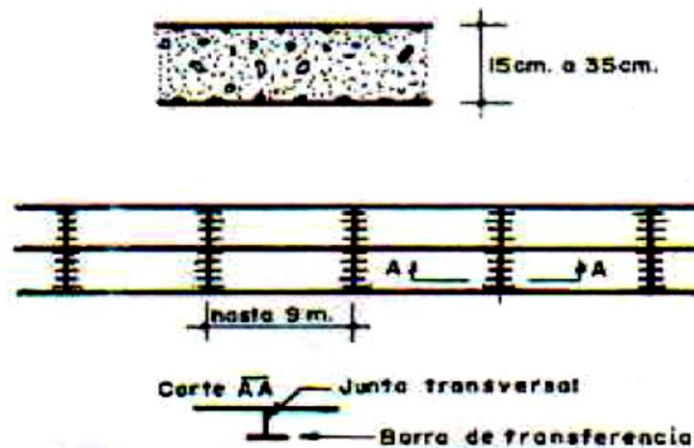
Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

Pavimentos de concreto con refuerzo en las juntas

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

Cuando la losa está sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas. La ventaja que ofrece el refuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada.

Figura 9: Pavimento rígido con refuerzo en las juntas

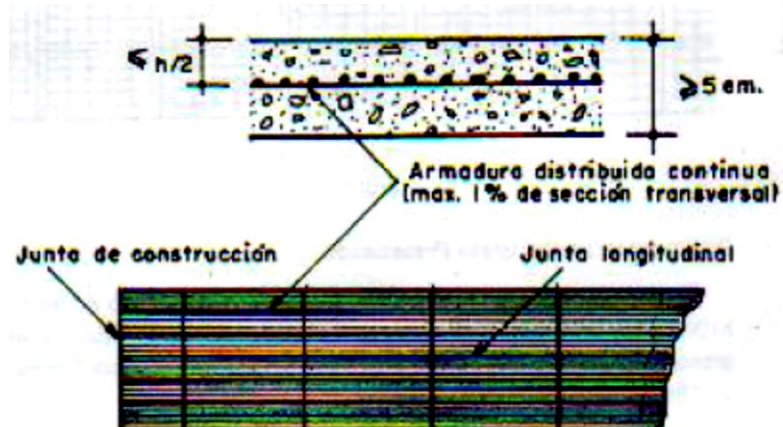


Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

2.1.5.2 Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo

En este tipo de pavimentos, también se requiere que existan las juntas, pero en este caso el refuerzo no está limitado a estas, sino que dicho refuerzo se coloca en forma longitudinal y transversal quedando una malla continua en el pavimento, con este tipo de armado se puede tener un control sobre las grietas que aparecen en el concreto, así como también tener un aumento en la capacidad de carga del pavimento, reduciéndose el espesor de la losa.

Figura 10: Pavimento Rígido con Refuerzo Continuo



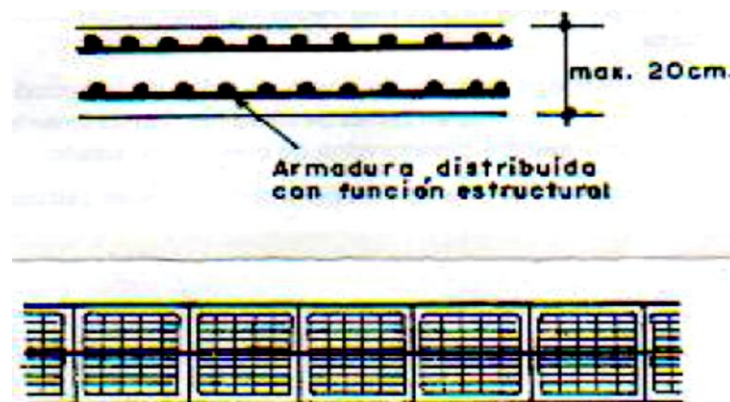
Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

2.1.5.3 Pavimentos de Concreto Preesforzado

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

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

Figura 11: Pavimento rígido preesforzado



Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

2.2 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO

2.2.1 Propiedades de pavimento rígido

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

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

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

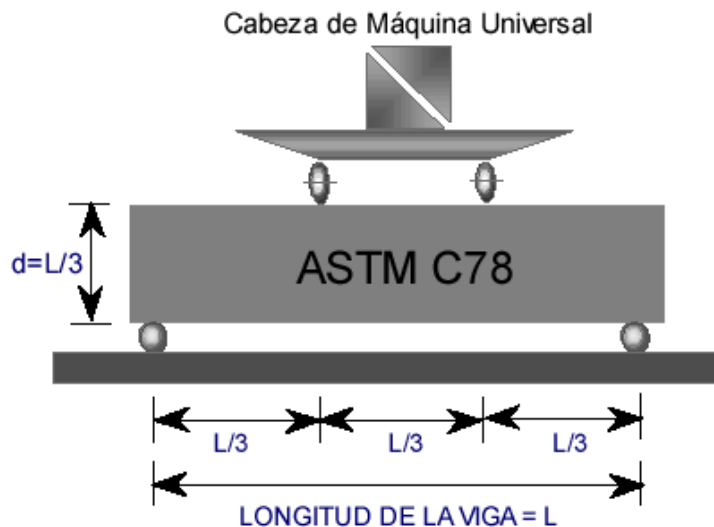
- Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) ó Módulo de Rotura (MR).

- Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c).
- Durabilidad.

2.2.1.1 Módulo de rotura (MR)

Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Rotura (MR) normalmente especificada a los 28 días. El módulo de rotura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aprox. 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño.

Figura 12: Medida del módulo de rotura ASTM C78



Fuente: Manual de construcción Cemex

Los valores recomendados para el Módulo de Rotura varían desde los 41 kg/cm² (583 psi) hasta los 50 kg/cm² (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener. En seguida se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

Tabla 3 : Recomendaciones para módulos de rotura

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Fuente: Manual de construcción Cemex

De la resistencia promedio a la flexión del concreto (módulo de rotura), el ACI especifica que este no debe ser menor de 45 kg. /cm² a los 28 días de edad.

Pero si las características previamente conocidas de los cementos y agregados disponibles, indican que es difícil obtener esta resistencia económicamente, puede especificarse una resistencia promedio a la flexión de 42 kg/cm² siempre y cuando el peralte de la losa se diseñe de acuerdo con esta resistencia.

Según el comité ACI, la resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días no será menor de 280 kg/cm² esta resistencia se toma como base para el diseño de la pasa junta y los tensores.

2.2.1.2 Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Está íntimamente relacionado con su Módulo de Rotura y se determina mediante la norma ASTM C 469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad a partir del Módulo de Rotura.

Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750 * MR$
- $E_c = 26,454 * MR^{0.77}$

Estas fórmulas aplican con unidades inglesas.

2.2.1.3 Durabilidad

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

En ningún caso el agua de mezclado excederá de 0.58 lts. por kg de cemento en una revoltura, el contenido de cemento no será menor de 280 kg- por metro cúbico de concreto.

2.2.2 Características de pavimento rígido

Son muchas las características del Pavimento Rígido donde algunas de ellas hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general son dos las propiedades principales de mayor envergadura. La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, ductilidad, trabajabilidad, asentamientos, entre otros. La segunda es el grado de endurecimiento o resistencia capaz de adquirir el concreto.

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

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

Alta Resistencia

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

Rigidez

La rigidez o inflexibilidad, está en función de la resistencia del concreto en forma de losas y del módulo de elasticidad del concreto (E). Esta característica de las losas, es la que da precisamente el nombre al tipo de pavimento, ya que, como se menciona más adelante, es la encargada de resistir la mayoría de los esfuerzos y deformaciones que se producen por efecto del tránsito y transmite niveles de carga sumamente bajos al terreno de apoyo, es decir a la sub - base, la subrasante y las terracerías.

Estabilidad de la superficie de rodamiento

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

Color

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

2.3 MEZCLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.3.1 Agregados

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

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

Los agregados, también conocidos como áridos o inertes, son fragmentos o granos, cuya finalidad es abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica. Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad de la mezcla.

Clasificación de los agregados

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

Su origen

De acuerdo con su origen, los agregados se clasifican en naturales y artificiales. Los agregados naturales proceden comúnmente de la desintegración o fragmentación de rocas, ocasionada ya sea por causas naturales o por medios mecánicos. La diversidad de tipos y clases de rocas es la responsable de las características, tipos y clases que clasifican y dan diferentes características a los agregados. Los agregados naturales se forman a partir de rocas de origen natural y se clasifican en:

- Rocas ígneas
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas

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

El método de fragmentación

Los agregados por el modo de fragmentación se clasifican en:

- Naturales.

- Manufacturados.
- Mixtos

Agregados naturales

Son agregados que proceden directamente de las rocas fragmentadas por fuerzas y acontecimientos de origen natural que dan como resultado una amplia diversidad de clases y tipos. La diversidad de clases y tipos de rocas da lugar a una amplia variedad de características en los agregados.

Agregados manufacturados

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

Agregados mixtos

Los agregados que se denominan mixtos son producto de la fragmentación inicial de la roca (origen natural, bloques, cantos rodados y gravas mayores) y una subsecuente fragmentación inducida por medios artificiales, es decir, el tamaño de la roca es reducido por medio de trituración mecánica. Este proceso se utiliza con el fin de aprovechar los fragmentos naturales de gran tamaño, los cuales, que de no ser triturados, no podrían utilizarse como agregados en el concreto, y también para la corrección de la curva granulométrica y el aprovechamiento integral del material disponible entre otros.

El tamaño de sus partículas.

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

2.3.1.1 Agregado Grueso

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

Grava

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 4: Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Grava

MALLA		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 ½"	37.50 mm	95 - 100
¾"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
Número 4	4.75 mm	0 - 5

Fuente: Mecánica de suelos braja m das

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5: Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en Grava

Sustancias perjudiciales	%
Partículas deleznable	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente: Mecánica de suelos braja m das

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad, el desgaste los ángeles 35% máximo. Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales,

en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados.

2.3.1.2 Agregado fino

Son aquellos que están formados por partículas de 0.02 a 1/4 de pulgada, y de 0.508 a 6.35 mm de diámetro.

Arena

Es producto de la desintegración natural o artificial de rocas y minerales. El tamaño de los gránulos están entre 1/16 pulg. (1.59 mm) hasta ¼ pulg (6.35 mm). El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y un milímetro (9.51mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 6: Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Arena

MALLA		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Número 4	4.75 mm	95 - 100
Número 8	2.36 mm	80 - 100
Número 16	1.18 mm	50 - 85
Número 30	600 mm	25 - 60
Número 50	300 mm	10 - 30
Número 100	150 mm	2 - 10
Número 200	75 mm	4 máximo

Fuente: Mecánica de suelos braja m das

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla excepto en los siguientes casos:

- Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables, en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar

siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

- El porcentaje de material que pasa la malla #200 está modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente tabla:

Tabla 7: Especificaciones – Materiales – Ajuste Granulométrico de la Arena

Límite líquido	Índice Plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0.075 (# 200), en porcentaje
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5 – 10	16.0
Hasta 25	10 – 15	6.0
Hasta 25	15 – 20	4.0
Hasta 25	20 – 25	1.0
25 – 35	Hasta 5	16.0
25 – 35	5 – 10	14.0
25 – 35	10 – 15	11.0
25 – 35	15 – 20	8.0
25 – 35	20 – 25	1.0
35 – 45	Hasta 5	15.0
35 – 45	5 – 10	9.0
35 – 45	10 – 15	6.0
35 – 45	15 – 20	2.0
35 – 45	20 – 25	1.0
45 – 55	Hasta 5	9.0
45 – 55	5 – 10	8.0
45 – 55	10 – 15	5.0
45 – 55	15 – 20	4.0
45 – 55	20 – 25	1.0

Fuente: Mecánica de suelos braja m das

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Tabla 8: Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales Arena

Sustancias perjudiciales	% Máximo
--------------------------	----------

Partículas deleznales	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente: Mecánica de suelos braja m das

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

2.3.2 Cemento

El cemento Portland es el producto obtenido de la pulverización de un Clinker que consiste, esencialmente, en silicatos hidráulicos de calcio obtenido por un calentamiento a fusión parcial de una mezcla homogénea de materiales que contienen principalmente: Cal (CaO). Sílice (SiO₂), con una pequeña porción de alúmina (Al₂O₃) y oxígeno férrico (Fe₂O₃).

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

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

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

El cemento se obtiene a partir de materias primas abundantes en la naturaleza. Su elaboración se realiza en plantas industriales de gran capacidad, en donde debe ser controlado estrictamente, lo que redundará en su calidad y en la confiabilidad que sobre él pueda tener el usuario.

2.3.2.1 Especificaciones del cemento portland

A continuación explicaremos brevemente algunas características de cada uno de ellos. En todos los casos se especifica el tipo de cemento de acuerdo a la nomenclatura establecida en las normas.

- **CPN - Cemento Portland Normal.-** Puede decirse que este cemento portland es apto para todo tipo de construcción que no requiere propiedades especiales por cuestiones de resistencia y/o durabilidad.
- **CPF - Cemento Portland con “filler” calcáreo.-** Al igual que el cemento portland normal, este material es utilizado en la construcción cuando el hormigón no presenta requerimientos especiales. La característica más valorada de este material es la buena trabajabilidad que le confiere a los morteros y hormigones cuando se trabajan en estado fresco.
Como contrapartida, al estar fabricado con adiciones no activas, la resistencia final de los hormigones elaborados con este material suele ser menor a la que se obtendría con otros tipos de cemento.
- **CPE - Cemento portland con escoria.-** Es un cemento con contenido de escoria “moderado” ya que presenta mayor contenido que el cemento portland normal y menor que el cemento de escoria de alto horno. Puede utilizarse para cualquier tipo de construcción y es especialmente recomendado cuando se tiene ataque moderado de sulfatos, posibilidad de utilización de agregados reactivos (previo ensayo) o se requieren buenas condiciones de impermeabilidad del hormigón.
- **CPC - Cemento Portland Compuesto.-** Es un cemento que combina los efectos benéficos del “filler” calcáreo de excelente trabajabilidad en estado fresco, con la mayor resistencia final y durabilidad de los cementos con adiciones activas. Esta combinación hace que se obtengan cementos de muy buenas características técnicas a costos razonables para el fabricante y el usuario del cemento.

- **CPP - Cemento Portland Puzzolánico.-** Estos cementos suelen ser más “lentos” en el desarrollo de resistencia que otros debido fundamentalmente que la puzolana necesita la formación del $(OH)_2 Ca$ (hidróxido de calcio) que se forma como subproducto de la hidratación del clinker para combinarse y formar compuestos similares a los del clinker hidratado. Cuando mayor sea el contenido de adición activa de este cemento, es de esperar que su hidratación sea más “lenta” y consecuentemente también lo sea el desarrollo de resistencia. Generalmente los hormigones elaborados con este tipo de cementos obtienen altas resistencias finales y puede apreciarse cuando se ensayan probetas luego de 56 o 90 días de edad. Si bien este cemento es apto para casi cualquier tipo de obra, cuando el material resulta de comprobada eficacia, es especialmente recomendado cuando se requieran propiedades especiales de durabilidad como ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, inhibición de la reacción álcali – agregado, impermeabilidad, etc.
- **CAH - Cemento de Alto Horno.-** Este cemento, que en la norma pierde la denominación “portland”, posee un alto contenido de una adición activa como lo es la escoria granulada de alto horno. Es muy utilizado en obras de ingeniería donde interesa fundamentalmente el bajo calor de hidratación y una buena resistencia a sulfatos en caso de una exposición a aguas o suelos sulfatados y/o a la reacción álcali – agregado en caso de utilizarse agregados potencialmente reactivos. Es de esperar un desarrollo de resistencia un tanto más “lento” que el cemento normal debido a que la escoria granulada se hidrata a partir del ambiente alcalino que le confiere la hidratación del clinker. No obstante la resistencia final de los hormigones elaborados a partir de este tipo de cemento suele ser mayor a la obtenida con CPN utilizado en dosis similares.
- **ARI - de Alta Resistencia Inicial.-** En general su utilización se limita a aquellos usos donde se necesita habilitar rápidamente la estructura o se utiliza tecnología de encofrado deslizante o se requiere una rápida reutilización de los encofrados. Es de esperar que los hormigones elaborados con este cemento obtengan resistencias a 7 días similares o mayores a las que se obtendrían

utilizando la misma dosificación con cualquier cemento portland de categoría CP40 a los 28 días de edad. Debido a que este cemento desarrolla alto calor de hidratación no se recomienda en elementos estructurales cuya menor dimensión lineal sea mayor a los 40 cm.

- **MRS - Moderadamente Resistente a los Sulfatos.-** Es un cemento al cual se le limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a valores menores o iguales al 8 % en masa, lo cual hace a este material apto para utilizarlo cuando existe un ataque moderado de sulfatos o será utilizado en hormigones de estructuras en contacto directo con agua de mar.
- **ARS - Altamente Resistente a los Sulfatos.-** Es el cemento conocido como ARS. La norma IRAM limita el contenido de AC3 (aluminato tricálcico) a un máximo de 4 % en masa y la suma de AC3 + FAC4 (Ferro aluminato tetracálcico) debe ser menor o igual a 22 %, calculados teóricamente de acuerdo a la composición química. Su utilización se limita para estructuras sometidas al ataque fuerte de sulfatos presentes en ciertas aguas y/o suelos de contacto.
- **BCH - de Bajo Calor de Hidratación.-** Generalmente este tipo de cementos se comercializa en combinación con cementos portland con adiciones activas como son la escoria granulada de alto horno y la puzolana. Se utiliza cuando interesa que el hormigón desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de hormigón o bases de grandes dimensiones. La norma especifica valores máximos de desarrollo de calor de hidratación de 270 kJ/kg (65 Cal/g) para 7 días y 310 kJ/kg (75 Cal/g) para 28 días de acuerdo al ensayo especificado en IRAM 1617 o 270 kJ/kg (65 Cal/g) a 5 días utilizando el ensayo especificado en la norma IRAM 1852 de acuerdo al tipo de cemento y/o el método de ensayo disponible.
- **RRAA - Resistente a la Reacción Álcali – Agregado.-** Existen en nuestro país algunas pocas fuentes de agregados que presentan potencialidad de reaccionar desfavorablemente con los álcalis del cemento en estructuras sometidas a condiciones de humedad en forma más o menos permanente. Si bien es recomendable utilizar agregados que no sean potencialmente reactivos para la

elaboración del hormigón, existen casos que esto resulta económicamente inviable y se recurre a cementos con bajos contenidos de álcalis o que posean alguna adición activa que demuestre su capacidad de inhibición o, al menos, “amortiguar” los efectos de la expansión de manera que la reacción no resulte deletérea.

- **B – Blanco.-** Es un cemento que cumple los requerimientos de los cementos CPN o CPF o CPC y tiene como requisitos adicionales la limitación de los contenidos de óxido férrico y magnesio que actúan sobre el color del material. También, se incorporó un requisito de blancura que resulta de fundamental importancia para el usuario de este tipo de cemento. Es un material que en nuestro país no está muy difundido debido a su alto costo y su utilización se restringe a hormigones ornamentales o “a la vista” y cierto tipo de mosaicos o baldosas. No hay que confundir con otros cementos blancos utilizados en la fabricación de ciertas pastinas o algunas baldosas que utilizan cementos con altos contenidos de adiciones activas y no activas que no cumplen los requisitos de resistencia establecidos por IRAM para el cemento portland blanco.

2.4 EFECTOS DE LOS CAMBIOS DE HUMEDAD

Cuando un hormigón endurecido se deja secar experimenta una contracción de volumen que luego se revierte al permitirle absorber agua. Si bien este comportamiento es conocido desde hace tiempo los efectos no se habían asociado claramente a sus consecuencias sobre los pavimentos. Mediciones de laboratorio hechas en probetas prismáticas, indican que al pasar de un estado seco a saturado el hormigón experimenta un cambio en sus dimensiones del orden de 0,3 mm por cada metro de longitud. Se ve también que la absorción de agua es relativamente rápida y lenta su expulsión; lo que refleja que el estado mecánico normal de tensiones nulas en el hormigón es el estado

saturado, y que al producirse el secamiento por evaporación lenta los capilares internos se van cerrando paulatinamente.

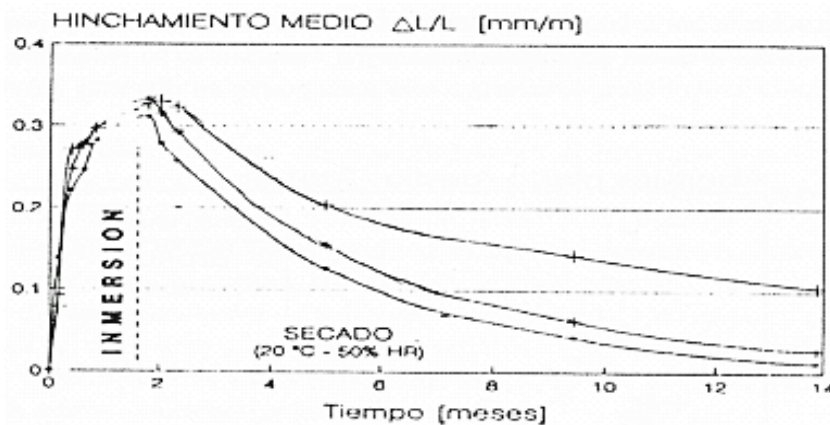
Al existir agua libre los capilares en tensión la succionan, incorporándola tan rápidamente como la viscosidad del agua lo permite. En el pavimento este efecto ha podido ser identificado a través del comportamiento de las aberturas de juntas.

Allí se ven dos líneas paralelas separadas por una variación de aberturas de aproximadamente 0,1 mm. por metro, medidos a nivel del plano medio de una losa de pavimento, que indica que a igual temperatura media en Verano - Otoño las juntas están más abiertas que en Invierno.

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

Así, en el pavimento un secamiento representativo del paso del invierno al otoño equivale a aumentar la temperatura de bloqueo en unos 10° C. Por ello, un pavimento hormigonado en tiempo frío compensa mejor los efectos adversos del secamiento por tener su sistema de juntas más cerradas desde su nacimiento.

Figura 13: Hinchamiento – Retracción por Inmersión Secado en Probetas Prismáticas



Fuente: Cemento Portland Características y recomendaciones. Ing. Edgardo A. B.

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

El efecto de este gradiente de humedad es una deformación de alabeo cóncavo, de ciclo anual, por el mayor acortamiento de las fibras superiores de las losas del pavimento. Este mismo comportamiento pudo también ser reproducido en laboratorio, imponiendo un gradiente a las probetas prismáticas, por la vía de sentadas sobre una base con agua.

En resumen, de todo lo visto hasta aquí se desprende que por falta de mejores cuidados en la construcción, muy fáciles de implementar, los pavimentos de hormigón suelen ser entregados al tránsito con algunos importantes hándicaps que afectan su capacidad estructural una vez puestos en servicio.

2.4.1 El Estado Plástico del Concreto

Un concreto es una mezcla compuesta por pasta y agregados, cuando está recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. La pasta está formada por agua, cemento y aire atrapado o incluido, y los agregados que forman el concreto son generalmente arena y grava. En términos generales, los requisitos que debe poseer un concreto en estado plástico son los siguientes:

- Consistencia: que permita compactar el concreto adecuadamente
- Cohesión: para ser colocado y compactado sin que presente segregación.

Durante el colado del concreto, muchas veces se presentan grietas cuando éste se encuentra en estado plástico, las cuales pueden ser evitadas conociendo las causas. La causa básica del agrietamiento es la restricción. Si todas las partes del concreto estuvieran libres para moverse cuando el concreto se expande o se contrae, no habría

agrietamientos ocasionados por cambio de volumen, dado que estos agrietamientos son producidos por el desarrollo de deformaciones diferenciales que inducen esfuerzos por tensión. Generalmente estas fisuras son de dos tipos: Fisuras por Asentamiento Plástico y Fisuras por Contracción Plástica.

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

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

El tamaño del agregado es un factor determinante en la cantidad de agua que se utilizará. Entre mayor es la cantidad de los agregados finos en la mezcla, aumentara la demanda del agua, esto significa evitar la mezcla con demasiada arena y preferir la mezcla con mayor cantidad de grava, siempre y cuando se obtenga una mezcla que no presente problemas en la colocación, consolidación y acabado del mismo. Otros factores que intervienen en la cantidad de agua a utilizar son el revenimiento, la relación agua-cemento, la forma del agregado, el contenido de aire y las condiciones ambientales.

2.5 PROCESOS CONSTRUCTIVOS

A continuación se tratarán en forma breve los procesos de construcción de la Sub-Base y la Losa de Concreto.

2.5.1 Trabajos preliminares

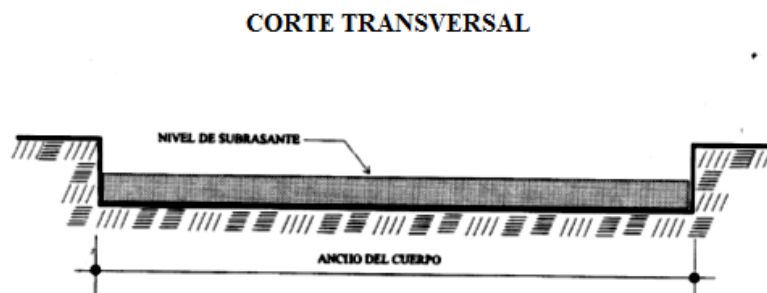
En los trabajos previos a la formación de la capa subrasante de cualquier obra vial, se realiza la limpieza, despalde, trazo y nivelación; en nuestro proyecto particular se nos facilita bastante llevar a cabo los conceptos de limpieza, despalde, trazo y nivelación; Con moto conformadora se retira la basura y material orgánico en toda la longitud y ancho de la avenida, después la brigada de topografía fija, los bancos de nivel y hace

el trazo horizontal mediante la colocación de trompos o estacas de madera que determina el eje del proyecto.

Para la construcción de la capa subrasante se fijan niveles en el tramo a construir en cada jornada de trabajo que normalmente es de 100 m. de longitud por 12.00 m. de ancho de cada cuerpo del bulevar; generando un área aproximada de 1,200 m².

Posteriormente se hace el cajón en las terracerías con motoconformadora cortando, rellenando o compensando según sea el caso, hasta llegar al nivel de desplante de la subrasante como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 14: Esquema del Corte Transversal de la Subrasante



Fuente: Manual de Procesos Constructivos para Pavimentos Ing. Carlos Mauricio Bonilla Solíz.

Seguidamente la motoconformadora acamellona el material correspondiente al espesor de la capa subrasante, extendiéndolo para después aplicarle la humedad mediante riegos de agua con pipa y de ésta manera obtener una humedad cercana a la óptima, con un $\pm 1\%$ por indicaciones dadas por el laboratorio de campo. Teniendo siempre presente que cuando se compactan materiales susceptibles a la expansión, se deberá incrementar la humedad de 1 a 2% de la humedad óptima.

Cuando se ha concluido ésta operación la motoconformadora homogeniza y extiende el material; una vez terminado, se procede a dar la compactación mediante el rodillo pata de cabra hasta alcanzar la compactación de proyecto, siendo ésta del 95% de su pesó volumétrico seco máximo, con apoyo en las indicaciones del personal de laboratorio de campo.

Figura 15: Compactación de la Subrasante con Rodillo Pata de cabra



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

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

2.5.2 Subbase

Tipo granular: Es muy importante que se le dé a la subbase, una excelente conformación y acabado, porque de esto dependerá el funcionamiento de la losa de concreto y sobre todo la economía en su construcción.

La sub-base debe llevar una pendiente (bombeo) según la especificada en el proyecto de que se trate, la cual mantendrá la losa para conservar un espesor constante.

Las irregularidades que tenga la sub-base no deben ser mayores a 1 cm., la compactación se logra empleando el agua óptima y medios mecánicos para obtener cuando menos el 95% de compactación.

Tratada con cemento: La sub-base tratada con cemento, está formada por un suelo estabilizado con cemento Portland, comúnmente llamado: "suelo cemento".

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

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

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

- a) Pulverización del suelo.
- b) Dosificación y mezclado del cemento.
- c) Dosificación y mezclado del agua.
- d) Tendido y conformación de la mezcla.
- e) Compactación.
- f) Acabados superficiales.
- g) Curado.

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

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

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

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

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

Figura 16: Acabado y Compactado de la Capa



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.5.3 Losa de concreto

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

El principal cuidado que debe tenerse al ejecutar la colocación es evitar la segregación de la mezcla, la magnitud de éste efecto depende del método de manejo y colado del concreto, teniéndose que si una mezcla cae libremente de una altura mayor de 1 m pasa por canalones con pendiente y cambio de dirección fuertes o experimenta un continuo traspaleo, se tendrá un importante efecto de segregación en la mezcla. Para que se efectúe una correcta colocación del concreto, la descarga a la superficie deberá ser lo

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

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

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

Primeramente se suministra el concreto para proceder con su colocación, una vez que la supervisión lo haya autorizado, verificando que se den las condiciones adecuadas como cimbra correctamente instalada, que el equipo de trabajo tanto mecánico como humano esté en óptimas condiciones de funcionamiento; los camiones revolvedora depositan el concreto sobre la superficie de la sub-base, inmediatamente la masa de concreto es extendida quedando confinada lateralmente por las guarniciones y la cimbra, cuando el colado haya avanzado un tramo determinado, se inicia el compactado mediante el vibrado con la regla vibratoria, conformando simultáneamente el plano de la superficie del pavimento, dicha regla funciona a base de aire comprimido. El avance de la regla se recomienda por experiencia de tal forma que produzca una película lechosa incipiente en la superficie que garantice darle un acabado adecuado.

Concluida la operación de la regla vibratoria, se procede con la operación del acabado de la losa, tomando como apoyo las guarniciones y cimbras laterales, el personal especializado provisto de flotas con mango largo le dan el acabado a la superficie desde

los extremos que al enrasar se provoca intencionalmente la flotación de una cierta cantidad de mortero de la propia mezcla, para contar con suficiente material para el acabado final de la losa.

Figura 17: Operación de la Regla



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

Cuando se le ha dado el acabado con flotas, se requiere una serie de operaciones adicionales para conseguir los niveles de funcionalidad para los que se diseñó el pavimento, Posteriormente otra cuadrilla de operarios provistos de paletas con mangos largos llamados aviones, utilizan un puente o pasarela rodante sobre la que actúan para no pisar el concreto fresco dándole el plano superficial, ésta operación le da a la superficie fresca del concreto un retoque final para quitar posibles imperfecciones localizadas en el pavimento.

La operación siguiente consiste en dar una textura superficial más adecuada al pavimento con objeto de que se permita una mejor adherencia a los vehículos a dicha superficie. Esta textura puede ser longitudinal o transversal, la textura fue longitudinal por el argumento de que éste tipo de textura produce menos ruido al paso de las llantas de los vehículos, da una mejor calidad a la rodadura. El procedimiento de texturizado final se ejecuta sobre el mismo puente descrito anteriormente y mediante cepillos con

cerdas de plástico y mangos largos, se realiza la operación para darle a la superficie del concreto fresco la textura deseada, conforme se muestra en la siguiente figura.

Figura 18: Operación de la Texturizado Final Mediante Cepillos



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.5.4 Curado del concreto

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

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

Es difícil darle al concreto un "curado óptimo " en el campo para que éste desarrolle todas sus características con una mayor eficiencia; pero aun así se obtienen buenos resultados con procedimientos como:

Por medio de Membranas.

Cuando se termina de darle los acabados necesarios al concreto se le aplica una membrana o pintura en la superficie del concreto para impermeabilizarla y evitar pérdidas por evaporación o desecamiento, y darle un curado conveniente a la masa de concreto. De preferencia la pintura debe ser de color claro con el fin de reflejar los rayos del sol y evitar empojamientos.

Por Aspersión.

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

Para obras muy grandes este procedimiento no es muy recomendable, ya que seria necesario contar con mucho material para cubrir la superficie; en obras pequeñas es muy bueno este procedimiento. De estos dos métodos es el primero el que más se aplica, porque además de que su aplicación es fácil, no necesita de muchos cuidados después de su colocación.

La dotación de estos productos, es a base de resinas, debe ser tal que no permita la evaporación del agua, las dosificaciones normales son del orden de 200 a 300 gr/m². Es importante para poder controlar visualmente la distribución del mismo y asegurarse de la uniformidad de la aplicación, que el líquido sea coloreado, por lo que normalmente lleva un pigmento blanco, llamado dióxido de titanio, que además de ampliar el tiempo de corte de las juntas en épocas calurosas (de 2 a 3 horas más), permite comprobar si la superficie está curada. La aplicación del producto se realiza por medio de aspersores, que permitan curar toda la superficie extendida, caras verticales, así como los cortes efectuados durante la construcción de las juntas.

Figura 19: Operación del Curado del Pavimento Rígido



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.5.5 Juntas

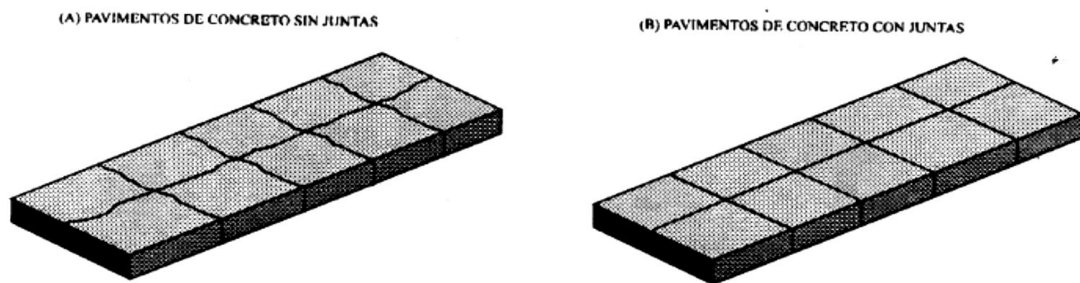
La última etapa en el proceso constructivo del pavimento de concreto es la construcción de juntas, éste aspecto debe tomarse con sumo cuidado y no escatimar en gasto de equipo y personal calificado, para obtener los resultados deseados y un comportamiento adecuado del pavimento al paso de los vehículos. Si no se toma en cuenta o se le da poca importancia a éste detalle, entonces el comportamiento del pavimento será inadecuado reflejándose en fallas estructurales y un alza en los costos de mantenimiento así como las quejas de los usuarios.

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

- Comodidad al paso de los vehículos
- Durabilidad del refuerzo y de los materiales de sello, para hacerlos compatibles con la losa de concreto.
- Control de agrietamientos o fisuras.
- Estética a la superficie del pavimento.

La construcción de las juntas se lleva a cabo mediante equipo especializado, consistente en una cortadora mecánica portátil, llamada "soft-cut", provista con disco de diamante. Estas juntas son necesarias para que las fisuras, que naturalmente se producen en el concreto, tanto por contracción del concreto, por el efecto de fricción entre la losa y la sub-base, así como por el efecto combinado de las cargas del tráfico y los gradientes térmicos, aparezcan rectilíneas en la superficie del pavimento de concreto dándole una apariencia de estética y no fisuras irregulares, como ocurriría si se dejase al pavimento usar espontáneamente, para ilustrar lo antes descrito se muestra la siguiente figura:

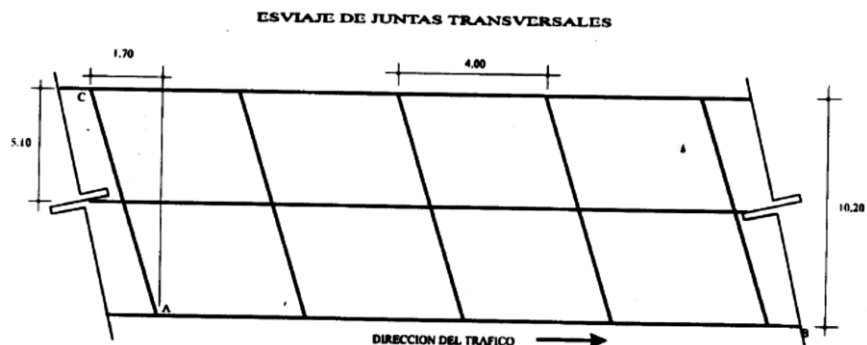
Figura 20: Procedimiento de Construcción de juntas



Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruíz

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

Figura 21: Esquema de Esviaje de Juntas Transversales



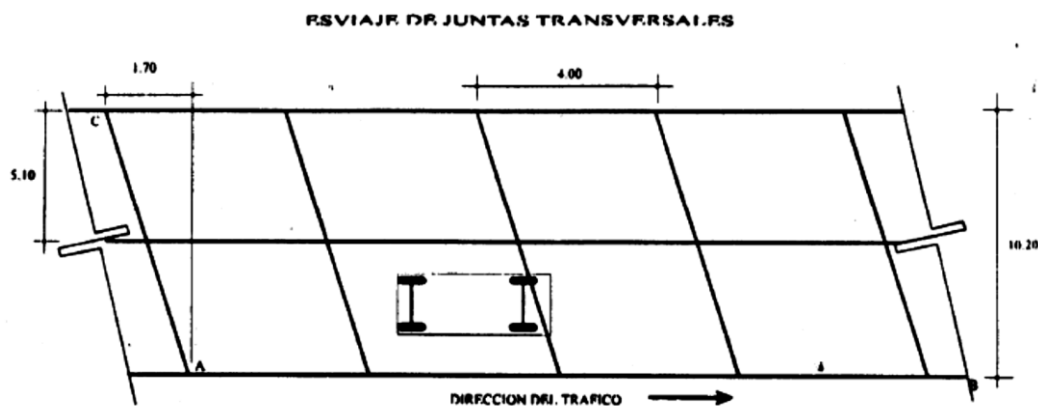
Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

El diseño de tableros para las juntas es el que se muestra en la siguiente figura:

Como puede observarse en la figura anterior, las juntas transversales se diseñan de manera que formen un ángulo obtuso con respecto a la orilla exterior del pavimento (línea AB), a ésta inclinación de juntas se le llama esviaje, y por especificación éste debe ser de $1/6$ del ancho de calzada de la vialidad y se construye con la siguiente finalidad:

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

Figura 22: Esquema de Cargas de Vehículos Sobre una Junta



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

Una vez terminado el trazo del tablero de las juntas, se procede con la operación del serrotado de las juntas transversales y longitudinales. Por medio de éste se provocan

las fisuras en la secuencia deseada, compatible con las características del concreto y de preferencia deben coincidir con las juntas de las guarniciones. Primeramente se realiza un corte inicial mediante el “soft-cut” cuyo disco produce una abertura de ¼" aproximadamente, en tanto que la profundidad especificada es de 1", posteriormente se procede al serrotado definitivo mediante un disco de 3/8" de espesor, para finalmente concluir con el sellado correspondiente.

Una vez limpia y seca la junta, se procederá a colocar una tirilla de respaldo que efectivamente impida permear al sellador al fondo de la ranura de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de poliuretano expandido. Posteriormente se procede a verter el sellador auto nivelante, cuidando que el nivel del sellador quede de 3 a 6 mm, abajo del nivel del perfil de la losa.

Figura 23: Operación Sello de Juntas



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.5.6 Mantenimiento

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

La supervisión juega un papel muy Importante, ya que un pavimento puede tener un diserto excelente, pero si la construcción no se lleva a cabo en forma adecuada, pues es natural que el pavimento no responda a las necesidades para las cuales fue proyectado.

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

CAPÍTULO III

INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CANTERAS

Se escogieron estas canteras porque pueden ser considerados como algunos de los más explotados y recomendados en nuestro medio ya que abastecen a la comunidad, zonas aledañas y la ciudad de Tarija y por lo tanto, el presente estudio del trabajo, vendría a conformar un importante aporte para entender mejor y saber más acerca las propiedades que tienen dichos materiales. Los agregados grueso y fino extraídos de Santa Ana, Guadalquivir y Erquiz, (agregado natural) están dentro de los parámetros

granulométricos es por esto que se tomó en cuenta estos tres agregados, y como son de lugares distintos se podrá comparar su resistencia con respecto a los (agregados triturados) de procedencia de la zona del Rancho, Charaja y San Mateo.

3.1.1 Ubicación de la cantera de Santa Ana.

Los materiales de la cantera “Santa Ana” provienen de canto rodado del río Santa Ana, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena deben ser separados por mallas convencionales. La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa en la comunidad de Santa Ana aproximadamente a 9 km. de la ciudad de Tarija sobre la carretera hacia el chaco la referencias S 21°33'42.79"y O 64°35'0.5" y elevación En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción de los agregados.

Fotografía 1: Área de extracción de agregados "Santa Ana"



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Ubicación de la cantera de Guadalquivir.

Los materiales de la cantera “Guadalquivir” provienen de canto rodado del río Guadalquivir, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena deben ser separadas por mallas convencionales. La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa a orillas del río Guadalquivir de la ciudad de Tarija a lado del barrio San Blas referencias S 21°34′01.74”y O 64°42′32.68” En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción de los agregados.

Fotografía 2: Área de extracción de agregados “Guadalquivir”



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Ubicación de la cantera de Erquiz

Los materiales de la cantera “Erquiz” provienen de canto rodado del río Erquiz, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena deben ser separadas por mallas convencionales. La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa en la comunidad de Erquiz aproximadamente a 8 km. de la ciudad de Tarija sobre la carretera hacia el chaco la referencias S 21°28′12.88”y O 64°48′41.80” En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción de los agregados.

Fotografía 3: Área de extracción de agregados “Erquiz”



Fuente: Elaboración propia

También se debe mencionar que se utilizó agregado triturado de procedencia del Rancho, Charaja y San Mateo, a continuación mostraremos imágenes satelitales de los lugares donde obtuvo el material triturado

3.1.4 Ubicación de la cantera de material triturado del Rancho

Los materiales de la cantera “rancho” provienen de canto rodado de los ríos cercanos, por lo que estos son triturados para su comercialización como grava, gravilla o arena. La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa en la comunidad del rancho aproximadamente a 7 km. de la ciudad de Tarija sobre la carretera hacia la provincia Méndez referencias S 21°26'18.91"y O 64°44'23.58" En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción de los agregados.

Fotografía 4: Área de extracción de agregados “Rancho”



Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Ubicación de la cantera de material triturado de Charaja

Los materiales de la cantera “Charaja” provienen de canto rodado de los ríos cercanos a chocloca, por lo que estos son triturados para su comercialización como grava, gravilla o arena. Referencias S 21°45′11.79”y O 64°43′40.42” En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción.

Fotografía 5: Área de extracción de agregados “Charaja”



Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Ubicación de la cantera de material triturado de San Mateo

Los materiales de la cantera “San Mateo” provienen de canto rodado de los ríos cercanos a San Mateo, por lo que estos son triturados para su comercialización como grava, gravilla o arena. Referencias S 21°27'56.72"y O 64°44'34.46" En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir el lugar de extracción.

Fotografía 6: Área de extracción de agregados “San Mateo”



Fuente: Elaboración propia

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA MEZCLA DE HORMIGON

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA

El agregado grueso o grava, estará formado por canto rodado triturado; deberá ser muy limpia. Sin la presencia de limo recubriendo su superficie y/o que contenga material pétreo descompuesto. Las partículas individuales de grava serán sólidas y resistentes de un peso específico igual o mayor a 2.600 Kg/m³, evitando el uso de formas laminares.

El tamaño de la grava deberá tener una buena graduación desde el tamaño máximo especificado, hasta el tamiz N° 4 donde deberá quedar retenido el 100%.

Tabla 9: Especificaciones del Agregado Grueso

Tamiz N°	% que pasa Mínimo	% que pasa Máximo
2"	100	100
1½"	95	100
1"	-	-
¾"	35	70
½"	-	-
⅜"	10	30
N° 4	0	5

Fuente: Norma ASTM

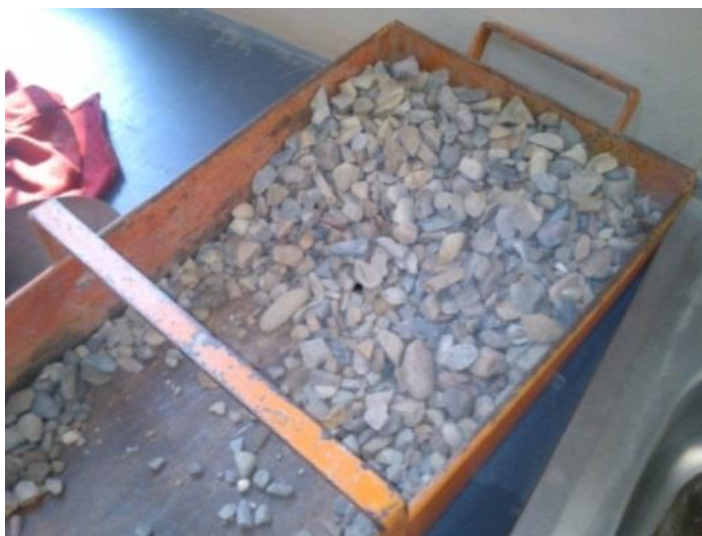
3.2.1 Granulometría de la grava

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

Desarrollo de la práctica

La muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Fotografía 7: Cuarteador de Grava



Fuente: Elaboración propia

Se usa los tamices para disponer la parte final de material son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4. Nuestra muestra fue de 5000 gr. que tamizamos de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.

Fotografía 8: Juego de tamices



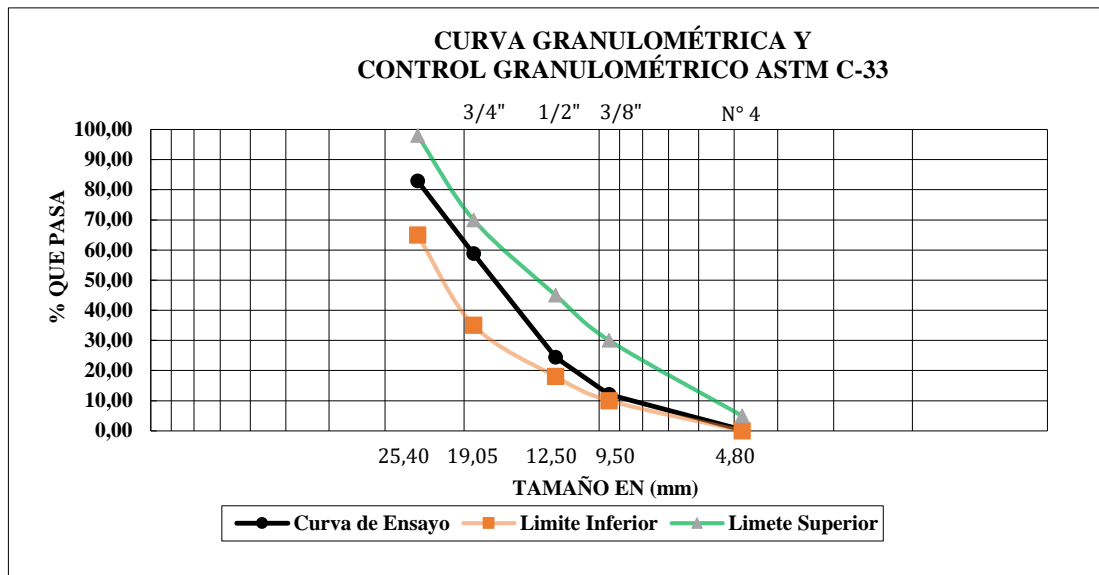
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Granulometría procedencia "Santa Ana"

GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO

Proyecto: Evaluación de la variabilidad de los agregados en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos	
Procedencia: Santa Ana (Natural)	Fecha: Mayo de 2016
Universitario: Osvaldo Cayani Mamani	

Peso Total (gr.) =		5000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM	
			(gr)	(%)			
2"	50,8	0	0	0	100,00	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	95	100
1"	25,40	852,45	852,45	17,05	82,95	-	-
3/4"	19,05	1207,84	2060,29	41,21	58,79	35	70
1/2"	12,50	1720,33	3780,62	75,61	24,39	-	-
3/8"	9,50	615,71	4396,33	87,93	12,07	10	30
Nº4	4,80	585,62	4981,95	99,64	0,36	0	5
BASE	0	18,05	5000,00	100,00	0,00	-	-
SUMA =		5000,00					
PÉRDIDAS =		0,0					
MF =		6,04					
				TAMAÑO MÁXIMO =	1 1/2"		



HUMEDAD	
Dato	gr.
Peso Muestra Húmeda	5300,00
Peso Muestra seca	5238,59
Peso Agua	61,41
% de Humedad	1,17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Variabilidad de la granulometría del agregado Grueso

	Variabilidad de La Granulometría del Agregado Grueso					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Tamaño Max.	1 1/2 "	1 1/2 "	1 1/2 "	1"	1"	1"
T.M. Nominal	1"	1"	1"	3/4"	3/4"	3/4"
Módulo de Finura	6,04	6,24	6,09	5,25	5,43	6,06
(%) De Humedad	1,17	1,44	1,19	0,96	1,86	1,63

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Peso específico de la grava

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Desarrollo de la práctica

Se lava el material con el fin de remover el polvo o cualquier impureza luego se sumerge en agua la muestra por un periodo de 24 horas.

Fotografía 9: Agregado grueso sumergido



Fuente: Elaboración propia

Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, luego se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturada y nuevamente volvemos a sumergir la muestra después de ser pesada y determinar el peso de la muestra así sumergida, se seca la muestra en el horno a temperatura constante (105°) luego se dela enfriar y se pesa.

Fotografía 10: Secado de la Grava



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 11: muestra sumergida



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Peso Específico de la Grava – Santa Ana

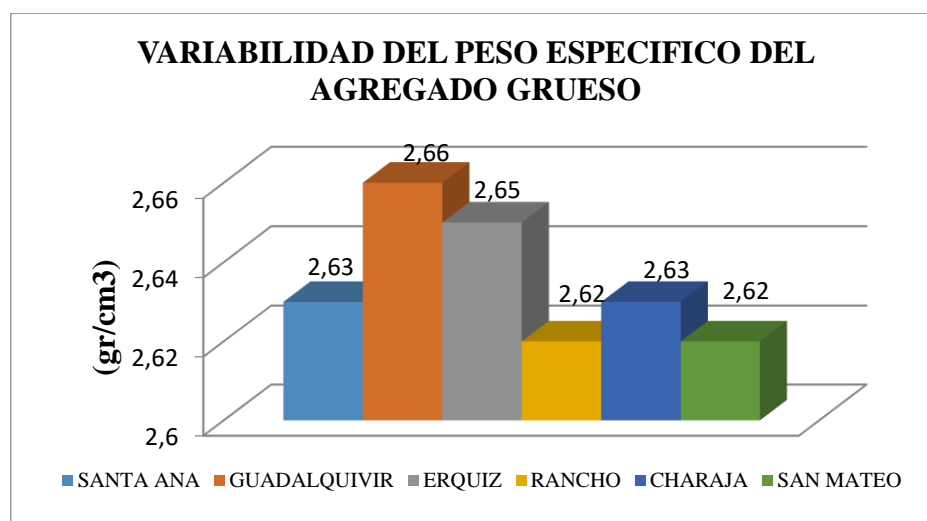
MUES- TRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFIC O A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFIC O SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFIC O APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSOR- CIÓN
1	4942,10	5000,00	3074,00	2,57	2,60	2,65	1,17
2	4950,20	5000,00	3068,00	2,56	2,59	2,63	1,01
3	4974,05	5000,00	3079,00	2,59	2,60	2,62	0,52
PROMEDIO				2,57	2,60	2,63	0,90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Variabilidad del peso específico del agregado grueso

	Variabilidad del Peso Específico del Agregado Grueso					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Peso Especifico Aparente (gr/cm ³)	2,63	2,66	2,65	2,62	2,63	2,62
(%) De Absorción	0,9	1,09	1,38	1,56	1,49	1,52

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1: Variabilidad según el parámetro Peso Específico del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Peso unitario de la grava

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente. Los moldes con los que se trabajara, deben estar calibrados con exactitud, el volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura 16,7 °C.

Desarrollo de la práctica

Tomamos una cantidad apropiada de agregado grueso (grava) la cual fue obtenida mediante cuarteo, luego tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.

Fotografía 12: Molde Cilíndrico de 10 Lts. de volumen



Fuente: Elaboración propia

Realizamos el ensayo de agregado grueso sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del

molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena y llevamos la muestra con el molde después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando esta compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.

Fotografía 13: Molde cilíndrico con muestra compactada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Peso Unitario Suelto de la Grava – Santa Ana

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	5647,80	10000,00	20625,15	14977,35	1,498
2	5647,80	10000,00	20605,05	14957,25	1,496
3	5647,80	10000,00	20595,75	14947,95	1,495
PROMEDIO					1,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Peso Unitario Compactado de la Grava – Santa Ana

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm ³)
1	5647,80	10000,00	22250,45	16602,65	1,660
2	5647,80	10000,00	22195,55	16547,75	1,655
3	5647,80	10000,00	22200,05	16552,25	1,655
PROMEDIO					1,66

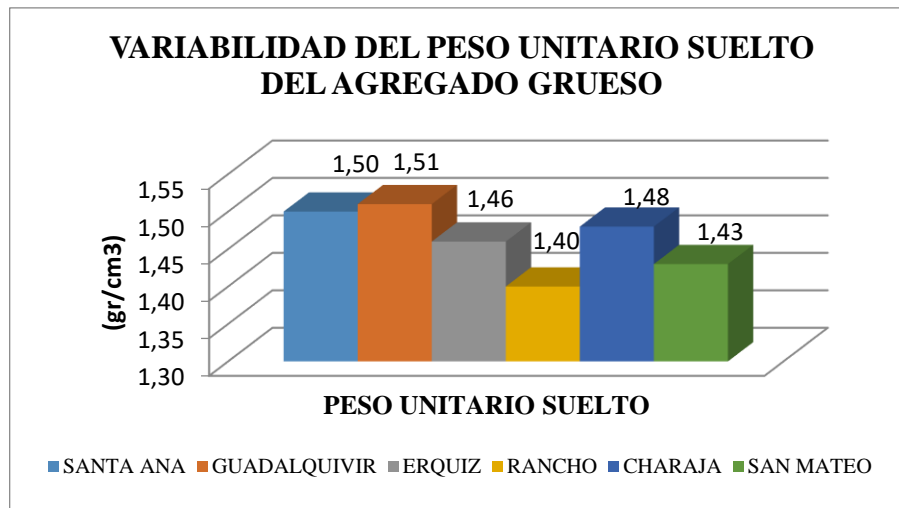
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Variabilidad del peso unitario del agregado grueso

	Variabilidad del Peso Unitario del Agregado Grueso					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquíz	Rancho	Charaja	San Mateo
Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	1,50	1,51	1,46	1,40	1,48	1,43
Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)	1,66	1,67	1,68	1,67	1,66	1,68

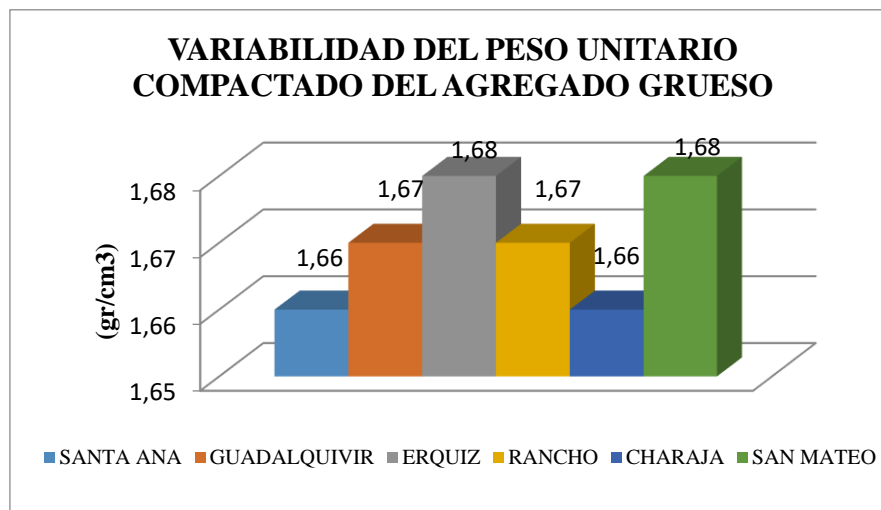
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Variabilidad según el Parámetro Peso Unitario Suelto del Agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Variabilidad según el Parámetro Peso Unitario Compactado del Agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA

Se entiende por “árido fino”, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz de 5 mm de malla. La arena será limpia, de buena calidad y sin materiales extraños como pizarras, arcilla, barros, hojas, yesos u otras materias deletéreas. El módulo de fineza debe estar comprendido entre 2.50 y 3.00. La arena deberá cumplir con el siguiente cuadro de granulometría:

Tabla 17: Especificaciones de la granulometría de la arena

Tamiz N°	% que pasa	
	Mínimo	Máximo
100	2	10
50	10	30
30	25	55
16	45	80
8	75	95
4	95	100
3/8	100	100

Fuente: Norma ASTM

En cuanto a la granulometría y demás pruebas de laboratorio que se realizó para la arena, se realizaron de modo consecutivo y siguiendo las guías técnicas ya establecidas según las normas vigentes en este caso se trabajó con la ASTM

3.3.1 Granulometría de la arena

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

Desarrollo de la práctica

En primer lugar la muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Fotografía 14: Cuarteo de Arena para Granulometría



Fuente: Elaboración propia

Se usa los tamices para disponer la parte fina de material son: 3/8", N° 4", N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100.

Mi muestra fue de 1500 gr. que tamizamos de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.

Fotografía 15: Tamizado mecánico

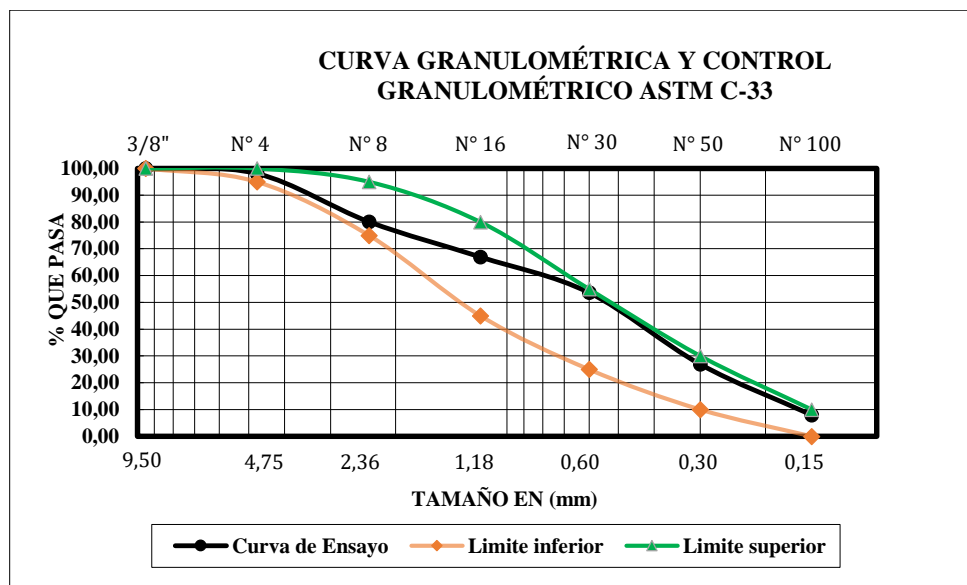


Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Granulometría Arena procedencia "Santa Ana"

Peso Total (gr.) =		1500						
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret. Acum	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33		
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100	
N°4	4,75	28,60	28,60	1,91	98,1	95	100	

N°8	2,36	270,40	299,00	19,93	80,1	75	95
N°16	1,18	196,70	495,70	33,05	67,0	45	80
N°30	0,60	199,30	695,00	46,33	53,7	25	55
N°50	0,30	401,30	1096,30	73,09	26,9	10	30
N°100	0,15	283,60	1379,90	91,99	8,0	2	10
BASE	0,00	81,40	1461,30	97,42	2,6	0	0
SUMA=		1461,3					
PÉRDIDAS=		38,7					
MF =		2,66					



HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	1600,00
Peso Muestra seca	1536,60
Peso Agua	63,40
% de Humedad	4,13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Variabilidad del agregado fino

Variabilidad de La Granulometría del Agregado Fino

	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Módulo de Finura	2,66	2,94	2,75	2,94	2,80	2,90
(%) De Humedad	4,13	3,66	4,03	2,75	4,03	3,68

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Peso específico de la arena

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por el periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Se trabajará con una muestra de 500 gr, que puede ser obtenida por cuarteo luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

Desarrollo de la práctica

Sacamos muestra en un recipiente y se seca de manera uniforme.

Fotografía 16: Secado de la Arena



Fuente: Elaboración propia

Para inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca el molde cónico, y luego se retira éste. Si la muestra tiene todavía humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se retire el cono.

Se coloca 500gr. de muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y pesamos el matraz lleno. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno a una temperatura constante de (105 °C) y se pesara.

Fotografía 17: Molde cónico y matraz con muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Peso Específico de la Arena procedencia Santa Ana

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm ³)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
1	500	182,10	982,45	300,35	486,78	500,00	2,44	2,50	2,61	2,64
2	500	180,57	984,21	303,64	483,26	500,00	2,46	2,55	2,69	3,35
3	500	181,34	980,95	299,61	486,36	500,00	2,43	2,50	2,60	2,73
PROMEDIO							2,44	2,52	2,64	2,91

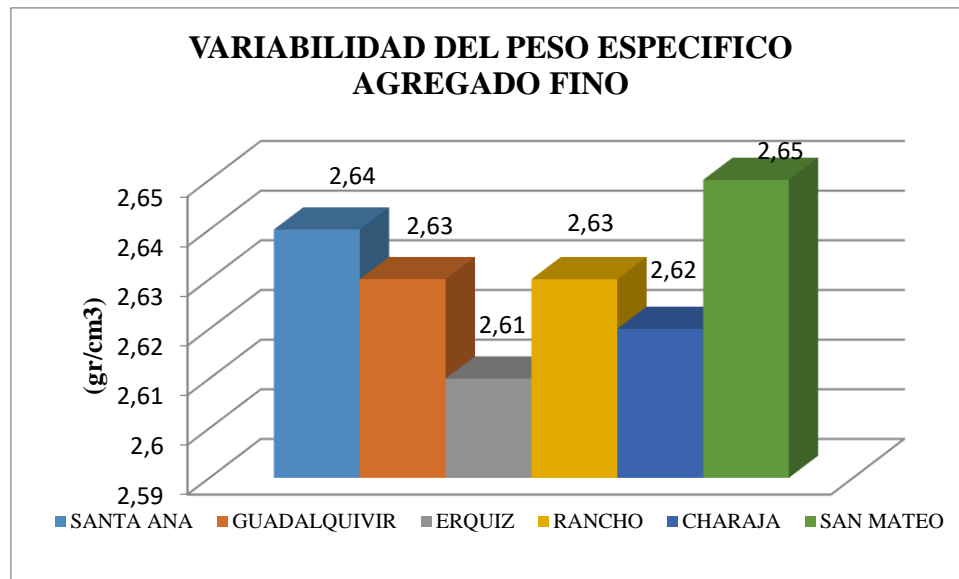
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Variabilidad del peso específico de la arena

	Variabilidad del Peso Específico del Agregado Fino					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Peso Especifico Aparente (gr/cm ³)	2,64	2,63	2,61	2,63	2,62	2,65
(%) De Absorción	2,91	2,30	2,63	4,1	3,97	2,67

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4: Variabilidad según el parámetro Peso Específico del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Peso unitario de la arena

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Los moldes con los que se trabajara, deben estar calibrados con exactitud, el volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura 16,7 °C.

Desarrollo de la práctica

Tomamos una cantidad apropiada de agregado fino (arena) la cual fue obtenida mediante cuarteo, tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.

Realizamos el ensayo de agregado fino sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.

Fotografía 18: Molde cilíndrico de 3Litros



Fuente: Elaboración propia

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena y llevamos la muestra con el molde después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando está compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.

Fotografía 19: Enrazando molde cilíndrico con muestra



Fuente: Elaboración propia

Resultados Obtenidos – procedencia “Santa Ana”

Tabla 22: Peso Unitario Suelto de la Arena

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	2698,40	3000,00	6930,00	4231,60	1,411
2	2698,40	3000,00	6925,00	4226,60	1,409
3	2698,40	3000,00	6905,00	4206,60	1,402
PROMEDIO					1,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Peso Unitario Compactado de la Arena

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA Nº	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	2698,40	3000,00	7710,00	5011,60	1,671
2	2698,40	3000,00	7705,00	5006,60	1,669
3	2698,40	3000,00	7715,00	5016,60	1,672
PROMEDIO					1,67

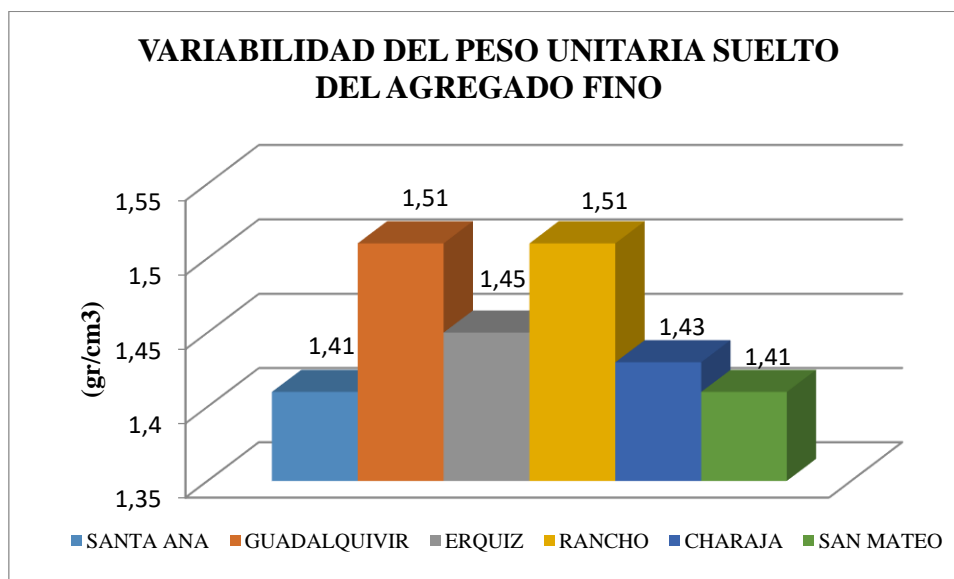
Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Variabilidad del Unitario del agregado fino

	Variabilidad del Peso Unitario del Agregado Fino					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	1,41	1,51	1,45	1,51	1,43	1,41
Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)	1,67	1,7	1,67	1,66	1,65	1,69

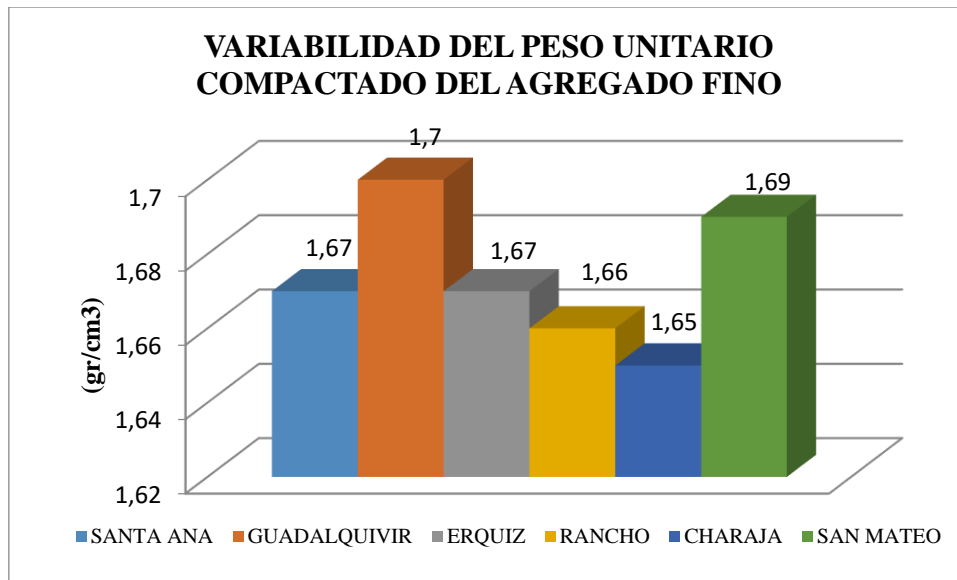
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5: Variabilidad según el parámetro Peso Unitario Suelto del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Variabilidad según el parámetro Peso Unitario Compactado del Agregado Fino



Fuente: Elaboración propia

3.4 DESGATE DEL AGREGADO GRUESO, MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Este método es una medida del desgaste en agregados minerales de graduación estándar resultando de una combinación de acciones incluyendo la abrasión o fricción, trituración e impacto en un tambor de acero rotativo que contiene un número específico de esferas de acero, el número depende de la granulometría de la muestra de ensayo. Mientras el tambor rota, una platina recoge la muestra y las esferas de acero, desplazándolas de tal manera que queden del lado opuesto del tambor, creando un efecto de aplastamiento e impacto. Luego giran dentro del tambor con una acción de desgaste y trituración hasta que la platina recoge la muestra y las esferas de acero, y se vuelve a repetir el ciclo.

Después del número de revoluciones especificadas, se remueve la muestra del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida porcentual.

Desarrollo de la práctica

Se procede a pesar una cantidad de 1250 gr. De agregado de los tamices retenidos 1", 3/4", 1/2", 3/8", una muestra en total de 5000 gr. Después debemos introducir a la máquina de los ángeles y programar la maquina a 500 revoluciones, después de que hayan terminado las revoluciones debemos sacar la muestra cuidadosamente de no botar muestra y esa muestra debe tamizarse por el tamiz número 12, se debe realizar por el método del lavado, luego después obtener todo el material retenido en el tamiz debe colocarse en una bandeja y someterle al secado en un horno de 105 °C, después de 24 horas debe pesarse en una balanza y obtener el peso seco.

Tabla 25: Ensayo del desgaste de la máquina de los Ángeles

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NÚMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N° DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACIÓN		30	15	15	15

DATOS DE LABORATORIO

MÉTODO A		MÉTODO B		MÉTODO C		MÉTODO D	
TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO	TAMIZ	PESO RETENIDO
1"	1250	1/2"	2500	1/4"	2500	N°8	5000
3/4"	1250	3/8"	2500	N°	2500		
1/2"	1250						
3/8"	1250						

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{(P_{\text{INICIAL}} - P_{\text{FINAL}})}{P_{\text{INICIAL}}} * 100$$

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	3955,23	20,90	35% MAX

OK!!!!

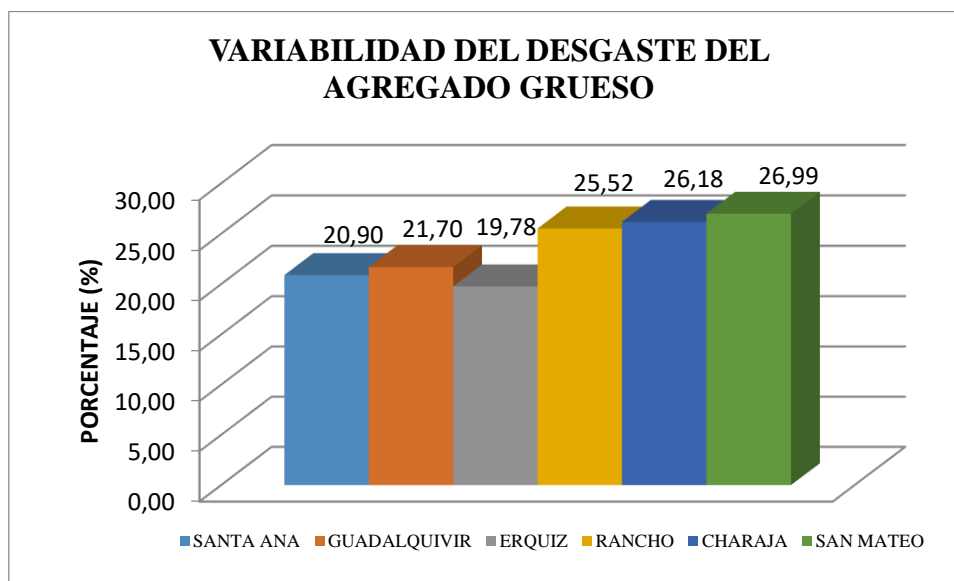
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Variabilidad del desgaste del Agregado Grueso

	Variabilidad Del Desgaste Del Agregado Grueso					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
(%) De Desgaste	20,90	21,70	19,78	25,52	26,18	26,99

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7: Variabilidad según el parámetro Desgaste del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO

Cemento: Siempre y cuando no se indique lo contrario, se empleará cemento Portland disponible en el país (Clase I - ASTM).

Las muestras de hormigón preparadas con este cemento, serán convenientemente especificadas, fraguadas y almacenadas para su posterior ensayo. Con el objeto de conseguir información de la resistencia. Los ensayos del hormigón estarán en función a la clase de hormigón que se debe preparar y a la resistencia y características que se requiere, de igual manera para los agregados y agua.

3.5.1 Peso específico del cemento

El peso específico relativo del cemento, oscila entre los rangos 2.95 y 3.15 g/cm³. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15.

$$PE = \frac{P}{V}$$

PE = Peso Específico de la Muestra (gr/cm³)

V = Volumen desplazado (cm³)

P = Peso de la muestra (gr)

Tabla 27: Ensayo del peso específico del cemento

DESCRIPCIÓN	P (gr/cm ³)	Vi (cm ³)	Vf (cm ³)	V (cm ³)	PE (gr/cm ³)	PE-MEDIA (gr/cm ³)
CEMENTO	64,00	0,00	20,4	20,40	3,14	3,14
EL PUENTE		0,20	20,5	20,30	3,15	
SOBOCE		0,50	20,9	20,40	3,14	

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Finura del cemento

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la

resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo.

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

- SI el %F es menor al 5%, significa que éste es un cemento Portland de endurecimiento rápido
- Si el %F es menor que el 10% es que es un cemento Portland para uso ordinario.

Re 200 = Retenido en malla 200 (gr.)

F = Finura del cemento expresado en %, del residuo que no pasa del tamiz # 200

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

Tabla 28: Ensayo de la finura del cemento

DESCRIPCIÓN	R (#200) (gr)	F %	Re 200 MEDIA
CEMENTO	0,80	1,60	1,57
EL PUENTE	0,77	1,54	
SOBOCE	0,79	1,58	

Fuente: Elaboración propia

3.6 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

El hormigón se preparará de acuerdo a las normas del Código Boliviano del Hormigón y cemento Portland o Puzzolánico, empleando agregados graduados. La composición de la mezcla de hormigón será de manera que demuestre una buena consistencia plástica, de acuerdo a las exigencias del Código Boliviano del Hormigón Armado. Después del fraguado y endurecimiento, cumpla las exigencias de resistencia,

durabilidad e impermeabilidad en las construcciones de hormigón. El contenido de agua de la mezcla de hormigón se determinará antes del inicio de los trabajos.

Resistencia mecánica de hormigón: La resistencia del hormigón para pavimentos rígidos, se mide por su resistencia a la flexión sobre la base de una propiedad llamada módulo de rotura, que se determina por medio de los ensayos de resistencia al flexo tracción del hormigón.

3.6.1 Dosificación teórica

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación. En esta investigación se tomó la dosificación ACI 211, dado que está basada en la investigación experimental, se empieza por valores dados en tablas, al dosificar se da un porcentaje más por pérdidas, sus tablas son fáciles de manejar y entender, su procedimiento es rápido, confiable, en el tema de aditivos tiene los valores para adoptar, en conclusiones es buena, completa y en el tema de esta investigación se obtuvo buenos resultados llegando a sus resistencias adoptadas.

Determinación de la razón Agua/Cemento

Tabla 29: Relación Agua / Cemento

Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente: Norma ACI

Se escogió la resistencia a la compresión de 28 Mpa o 280 Kg/cm², debido a que este valor está entre los rangos establecidos por norma y que están dados por la ABC para pavimentos rígidos, estos rangos están entre 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² que son para pavimentos rígidos, ya que a mayor rango a estos son para de arte de mayor envergadura como puentes, etc. y menores a estos para estructuras de viviendas, en esta investigación se tomo un dato entre estos rangos establecidos para pavimentos rígidos.

Determinación de la fluidez

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la Tabla. Esta Tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Tabla 30: Asentamientos

Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación				
Consistencia	Asentamiento mm.	Ejemplo de Tipo de construcción	Sistema De colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi - seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en homigón simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de agua

Se emplea la Tabla, que establece la cantidad de agua expresada en l/m³ de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal determinados anteriormente.

Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador.

Tabla 31: Requerimiento de agua

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se determina en base al cociente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C = \frac{(W + a)}{W/C} \quad (kg/m^3)$$

Determinación de la dosis de grava

Se determina a partir de la Tabla, en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Tabla 32: Tamaño máximo del agregado

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo nominal		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152,0	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de arena

Método Volumétrico

Se determina partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, A_f , está dada por:

$$A_f \left[\text{kg/m}^3 \right] = \gamma_f \left[1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_g} + 10a \right) \right]$$

γ_f = densidad real o peso específico del árido fino (arena).

γ_g = densidad real o peso específico del árido grueso (grava).

γ = peso específico del cemento

Ag = dosis de árido grueso o grava

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m³)

W = dosis de agua (kg/m³)

En la siguiente tabla podemos notar las diferentes dosificaciones según cada uno de la caracterización que se realizó con los agregados naturales y triturados.

Tabla 33: Variabilidad de las Dosificaciones

	Variabilidad De la Dosificación					
	Agregado Natural			Agregado Triturado		
	Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
Cemento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Arena	1,60	1,80	1,60	1,70	1,60	1,60
Grava	3,10	3,00	3,10	2,60	2,70	2,70

Fuente: Elaboración propia

Pero en nuestro caso se utilizó una dosificación teórica para demostrar la variabilidad que existe entre los agregados, y ver que influencia tiene en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos.

Dosificación Teórica Adoptada

Partiremos la dosificación básica donde nuestras proporciones adoptadas serán.

Cemento: 1

Arena: 2

Grava: 3

Utilizáramos los siguientes datos:

Peso por (m³) de Hormigón. = 2400 kg/m³

Adoptaremos relación agua cemento A/C = 0.48 (tablas norma ACI)

Volumen de la viga = 0.0123886 m³ ; Volumen del cilindro = 0.005301 m³

Ahora procederemos a calcular las proporciones para los especímenes que utilizamos para la investigación de la variabilidad de los agregados.

Proporciones para probeta tipo Viga.

Cemento: 4,96 Kg. ; Arena: 9,91 Kg. ; Grava: 14,86 Kg. ; Agua: 2,37 Lts.

Proporciones para probeta tipo Cilindro.

Cemento: 2,12 Kg. ; Arena: 4,12 Kg. ; Grava: 6,36 Kg. ; Agua: 1,017 Lts.

Se utilizara un coeficiente de seguridad: 1,20

Figura 24: Molde viga y cilindro para ensayos a flexión y compresión



Fuente: Elaboración propia

Se adoptó esta dosificación porque es la más representativa en obra ya que cuando se realiza una construcción de pavimentos rígidos no se puede realizar dosificaciones con proporciones calculadas en laboratorio, porque no se tiene medidas exactas para hormigonar en obra. Es por eso que se adoptó la dosificación 1:2:3 además se realizó pastones de prueba antes de realizar nuestro especímenes para corroborar que alcanzara la resistencia esperada.

3.6.2 Ajuste de la Dosificación

Tabla 34: Dosificación de con agregados procedentes de Santa Ana

DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES
DISEÑO DE MEZCLA 280 Kg/cm²
MÉTODO ACI-211

Proyecto: "EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"	
Procedencia: Santa Ana (Natural)	Identificación muestra : Cilindros y vigas
Universitario: Osvaldo Cayani Mamani	Fecha: Mayo 2016

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,66
2.- Peso unitario Comp. de la grava (PUC)	kg/m ³	1657
3.- Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2,64
4.- Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	2,63
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	2,91
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	0,9
7.- Humedad de la Arena (Ha)	%	4,13
8.- Humedad de la Grava (Hg)	%	1,17
9.- Tamaño máximo Nominal (TMN)	plg	1"
10.- Tamaño Máximo (TM)	plg	1 1/2"
11.- Peso específico del cemento	gr/cm ³	3,14

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño (fck)	280	kg/cm ²
Resistencia Característica (fck)(Tabla 11.12)	365	kg/cm ²
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	3	pulg
Relación Agua / Cemento (a/c)(Tabla 11,13)	0,45	s/u

DATOS DE TABLAS

Vol. Agr. G./Vol. U. Horm. (b/bo)(Tabla 11.15)	0,73	s/u
Requerimiento de Agua (A) (Tabla 11.7)	175	kg/m ³

CÁLCULOS

$$\text{Peso Agregado Grueso (Pag)} = (b/bo) \times \text{PUC}$$

		1209,43	kg/m ³
Peso cemento (Pc)	= A / (a/c)	388,89	kg/m ³
Volumen de Agregado Grueso (Vag)	= Pag/γg	459,26	lt/m ³
Volumen del cemento (Vc)	= Pc/γc	123,96	lt/m ³
Volumen de Arena (Vaf)	= 1000 - Vc - A - Vag	241,78	lt/m ³
Peso del agregado fino (Paf)	= Vaf x γf	637,16	kg/m ³

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGÓN

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Volumen Absoluto lt/m ³	Peso específico gr/cm ³
Cemento	388,89	123,96	3,14
Agua	175	175	1
Grava	1209,43	459,26	2,63
Arena	637,16	241,78	2,64
TOTAL	2410,48	1000,00	

PESOS HÚMEDOS DE LOS MATERIALES

Peso Húmedo de la arena (Pha)	= Paf x (1 + Ha)	663,45	kg/m ³
Peso Húmedo de la Grava (Phg)	= Pag x (1 + Hg)	1223,61	kg/m ³

CORRECCIÓN DEL AGUA

$$\text{Agua corregida a la grava (Acg)} = \text{Pag} \times (\text{Ag} - \text{Hg})$$

-3,30	lt/m ³
-------	-------------------

$$\text{Agua corregida a la Arena (Acf)} = \text{Paf} \times (\text{Aa} - \text{Ha})$$

-7,77	lt/m ³
-------	-------------------

$$\text{Total Agua Corregida (Atc)} = \text{Acg} + \text{Acf}$$

-11,06	lt/m ³
--------	-------------------

PESOS HÚMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGÓN

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³
Cemento	388,89	388,89
Agua	175,00	163,94
Grava	1209,43	1223,61
Arena	637,16	663,45
<i>TOTAL</i>	2410,48	2439,88

PROPORCIONES DE MEZCLA

Cemento	Arena	Grava
1,0	1,6	3,1

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Vaciado de probetas

Se fabricara probetas de hormigón tipo cilíndricas de dimensiones de diámetro 15cm y de alto 30 cm y vigas de 15.24 x 15.24 x5 3.34 cm. , compuestas de los agregados fino, grueso y cemento que normalmente se usa en la construcción de un pavimento rígido.

Cono de Abrams: Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para manipularlo, con unas dimensiones interiores específicas, se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida e impermeable. Se humedece el interior del molde y la superficie. Se introduce el hormigón y enrasa la superficie. Se desmolda inmediatamente, levantando el cono despacio y en dirección vertical sin sacudidas y medimos el punto más alto de la masa asentada.

Fotografía 20: Cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Una vez preparado el material, se procede al preparado de la mezcla en base a la dosificación calculada. Cuando se tiene listo el hormigón sin la adición de los aditivos

que es preparado del mismo modo que en tecnología del hormigón, se debe hacer el ensayo del cono de Abrams, para verificar que la consistencia este dentro de los rangos establecidos.

Ya realizado el cono de Abrams, y verificado el asiento que este en el rango de 8-10cm. Se procede a llenar los moldes del material, debidamente compactando en tres capas de 25 golpes y a la vez sacando vacíos con el combo de goma golpeándolo y luego enrazándolo manera uniforme.

Fotografía 21: Vaciado de probetas



Fuente: Elaboración propia

3.6.4 Curado de las probetas

Terminado el proceso de vaciado de los moldes de hormigón, se guardaran los moldes en un ambiente seguro y a una humedad ambiente, donde ahí esperaran, hasta que llegue el momento del desmolde que normalmente varía entre 24 horas y un poco más.

Tras transcurrir las 24 horas, hemos de desmoldar las probetas e inmediatamente ponerlas a la intemperie, dejarlos a temperaturas ambiente extremas y poder encontrar así fisuras por el fenómeno de la contracción plástica que son grietas que aparecen al momento de dejarlas a temperatura ambiente, esto porque están sujetas a perder agua por medio de la evaporación.

Se realizó el vaciado de dieciocho probetas, donde nueve probetas se dejaron al curado de siete días sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo se lo dejara temperaturas ambiente para que podamos evidenciar algún tipo de figura que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción plástica.

De igual manera las nueve restantes se las dejara al curado pero de veintiocho días, de igual manera sin ningún tipo de membrana de curado, ni curado en agua, solo dejándolas a temperaturas ambiente para evidenciar la magnitud de fisuras que pueda tener a esa edad de curado, por el fenómeno de contracción plástica.

Fotografía 22: Curado de probetas y vigas



Fuente: Elaboración propia

3.6.5 Rotura de probetas

Después de dejar en curado los especímenes tanto probetas cilíndricas y probetas vigas se procede a esperar los 28 días, para que los especímenes alcancen su mayor resistencia pasado los dichos días se procede a retirar las probetas del agua y dejar en

temperatura ambiente para después proceder a realizar los ensayos a flexión y compresión donde los especímenes serán sometidos a esfuerzos generados por la prensa y así obtener la resistencia a flexión y compresión de los especímenes.

Fotografía 23: Rotura de especímenes



Fuente: Elaboración propia

3.7 RESULTADOS

Rotura a flexión

Después de haber realizado los especímenes de hormigón se procedió a realizar los ensayos a flexión. De esta manera en las siguientes tablas mostraremos los resultados de los módulos de rotura obtenidos de cada uno de las vigas elaboradas, con agregados naturales y agregados triturados. Se puede mencionar que se realizó 10 especímenes de cada agregado estudiado. Los especímenes que fueron sometidos al ensayo de flexión, antes de realizar dicho ensayo fueron sumergidos en agua, hasta concluir un periodo de 28 días, entonces así se dio un curado completo donde se espera que los especímenes puedan mostrar su mayor resistencia.

3.7.1 Resultados de la resistencia a flexión (Santa Ana - Natural)

Tabla 35: resistencia a flexión Santa Ana a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm ²
1	47,97
2	46,16
3	49,43
4	49,84
5	42,74
6	45,86
7	50,26
8	49,22
9	47,56
10	48,80

Fuente: Elaboración propia

3.7.2 Resultados de la resistencia a flexión (Guadalquivir - Natural)

Tabla 36: Resistencia a flexión Guadalquivir a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm²
1	46,06
2	45,88
3	46,25
4	47,68
5	48,33
6	47,76
7	45,50
8	47,02
9	43,12
10	44,08

Fuente: Elaboración propia

3.7.3 Resultados de la resistencia a flexión (Erquiz - Natural)

Tabla 37: Resistencia a flexión Erquiz a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm²
1	46,98
2	50,09
3	49,14
4	50,66
5	43,79
6	42,69
7	50,09
8	50,66
9	51,04
10	48,95

Fuente: Elaboración propia

3.7.4 Resultados de la resistencia a flexión (Rancho - Triturado)

Tabla 38: Resistencia a flexión Rancho a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm ²
1	56,10
2	57,64
3	53,79
4	54,25
5	43,71
6	57,90
7	44,05
8	55,59
9	52,12
10	59,43

Fuente: Elaboración propia

3.7.5 Resultados de la resistencia a flexión (Charaja - Triturado)

Tabla 39: Resistencia a flexión Charaja a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm ²
1	53,41
2	42,48
3	53,18
4	55,79
5	49,71
6	49,49
7	54,49
8	54,06
9	56,66
10	52,76

Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Resultados de la resistencia a flexión (San Mateo - Triturado)

Tabla 40: Resistencia a flexión San Mateo a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Flexión Kg/cm²
1	45,48
2	46,73
3	47,76
4	43,82
5	41,82
6	45,90
7	47,35
8	41,33
9	46,31
10	47,97

Fuente: Elaboración propia

Rotura a compresión

Después de haber realizado los especímenes de hormigón se procedió a realizar los ensayos a compresión. De esta manera en las siguientes tablas mostraremos los resultados obtenidos de cada una de las probetas cilíndricas elaboradas, con agregados naturales y agregados triturados. Se puede mencionar que se realizó 10 especímenes de cada agregado estudiado. Los especímenes sometidos al ensayo de compresión, antes de realizar dicho ensayo fueron sumergidos en agua, hasta concluir un periodo de 28 días, entonces así se dio un curado completo donde se espera que los especímenes muestren su mayor resistencia.

3.7.7 Resultados de la resistencia a compresión (Santa Ana - Natural)

Tabla 41: Resistencia a compresión Santa Ana a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	297,56
2	316,70
3	270,79
4	312,34
5	295,54
6	301,98
7	312,81
8	279,31
9	271,51
10	314,45

Fuente: Elaboración propia

3.7.8 Resultados de la resistencia a compresión (Guadalquivir - Natural)

Tabla 42: Resistencia a compresión Guadalquivir a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	285,70
2	283,96
3	257,61
4	299,55
5	287,80
6	290,87
7	301,52
8	272,87
9	249,90
10	290,70

Fuente: Elaboración propia

3.7.9 Resultados de la resistencia a compresión (Erquiz - Natural)

Tabla 43: Resistencia a compresión Erquiz a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	274,43
2	309,64
3	321,91
4	316,54
5	319,31
6	305,43
7	317,39
8	301,18
9	260,23
10	296,67

Fuente: Elaboración propia

3.7.10 Resultados de la resistencia a compresión (Rancho - Triturado)

Tabla 44: Resistencia a compresión Rancho a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	332,45
2	334,41
3	330,68
4	329,20
5	331,12
6	254,14
7	306,28
8	315,95
9	338,92
10	276,14

Fuente: Elaboración propia

3.7.11 Resultados de la resistencia a compresión (Charaja - Triturado)

Tabla 45: Resistencia a compresión Charaja a 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	319,51
2	308,89
3	241,82
4	326,98
5	205,86
6	324,24
7	322,77
8	252,79
9	322,42
10	318,20

Fuente: Elaboración propia

3.7.12 Resultados de la resistencia a compresión (San Mateo - Triturado)

Tabla 46: Resistencia a compresión San Mateo 28 días

Número de Espécimen	Resistencia a Compresión Kg/cm ²
1	325,65
2	222,46
3	328,77
4	314,79
5	307,36
6	323,39
7	305,40
8	218,21
9	222,18
10	319,77

Fuente: Elaboración propia

3.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Analizaremos los resultados de los módulos de rotura que obtuvimos después de realizar el ensayo a flexión de los materiales en su estado natural como son de la cantera de Santa Ana, Guadalquivir y Erquiz. Descartaremos los valores menores a 45 kg/cm^2 . Obtenidos en los ensayos, porque no cumplen con la resistencia mínima a flexión para el diseño de pavimentos rígidos. En la siguiente tabla se mostrara los resultados de la resistencia a flexión obtenidos de los especímenes elaborados con agregado natural. De la misma manera se quiere a ser notar la variabilidad existente en la resistencia a flexión en función a los agregados utilizados.

3.8.1 Variabilidad de la Rotura a flexión

Tabla 47: Variabilidad de la resistencia a flexión de los agregados naturales

NUMERO	SANTA ANA	GUADALQUIVIR	ERQUIZ
DATOS	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	45,86	45,50	46,98
2	46,16	45,88	48,95
3	47,56	46,06	49,14
4	47,97	46,25	50,09
5	48,80	47,02	50,09
6	49,22	47,68	50,66
7	49,43	47,76	50,66
8	49,84	48,33	51,04
9	50,26		
Promedio	48,34	46,81	49,70
Desv. Est.	1,43	0,81	1,30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla de resultados podemos notar que existe muy poca variación en la resistencia a flexión. Podemos ver que la resistencia más alta entre las tres comparadas es obtenida en los especímenes elaborados con los agregados de la cantera de Erquiz.

Gráfico 8: Resistencia a flexión – Santa Ana



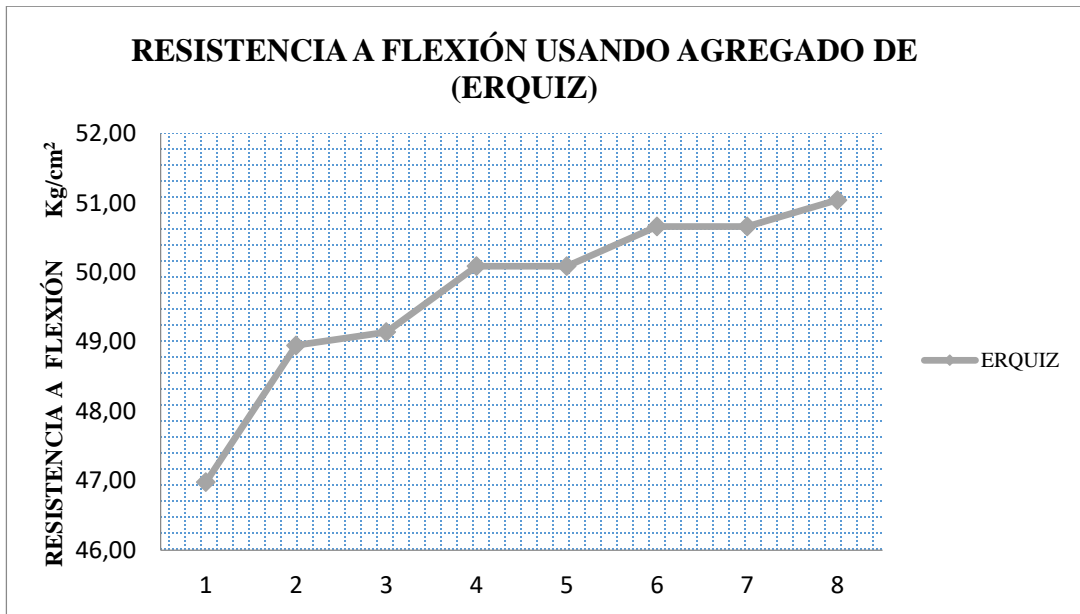
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9: Resistencia a flexión – Guadalquivir



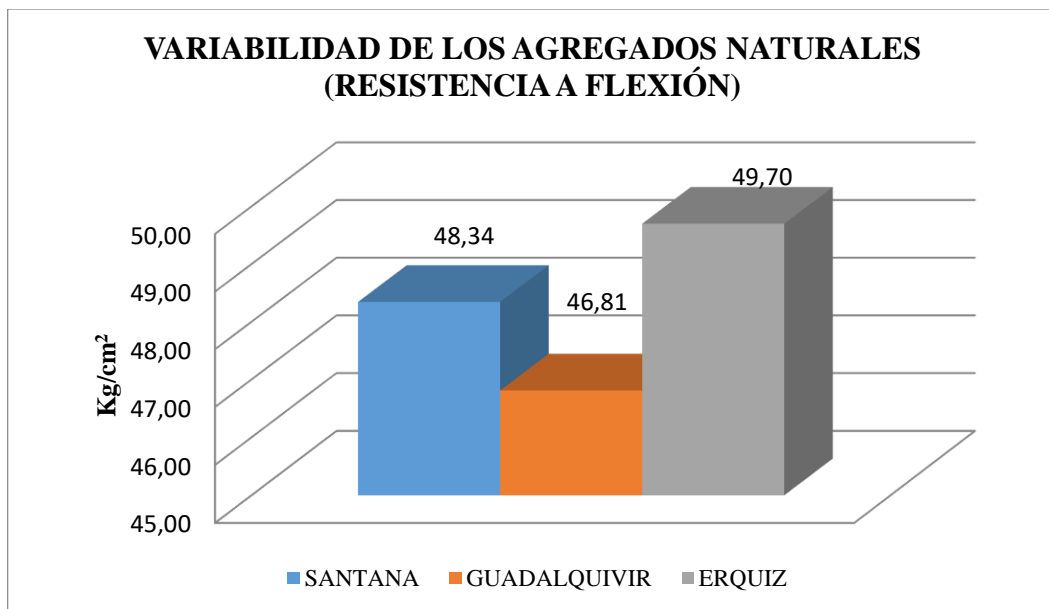
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Resistencia a flexión – Erquiz



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11: Variabilidad de la rotura a flexión de los agregados naturales



Fuente: Elaboración propia

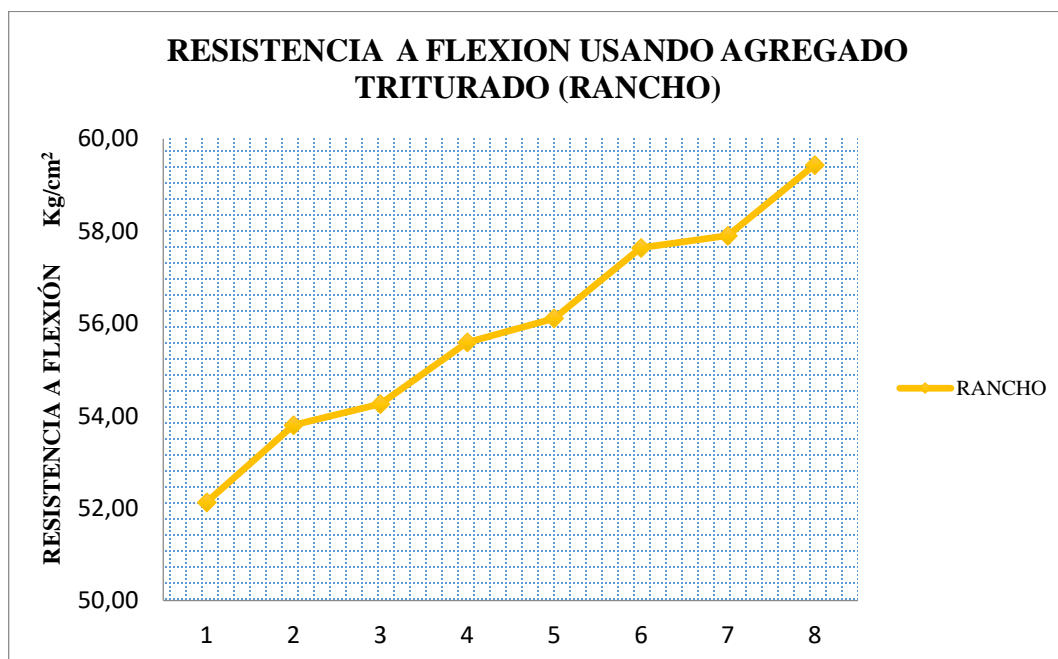
Del mismo modo se procederá al análisis de la variabilidad de los especímenes elaborados con los agregados triturados.

Tabla 48: Variabilidad de la resistencia a flexión de los agregados triturados

NUMERO	RANCHO	CHARAJA	SAN MATEO
DATOS	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	52,13	49,50	51,91
2	53,80	49,71	52,30
3	54,26	52,76	52,79
4	55,59	53,19	53,26
5	56,11	53,41	53,74
6	57,64	54,06	54,45
7	57,90	54,50	54,92
8	59,43	55,80	55,17
9		56,66	
Promedio	55,86	53,29	53,57
Desv. Est.	2,42	2,43	1,21

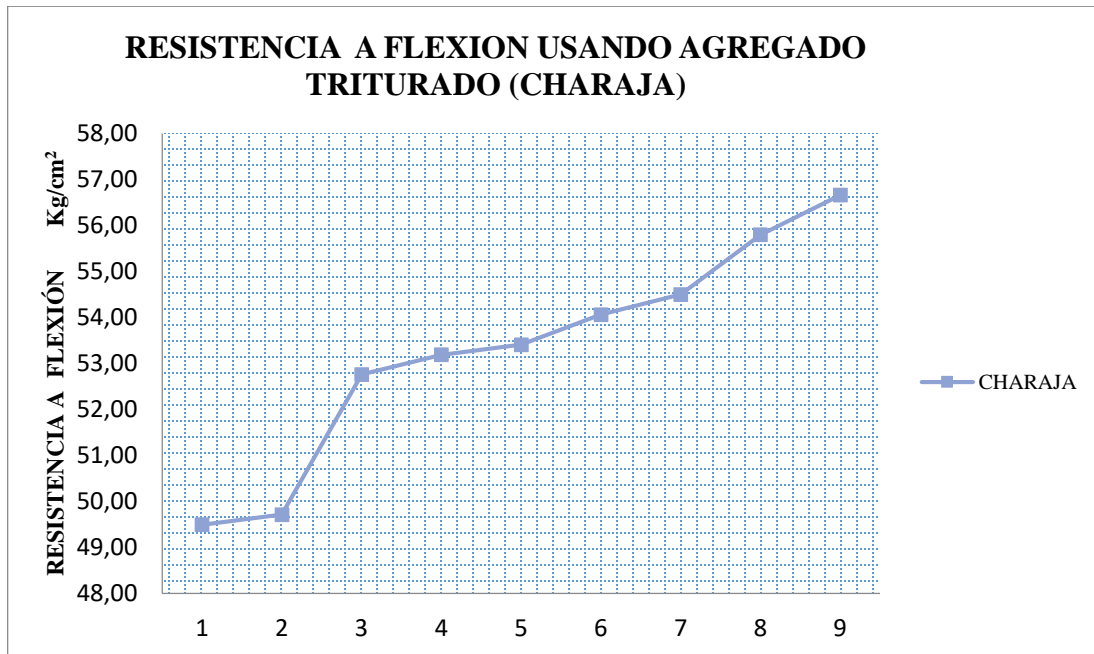
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12: Resistencia a flexión - Rancho



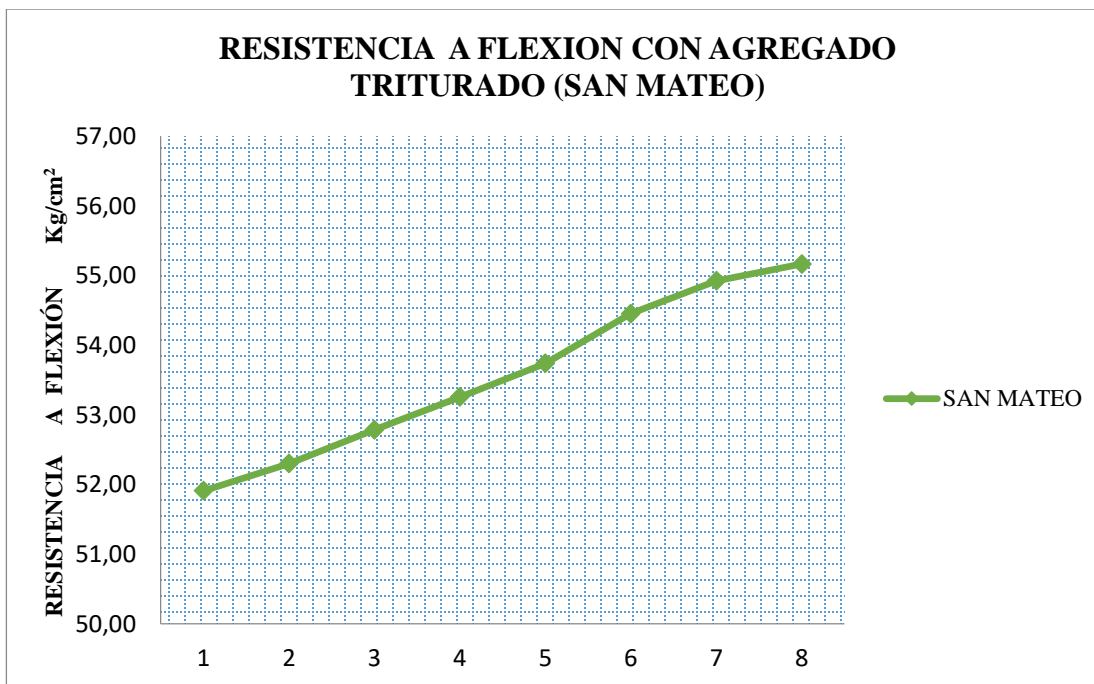
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13: Resistencia a flexión – Charaja



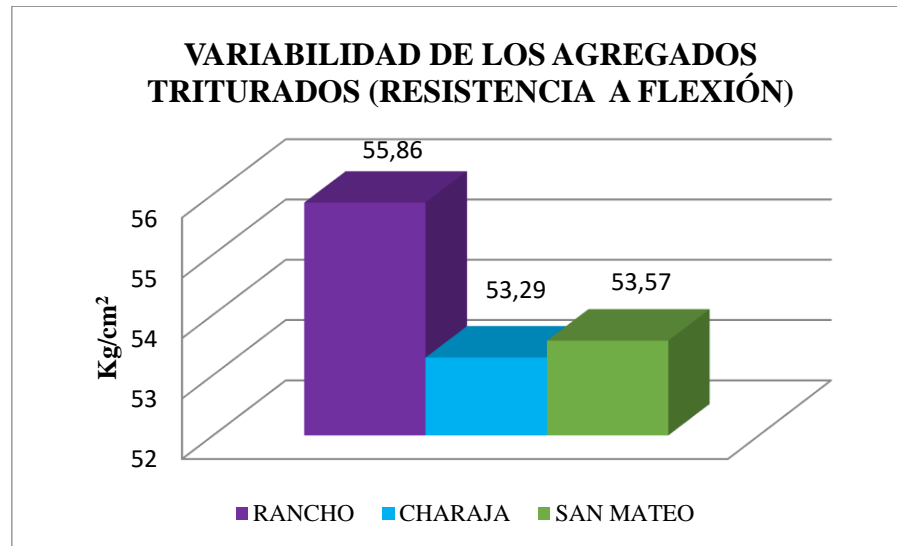
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Resistencia a flexión – San Mateo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15: Variabilidad de la rotura a flexión de los agregados triturados



Fuente: Elaboración propia

En la tabla de resultados podemos notar que existe poca variación en la resistencia a flexión. Podemos notar que la resistencia más alta entre las tres comparadas es obtenida en los especímenes elaborados con los agregados triturados de las zonas aledañas al rancho.

3.8.2 Variabilidad de la rotura a compresión

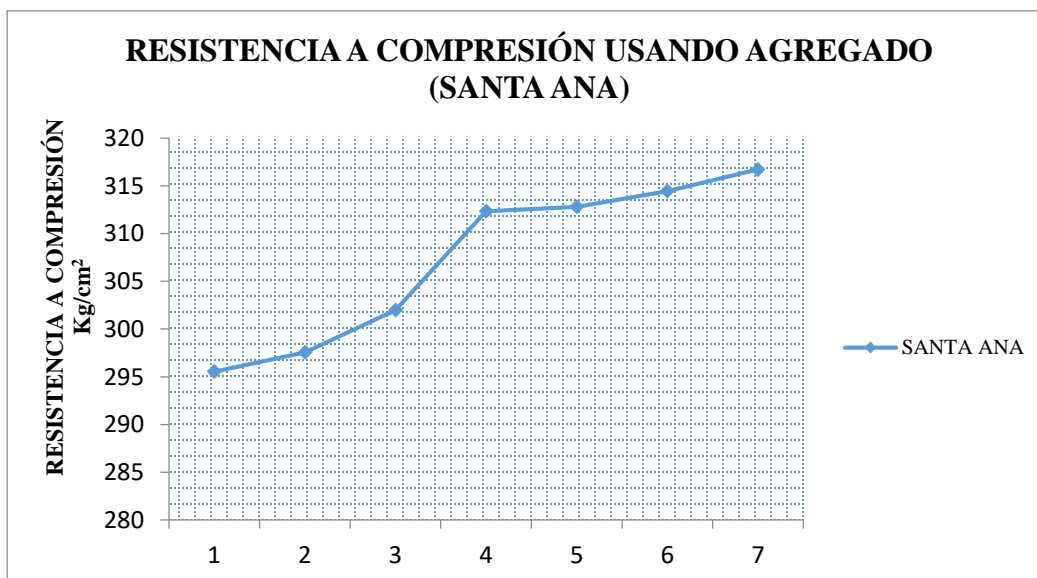
Se procederá a analizar los especímenes elaborados para ensayos a compresión, Descartamos los valores menores a 280 kg / cm². Obtenidos en los ensayos, porque no cumplen con la resistencia mínima a compresión para el diseño de pavimentos rígidos.

Tabla 49: Variabilidad de la rotura a compresión de los agregados naturales

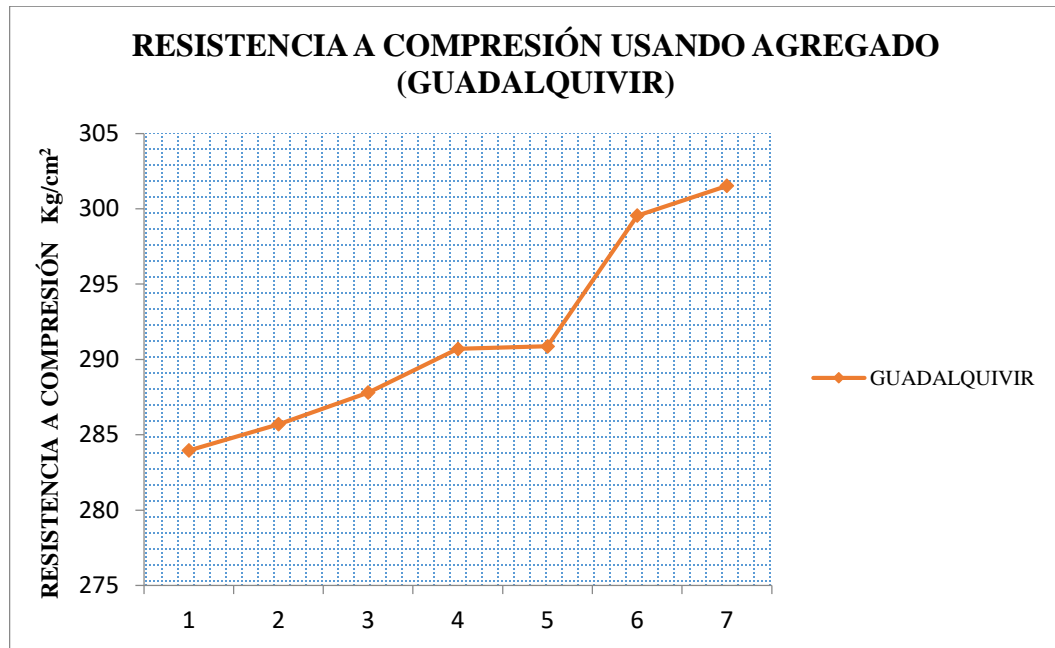
NUMERO	SANTA ANA	GUADALQUIVIR	ERQUIZ
DATOS	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
1	295,54	283,96	296,67
2	297,56	285,7	301,18
3	301,98	287,8	305,43
4	312,34	290,7	309,64
5	312,81	290,87	316,54
6	314,45	299,55	317,39
7	316,70	301,52	319,31
8			321,91
Promedio	307,34	291,44	311,01
Desv. Est.	8,72	6,71	9,21

Fuente: Elaboración propia

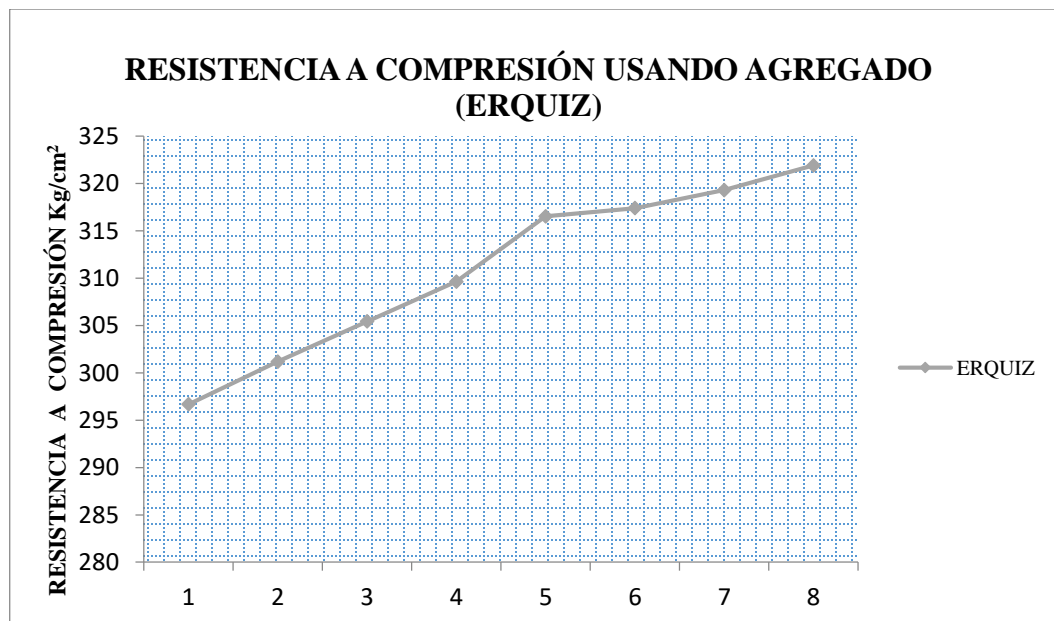
Gráfico 16: Resistencia a compresión – Santa Ana



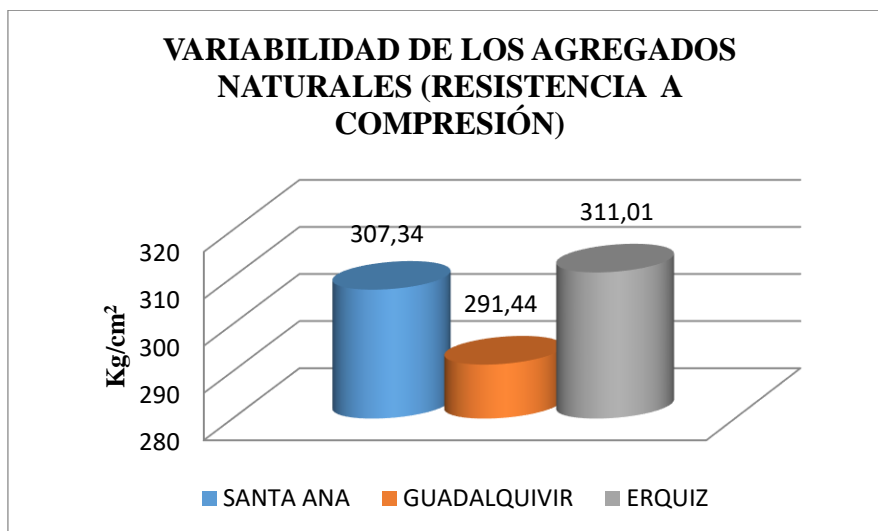
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 17: Resistencia a compresión – Guadalquivir

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18: Resistencia a compresión – Erquiz

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19: Variabilidad rotura a compresión de los agregados naturales

Fuente: Elaboración propia

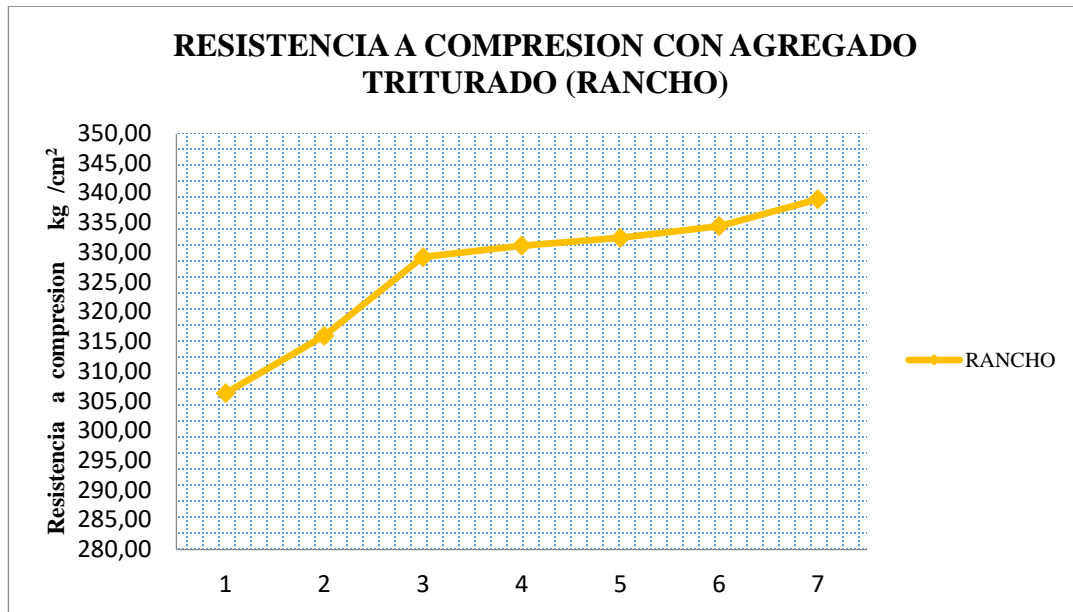
Ahora se analizará los especímenes elaborados para el ensayo a compresión con los agregados triturados.

Tabla 50: Variabilidad de la rotura a compresión de los agregados triturados

NUMERO DE DATOS	RANCHO Kg/cm2	CHARAJA Kg/cm2	SAN MATEO Kg/cm2
1	306,28	308,89	305,40
2	315,95	318,20	307,36
3	329,20	319,51	314,79
4	331,12	322,41	319,77
5	332,45	322,77	323,39
6	334,41	324,24	325,65
7	338,92	326,98	328,77
8	340,68		
Promedio	328,63	320,43	317,88
Desv. Est.	11,74	5,86	9,03

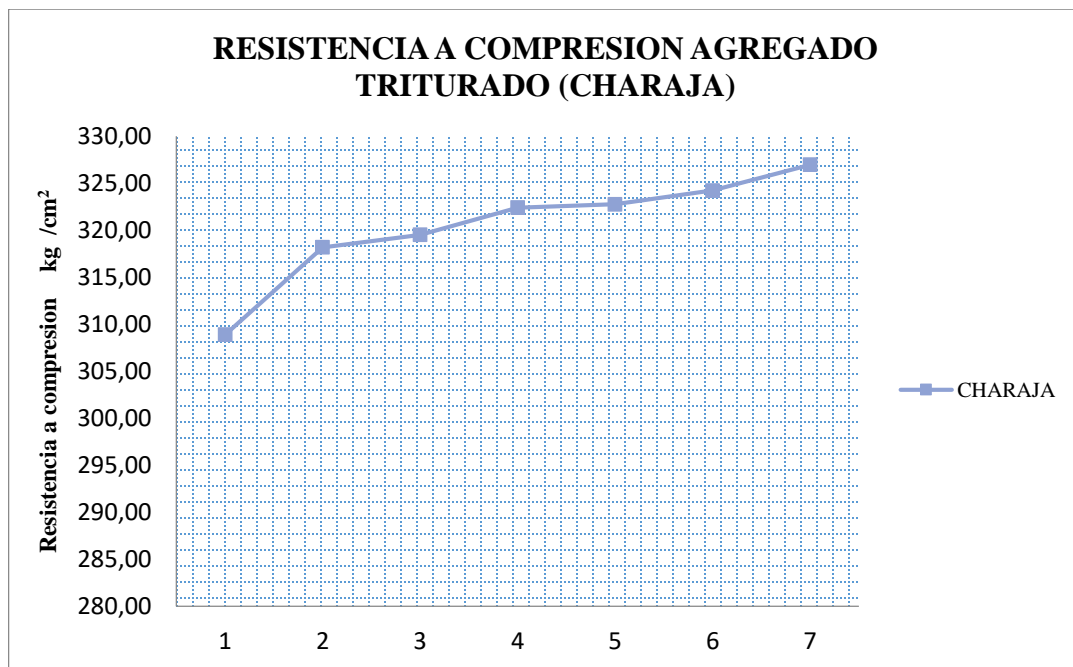
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20: Resistencia a compresión – Rancho



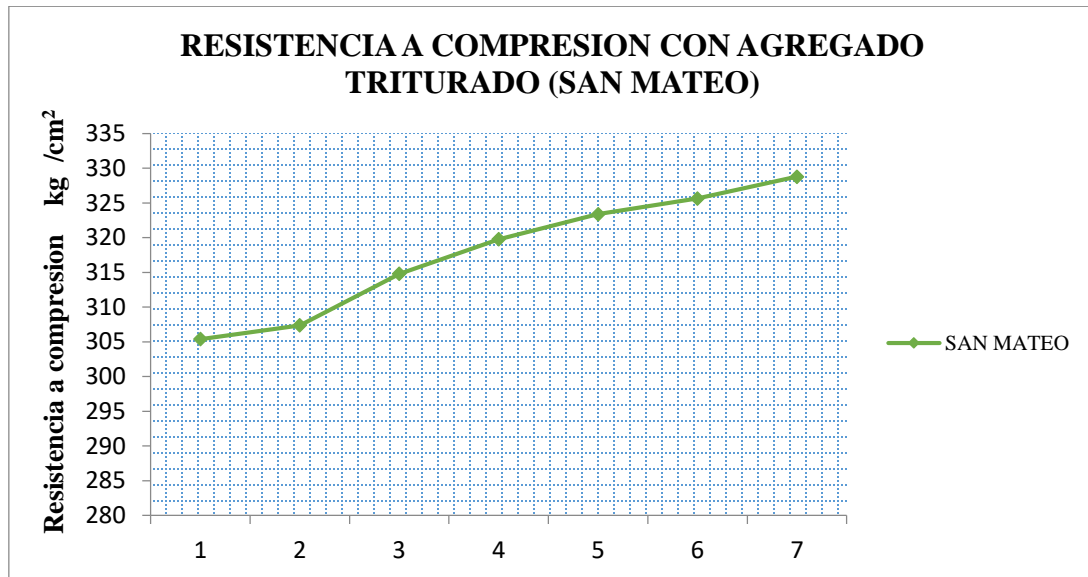
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21: Resistencia a compresión – Charaja



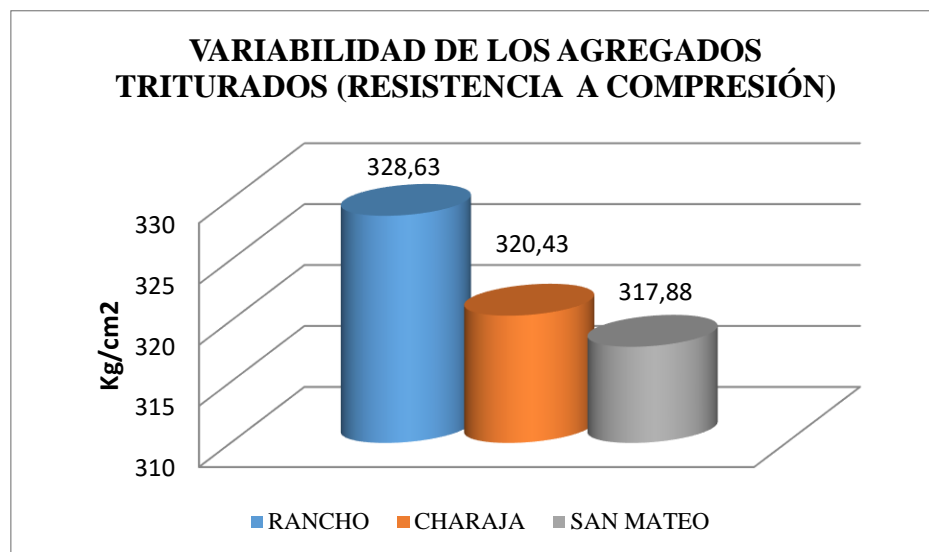
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22: Resistencia a compresión – San Mateo



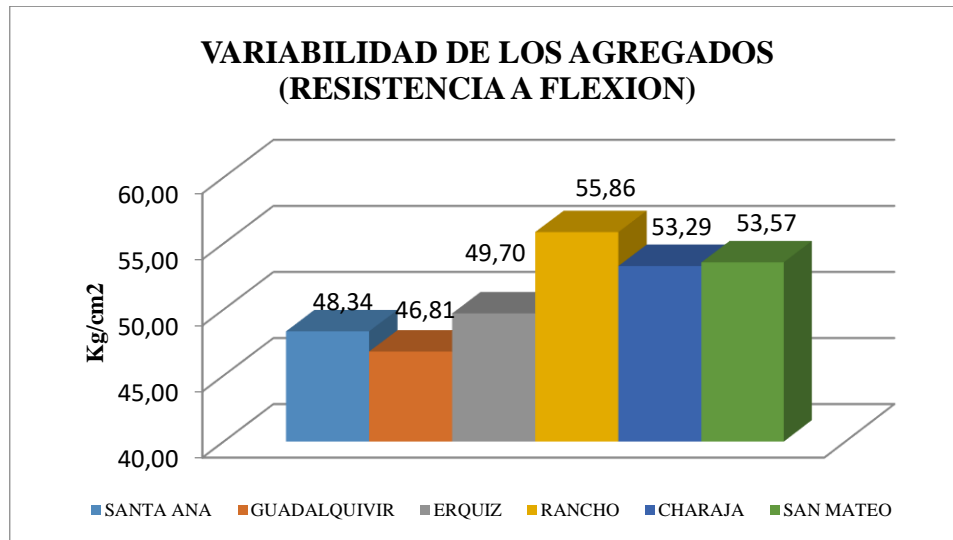
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 23: Variabilidad de la rotura a compresión de los agregados triturados



Fuente: Elaboración propia

Ahora compararemos todos los agregados en conjunto tanto naturales como triturados y observaremos con cuál de ellos se obtiene una mejor resistencia a flexión

Gráfico 24: Variabilidad de los agregados en la resistencia a flexión

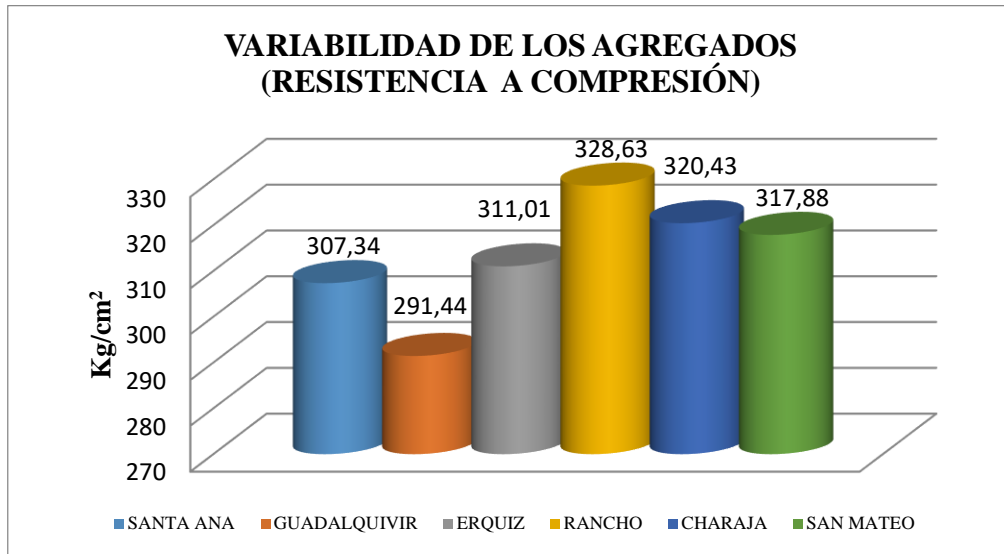
Fuente: Elaboración propia

Después de obtener los resultados podemos observar que existe una variabilidad en los agregados y que estos tienen influencia en la resistencia del hormigón cuando sometida a esfuerzos a flexión como se puede ver en el gráfico la variación que existe entre agregados naturales es mínimo, y de la misma manera si observamos los resultados con agregado triturado estos son similares o muestran poca variación.

Mientras si comparamos los resultados con agregados naturales y triturados ahí podemos notar un poco más de variación, esta variación puede tener origen en que el material triturado tiene mejor adherencia cuando forma una sola masa con la mezcla, ya que al poseer aristas o puntas en diferentes ángulos lo que le permite tener una mejor adherencia. En los resultados de la resistencia a flexión del hormigón, los que se elaboró con agregados naturales podemos observar que la mayor resistencia se obtuvo con los agregados extraídos de la cantera que está ubicada en Erquiz, seguido por los agregados de la cantera de Santa Ana y por último los agregados del Guadalquivir, mientras que el hormigón elaborado con los agregados triturados conforman el siguiente orden según la resistencia a flexión alcanzada, la mayor fue con los agregados del Rancho seguido por San Mateo y Charaja.

De la misma manera se comparara los agregados naturales y triturados para ver con que agregado se logra alcanzar una mayor resistencia a compresión.

Gráfico 25: Variabilidad de los agregados en la resistencia a compresión



Fuente: Elaboración propia

Ahora procederemos a analizar los resultados podemos observar que existe una variabilidad en los agregados y que estos tienen influencia en el hormigón cuando se somete a un esfuerzo a compresión, se puede ver en el gráfico. La variación que existe en la resistencia de los especímenes que se elaboraron con agregados naturales es similar entre los agregados de Erquiz y Santa Ana, mientras no podemos decir lo mismo de los agregados de Guadalquivir. Observamos los resultados con agregado triturado estos son similares o muestran poca variación.

Si comparamos los resultados con agregados naturales y triturados ahí podemos notar un poco más de variación, esta variación puede tener origen en que el material triturado tiene mejor adherencia al momento de formar una sola masa con la mezcla, ya que al poseer aristas o puntas en diferentes ángulos lo que le permite tener una mejor adherencia, en todo lo contrario con los agregados naturales ya que ellos tienen una forma ovalo redonda. En los resultados de la resistencia a compresión del hormigón, en el que se usó agregados naturales podemos observar que la mayor resistencia se

obtuvo el hormigón que se elaboró con los agregados extraídos de la cantera que está ubicada en Erquiz, mientras que las probetas cilíndricas que obtuvo mayor resistencia a compresión en los agregados triturado del rancho.

3.9 EFECTO EN EL DISEÑO DE ESPESORES

Se procederá a comprar los diferentes módulos de roturas que se obtuvieron en los ensayos a flexión y ver que variabilidad existe entre uno y otro, se realizará un cálculo del espesor de la losa de hormigón para pavimentos rígidos y ver que variación existe, se utilizara la ecuación de Aashto ya que esta ecuación es la más usada en las bibliografías en el diseño de pavimentos rígidos. Lo que se procederá hacer es utilizar los datos que recomienda el método Aashto, lo único dato que se ara variar es el módulo de rotura obtenido delos ensayos a flexión, delos diferentes agregados usados en nuestra investigación.

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

Variables de Diseño

Confiabilidad.

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

Desviación Estándar.

Es por esto que se necesita una variable (S_0 – Desviación Estándar) que acote la variabilidad de todos éstos factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su período de diseño.

La desviación estándar es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo.

Serviciabilidad.

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc. que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El índice de serviciabilidad inicial (P_0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5 si es que no se tiene información disponible para el diseño.

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario.

Módulo de la Reacción Subrasante (K).

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Módulo de Rotura del Concreto.

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

Módulo de Elasticidad del Concreto.

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

Coefficiente de Drenaje.

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de éste; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

Coefficiente de Transmisión de Carga.

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de

carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor.

Transito Equivalente Acumulado.

El tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño.

El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de ejes equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los ejes de pesos normales de los vehículos que circularan por el camino, en ejes sencillos equivalentes de 18 kips (8.2 Ton) también conocidos como ESAL's.

Las variables de diseño que se utilizaran según el método Aashto serán las siguientes:

- Confiabilidad (R) = 80% $Z_r = 0.841$
- Desviación estándar (So) = 0.35
- Módulo de la reacción de la sub rasante (k) = 62
- Serviciabilidad inicial = 4.5
- Serviciabilidad final = 2.5
- Coeficiente de transmisión d carga (J) = 3.2
- Coeficiente de drenaje = 1.1
- Transito equivalente acumulado = 8282572
- Módulo de rotura del concreto
- Módulo de elasticidad del concreto = $26454 * (MR)^{0.77}$

Figura 25: Diseño de espesor por el método Aashto- Santa Ana

Fuente: Elaboración propia

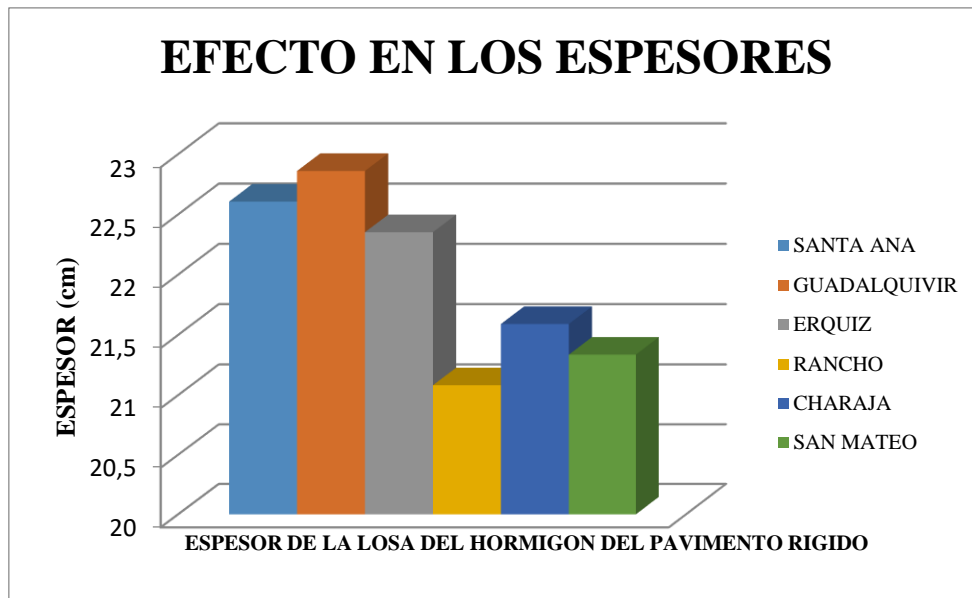
Tabla 51: Resultados de espesores por el método Aashto

TABLA DE ESPESORES					
AGREGADO NATURAL			AGREGADO TRITURADO		
Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
8,90 plg.	9,00 plg.	8,80 plg.	8,30 plg.	8,50 Plg.	8,40 plg.

Fuente: Elaboración propia

Haciendo un análisis de los espesores calculados por el método de Aashto se puede notar que la resistencia a flexión o el módulo de rotura están muy relacionados a la hora del cálculo de la dimensión del espesor, en nuestros resultados podemos ver que el material de la chancadora del rancho. Es el que tiene menor espesor porque es el que tiene mayor módulo de rotura.

Gráfico 26: Efecto en el espesor de diseño



Fuente: Elaboración propia

3.9.1 Precio unitarios

Para realizar los precios unitarios utilizaremos los siguientes rendimientos para la dosificación 1 : 2 : 3 utilizado en pavimento rígidos.

Cemento	375	kg/m ³
Arena	0,55	m ³ /m ³
Grava	0,80	m ³ /m ³

Se realizara los precios unitarios para un kilómetro de pavimento rígido, asumiremos un ancho de calzada de 7 metros.

La superficie a pavimentar será: 7 metros x 1000 metros = 7000 metros cuadrados.

- Pavimento rígido con agregado natural de Santa Ana E = 22,60 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	84,75	1,12	94,92
GRAVA	m ³	0,18	150	27
ARENA	m ³	0,12	150	18
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				157,137
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	21,55
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				21,55
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	23,71
TOTAL UTILIDAD				23,71
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	8,06
TOTAL IMPUESTOS				8,06
TOTAL PRECIO UNITARIO				268,867

El costo del pavimento con el agregado de Santa Ana será:

Para un kilómetro de pavimento = $268,867 \times 7000 = 1882020,00$ Bs.

- Pavimento rígido con agregado natural de Guadalquivir E = 22.86 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	85,50	1,12	95,76
GRAVA	m ³	0,18	150	27
ARENA	m ³	0,13	150	19,5
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				159,477
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	21,79
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				21,79
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	23,97
TOTAL UTILIDAD				23,97
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	8,15
TOTAL IMPUESTOS				8,15
TOTAL PRECIO UNITARIO				271,797

El costo del pavimento con el agregado de Guadalquivir será:

Para un kilómetro de pavimento = 271,797 x 7000 = 1902530,00 Bs.

- Pavimento rígido con agregado natural de Erquiz E = 22.35 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	83,62	1,12	93,654
GRAVA	m ³	0,17	150	25,5
ARENA	m ³	0,12	150	18
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				154,371
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	21,28
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				21,28
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	23,41
TOTAL UTILIDAD				23,41
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	7,96
TOTAL IMPUESTOS				7,96
TOTAL PRECIO UNITARIO				265,431

El costo del pavimento con el agregado de Erquiz será:

Para un kilómetro de pavimento = 265,431 x 7000 = 1858010,00 Bs.

- Pavimento rígido con agregado triturado del Rancho E = 21.08 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	78,75	1,12	88,2
GRAVA	m ³	0,16	162,5	26
ARENA	m ³	0,11	150	16,5
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				147,917
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	20,63
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				20,63
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	22,7
TOTAL UTILIDAD				22,7
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	7,71
TOTAL IMPUESTOS				7,71
TOTAL PRECIO UNITARIO				257,367

El costo del pavimento con el agregado de Rancho será:

Para un kilómetro de pavimento = $257,367 \times 7000 = 1801520,00$ Bs.

- Pavimento rígido con agregado triturado de Charaja E = 21.59 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	81	1,12	90,72
GRAVA	m ³	0,17	162,5	27,625
ARENA	m ³	0,11	150	16,5
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				152,062
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	21,05
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				21,05
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	23,15
TOTAL UTILIDAD				23,15
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	7,87
TOTAL IMPUESTOS				7,87
TOTAL PRECIO UNITARIO				262,542

El costo del pavimento con el agregado de Charaja será:

Para un kilómetro de pavimento = 262,542 x 7000 = 1837780,00 Bs.

- Pavimento rígido con agregado triturado de San Mateo E = 21.33 cm.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción	Unid	Cantidad	Precio Unit	Costo Total
1.- MATERIALES				
CEMENTO IP-30	kg	79,85	1,12	89,432
GRAVA	m ³	0,17	162,5	27,625
ARENA	m ³	0,11	150	16,5
MADERA	pie ²	0,3	9	2,7
FIERRO	kg	0,4	9,8	3,92
DUCTOS PVC DE 1"	ML	0,1	8,72	0,872
AGUA	m ³	0,5	3	1,5
ALQUITRÁN	kg	0,25	14,5	3,625
ANTISOL NORMALIZADO	LT	0,2	23	4,6
TOTAL MATERIALES				150,774
2.- MANO DE OBRA				
ALBAÑIL	hr	1	15	15
PEON	hr	1,4	8,75	12,25
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			71,18%	19,4
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE M. O. + C.S.)			14,94%	6,31
TOTAL MANO DE OBRA				52,96
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
HORMIGONERA	hr	0,08	25	2
VIBRADORA	hr	0,04	20	0,8
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00%	2,65
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				5,45
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10,00%	20,92
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				20,92
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10,00%	23,01
TOTAL UTILIDAD				23,01
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3,09%	7,82
TOTAL IMPUESTOS				7,82
TOTAL PRECIO UNITARIO				260,934

El costo del pavimento con el agregado de San Mateo será:

Para un kilómetro de pavimento = 260,934 x 7000 = 1826510,00 Bs.

Tabla 52: Variabilidad del precio del pavimento en función de los Espesores

TABLA DE PRECIOS					
AGREGADO NATURAL			AGREGADO TRITURADO		
Santa Ana	Guadalquivir	Erquiz	Rancho	Charaja	San Mateo
1882020 Bs.	1902530 Bs.	1858010 Bs.	1801520 Bs.	1837780 Bs.	1826510 Bs.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar que es el costo del pavimento está en función a su espesor.

A menor espesor menor costo del pavimento. Como así podemos demostrar que existe una variabilidad en los agregados en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos. Si el hormigón llega a tener una buena resistencia a la flexión reducirá su espesor y de ende su precio del pavimento.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió el objetivo principal del proyecto que es el determinar la variabilidad de los agregados en función a la resistencia realizando especímenes preparados en laboratorio con los diferentes agregados que se encuentran en nuestro medio o con diferentes canteras de Tarija. Se puede mencionar que la mayoría de especímenes llegaron a cumplir la resistencia requerida y así cumpliendo con los valores mínimos de resistencia que exige el diseño de pavimentos rígidos.
- Podemos mostrar que algunos parámetros son similares entre agregados, en este caso podemos mencionar que el peso unitario compactado del agregado grueso tienen el mismo valor de 1.68 entre el agregado natural de Erquiz y el agregado triturado de la San Mateo.
- Los resultados y análisis obtenidos pueden llegar a conformar un gran apoyo para entender cuál es el comportamiento del hormigón ante la resistencia a compresión y flexión con distintos agregados ya que no todos los agregados proporcionan la misma resistencia.
- Se pudo observar que la resistencia a flexión influye en el dimensionamiento del espesor de la losa de hormigón del pavimento rígido, es decir a mayor resistencia a flexión que se obtenga, menor será el espesor de la losa de concreto.
- Estos resultados servirán como guía para los compañeros que les interese el comportamiento del hormigón con variables como los agregados naturales y triturados
- En cuanto a los agregados se podría decir que influyen a medida que disminuye el tamaño máximo, esto se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes

de la pasta de cemento y los agregados. Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación en las canteras.

4.2 RECOMENDACIONES

- Es muy importante obtener buen banco de materiales ya que nos ayudó mucho en la caracterización de materiales.
- Hay que tener mucho cuidado cuando se está haciendo el cálculo de la dosificación porque es muy importante que tengamos una dosificación buena para así mismo tener un pavimento resistente y además para que se pueda notar la variabilidad de tal manera que ayude a nuestro propósito de nuestra investigación.
- Ejecutar de forma precisa todos los pasos indicados en la dosificación del hormigón, sea el método que fuere, para no incurrir en errores al momento de elaborar la mezcla.
- De igual forma, se debe tener mucho cuidado al manipular las probetas que se encuentren listas para su rotura, en lo posible evitar los impactos, porque esto también provoca un decremento considerable a la resistencia.
- Se hace una recomendación dirigida hacia el manejo y procesamiento de los datos que son producto de la caracterización y ensayos de rotura en general. Un procesamiento de datos debe ser consistente en analizar la información obtenida, comenzando por un simple control de datos, seguido por una depuración de datos que alteran los resultados.
- Se recomienda tener en cuenta el buen funcionamiento de las prensas al momento de realizar los ensayos de rotura tanto a compresión y flexión. Porque es la parte más importante de la investigación para ver la resistencia de los especímenes elaborados.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- MARCOS DUTRA DE CARVALHO**
Conservación y Rehabilitación de Pavimentos de Hormigón
Associação di cimento portland
Brasil 2005

- 2.- JUÁREZ BADIÑO - J. RICO ALFONZO**
Ingeniería de suelos en las vías terrestres Volumen I
Limusa
México 2001

- 3.- M. ADAM**
Aspectos del Hormigón
Editores Técnicos Asociados
España 1989.

- 4.- T. WILLIAM LAMBE**
Mecánica de Suelos
Limusa.
México 1998

- 5.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO**
Manual para supervisar obras de concreto ACI-311-99
American Concrete Institute.
México 1988

- 6.- JOSE JUAN GARZA RUIZ**
Pavimentos Rígidos
Universidad Autónoma de Puebla
México 1996

Sitios Web.

1. <http://es.slideshare.net/henryj20/diseo-pavimento-rigido>
2. http://www.institutoivia.com/doc/Tesis_Raysa_Lopez_Alfons_ISPJAE_Procedimiento_constructivo_pavimentos_rigidos_Junio2010.pdf
3. [http://www .método aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos.pdf](http://www.método_aashto_93_para_el_diseño_de_pavimentos_rígidos.pdf)

Otros.

- 1.- Guia de Ensayo (2016) Laboratorio de Hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael.