

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Antecedente internacional

“La investigación revisada, aborda el parámetro de la trabajabilidad, empleando cenizas como parte del porcentaje del agregado fino, diferente procedencia de agregado grueso y también utiliza cemento Portland compuesto clase resistente 30 de resistencia rápida (CPC- 30 R) es apto para la construcción de elementos estructurales donde no se necesita algún requisito con característica especial, desarrollando un buen desempeño de fraguado, resistencia y rendimiento. Como ámbito internacional, es importante analizar parámetros investigados con similitudes entre la investigación internacional y la investigación desarrollada por mí parte”.

La investigación presente aborda la trabajabilidad del concreto hidráulico adicionado con cenizas.

El concreto se diseñó por el método del American Concrete Institute (A.C.I.), debido a que éste generalmente permite mayores relaciones de agua/cemento reflejándose en mezclas manejables y con menores consumos de cemento que el método de las curvas de Abrams.

El concreto proyectado fue de un $f'c = 250\text{Kg/cm}^2$. Para evitar que los valores resultantes estuvieran por debajo del valor promedio, se calculó el siguiente valor de diseño de mezcla, $Fcr = 285\text{Kg/cm}^2$, según el artículo 308 del reglamento de construcciones para el estado de Michoacán, como un factor de seguridad.

Así las mezclas fueron diseñadas para una resistencia promedio de 285Kg/cm^2 .

En la investigación se empleó cemento Portland CPP 30R, relación agua/cemento en peso de 0.56 y un revenimiento del proyecto de 10 cm.

Para la elaboración del concreto se trabajó con agregados pétreos provenientes de tres bancos locales, los cuales reciben el nombre de Joyitas Mpio. de Morelia, Tribasa Mpio. de Tarimbaro, Ejido San Isidro, Mpio. de Acámbaro, Gto.

Se elaboraron dos mezclas de concreto hidráulico, con el cemento mencionado y se analizaron los pétreos de Joyitas y Tribasa, además de estos agregados se empleó una ceniza volcánica, proveniente del banco del Ejido San Isidro de Acámbaro, Gto., mezclada con la arena en cinco diferentes proporciones para aumentar el revenimiento del concreto.

Con el concreto se elaboraron especímenes de prueba los cuales llevaron un proceso de curado para posteriormente ser sometidos a las pruebas mecánicas de compresión y tensión, cabe mencionar que uno de los parámetros para medir la trabajabilidad es el revenimiento, el cual se determinó para la mezcla y a continuación se resumen los resultados. Con el concreto elaborado empleando arena de Joyitas, grava de Joyitas y ceniza volcánica en diferentes proporciones el mejor resultado en cuanto a trabajabilidad lo proporciona la proporción 50%-50%, es decir, 50% en peso de arena y 50% en peso de ceniza volcánica, además de la grava. De igual manera, para el concreto elaborado con arena de Joyitas, ceniza volcánica y grava de Tribasa, la proporción 50%-50% fue la mejor.

Todo lo anterior según los estándares vigentes de la ASTM.

De los especímenes de prueba endurecidos se extrajeron muestras o esquirlas de concreto para analizarlas por medio del método de microscopía electrónica de barrido. (García, 2005)

Antecedente local

“En el ámbito local se revisó una investigación que aborda el parámetro de la trabajabilidad, empleando aditivos en las mezclas, para analizar la influencia de los mismos en porcentajes diferentes. Como la investigación se realizó en nuestra entidad, la importancia de tomar en cuenta, es que los materiales componentes de las mezclas de hormigón, son de canteras o bancos que se encuentran en nuestro departamento, presentando características similares con los materiales empleados en mi investigación, y

a su vez, observar las variaciones en los diferentes parámetros analizados en el presente trabajo de investigación”.

El trabajo de investigación titulado, “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LOSAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS”, tiene como objetivo principal cuando finalice, establecer la incidencia de los diferentes tipos de aditivos plastificantes y superplastificantes reductores de agua en el comportamiento de las propiedades del hormigón, y analizar los efectos que produce en el hormigón en su estado fresco y endurecido. El presente trabajo de investigación contempla el estudio de algunas de las propiedades del hormigón como la trabajabilidad y su variación a través del tiempo antes del inicio de fraguado, la resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días, al aplicar diferentes dosis de aditivo a las mezclas. La investigación se basa en el problema que existe en la manipulación de hormigón en la elaboración de pavimentos rígidos, debido a que se trabaja con mezclas secas el manipuleo, transporte y colocación son dificultosos, y por otro lado la falta de datos certeros sobre el tiempo de acción de los diferentes aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco, especialmente aditivos plastificantes y superplastificantes, puesto que en ciertos casos la información de la hoja técnica exageran las cualidades de utilización de sus productos y las extrapolan con exceso, dando información errada sobre las condiciones reales de aplicación de estos aditivos. La dosis utilizada para el diseño de las mezclas con aditivo está en función de los rangos establecidos en la hoja técnica del producto, considerando dosis medias y no así solo extremas, es decir, dosis mínimas, medias y máximas para cada tipo de aditivo. (Flores Serrano, 2014).

1.2. Justificación del problema

El estudio de las características y propiedades de las mezclas de concreto es muy importante para la etapa constructiva de las obras civiles que deben cumplir con las especificaciones técnicas en cada tipo de proyecto, una de esas características muy importante es la trabajabilidad de la mezcla.

Cualquier mezcla elaborada con agregados tiene la posibilidad de adquirir condiciones variables que dependen de las características propias de los agregados intervinientes sobre todo cuando estas dependen de su variabilidad entre canto rodado y triturado.

Entre las características más influyentes están el tamaño de las partículas de los agregados que necesariamente influirán en las condiciones de trabajabilidad de la mezcla, siendo riesgoso una adición de componentes como el agua con propósito de mejorar la trabajabilidad en perjuicio de otras propiedades principalmente la resistencia. Por otra parte, al definir un tamaño apropiado de los agregados con la cual una mezcla de concreto tenga buena trabajabilidad, no será necesario la utilidad de aditivos para hacer que una mezcla sea más fluida y más trabajable sino, más bien obtener esa trabajabilidad deseada con el uso del tamaño adecuado de los agregados en las mezclas de concreto.

La no disponibilidad de agregados de tamaños y naturaleza en la etapa de construcción dentro de las áreas de influencia a los proyectos viales obligan a los proyectistas y constructores a buscar soluciones que sean viables en el marco del cumplimiento de las especificaciones técnicas de las obras civiles.

La disminución de los agregados en los ríos locales por la alta explotación de los mismos está afectando de alguna manera ya sea en socavación de algunas estructuras y desgaste por la erosión en laderas de terrenos en la producción agrícola, por lo que, es importante ir tomando en cuenta los reemplazos de los agregados y la influencia que tendrán los mismos dentro de las mezclas de concreto para los pavimentos rígidos.

Lo manifestado en los párrafos anteriores inducen a la necesidad de investigar los efectos, las causas y las consecuencias de las mezclas de concreto en el marco de la trabajabilidad, lo que permitirá realizar una investigación más profunda y detallada tomando en cuenta la naturaleza y tipos de producción local de agregados para concretos de pavimento.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

Dentro de las mezclas de concreto para pavimentos, la trabajabilidad es un factor muy importante y debe considerarse la influencia que tiene la misma durante el proceso de trabajo. Por lo tanto, es necesario tener conocimiento de los diferentes factores que están

íntimamente relacionados con la trabajabilidad, los mismos por una parte son: la relación agua-cemento y por otra, la variación de la granulometría de los agregados.

Al utilizar agregados naturales entre canto rodado y triturados además los tamaños de agregado fino (arena) y agregado grueso (grava), la trabajabilidad de una mezcla no será la misma para todos los casos e influirá en la calidad de colocado, sus características y propiedades finales y estará de cierta manera relacionada con el rendimiento del trabajo.

Al emplear agregados de distintos tamaños para las diferentes mezclas, la trabajabilidad tendrá diferente comportamiento para un agregado más fino que para uno más grueso, si se habla de utilizar agregados de un solo tamaño, y un comportamiento diferente si se utilizan varios tamaños de agregados dentro de una misma mezcla de concreto.

Por otra parte, al utilizar los agregados finos con diferentes composiciones, cuya trabajabilidad será diferente para una arena más fina que para una arena más gruesa. En el departamento de Tarija dependiendo del lugar, los agregados tienen diferente composición, existiendo en algunos lugares arenas de un color rojizo, mientras que, por otra parte, de color gris o plomizo, empleando los diferentes tipos de agregados en la mezcla, la trabajabilidad se verá influenciada por las diferentes propiedades que tienen los mismos.

Sin embargo, la influencia que tienen los distintos tamaños de los agregados en la trabajabilidad de las mezclas de concreto para pavimentos, puede resultar más o menos favorable en el manejo de las mezclas de concreto al momento de trabajar con las mismas.

1.3.2. Problema

¿Cuál será la influencia que tienen los agregados con diferente tamaño entre canto rodado y triturado en la trabajabilidad de las mezclas de concretos para pavimentos rígidos?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar las mezclas de concreto a partir de la variación del tamaño de agregados naturales entre canto rodado y triturado, evaluados en el parámetro de trabajabilidad, obtenida mediante el cono de Abrams y el K-slump, para diferenciar la trabajabilidad de las diferentes mezclas de concreto.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a los agregados naturales y triturados que se utilizarán en la investigación.
- Determinar la dosificación para los distintos tipos de concreto para pavimento rígido.
- Preparar mezclas para la evaluación con los distintos tamaños de agregados de canto rodado y triturado.
- Determinar el asentamiento de las mezclas producidas a partir de cono de Abrams y el K-slump.
- Analizar la consistencia de las mezclas de concreto con diferentes tamaños de agregados entre canto rodado y triturado, medida con ambas metodologías.

1.5. Hipótesis

¿Si se utilizan agregados naturales entre canto rodado y triturado con diferentes tamaños, entonces afectarán la propiedad de trabajabilidad en las mezclas de concreto para pavimentos?

1.6. Variables

Variable independiente: Agregados

Variable dependiente: La trabajabilidad

Sistema de variables

1.6.1. Definición conceptual

Agregados finos y gruesos: Los agregados finos y gruesos son componentes para la elaboración del concreto, tanto el fino como el grueso la función de estos agregados es darle forma rígida y estable al concreto de igual manera el volumen.

La trabajabilidad: Describe cuán fácilmente se puede mezclar, colocar, consolidar y terminar el hormigón recién mezclado con una mínima pérdida de homogeneidad.

1.6.2. Definición operacional

Variable independiente:

Tabla 1.1 Variable independiente

Variable	Definición operacional	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Escala
Agregados	<p>Agregados finos: Son las partículas que pasan por el tamiz 3/8" y retenidos en la malla N° 200, actúa como lubricante sobre los agregados gruesos para que tengan trabajabilidad.</p> <p>Agregados gruesos: Son partículas que se retienen en el tamiz N°4, la función de este componente es darle cuerpo a la estructura y rigidez.</p>	Agregados	<p>*Canto rodado</p> <p>*Triturado</p>	Cuantitativa continua

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente:

Tabla 1.2 Variable dependiente

Variable	Definición operacional	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Escala
Trabajabilidad	Es un factor que define la facilidad de manejo y colocado de las mezclas de concreto	Ensayo mediante el Cono de Abrams.	Asentamiento de las mezclas de concreto,	Cuantitativa continua
		Ensayo mediante el K-slump.	Revenimiento de las mezclas de concreto.	

Fuente: Elaboración propia

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Componentes

La unidad de estudio.

- La trabajabilidad en el concreto para pavimentos rígidos, utilizando diferente granulometría de los agregados.

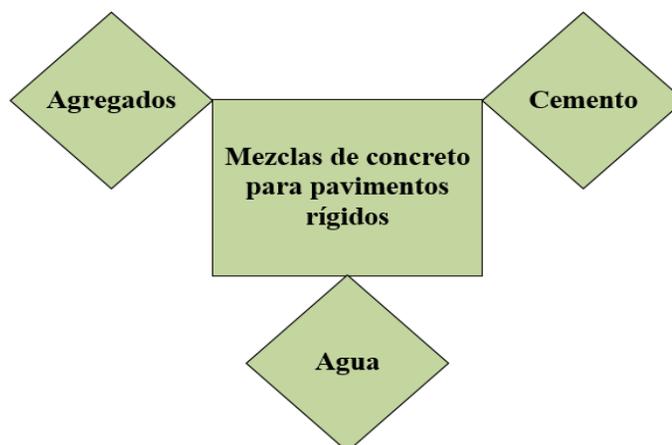
Los elementos que serán medidos son los siguientes:

- El asentamiento de las mezclas de concreto mediante el cono de Abrams (cm).
- El revenimiento de las mezclas de concreto mediante el K-slump (cm).

1.7.2. Población

Mezclas de concreto para pavimentos rígidos.

Figura 1.1 Componentes del concreto



Fuente: Elaboración propia

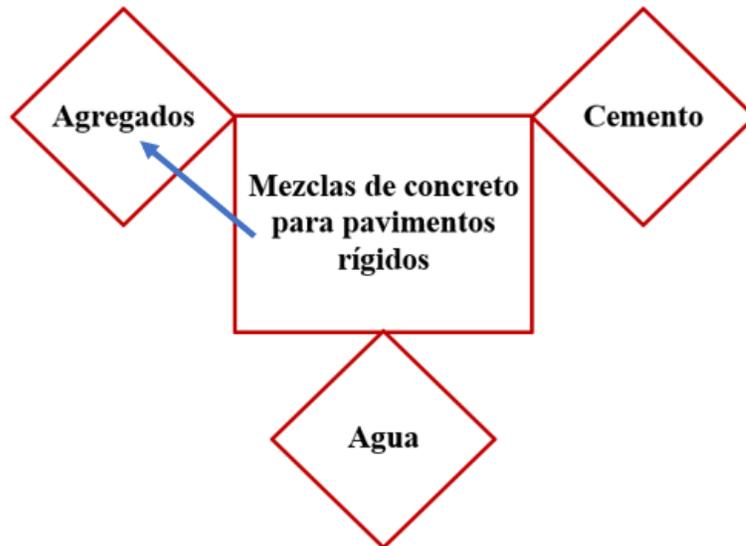
1.7.3. Muestreo

Para la elaboración de las diferentes mezclas de concreto de prueba se utilizarán agregados naturales provenientes de la planta de La Chozá y agregado triturado de la planta de producción de La Pintada, cambiando solo la ubicación ambas plantas extraen el material del río Guadalquivir. De acuerdo al uso de los agregados en las diferentes construcciones, las plantas que proveen los áridos son las que están en nuestro medio, de acuerdo al lugar de ubicación se optará por adquirir de una u otra. El cual posteriormente se comprobará con la realización de una clasificación del material para concretar el objetivo.

1.7.4. Muestra

Selección de los elementos que serán estudiados en la presente investigación.

Figura 1.2 Selección de los elementos a estudiar



Fuente: Elaboración propia

1.7.4.1. Tamaño de la muestra

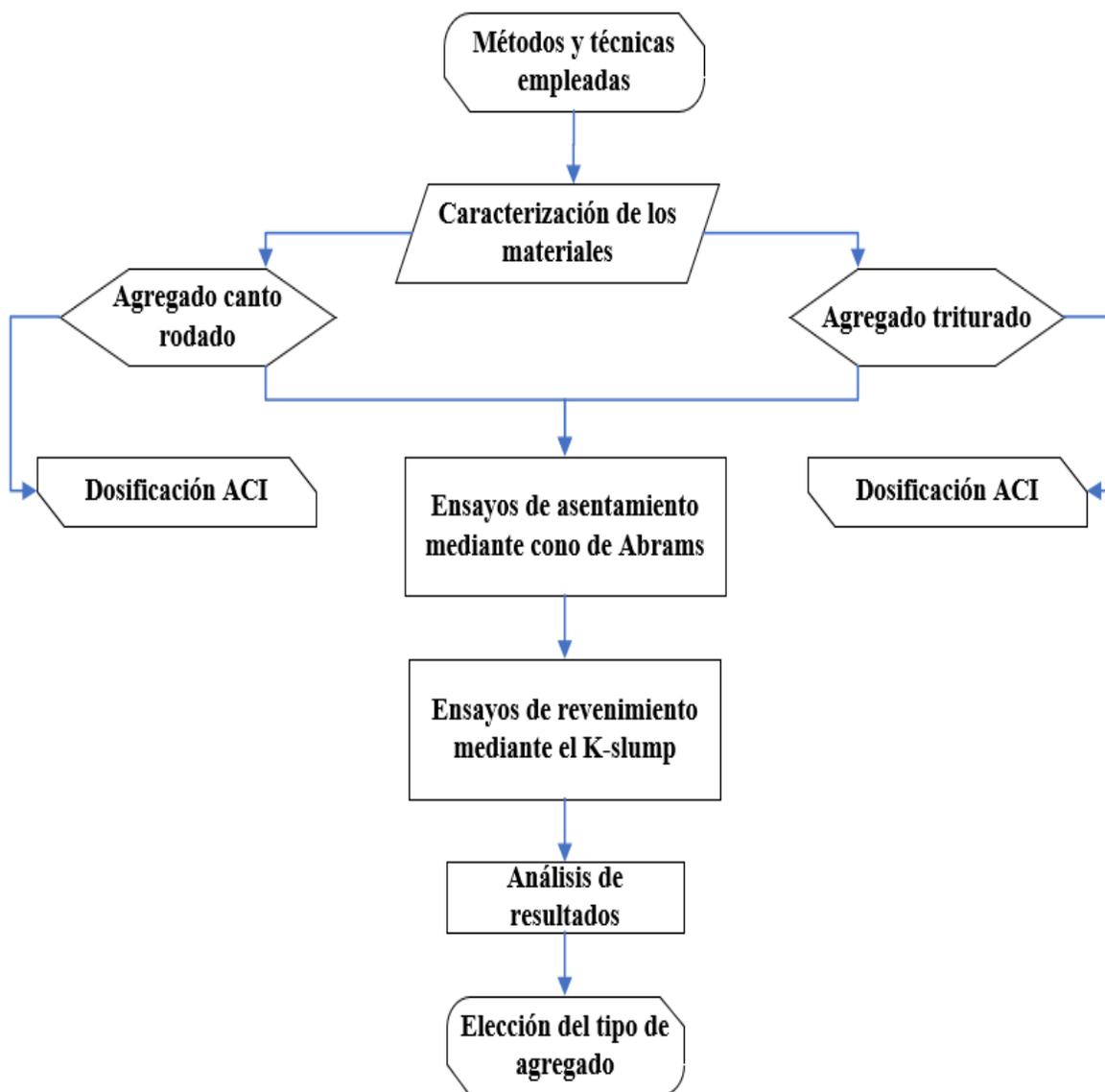
En cada muestra se realizarán 3 ensayos a los agregados para obtener la dosificación, lo que permitirá tener una mayor precisión de los resultados.

Dentro de medición del asentamiento de las mezclas se tendrán: 3 muestras con agregado natural, 3 con agregado triturado y 3 combinadas entre canto rodado y triturado. Y para estas muestras empleadas se realizará la medición con el cono de Abrams y el K-slump, para determinar la consistencia de cada mezcla y para definir la diferencia de los resultados por ambas metodologías.

Cada muestra se realizará para 3 distintos tamaños de agregado grueso, que comprenderá los tamaños de: 1/2; 3/4 y 1 pulgada.

Para la presente investigación se realizarán más de 30 ensayos en la prueba de resistencia en total entre las diferentes mezclas con agregado de canto rodado y triturado en los 3 tamaños y una mezcla de ambos agregados, para dar cumplimiento al mínimo establecido en la normativa de nuestra entidad.

Figura 1.3 Flujograma de análisis e interpretación de la información



Fuente: Elaboración propia

1.7.5. Métodos, técnicas y procedimientos

Se define el número de probetas y vigas de concreto para su elaboración y se describe la metodología a utilizar para el diseño de estas, las resistencias esperadas a obtener de cada muestra, el número de muestras que serán elaboradas por mezcla, la dosificación y los ensayos necesarios que comprendan dentro de la investigación, como lo es para el concreto en estado fresco la prueba del asentamiento, prueba de resistencia a la compresión, prueba de resistencia a la flexión, etc.

➤ Experimentales

La presente investigación es experimental debido a que toma la variable independiente (agregados) para ver la influencia en la variable dependiente (trabajabilidad), por lo que se puede afirmar que es un experimento puro, ya que al manipular la variable independiente se podrá ver el comportamiento de las dos variables.

Para conocer la influencia de los agregados dentro de las mezclas de concreto es necesario realizar ensayos que den resultados para realizar un análisis posteriormente, por lo tanto, la investigación partirá desde la elaboración de muestras de concreto.

❖ Probetas cilíndricas

Las probetas cilíndricas serán con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, la cantidad de probetas a estudiar será en total de 30 (treinta) entre agregado canto rodado y triturado, se utilizará cemento portland IP-30 y referente al agua ésta procederá del agua potable que suministra la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, lugar donde se realizarán los ensayos para la investigación.

❖ Vigas rectangulares

Las vigas serán con dimensiones de 15 cm de base, 15 cm de altura y 53 cm de largo, un total de 20 muestras entre agregado canto rodado y triturado, con el mismo tipo del cemento y agua que las probetas cilíndricas.

1.7.6. Preparación para la aplicación de equipos

➤ Descripción de los equipos

Los equipos a utilizar son los que al principio permitirán medir el asentamiento de la mezcla y posteriormente la resistencia a compresión y flexión del concreto.

- Cono de Abrams
- K-slump
- Prensa hidráulica (resistencia a compresión)
- Máquina para ensayo a flexión

➤ **Forma de operar**

La forma de operar los equipos para realizar los ensayos que comprenden dentro de la investigación, se realizará de acuerdo a los procedimientos que proporcionan las normativas vigentes.

Cono de Abrams y K-slump, se utilizará el mismo procedimiento indicado en el procedimiento de aplicación, debido a que la investigación consiste en determinar la trabajabilidad con estos dos equipos.

Prensa hidráulica (resistencia a compresión), se determinará la resistencia a compresión para cada probeta cilíndrica a los 7, 14 y 28 días del fraguado, mediante la aplicación de una carga en el centro del espécimen, hasta que la probeta falle y llegue a romperse, a partir de esta carga máxima se podrá determinar la resistencia a compresión de la probeta.

Máquina para ensayos de flexión, Se determinará la resistencia a flexión de las vigas de ensayo, de la misma manera que las probetas, las vigas serán ensayadas a los 7, 14 y 28 días; la carga de la máquina de ensayo para flexión estará ubicada en los puntos tercios de cada extremo de la viga, de acuerdo a las características de la ruptura se determinará la resistencia a flexión de las vigas.

1.7.7. 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 la granulometría de los agregados es la que se estudia en esta investigación, comprende el estudio de la trabajabilidad, además de tener en cuenta las propiedades de los agregados que se van a utilizar para la elaboración de las mezclas de concreto, para ello es necesario realizar diferentes pruebas de laboratorio a los agregados; en donde cada una de estas pruebas son sustentadas según las especificaciones en las normas vigentes.

❖ Ensayo de compresión para probetas cilíndricas de hormigón

Cómo se trata de mezclas para pavimentos rígidos, las probetas deberán ser desmoldadas pasadas las 24 horas de fraguado, para posteriormente ser almacenadas en un sitio

húmedo, donde la superficie de los especímenes, estén en contacto con la humedad, a una temperatura de 18° y 24° C, para luego de 7, 14 y 28 días de ser ensayadas y alcanzar una resistencia superior a los 280 kg/cm² para las diferentes mezclas, el ensayo se realizará así también siguiendo la norma ASTM C39.

❖ **Ensayo de la flexión para las vigas de hormigón**

Siguiendo la norma ASTM C-78 las vigas serán ensayadas a los 7, 14 y 28 días, previamente se realizará el ensayo de curado de las muestras, al igual que las probetas cilíndricas deben encontrarse en un sitio húmedo luego de ser desmoldadas, la resistencia a flexo tracción para las mezclas debe alcanzar un valor por encima de los 45 kg/cm².

1.7.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizará de acuerdo al procedimiento de la información obtenida una vez realizados los ensayos.

Para determinar los parámetros estadísticos se usa la siguiente expresión:

Media aritmética

La media aritmética es un concepto matemático usado en estadística. También se lo llama promedio o simplemente media, se obtiene con la suma de un conjunto de valores dividida entre el número total de sumandos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_n = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Es el valor medio de la serie de datos.

n= Es igual al número de datos.

X_1, X_2, \dots, X_n = Son los valores de los ensayos a realizar. (Víctor Chungara, 2015)

1.8. Alcance de la investigación

Determinar la trabajabilidad del concreto para pavimentos rígidos, elaborado con agregados naturales entre canto rodado y triturado, cumpliendo con todo lo establecido en norma. El tipo de cemento que se usará es IP 30 por ser el de mayor uso en el medio.

La investigación está orientada a determinar el asentamiento de las mezclas elaboradas con las diferentes granulometrías de los agregados naturales entre canto rodado y triturado. La misma se desarrollará siguiendo los procedimientos y lineamientos descritos según las normativas pertinentes a los diseños en estudio. El diseño de mezcla se realizará para asentamientos que estén dentro de los valores recomendados por las normativas con resistencia a compresión de 280 kg/cm^2 y resistencia a flexión de 45 kg/cm^2 , utilizando agregados naturales entre canto rodado y triturado, que se encuentran en el medio. Se pretende realizar una base de datos que permita efectuar un análisis comparativo y su influencia en el concreto fresco. Además, de las pruebas de resistencia a compresión y flexión de las muestras para garantizar que el diseño de las mezclas llegue a la resistencia de diseño, se espera que con los resultados de las diferentes mezclas de concreto se pueda demostrar la variabilidad de la influencia de los agregados en la trabajabilidad del concreto para pavimentos rígidos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2. Fundamento teórico

2.1. Áridos

2.1.1. Generalidades

“La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las demás características que se exijan en el pliego de especificaciones técnicas.

Como áridos para la fabricación de hormigones, pueden emplearse arenas y gravas obtenidas de yacimientos naturales, rocas trituradas u otros productos cuyo empleo se encuentre aceptado por la práctica, o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio.

Se prohíbe el empleo de áridos que contengan o puedan contener materias orgánicas, piritas o cualquier otro tipo de sulfuros e impurezas. (CBH87, 1987)

2.1.2. Almacenamiento

Los áridos deberán almacenarse de tal forma que queden protegidos de una posible contaminación por el ambiente, y especialmente por el terreno, no debiendo mezclarse de forma incontrolada los distintos tamaños. Deberán también adoptarse las necesarias precauciones para eliminar en lo posible la segregación, tanto durante el almacenamiento como durante su transporte.” (CBH87, 1987)

2.2. Tipo de agregados

2.2.1. Agregado de canto rodado y piedra chancada

El canto rodado en simples palabras es un agregado natural originado por la desintegración de fragmentos de roca, por su transporte a través del agua en ríos, en si se puede decir que las partículas de roca son resistentes por las fuerzas aplicadas de erosión que resistieron. En cambio la piedra chancada se origina de los cantos rodados con la cualidad de ser artificial, son angulares y son graduadas de acuerdo al tamaño requerido en obra.

Comparando estos dos agregados, se puede decir que con el canto rodado se obtiene una buena resistencia y mejor trabajabilidad haciendo que las partículas se deslizaran muy fácilmente llegando a esquinas y lugares difíciles para el concreto , en cambio con la piedra chancada se obtiene una excelente resistencia por sus aristas, porque entre las partículas habrá un mejor comportamiento frente a la compresión ya que estas presentan esquinas que hacen que sea difícil el deslizamiento entre partículas e impiden que se pueda llegar a quebrar el concreto, pero la desventaja de la piedra chancada es su trabajabilidad, pero esto se puede solucionar disminuyendo el tamaño de las partículas del material componente a utilizar. En fin este es un tema que se llega a comprender mejor en obra, porque ahí es donde se verán los problemas que se presenten y las soluciones que se deben de dar a estas en lo que respecta a un buen concreto. (CivilGeek, 2020)

2.3. Características de los agregados

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado.

Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si conserva su integridad bajo cambios de temperatura o humedad y si resiste la acción de la intemperie sin descomponerse.

Se realizan variadas pruebas en los agregados del hormigón para:

- Establecer que se satisfagan requisitos mínimos de calidad; se incluyen esas cualidades básicas deseables como tenacidad, solidez y resistencia a la abrasión.
- Determinar características útiles para seleccionar las proporciones para el hormigón; como la gravedad específica y la absorción.
- Asegurar que en forma rutinaria se cumplan con los requisitos para el trabajo.

En la mayor parte de los casos, las pruebas aplicadas a los agregados dan un índice para predecir el comportamiento en el hormigón, en lugar de evaluar un atributo en verdad básico. (IngenieroCivilInfo, 2010)

2.3.1. Textura Superficial

La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a la flexotracción que a la compresión.

El hormigón puede contener agregado con una gran diversidad de características superficiales distintas desde una muy lisa hasta muy áspera, de panal y resultar en un hormigón satisfactorio. (IngenieroCivilInfo, 2010)

2.3.2. Forma del Agregado

La forma del agregado tiene gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, particularmente en lo que hace a la docilidad y resistencias mecánicas respectivamente. Las partículas naturales de agregado que han sido sujetas a la acción de las olas y el agua durante la historia geológica pueden ser esencialmente esféricas; las otras, rotas por la trituración, pueden ser cúbicas o tener muchos ángulos con vértices agudos, debiendo tener por lo menos una cara fracturada, resultante del proceso de trituración. (Civil.com, 2011)

2.3.3. Resistencia Estructural

No se puede producir hormigón de alta resistencia que contenga agregados que presenten debilidad estructuralmente.

Para que un agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe superar la resistencia propia del aglomerante (cemento).

A pesar de la aparente relación obvia entre la resistencia del hormigón y la del agregado, al menos en los casos extremos, otros factores, como la forma de la partícula, textura superficial, gradación y relación A/C, se conjugan contra la evaluación precisa de la contribución de la resistencia estructural del propio agregado. Por esto no se ha podido hacer predicciones de la calidad del hormigón con relación a la resistencia de los agregados. (IngenieroCivilInfo, 2010)

2.3.4. Vacíos y Gradación

Vacíos: La cantidad de compactación, la forma, textura superficial y la gradación del agregado influyen de manera importante sobre la cantidad de vacíos. Un agregado bien graduado es aquel que contiene cantidades apropiadas de las partículas progresivamente más finas para llenar las aberturas entre los tamaños mayores y, de este modo, reducir el

contenido de vacíos. De hecho, los agregados con curvas granulométricas discontinuas en uno o más tamaños de tamiz, se han empleado con éxito e, incluso, algunos los recomiendan. (INGENIERIA CIVIL, s.f.)

Gradación: Después de la excavación o explotación en la mina, los agregados del hormigón casi siempre se sujetan a un proceso de tamizado para proporcionar los tamaños adecuados para que exista una cantidad mínima de vacíos, los que serán ocupados por la pasta de cemento. La confirmación de que los tamaños deseados se encuentran presentes en el producto se realiza por el "análisis mecánico" o prueba de tamices.

Dependiendo de la naturaleza de los agregados que se empleen, es posible que deba mantenerse un balance bastante preciso entre la relación de las fracciones de agregado fino y de agregado grueso, para lograr la movilidad, plasticidad y ausencia de segregación deseadas, todo lo cual se agrupa en el término general "trabajabilidad". (INGENIERIA CIVIL, s.f.)

2.4. Pavimentos de concreto

Los pavimentos rígidos son aquellos que fundamentalmente están compuestos por una losa de concreto hidráulico. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasa juntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son inapreciables.

Las losas se apoyarán en la capa subrasante, si ésta es de buena calidad y el tránsito es ligero, o bien, sobre una capa de material seleccionado, llamada subbase. Esta capa no tiene funciones estructurales, empleándose como una superficie de apoyo, capa drenante, plataforma de trabajo, etc. Y formada por materiales granulares o bien estabilizada con cemento Portland, o inclusive por concreto pobre. (Hidalgo, 2021)

2.5. Características de un 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 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. (Hidalgo, 2021)

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. (Hidalgo, 2021)

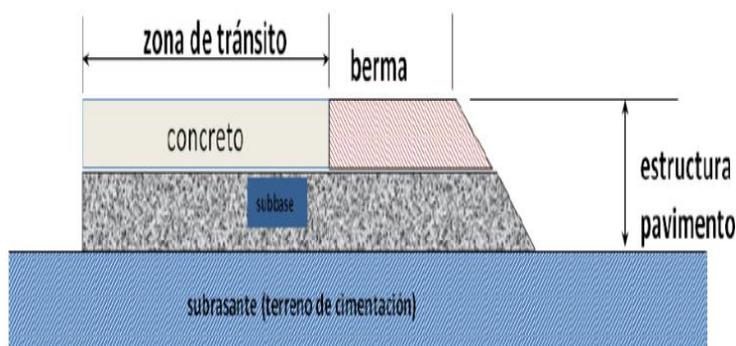
Estabilidad de la superficie de rodamiento

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. (Hidalgo, 2021)

2.6. Componentes del pavimento rígido

Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento Portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, definida como la subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto. (Hidalgo, 2021)

Figura 2.1 Partes de un pavimento rígido



Fuente: Pavimentos de concreto, Ing. Mario Becerra Salas

2.6.1. 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. (Hidalgo, 2021)

2.6.2. 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. (Hidalgo, 2021)

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. 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. (Hidalgo, 2021)

2.6.3. 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. (Hilton, 2012)

2.7. Mezclas en pavimentos rígidos

2.7.1. 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 importantes para la calidad de la mezcla. (León, 2014)

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. (Concreto360, s.f.)

El tamaño de sus partículas

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

2.7.2. Agregado grueso

Son aquéllos que están formados por partículas de ¼ 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 2.1 Especificaciones del agregado grueso

Tamiz N°	% que pasa mínimo	% que pasa máximo
2"	100	100
1 1/2"	95	100
1"	-	-
3/4"	35	70
1/2"	-	-
3/8"	10	30
N° 4	0	5

Fuente: Norma ASTM

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.

2.7.3. 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 está entre 1/16 pulgadas (1.59 mm) hasta 1/4 pulgadas (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 2.2 Especificaciones del agregado fino

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

Fuente: Norma ASTM

2.7.4. 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.

En 1824, Joseph Aspdin patenta el cemento Portland. La evolución tecnológica del cemento Portland que se ha producido desde la aparición de la patente de Aspdin hasta nuestros días, ha sido extensa. (Chinchon, 2003)

Especificaciones del cemento portland

A continuación, se explican brevemente algunas características del cemento Portland. 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.

- **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. (Chinchon, 2003)

2.7.5. Agua

Es un componente esencial para la elaboración de concretos y morteros que permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante, hidratar el cemento y dar manejabilidad al concreto.

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua puede tener muy pocas cantidades de cloruros, sulfatos. álcalis y material sólido. (Euroinnoba.bo, s.f.)

2.7.6. Aditivos

Son productos químicos de naturaleza orgánica e inorgánica que modifican las propiedades de los concretos en estado fresco o endurecido, le brindan alguna propiedad que este no tiene y son una forma simple y económica de hacerlo. El uso de aditivos para

concreto permite la optimización de los diseños de mezclas, permite también alcanzar elevada fluidez, resistencia, durabilidad, impermeabilidad entre otros. (SikaPerú, s.f.)

2.8. Dosificación

En la dosificación del hormigón se establecen cuáles son las proporciones apropiadas de sus componentes con el fin de conseguir la resistencia y durabilidad requerida en cualquier obra.

En todos los métodos utilizados en la dosificación del hormigón se destaca la importancia de las proporciones de los elementos que la componen: áridos, el cemento, la arena y el agua. Para seleccionar la dosificación del concreto vamos a utilizar. Esta va a depender de la resistencia necesaria para construir, por ejemplo, una losa de hormigón. Esta puede ser de 210 kg/cm². En este caso podemos utilizar, por ejemplo, una dosificación 1:2:3. Es decir, 1 parte de cemento, 2 de arena y 3 de grava. (Pav.Concreto, s.f.)

En la siguiente tabla, se muestran la dosificación del hormigón tomando en cuenta su resistencia, según el tipo de concreto:

Tabla 2.3 Tabla de dosificaciones

Tipo de concreto	Resistencia Psi o (lb/pulg ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Materiales			
			Cemento (kg)	Arena (m ³)	Grava (m ³)	Agua (l)
1:02:02	3500,00	246,00	420,00	0,67	0,67	220,00
1:02:03	3000,00	210,00	350,00	0,56	0,84	180,00
1:02:04	2500,00	175,00	300,00	0,48	0,96	170,00
1:03:04	2000,00	140,00	260,00	0,63	0,84	170,00
1:03:06	1500,00	105,00	210,00	0,50	1,00	160,00

Fuente: Manual de concretos

2.9. Propiedades mecánicas

La resistencia a compresión del hormigón, refiere a la amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayos de rotura por compresión, en número igual o superior a dos, realizados sobre probetas normalizadas, fabricadas a partir de la amasada, conservadas y ensayadas con arreglo a lo indicado en las normas. En aquellos casos en los que el hormigón no vaya a estar sometido a solicitaciones en los tres primeros meses a partir de su puesta en obra, podrá referirse la resistencia a compresión a la edad de noventa días. Para ciertas obras, el pliego de especificaciones técnicas podrá exigir que se controle, mediante ensayos, la resistencia a tracción f_{ct} del hormigón.

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá admitirse que la resistencia característica a tracción $f_{ct,k}$ viene dada en función de la resistencia a compresión de proyecto, f_{ck} por la fórmula.

$$f_{ct,k} = 0.21 * \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$f_{ct,k}$ y f_{ck} = Están expresados en Mpa.(CBH-87, 1987).

2.10. Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto puede definirse como la propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de mezcla de concreto fresco. En esta definición el término significa incluir todos los funcionamientos involucrados para manejabilidad del concreto fresco, llamándolos: transportación, colocación, compactación, en algunos casos terminación. En otras palabras, la trabajabilidad es esa propiedad que hace al concreto fresco fácil de manejar y contraer, sin un riesgo apreciable de segregación.

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad.

El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el mezclado. (CBH-87, 1987)

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son:

- El método y la duración del transporte;
- La cantidad y características de los materiales cementantes;
- La consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento);
- El tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos;
- El aire incluido (aire incorporado);
- La cantidad de agua;
- La temperatura del concreto y del aire;
- Los aditivos.

La consistencia del hormigón fresco constituye un índice de su trabajabilidad, es decir de su tendencia de segregación y de su conocimiento durante su puesta en obra y compactación. Se establece en función del uso que haya de darse al hormigón y de los elementos disponibles para su puesta en obra. Debe elegirse en forma que el hormigón fresco, sin perder su homogeneidad pueda ser adecuadamente puesto en obra, con los dispositivos de compactación existente perfecta. La consistencia y, por tanto, la trabajabilidad, dependen de la composición del hormigón y, en particular, de su contenido de agua, de la finura y proporción de sus componentes finos, así como de la granulometría y tipo de los áridos utilizados. El empleo de determinados aditivos y adiciones, puede modificar la consistencia del hormigón, para una composición dada. A medida que se aumenta la proporción de agua de amasado de un hormigón, decrece su resistencia, en tanto que aumenta el valor de su retractación y, por consiguiente, el peligro de que se fisure por esa causa, este último fenómeno que se acentuará con la utilización de cementos de elevada finura de molido, es muy acusado en el caso de hormigones de consistencia líquida. Por ello se prohíbe el empleo de estos cementos. Esta prohibición no afecta al caso en que se empleen súper plastificantes, los cuales transforman, por un tiempo limitado, una consistencia fluida e incluso líquida. (CBH-87, 1987).

Importancia

Hay diferentes expectativas y agendas en todo el espectro del diseño/equipo de construcción cuando se trata de ingeniería del diseño de hormigón. El ingeniero estructural quiere una mayor fuerza y un buen vínculo con el acero de refuerzo. El arquitecto obviamente quiere un diseño atractivo y estético; la fuerza es atractiva para el propietario, ya que permite secciones transversales más pequeñas de elementos estructurales y, por lo tanto, espacio de suelo más utilizable. Un obrero necesita una mezcla que se puede mover, colocar y consolidar correctamente, y un acabador está buscando algo que tome un acabado duradero y de alta calidad rápida y fácilmente. (Cotecno, Santiago Chile)

Trabajabilidad del concreto mediante la prueba del slump

Conocida como la medida más popular de la trabajabilidad, la prueba slump se originó como una manera para que los obreros juzguen lo fácil que su día iba a ser al usar hormigón recién mezclado. Un cono de slump se coloca sobre una base sólida y nivelada y se rellena con hormigón fresco en tres capas iguales rodadas de manera específica para consolidar. El hormigón luego se asienta o se hunde, y la altura final se resta de la altura original del cono y se graba. Este valor se considera una medida de trabajabilidad y un indicador áspero de la relación agua/cemento. Los slumps de 4 a 6 pulgadas (100 a 150mm) se consideran generalmente en una gama deseable para las operaciones típicas de la colocación y del acabamiento, siempre que también tengan cocientes convenientes de w/cm y cumplan requisitos del diseño de la mezcla cuando están colocados. La forma o perfil de slump también se observa y se utiliza para juzgar la confiabilidad de cada prueba:

- Caída verdadera - de hormigón, manteniendo su forma general.
- Caída de cizalla - la parte superior de la cizalla de hormigón y se desliza lateralmente.
- Colapso de la depresión - el hormigón colapsa completamente, es probable que la mezcla sea demasiado húmeda, las protuberancias de cizallamiento o colapso suelen indicar un problema con la ejecución y la prueba se debe repetir con una muestra fresca. (Cotecno, Santiago Chile)

2.11. Consistencia

La consistencia del hormigón será la necesaria para que, con los métodos de puesta en obra y compactación previstos, el hormigón pueda rodear las armaduras en forma continua y rellenar completamente los encofrados sin que se produzcan coqueas.

Como norma general y salvo justificación especial, no se utilizan hormigones de consistencia fluida, recomendándose los de consistencia plástica, compactados por vibrado. En elementos con función resistente, se prohíbe la utilización de hormigones de consistencia líquida. Se exceptúa de lo anterior el caso de hormigones fluidificados por medio de un súper plastificante. (CBH-87, 1987)

Las distintas consistencias y los valores límites de los asentamientos correspondientes, medidos en el cono de Abrams de acuerdo con el método del ensayo indicando en la norma NB/UNE 7103, son los siguientes:

Tabla 2.4 Asentamientos de mezclas de concreto

Consistencia	Asentamiento, en cm	Tolerancia, en cm
Seca	0-2	0
Plástica	3-5	±1
Blanda	6-9	±1
Fuida	10-15	±2

Fuente: Norma CBH-87

La consistencia del hormigón utilizado será la que determine el pliego de especificaciones técnicas correspondientes, con la tolerancia antes indicada.

Sistema de compactación	Consistencia
Vibrado energético y cuidadoso, como el efectuado generalmente en el taller	seca
Vibrado normal	plástica
Apisonado	blanda
Picado con barra	fluida (CBH-87, 1987)

2.12. Método cono de Abrams

El cono de Abrams es un ensayo muy sencillo de realizar y permite medir la consistencia de un concreto fresco, no requiriendo equipo costoso ni personal especializado y proporcionando resultados satisfactorios. (ConsistenciaHormigónFresco, 2014)

2.13. Método de K-slump

Este dispositivo se utiliza para determinar la trabajabilidad del concreto fresco tras su colocación en las formas se puede utilizar para mediciones en sitios o para pruebas internas. Los resultados pueden correlacionarse con la prueba de depresión.

Equipo K-slump

El **vástago de medición** es un tubo hueco de 13 mm de diámetro interno, 336 mm de longitud con un espesor de pared de 1.5 mm y está cubierto en ambos extremos con una cubierta de 15 mm de diámetro externo. Una **escala de referencia** de 45 mm de diámetro externo y 25 mm de ancho fabricado para el tubo hueco fijo y acomodado al vástago de medición. El **tubo hueco** tiene un diámetro externo de 33 mm y de 310 mm de largo con un espesor de pared de 4 mm y tiene 16 orificios redondos de 9.4 mm de diámetro y 4 ranuras longitudinales de 9.4 mm de ancho por 50 mm de largo, los cuales están distribuidos alrededor de la circunferencia del tubo. Una **punta** la cual es un afianzador de 3.2 mm de diámetro, sobresale 3.2 mm del tubo interno. El **collar flotador**, hecho de una placa de 5 mm de espesor, tiene un diámetro externo de 90 mm y un diámetro interno de 33 mm, está conectado al tubo perforado. La **punta de tubo** está maquinada a partir de un vástago y acabada dentro de una forma cónica, ésta es asegurada en el extremo inferior del tubo hueco y se utiliza para facilitar la inserción del ensamble dentro del concreto fresco. Todas dimensiones individuales deberán tener una tolerancia de $\pm 1\%$ de su valor. Hacer todas las partes del aparato de materiales no corrosivos que sean afectados por los químicos que se encuentren en el concreto fresco. (ASTM C1362, 1997)

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS EN LA TRABAJABILIDAD DE CONCRETOS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.1. Características de las canteras de materiales

Se eligieron las canteras proveedoras de áridos para los distintos trabajos en las construcciones actualmente dentro del departamento, la planta de donde se obtuvo los agregados naturales de canto rodado y la arena fue La Choza, mientras que para los agregados triturados, lo más conveniente fue optar por la planta de La Pintada debido a que los dueños eran las mismas personas y el material era el mismo. En la investigación se pudo observar las ligeras diferencias entre uno y otro material al trabajar con 3 tamaños diferentes en todos los casos desde la caracterización de los materiales. Se pudo comprobar que cumplían con lo establecido en las especificaciones, por lo tanto, se procedió a utilizar los materiales de las plantas mencionadas.

3.1.1. Ubicación de la planta seleccionadora de áridos La Choza

Coordenadas: 21° 40'55.70" S; 64° 36'49.12" O, Altitud: 1692 msnm.

Los materiales de la planta seleccionadora de materiales "La Choza" provienen de canto rodado del río Guadalquivir, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena deben ser separados por mallas convencionales. Geográficamente, esta zona de explotación se sitúa en la comunidad de La Choza aproximadamente a 20 kilómetros de la ciudad de Tarija sobre la carretera hacia Bermejo y el acceso a la planta se lo puede realizar de manera normal ya que queda a una corta distancia de la ruta principal.

Actualmente, la planta opera diariamente por la demanda que tiene por parte de la población que requiere agregados gruesos y finos para diferentes construcciones dentro de la zona.

Fotografía 3.1 Planta seleccionadora de agregados canto rodado



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Ubicación de la planta trituradora de áridos La Pintada

Coordenadas: 21° 36'04.59" S; 64° 38'01.07" O, Altitud: 1791 msnm.

Los materiales de la planta trituradora de materiales “La Pintada” provienen de canto rodado del río Guadalquivir, se traslada el material de canto rodado para su trituración desde la planta La Chozas debido a que son los mismos dueños y ocupan el mismo material excedente de la planta seleccionadora, por lo que para la comercialización se realiza el proceso de triturado para obtener materiales, tales como grava, gravilla o arena. Geográficamente, esta zona de explotación se sitúa en la comunidad de La Pintada aproximadamente a 9.5 kilómetros de la ciudad de Tarija sobre la carretera hacia Bermejo. El acceso a la planta se lo puede realizar de manera normal, aunque en épocas de lluvias se tiene el inconveniente por el hecho de que hay que cruzar el río para obtener el material

Fotografía 3.2 Planta trituradora de agregados



Fuente: Elaboración propia

Caracterización de los materiales para la mezcla de concreto

3.2. Caracterización de la grava

La grava estará conformada por canto rodado y triturado, teniendo en cuenta que la misma se encuentre limpia sin la presencia de limos o arcillas en su superficie, las partículas serán sólidas y resistentes con un peso específico igual o mayor a 2,60 kg/m³.

Los tamaños de la grava estarán dentro de una graduación, la misma comprende desde los tamaños máximos especificados quedando retenido el 100 % del material en el tamiz N°4.

Tabla 3.1 Especificaciones granulometría de la grava

Tamiz N°	% que pasa mínimo	% que pasa máximo
2"	100	100
1 1/2"	95	100
1"	-	-
3/4"	35	70
1/2"	-	-
3/8"	10	30
N° 4	0	5

Fuente: Norma ASTM

3.2.1. Granulometría de la grava

La granulometría se encuentra dentro de los diferentes análisis que se realizan a los suelos, la cual comprende en obtener la distribución porcentual de las partículas en las diferentes mallas de tamices utilizados. Se realiza con un juego de tamices, que tienen un tamaño graduado con diferentes aberturas establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se toma en cuenta el peso retenido en cada tamiz, relacionado con el peso total que se utiliza en el ensayo.

Procedimiento de la práctica

Debido a que el material en las plantas se encontraba bien mezclado, y también aplicando con la ayuda de una pala para homogenizar bien el material, no fue necesario realizar separación por cuarteo en laboratorio ya que las muestras tomadas en las plantas eran representativas.

El juego de tamices a utilizar comprende los siguientes tamaños de aberturas: 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, ⅜”, N° 4. El tamaño de la muestra fue igual a 5000 gr, la cual se tamizó manualmente por un periodo de 15 minutos, posteriormente se sacó la muestra retenida en cada tamiz para pesar en una balanza y con relación al tamaño de la muestra se determinaron los porcentajes correspondientes a la granulometría.

Fotografía 3.3 Juego de tamices



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.4 Peso retenido en un tamiz



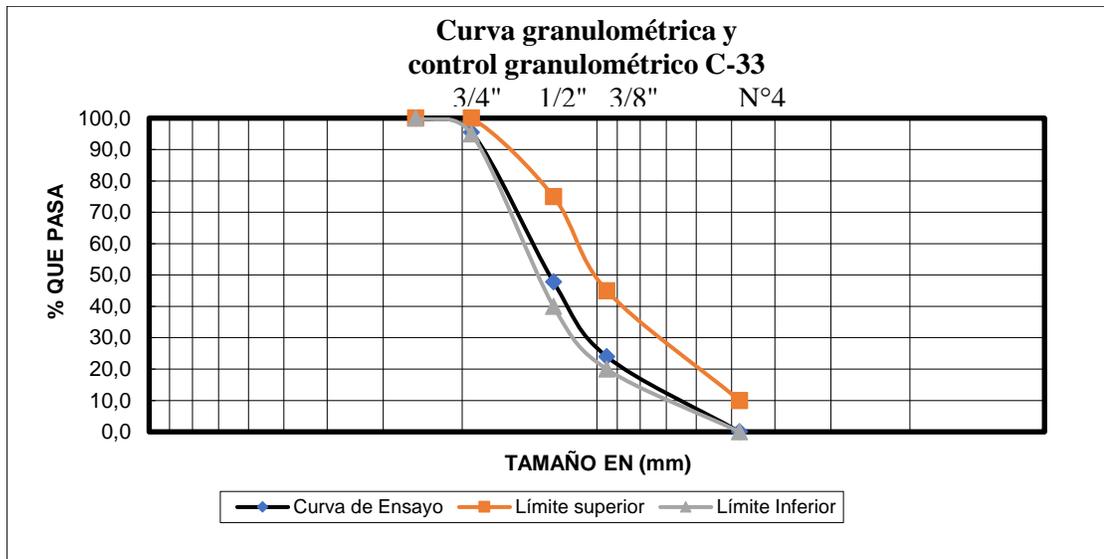
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Granulometría de agregado grueso canto rodado

Granulometría del agregado grueso

Proyecto: Análisis de la influencia de los agregados en la trabajabilidad de concretos para pavimentos rígidos	
Procedencia: La Choza	Universitario: Rueda Martínez Jose
Muestra: Agregado canto rodado 1/2"	Fecha: 18/04/2023

Peso Total (gr.) =		5000,60					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	95	100
1	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	-	-
3/4	19,05	224,70	224,70	4,49	95,50	35	70
1/2	12,50	2384,40	2609,10	52,18	47,80	-	-
3/8	9,50	1190,80	3799,90	76,00	24,00	10	30
N°4	4,80	1200,20	5000,10	100,00	0,00	0	5
Base	0	0,00	5000,10	100,00	0,00	-	-
Suma =		5000,10	Tamaño max= 1"				
Pérdidas =		0,50					
MF =		6,80					



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Peso específico de la grava

Es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de este, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ir a ocupar parte de este volumen unitario patrón.

Procedimiento de la práctica

Se coloca el material en sumersión por 24 horas, evitando que contengan impurezas mediante un lavado previo del mismo.

Después de la sumersión de la grava se saca del agua y se seca con una toalla, trapo, etc., hasta que no queden partículas de agua sobre la superficie de la grava y se pesa la muestra con superficie seca; posteriormente se obtiene el peso sumergido de la misma, por último se coloca la muestra en el horno a 105°C por 24 horas, se deja enfriar y se pesa la muestra.

Fotografía 3.5 Equipo de peso sumergido del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Para obtener resultados más precisos, se realizan 3 ensayos de cada muestra verificando que los valores de los resultados sean similares o en todo caso iguales, desechando aquellos valores muy diferentes, repitiendo el ensayo hasta que los resultados de las muestras ensayadas, sean coherentes.

Tabla 3.3 Peso específico del agregado grueso

Proyecto: Análisis de la influencia de los agregados en la trabajabilidad de concretos para pavimentos rígidos	
Procedencia: La Choza	Universitario: Rueda Martinez Jose
Muestra: Agregado canto rodado 1/2"	Fecha: 17/04/23

Muestra Nº	Peso muestra secada "a" (gr)	Peso muestra s.s.s. "b" (gr)	Peso muestra sumergida "c" (gr)	ρ_{RS}	ρ_{RT}	ρ_N	% de abs.
				Peso específico a granel (gr/cm3)	Peso específico s.s.s. (gr/cm3)	Peso específico aparente (gr/cm3)	
1	4947,90	5000,00	3106,00	2,61	2,64	2,69	1,05
2	4944,20	5000,00	3092,00	2,59	2,62	2,67	1,13
3	4949,70	5000,00	3100,00	2,61	2,63	2,68	1,02
Promedio				2,60	2,63	2,68	1,07

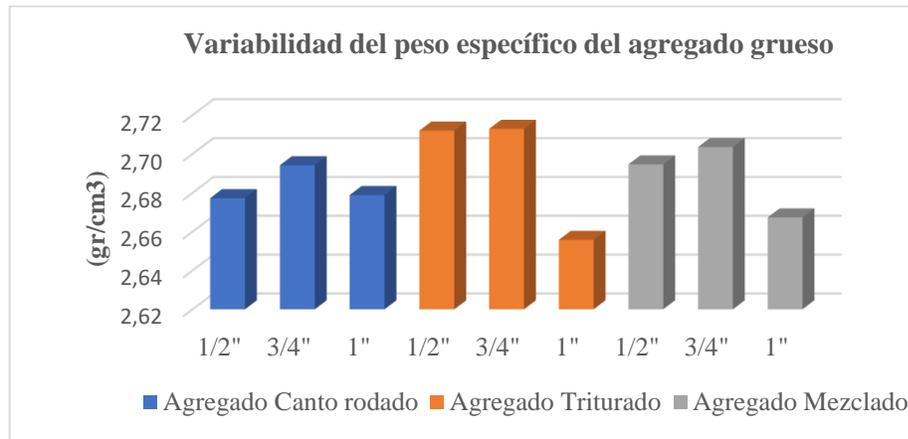
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Variabilidad del peso específico del agregado grueso

	Variabilidad del peso específico del agregado grueso								
	Agregado canto rodado			Agregado triturado			Agregado mezclado		
	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
Peso específico aparente (gr/cm3)	2,68	2,69	2,68	2,71	2,71	2,66	2,69	2,70	2,67
% de absorción	1,07	1,01	1,11	1,29	1,16	0,89	1,18	1,09	1,00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1: Variabilidad del parámetro peso específico del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Peso unitario de la grava

Este ensayo tiene como objetivo, describir cómo se puede obtener el peso unitario del agregado grueso y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente. Los moldes con los que se trabajará, deben estar calibrados con exactitud, el volumen de cada molde se determina de manera rápida y sencilla obteniendo las medidas del mismo y aplicando fórmulas matemáticas.

Procedimiento de la práctica

Con una cantidad de grava, la misma que ya fue ensayada para determinar el peso específico, se utiliza un molde cilíndrico para realizar el ensayo. El peso del molde se determina en una balanza.

Fotografía 3.6 Peso del molde cilíndrico



Fuente: Elaboración propia

Se realiza el ensayo de agregado grueso sin compactar, introduciendo grava dentro del molde teniendo en cuenta que no quede material por encima de la parte superior del molde, con la ayuda de una varilla metálica se lo enrasa y se procede a rellenar con material de menor tamaño los espacios vacíos que quedan en la parte superior, y de esa manera obtener un peso más preciso del material dentro del molde. Se lleva el molde con la muestra a la balanza y se obtiene el peso.

Posteriormente, se realiza el ensayo de peso unitario compactado, se llena el recipiente cilíndrico en 3 capas a un tercio del molde, las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego se enrasa la superficie rellenando los espacios vacíos y se lleva la muestra con el molde después de realizar el compactado a una balanza para pesar. Se repite el procedimiento 3 veces para obtener un valor promedio.

Fotografía 3.7 Llenado del material al molde cilíndrico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5 Peso unitario suelto del agregado grueso

Peso unitario suelto					
Ensayo N°	Peso del molde (g)	Volumen del molde (cm³)	Peso molde + muestra suelta (g)	Peso de muestra suelta (g)	Peso unitario suelto (g/cm³)
1	5725,00	9883,702	20525,00	14800,00	1,50
2	5725,00	9883,702	20493,00	14768,00	1,50
3	5725,00	9883,702	20513,00	14788,00	1,50
Promedio					1,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6 Peso unitario compactado del agregado grueso

Peso unitario compactado					
Ensayo N°	Peso del molde (g)	Volumen del molde (cm³)	Peso molde + muestra compactada (g)	Peso de muestra compactada (g)	Peso unitario compactado (g/cm³)
1	5725,00	9883,702	21200,00	15475,00	1,57
2	5725,00	9883,702	21450,00	15725,00	1,60
3	5725,00	9883,702	21355,00	15630,00	1,58
Promedio					1,58

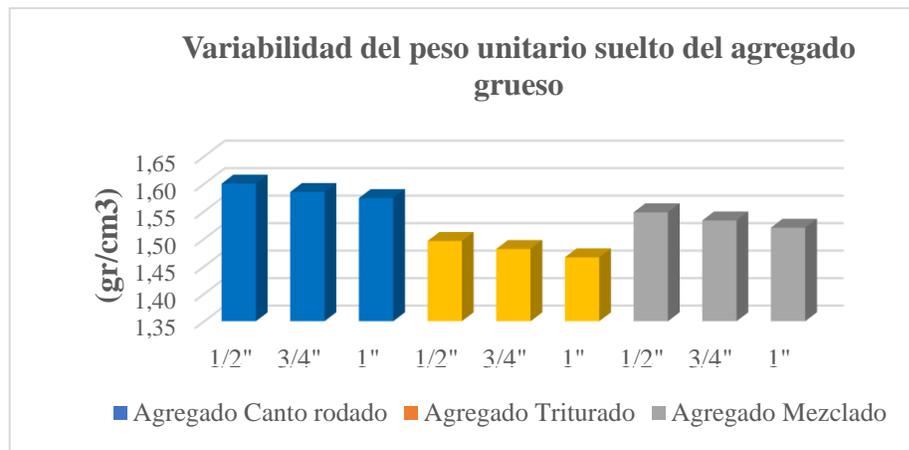
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7 Variabilidad del peso unitario del agregado grueso

	Variabilidad del peso unitario del agregado grueso								
	Agregado canto rodado			Agregado triturado			Agregado mezclado		
	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1,60	1,59	1,57	1,50	1,48	1,47	1,55	1,53	1,52
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1,69	1,66	1,66	1,58	1,55	1,57	1,64	1,61	1,61

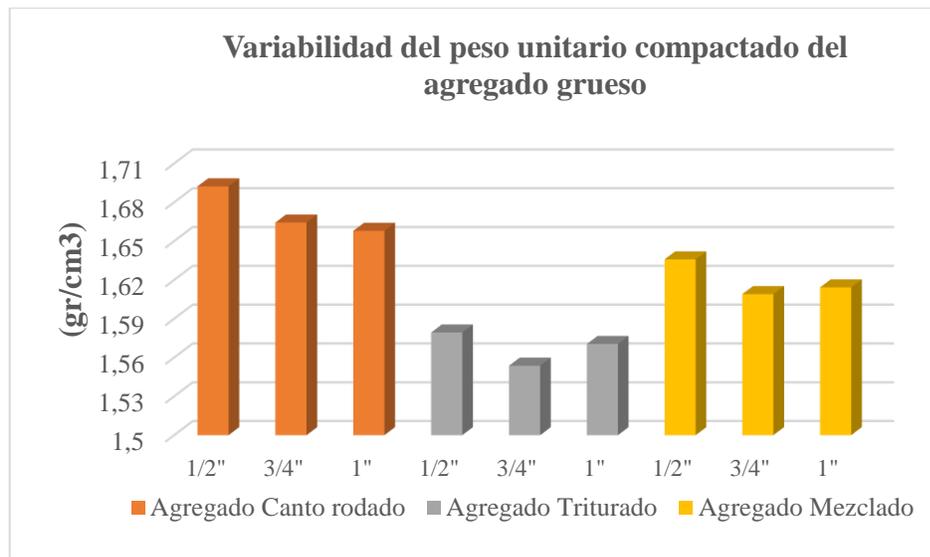
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.2 Variabilidad del peso unitario suelto del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3 Variabilidad del peso unitario compactado del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.3. Caracterización de la arena

Es producto de la desintegración natural o artificial de rocas y minerales. El tamaño de las partículas está entre 1/16" (1.59 mm) hasta 1/4" (6.35 mm). El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de (9.51mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 3.8 Especificaciones granulometría de la arena

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

Fuente: Norma ASTM

3.3.1. Granulometría de la arena

La granulometría se encuentra dentro de los diferentes análisis que se realizan a los suelos, la cual comprende en obtener la distribución porcentual de las partículas en las diferentes mallas de tamices utilizados. Se realiza con un juego de tamices, que tienen un tamaño graduado con diferentes aberturas establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se toma en cuenta el peso retenido en cada tamiz, relacionado con el peso total que se utiliza en el ensayo.

Procedimiento de la práctica

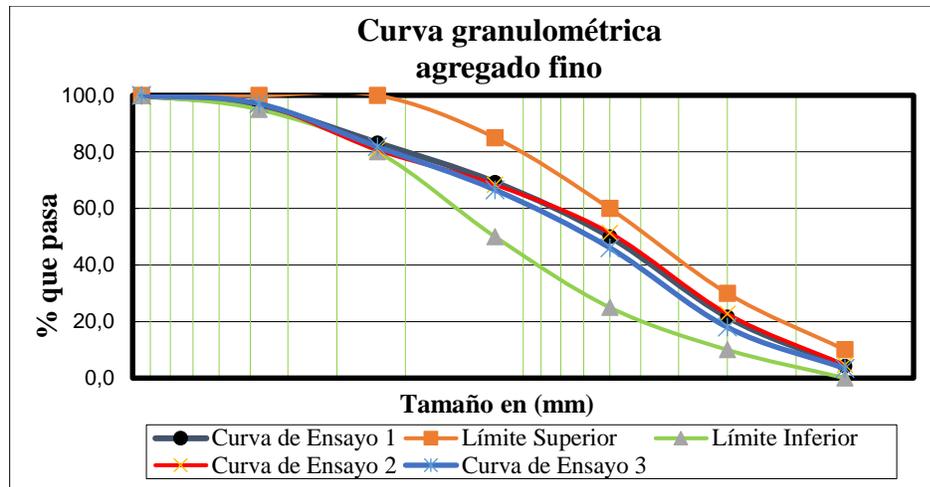
Se usan los tamices para disponer la parte fina de material son: 3/8", N° 4", N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100.

El tamaño de la muestra fue 1500 gramos separados en 3 muestras de 500 gramos, el proceso del tamizado se realizó manualmente por 15 minutos, luego se sacó el material retenido en cada tamiz registrando el peso de cada uno de ellos para determinar finalmente la distribución de porcentajes de material en cada tamiz (granulometría).

Tabla 3.9 Granulometría de la arena

Peso Total (gr.)		500,70					
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	18,80	18,80	3,76	96,20	95	100
N°8	2,36	65,10	83,90	16,79	83,20	80	100
N°16	1,18	69,60	153,50	30,72	69,30	50	85
N°30	0,60	96,40	249,90	50,01	50,00	25	60
N°50	0,30	141,70	391,60	78,37	21,60	10	30
N°100	0,15	87,00	478,60	95,78	4,20	0	10
Base		21,10	499,70	100,00	0,0	-	-
	Suma	499,7					
	Pérdidas	1,0					
	MF =	2,75					

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Peso específico de la arena

El ensayo tiene por objetivo, 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.

El tamaño de la muestra es de 500 gr, muestra dentro de un recipiente con agua y se deja sumergida la arena por un periodo de 24 horas.

Procedimiento de la práctica

Se retira la muestra del agua y se procede al secado de la misma, con la ayuda de secadoras eléctricas para minimizar el tiempo del secado, este proceso se realiza de manera uniforme y sin apresurarse, de modo que la arena vaya perdiendo la humedad superficial lentamente.

Fotografía 3.8 Secado de la arena



Fuente: Elaboración propia

Se recomienda usar una bandeja grande para esparcir la muestra lo más que se pueda, esto es para minimizar el tiempo de secado y para que el procedimiento se lo realice de forma uniforme para toda la muestra empleada en el ensayo.

Para inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca la arena al molde cónico, y luego se retira éste. Si la muestra tiene todavía humedad en la superficie, conservará la forma cónica y si por el contrario la humedad ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se retire el cono. De esa manera se verifica si la superficie de las partículas se encuentra seca o requiere más tiempo de secado.

Se coloca 500gr. de muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta llegar al nivel de 500 ml. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda sobre sí mismo teniendo en cuenta de no dejar caer el agua, una vez se verifica que las burbujas de aire salen del recipiente, se pesa el matraz lleno. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente haciendo caer el material que se adhiere al matraz echando más agua, se usa el agua necesaria para sacar todas las partículas del matraz y se pone a secar en el horno a una temperatura constante de 105 °C.

Después de 24 horas de secado se retira la muestra del horno dejándola enfriar y se obtiene el peso de la muestra seca.

Fotografía 3.9 Molde cónico y matraz con muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Peso específico de la arena

Nº	Peso muestra (g)	Peso matr�az + agua (g)	Peso matr�az + agua + muestra (g)	Peso muestra seca (g)	ρ_{RS}	ρ_{RT}	ρ_N	% de abs.
					P.e. granel (g/cm ³)	P.e. sss (g/cm ³)	P.e. aparente (g/cm ³)	
1	500,00	677,50	974,30	488,09	2,40	2,46	2,55	2,44
2	500,00	666,90	986,70	487,24	2,70	2,77	2,91	2,62
3	500,00	721,40	1017,10	486,66	2,38	2,45	2,55	2,74
Promedio					2,50	2,56	2,67	2,60

Fuente: Elaboración propia

3.4. Desgaste de los  ngeles del agregado grueso

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. 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 con la malla N  12, para medir el desgaste como pérdida porcentual.

Desarrollo de la práctica

Inicialmente se realiza el proceso de tamizado para la gradación del material.

Fotografía 3.10 Tamizado del material



Fuente: Elaboración propia

Se procede a pesar una cantidad de 1250 gramos, de agregado de los tamices retenidos 1", 3/4", 1/2", 3/8", una muestra en total de 5000 gramos.

Después debemos introducir a la máquina de los Ángeles y programar la máquina a 500 revoluciones en un tiempo de 15 minutos.

Fotografía 3.11 Máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

Luego se saca la muestra cuidadosamente de no botar muestra y esa muestra debe tamizarse por el tamiz número 12, lavando la muestra para que las partículas finas se separen y queden solamente las retenidas por la malla, finalmente 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.

Fotografía 3.12 Tamizado y pesado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Ensayo Desgaste de los Ángeles

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000
Peso total (gr)		5000	5000	5000	5000
Número de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones (rpm)		500	500	500	500
Tiempo de rotación (min)		30	15	15	15

$$\% \text{Desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Método	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
A	5000	3760,16	24,80	35% máx.

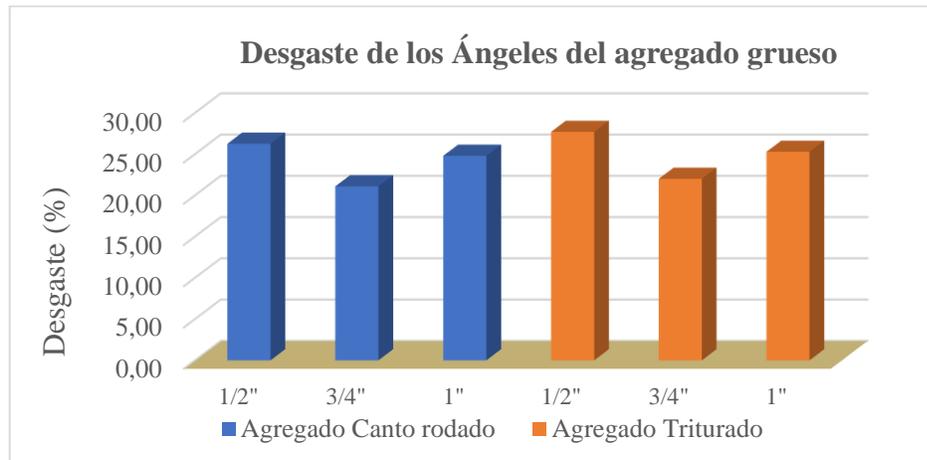
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12 Variabilidad del desgaste de los agregados

	Variabilidad de desgaste de los Ángeles del agregado grueso					
	Agregado canto rodado			Agregado triturado		
	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
% De desgaste	26,26	21,09	24,80	27,70	21,99	25,28

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.4 Variabilidad del desgaste de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

3.5. Caracterización del 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.

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 especifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15.

P= Peso de la muestra (gr)

V= Volumen desplazado (cm³)

Pe= Peso específico del cemento (gr/cm³).

Tabla 3.13 Peso específico del cemento

Descripción	p (gr)	vi (cm3)	vf (cm3)	v (cm3)	pe (gr/cm3)	Pe-media (gr/cm3)
Cemento el puente	64,00	0,70	21,10	20,40	3,14	3,14
		0,80	20,90	20,10	3,18	
		0,95	21,70	20,75	3,08	

Fuente: Elaboración propia

3.6. Dosificación del hormigón

Se empleará la normativa ACI para dosificar las mezclas con los diferentes tamaños de agregados partiendo con valores de tablas inicialmente y comprobando luego con los ensayos correspondientes, tanto de asentamiento de las mezclas con lo cual, se obtendrá la trabajabilidad de la misma y finalmente las pruebas de resistencia a compresión y flexotracción.

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.

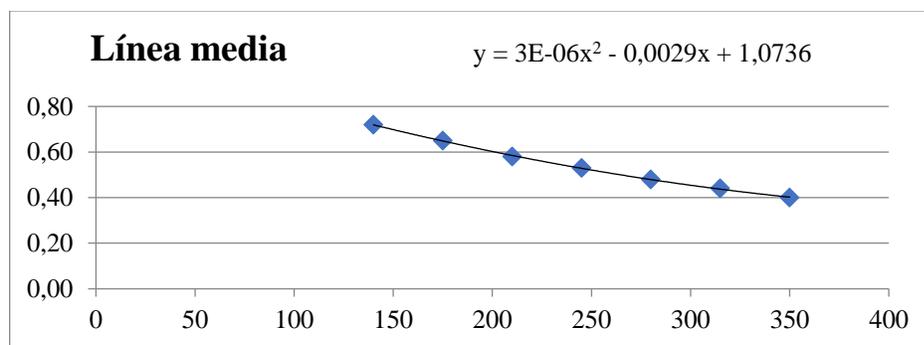
3.6.1. Dosificación ACI-211

El método del American Concrete Institute, se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones iniciales para la dosificación. En esta investigación se tomó la dosificación ACI 211, la misma está basada en la investigación experimental, considerando un porcentaje de pérdidas para garantizar la cantidad suficiente para la elaboración de probetas y vigas.

Determinación de la relación agua/cemento

En base a la tabla que proporciona la tabla se obtuvo la ecuación para determinar de manera más precisa y rápida de la relación agua cemento.

Gráfico 3.5 Línea media de la relación agua/cemento



Fuente: Elaboración propia

Relación (a/c) = **0.41**

La resistencia de diseño a compresión es 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.

Determinación de la trabajabilidad

La trabajabilidad que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, y con la implementación de un nuevo equipo (K-slump), que realizará las mediciones por vez primera aplicada en esta investigación.

Tabla 3.14 Asentamiento de la mezcla de concreto

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 (lanzados)	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 hormigón 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 cantidad 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 determinado en los ensayos previos de caracterización.

Tabla 3.15 Requerimiento de agua

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, 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	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Norma ACI

Determinación de la cantidad de grava

Debido a que los valores son intermedios se tienen que realizar iteraciones para determinar los valores a utilizar para la dosificación.

Tabla 3.16 Volumen del agregado grueso

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 del agregado		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

Tabla 3.17 Dosificación con agregado canto rodado

Dosificación de hormigones
método ACI-211

Proyecto: Análisis de la influencia de los agregados en la trabajabilidad de concretos para pavimentos rígidos	
Procedencia: La Choza	Universitario: Rueda Martinez Jose
Muestra: Agregado canto rodado 1/2"	Fecha: 18/04/23

Características de los agregados

Ensayo	Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,71
2.- Peso unitario compactado de la grava (PUC)	kg/m³	1692,00
3.- Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm³	2,67
4.- Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm³	2,68
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	2,60
6.- Absorción de la grava (Ag)	%	1,10
7.- Humedad de la arena (Ha)	%	3,64
8.- Humedad de la grava (Hg)	%	1,60
9.- Tamaño máximo nominal (TMN)	pulg	3/4"
10.- Tamaño máximo (TM)	pulg	1"
11.- Peso específico del cemento	gr/cm³	3,14

Características del diseño

Resistencia de diseño (f_{ck}')	280,00	kg/cm²
Resistencia característica (f_{ck}) (Tabla 11.12)	365,00	kg/cm²
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	3,00	cm
Relación agua/cemento (a/c) (Tabla 11,13)	0,41	s/u

Datos de tablas

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 11.15)	0,68	s/u
Requerimiento de agua (A) (Tabla 11.6)	162,20	kg/m³

Cálculos

$$\text{Peso agregado grueso (Pag)} = (b/bo) \times PUC$$
$$1150,56 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso cemento (Pc)} = A / (a/c)$$
$$395,61 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso (Vag)} = Pag / \gamma_g$$
$$429,31 \quad \text{lt/m}^3$$

$$\text{Volumen del cemento (Vc)} = Pc / \gamma_c$$
$$125,99 \quad \text{lt/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena (Vaf)} = 1000 - V_c - A - V_{ag}$$
$$282,50 \quad \text{lt/m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino (Paf)} = V_{af} \times \gamma_f$$
$$754,27 \quad \text{kg/m}^3$$

Contenido seco de los ingredientes por (m³) de concreto

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Volumen absoluto lt/m ³	Peso especifico gr/cm ³
Cemento	395,61	125,99	3,14
Agua	162,20	162,20	1,00
Grava	1150,56	429,31	2,68
Arena	754,27	282,50	2,67
Total	2462,64	1000,00	

Pesos húmedos de los materiales

$$\text{Peso húmedo de la arena (Pha)} = \text{Paf} \times (1 + \text{Ha})$$

$$781,72 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo de la grava (Phg)} = \text{Pag} \times (1 + \text{Hg})$$

$$1168,10 \quad \text{kg/m}^3$$

Corrección del agua

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

$$-6,10 \quad \text{lt/m}^3$$

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

$$-7,84 \quad \text{lt/m}^3$$

$$\text{Total agua corregida (Atc)} = \text{Acg} + \text{Acf}$$

$$-13,94 \quad \text{lt/m}^3$$

Contenido húmedo de los ingredientes por (m³) de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Peso húmedo kg/m ³
Cemento	395,61	395,61
Agua	162,20	148,26
Grava	1150,56	1168,97
Arena	754,27	781,72
Total	2462,64	2494,56

Proporciones de mezcla

Cemento	Arena	Grava
1,0	1,91	2,91

Ingrediente	Probetas de prueba	
	Seco (kg) para 4 probetas	Húmedo (kg) para 4 probetas
Cemento	9,64	9,64
Agua	3,95	3,61
Grava	28,05	28,49
Arena	18,39	19,05

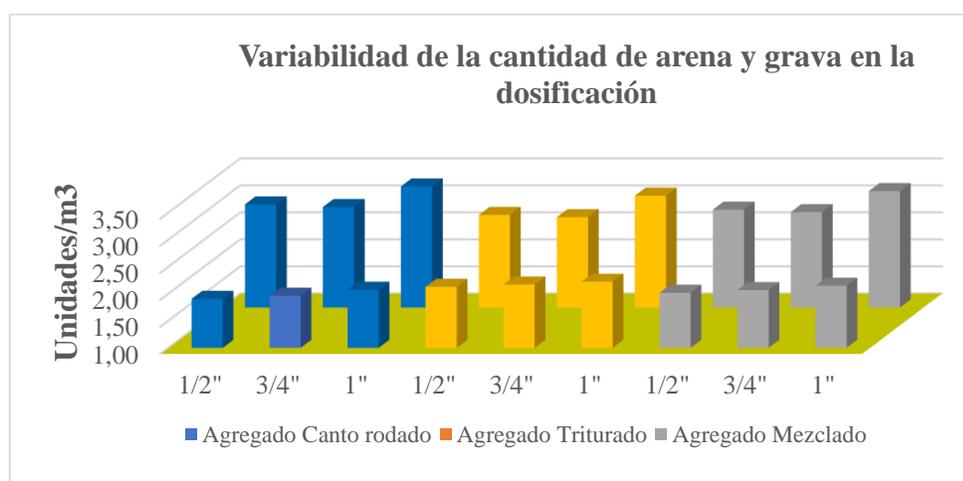
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18 Variabilidad de la dosificación

Variabilidad la dosificación respecto al agregado grueso									
	Agregado canto rodado			Agregado triturado			Agregado mezclado		
Material	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
Cemento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Arena	1,91	1,97	2,08	2,13	2,17	2,22	2,02	2,07	2,15
Grava	2,91	2,86	3,24	2,71	2,67	3,07	2,81	2,77	3,16

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6 Variabilidad de la cantidad de arena y grava en las dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Vaciado de probetas y vigas

Se elaborará probetas cilíndricas de hormigón tipo cilíndricas con las siguientes dimensiones de diámetro=15 cm y altura=30 cm y vigas de base y altura=15.24 cm y longitud=53 cm. Las mismas contendrán el material previamente ensayado y en las cantidades determinadas en la dosificación de hormigones.

Procedimiento de la práctica

Con la dosificación determinada, se calcula la cantidad de material que se va usar para el vaciado de probetas y vigas, considerando un 5% de pérdidas para que la mezcla de hormigón sea suficiente para la cantidad de requerimiento. Una vez se tiene la cantidad determinada, se procede a pesar cada uno de los materiales componentes.

Fotografía 3.13 Determinación del peso de cada material



Fuente: Elaboración propia

Una vez se tiene los pesos de cada material, se procede a preparar la mezcla usando una mezcladora y los equipos correspondientes otorgados por el laboratorio de la entidad. Se conecta la mezcladora y se humedece ligeramente su superficie en su interior, para no cargar con mucho esfuerzo a la mezcladora, se introduce la mitad de cada material en dos tiempos, se deja mezclar por 10 minutos aproximadamente y se procede a realizar los ensayos de asentamiento de la mezcla.

Fotografía 3.14 Mezcladora de hormigón



Fuente: Elaboración propia

❖ Cono de Abrams

El objetivo de este ensayo es, describir la determinación de la consistencia del hormigón en el laboratorio y en el terreno, basándose en el asentamiento de las mezclas; si el agregado grueso de la mezcla contiene un porcentaje apreciable de partículas cuyo diámetro es mayor a 2 pulgadas, este método de ensayo no es válido.

Procedimiento de la práctica

Para realizar este ensayo primero se procede a la preparar la mezcla del concreto, con la dosificación previamente determinada.

Una vez preparada la mezcla se tiene que colocar en algún recipiente, puede ser una fuente, carretilla, etc., para luego proceder al relleno del cono.

Para rellenar el cono de Abrams primero se debe humedecer con agua la superficie plana donde se apoyará el cono, en este caso se apoya sobre una plancha.

Se debe pisar sobre las pisaderas Ewing, para evitar cualquier movimiento durante el llenado.

Fotografía 3.15 Llenado del cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Una vez que este se está cargando con una pala pequeña o cuchara para el llenado, se debe llenar sin que la pala o cuchara toque el cono.

La primera capa se debe llenar 1/3 del volumen total y dar 25 golpes con la varilla hasta tocar fondo, la segunda capa debe llenar 2/3 y volver a dar 25 golpes, y finalmente la última capa se debe llenar completamente y luego enrasar la superficie.

Fotografía 3.16 Compactado con la varilla y enrasado del cono



Fuente: Elaboración propia

Para desmoldar se deben limpiar las partes de abajo sin dejar de pisar el cono de Abrams, luego se debe retirar los pies y usar presión con los brazos, levantar lenta y verticalmente el molde con un tiempo de 5 +/- 2 segundos.

Todo el procedimiento no debe pasar 2.5 a 5 minutos caso contrario no es aceptado.

Una vez desmoldado se debe medir la altura de asentamiento de la probeta respecto a la altura del molde colocando la varilla en la parte superior del cono como referencia para realizar la medición.

Fotografía 3.17 Medición del asentamiento de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Registrar los resultados de los ensayos para realizar el análisis correspondiente.

Fotografía 3.18 Asentamientos de las diferentes mezclas



Fuente: Elaboración propia

❖ Método K-slump

Se utilizó el K-slump, para medir la trabajabilidad de las diferentes mezclas con distintas dosificaciones debido a la variación del tamaño y procedencia del agregado grueso. Dicho equipo se utilizó por primera vez en esta investigación, aunque fue adquirido ya unas 2 gestiones anteriores por parte del laboratorio de hormigón de la entidad. La importancia de utilizar el K-slump, es comprobar que el equipo se puede usar en cualquier lugar de obra, conocer sus limitantes, y definir si es apto para el uso en la construcción respecto al cono de Abrams.

Procedimiento de la práctica

Se moja el probador con agua y se sacude en exceso.

Se levanta la varilla de medición, inclinándola ligeramente y dejando descansar sobre el pasador ubicado dentro del probador.

Nivelada la superficie del hormigón se inserta el probador verticalmente hacia abajo hasta que el flotador del disco descansa en la superficie del concreto.

Nota: No gire el probador mientras lo inserta o retira del concreto.

La importancia de no girar el equipo mientras se lo introduce a la mezcla, es para que no se presenten alteraciones en el ingreso de la mezcla al interior del equipo presentando mediciones erróneas.

Fotografía 3.19 K-slump introducido en la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Después de 60 segundos, baje la varilla de medición lentamente hasta que descansa en la superficie del concreto que entró en el tubo y lea el "K-slump" directamente en la escala de la varilla de medición. Éste es el valor "K".

Levante la varilla de medición otra vez y déjela descansar sobre su pasador.

Retire el probador del concreto verticalmente hacia arriba, y otra vez baje la varilla de medición lentamente hasta que toque la superficie del hormigón retenido en el tubo y **lea la trabajabilidad directamente en la escala de la varilla de medición. Este es el valor "W"**.

Reportar los resultados como el diferencial entre K y W, es decir, (por ejemplo, $3.0 - 2.5 = 0.5$).

Fotografía 3.20 Medición de la trabajabilidad de la mezcla K-slump



Fuente: Elaboración propia

Lave el probador con agua.

La primera lectura es aproximadamente equivalente a la depresión ordinaria, mientras que la segunda lectura (W) es una medida de trabajabilidad y compactación. Cuanto mayor sea el valor (W), cuanto mejor sea la trabajabilidad y compactación del hormigón lo será. El diferencial entre K y W no debe exceder 2.0 para minimizar la segregación.

Fotografía 3.21 Mediciones en las diferentes mezclas K-slump



Fuente: Elaboración propia

El probador se puede insertar en un compactado de 6x12" (15x30cm) cilindro, en cubos, carretillas, rampas de camiones premezcladas, losas, columnas, vigas y cualquier otro lugar deseado donde se coloca el hormigón fresco. Asegúrese de que haya un mínimo de 6 pulgadas (15 cm) de hormigón alrededor del probador y que el flotador descansa libremente sobre la superficie del hormigón. Cuando el probador es utilizado en cubos, carretillas y rampas de camiones premezclados, El apisonamiento da un resultado más uniforme.

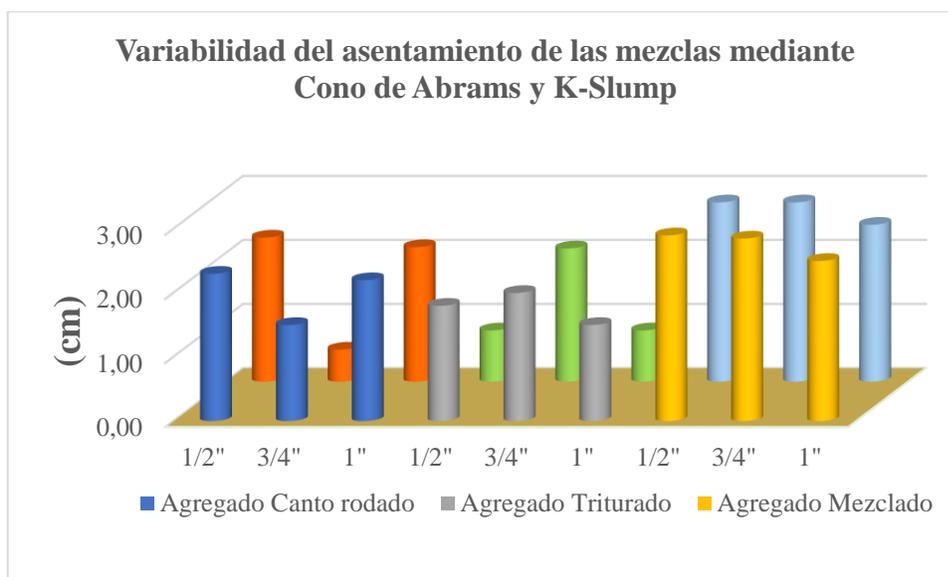
Si se utiliza un probador en un cilindro estándar, golpee ligeramente el cilindro (aproximadamente 20 veces) con la varilla compactadora o el probador para Cierre el agujero que quedó en el concreto al retirarlo del probador. La resistencia del cilindro se verá alterada por alrededor del 2% solamente. (Manual de instrucciones, Gilson Company).

Tabla 3.19 Variabilidad de los asentamientos de las mezclas

	Variabilidad del asentamiento de las mezclas								
	Agregado canto rodado			Agregado triturado			Agregado mezclado		
	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
Cono de Abrams (cm)	2,30	1,50	2,20	1,80	2,00	1,50	2,90	2,85	2,50
K-slump (cm)	2,25	0,50	2,10	0,80	2,08	0,80	2,80	2,80	2,45

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7 Variabilidad de los asentamientos cono de Abrams y K-slump



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado las mediciones del asentamiento de las diferentes mezclas con el cono de Abrams y el K-slump, se procede al vaciado de las probetas y vigas. Se verifica que los moldes estén limpios, se coloca aceite ligeramente para que la mezcla no se adhiera al mismo, llenando a un tercio del molde la mezcla y se compacta 25 golpes con la varilla para la probeta, 50 golpes para la viga, se repite el procedimiento para las 3 capaz ayudándose con martillos de goma para golpear a los moldes, esto se realiza para eliminar espacios vacíos de la mezcla dentro de los moldes.

Fotografía 3.22 Compactado de la mezcla en los moldes



Fuente: Elaboración propia

Una vez se llena los moldes, se realiza el enrasado para tener una superficie con un buen terminado y que el mismo va influir al momento de la rotura en la prensa.

Fotografía 3.23 Enrasado de la mezcla en los moldes



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Curado de probetas y vigas

Después de 24 horas del vaciado de las probetas y vigas, se procede al desencofrado y colocado a saturación en agua por el tiempo de 7, 14 y 28 días hasta la respectiva rotura de las mismas. Se tiene que tener en cuenta que el nivel del agua se encuentre por encima de las probetas y vigas para garantizar un curado óptimo hasta llegar a su rotura.

Fotografía 3.24 Curado de probetas y vigas



Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Rotura de probetas y vigas

Para proceder a la rotura, 24 horas antes de realizar el ensayo se debe sacar los especímenes del agua y dejar en temperatura ambiente.

Fotografía 3.25 Probetas y vigas en temperatura ambiente



Fuente: Elaboración propia

Se determina las medidas reales de los especímenes y se los pesa, son datos iniciales que se necesitan para registrar en la prensa previamente antes de la rotura.

Fotografía 3.26 Mediciones y pesado de los especímenes



Fuente: Elaboración propia

Se coloca los especímenes a la prensa verificando que queden bien centrados para que la carga sea distribuida a toda el área de contacto.

Fotografía 3.27 Colocado de los especímenes a la prensa



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.28 Rotura de las probetas y vigas



Fuente: Elaboración propia

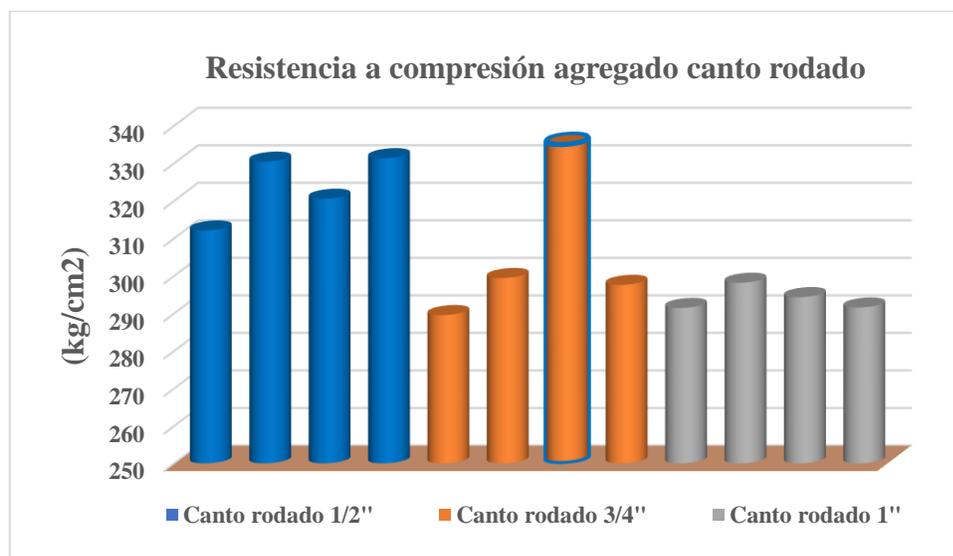
Después de la rotura de probetas y vigas, se registran los datos para su posterior análisis de resistencias respecto a la variabilidad de los agregados, los asentamientos de las diferentes mezclas, entre otros parámetros medidos.

Tabla 3.20 Resistencia a compresión agregado canto rodado

Agregado canto rodado		
Tamaño del agregado grueso	N° de probetas	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
1/2"	1	312,03
	2	330,38
	3	320,49
	4	331,30
3/4"	1	289,49
	2	299,38
	3	334,97
	4	297,55
1"	1	291,39
	2	298,11
	3	294,27
	4	291,51

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8 Resistencia a compresión agregado canto rodado



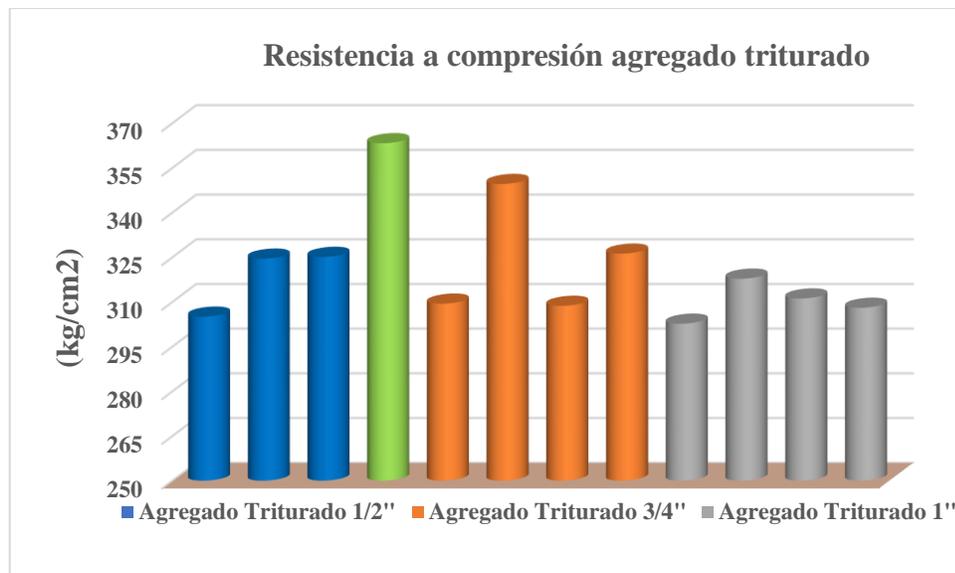
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21 Resistencia a compresión agregado triturado

Agregado triturado		
Tamaño del agregado grueso	N° de probetas	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
1/2"	1	305,04
	2	324,50
	3	325,10
	4	363,25
3/4"	1	309,40
	2	349,58
	3	308,67
	4	326,18
1"	1	302,67
	2	317,78
	3	311,13
	4	308,02

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.9 Resistencia a compresión agregado triturado



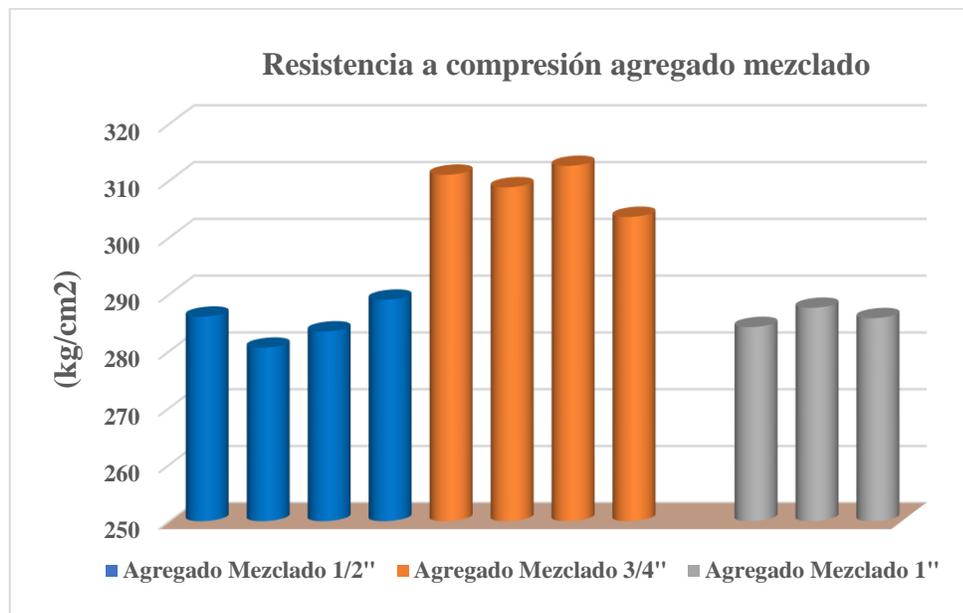
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22 Resistencia a compresión agregado mezclado

Agregado mezclado		
Tamaño del agregado grueso	N° de probetas	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
1/2"	1	285,99
	2	280,53
	3	283,39
	4	288,99
3/4"	1	310,99
	2	308,77
	3	312,55
	4	303,57
1"	1	271,02
	2	284,17
	3	287,56
	4	285,73

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.10 Resistencia a compresión agregado mezclado



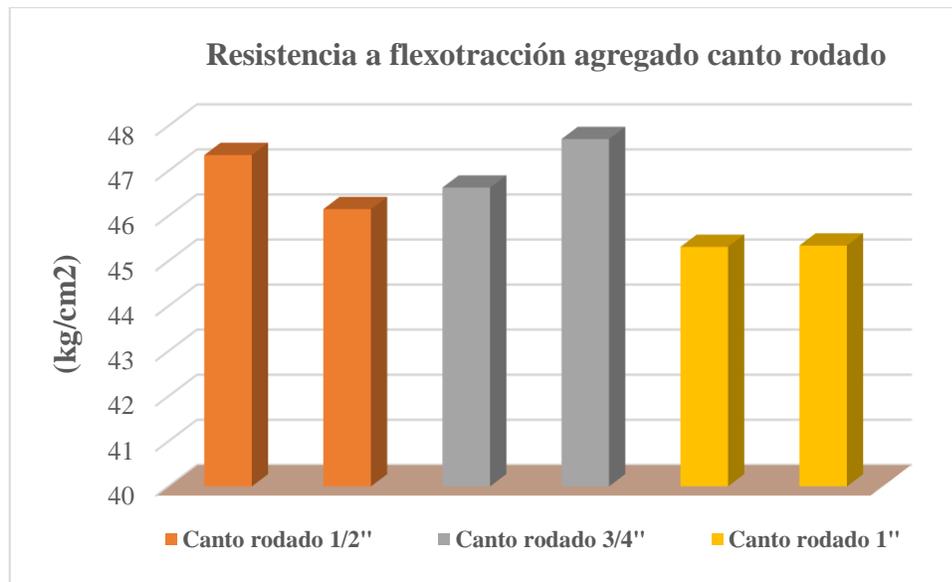
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23 Resistencia a flexotracción agregado canto rodado

Agregado canto rodado		
Tamaño	N° de vigas	Resistencia a flexotracción (kg/cm ²)
1/2"	1	47,35
	2	46,15
3/4"	1	46,63
	2	47,71
1"	1	45,31
	2	45,34

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.11 Resistencia a flexotracción agregado mezclado



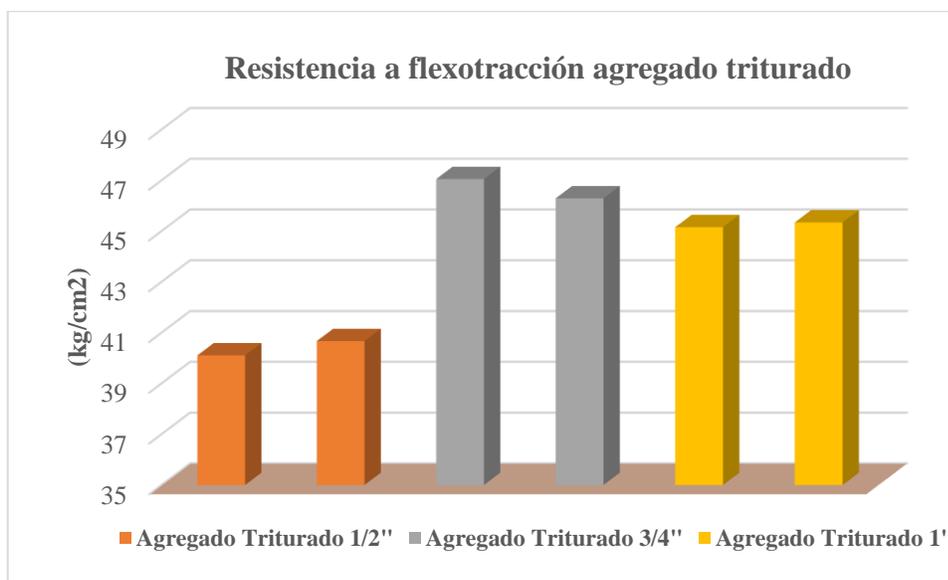
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Resistencia a flexotracción agregado triturado

Agregado triturado		
Tamaño	N° de vigas	Resistencia a flexotracción (kg/cm ²)
1/2"	1	40,10
	2	40,67
3/4"	1	47,05
	2	46,29
1"	1	45,16
	2	45,34

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.12 Resistencia a flexotracción agregado triturado



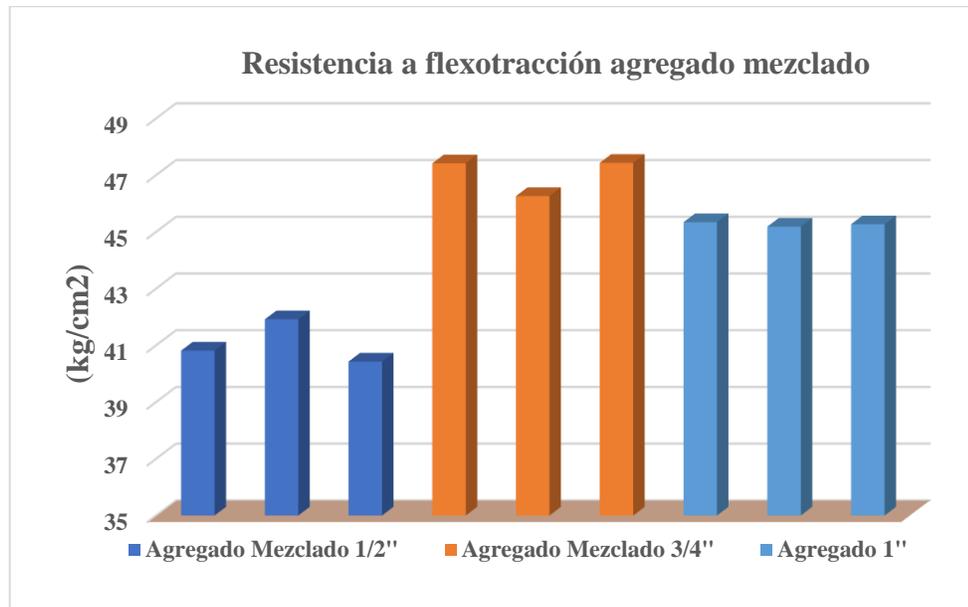
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25 Resistencia a flexotracción agregado mezclado

Agregado mezclado		
Tamaño	N° de vigas	Resistencia a flexotracción (kg/cm ²)
1/2"	1	40,82
	2	41,92
	3	40,43
3/4"	1	47,42
	2	46,26
	3	47,43
1"	1	45,34
	2	45,18
	3	45,27

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.13 Resistencia a flexotracción agregado mezclado



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Se analizarán los resultados obtenidos desde la medición de los asentamientos, tanto con el método convencional como de Abrams y el K-slump, haciendo notar las diferencias entre las diferentes dosificaciones de las mezclas usadas debido a la variación de los agregados, en procedencia como en su tamaño. La mayoría de las muestras ensayadas se encuentran por encima de las resistencias de diseño, en compresión y en flexión.

Tabla 4.1. Asentamientos de mezclas de concretos

Consistencia	Asentamiento, en cm	Tolerancia, en cm
Seca	0-2	0
Plástica	3-5	±1
Blanda	6-9	±1
Fuida	10-15	±2

Fuente: Norma CBH-87

De acuerdo a la norma CBH-87 que rige en Bolivia, se tomó como referencia la tabla de asentamientos de las mezclas de concreto de acuerdo a su consistencia, para el diseño de la investigación se tomó un valor inicial de 3 cm de asentamiento que corresponde a una consistencia plástica de acuerdo a la tabla 4.1, para determinar la dosificación de las mezclas. Se optó por diseñar las mezclas con asentamientos de mezclas plásticas y el valor inferior del rango debido, a que se utilizó cemento el puente IP-30 el más usado en el medio y disponible a la vez. Como se trata de mezclas para pavimento rígido, entonces las exigencias más que todo están en la resistencia de compresión y flexión, siendo esta última la más exigente de las dos.

En el desarrollo de los ensayos realizados, no se tuvo ningún resultado igual en dosificación, asentamiento, resistencia y demás debido a la varianza de los agregados utilizados, los cuales serán analizados de acuerdo a los resultados obtenidos.

Tabla 4.2 Resultados de la medición la trabajabilidad con K-Slump

	Mediciones de las mezclas con el K-slump								
	Agregado canto rodado			Agregado triturado			Agregado mezclado		
	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"	1/2"	3/4"	1"
K (cm)	2,50	0,60	2,40	0,92	2,41	0,90	3,60	3,28	2,62
W (cm)	2,25	0,50	2,10	0,80	2,08	0,80	2,80	2,80	2,45
K-W (cm)	0,25	0,10	0,30	0,12	0,33	0,10	0,80	0,48	0,17

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la trabajabilidad mediante el K-slump, son reportados como la diferencia de K y W, donde K, es la depresión o revenimiento ordinario, es decir, la mezcla que ingresa por sus orificios y se acomoda en su interior del mismo, mientras que W, es la trabajabilidad de la mezcla. La diferencia de estos parámetros tiene que estar por debajo del valor de 2 cm, para minimizar la segregación de la mezcla de concreto.

Se puede observar que en la tabla 4.2, la diferencia entre K y W, se encuentran por debajo del valor de 2 cm, e incluso por debajo del valor de 1 cm, por lo que se puede garantizar que no se tendrá segregación en las diferentes mezclas de concreto para probetas y vigas.

También se observa en la tabla 3.19, que la diferencia de los resultados obtenidos con el cono de Abrams y el K-slump no tienen mucha diferencia, siendo más sencillo el uso del K-slump por su fácil manejo que posee para determinar la trabajabilidad de las mezclas de concreto en cualquier lugar de obra.

4.1.1. Influencia de la variabilidad del agregado grueso en las mezclas de concreto

Agregado canto rodado

Tabla 4.3 Resultados obtenidos con el agregado canto rodado

Asentamientos de las mezclas agregado canto rodado cono Abrams y K-slump					
Parámetros			1/2"	3/4"	1"
Asentamiento	cm	Cono de Abrams	2,30	1,50	2,20
		K-slump	2,25	0,50	2,10
Diferencia entre métodos	%	-	2,17	66,67	4,55
Resistencia (kg/cm²)	Probetas	Compresión	323,55	305,35	293,82
	Vigas	Flexión	46,75	47,17	45,33

Fuente: Elaboración propia

Para analizar los resultados de las diferentes mezclas, en la tabla 4.3 se adjuntaron los resultados de asentamientos con los dos métodos, además de los valores promedios de las resistencias a compresión y flexión de cada tamaño de agregado. De tal manera que se pueda de una forma más sencilla, ver la influencia de los diferentes parámetros para el cumplimiento de los resultados finales.

Se puede evidenciar en la tabla 4.3 la diferencia de asentamiento del tamaño de agregado 3/4" en comparación con 1/2", 1" entre el cono de Abrams y el K-slump, la consistencia de la mezcla de 3/4" es baja por lo que, el K-slump no lectura de manera precisa en mezclas que tienden a ser secas, de ahí la diferencia considerable entre los métodos empleados para los agregados de canto rodado en las probetas.

La diferencia del método cono de Abrams y K-slump en las probetas es de un 66,67 %, para el tamaño de agregado grueso 3/4", debido a lo mencionado se trabajó con la mezcla preparada con la dosificación determinada. La diferencia es muy grande, por lo tanto, la medición del asentamiento con el K-slump en mezclas con consistencias secas, no se recomienda realizar. También se puede ver las diferencias de las mediciones a los demás tamaños de agregados, la diferencia está por debajo del 5%, esto quiere decir que las mediciones con el K-slump para consistencias plásticas que tiendan a ser fluidas sí pueden usar el método y con mayor grado de confianza con los resultados.

La resistencia de diseño a compresión es 280 kg/cm² y a flexión es 45 kg/cm², los resultados de la tabla 4.3 muestran que los asentamientos de las mezclas para los 3 tamaños de agregados de canto rodado utilizados son valores menores a 3 cm, por lo que se encuentran de una mezcla con consistencia seca hacia una consistencia plástica. La razón por la que se trabajó con estos valores de asentamientos es, que la limitante es la resistencia a flexotracción, moviendo la relación agua/cemento se podría llegar a 3 cm y más de asentamiento, pero no es conveniente ya que con seguridad no se cumpliría con la resistencia a flexotracción.

También se puede ver la diferencia de valores en resistencia de acuerdo al tamaño de agregado, siendo los tamaños de 1/2" y 3/4" los más recomendables para su uso en las mezclas, y no así los de 1" por lo que son menos trabajables y no se acomodan bien las partículas al momento del hormigonado.

Fotografía 4.1 Rotura esquinada de probeta agregado canto rodado 1"



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la fotografía 4.1, la rotura de la probeta no se realizó de manera centrada, debido al fallo de las partículas más grandes del agregado grueso por su mal acomodación, la resistencia se ve directamente influenciada por esta razón, por lo que no es conveniente el uso de tamaños grandes de agregado grueso para las mezclas.

Al usar tamaños grandes de una mezcla, se dificulta el terminado de la misma, si quedan partículas de agregado en la parte superior es más fácil quitarlo que acomodarlo para enrasar en la superficie. Aunque las características que poseen, no son muy diferentes a la de los tamaños inferiores, sus desventajas que tienen son notorias y por lo tanto, de ser posible no se debe usar tamaños grandes en las mezclas.

Agregado triturado

Tabla 4.4 Resultados obtenidos con el agregado grueso triturado

Asentamientos de las mezclas agregado triturado cono Abrams y K-slump					
Parámetros			1/2"	3/4"	1"
Asentamiento	cm	Cono de Abrams	1,80	2,00	1,50
		K-slump	0,80	2,08	0,80
Diferencia entre métodos	%	-	55,56	3,85	46,67
Resistencia (kg/cm²)	Probetas	Compresión	329,47	323,46	309,90
	Vigas	Flexión	40,39	46,67	45,25

Fuente: Elaboración propia

Con agregados triturados se tiene más diferencias grandes en los asentamientos, por una parte en probetas se tienen diferencias de 55,56 y 46,67 %, debido a que estas mezclas son secas y ya se mencionó anteriormente de la diferencia y variación por parte del K-slump en consistencias secas, pero cabe mencionar el incremento que se tiene en la resistencia, a menor consistencia mayor resistencia.

Los valores de las resistencias, son valores promedios de las muestras ensayadas y detalladas en las tablas 3.21 y 3.24.

Los resultados de la tabla 4.4, muestran de forma llamativa que la viga del tamaño de agregado de 1/2" no llega a la resistencia de diseño, debido a que se adicionó agua extra a la dosificación para analizar la diferencia de la trabajabilidad de los métodos empleados y su influencia en la resistencia.

La cantidad de agua adicionada fue 0.80 litros, con ello se obtuvo un asentamiento de 4 cm por parte del K-slump, claramente se evidenciaba una mayor trabajabilidad por parte de la mezcla y una mejor lectura del K-slump. El tamaño del agregado es uno de los más recomendados para su uso, por lo que la trabajabilidad era óptima, aunque debido a su forma el parámetro de trabajabilidad disminuye una cierta cantidad respecto a los agregados de canto rodado.

En la resistencia a compresión, se tienen valores mayores a los obtenidos con agregados naturales, y esto se debe a la textura de las caras fracturadas que poseen los agregados triturados, teniendo mayor adherencia, factor que influye en la resistencia, aunque, de cierta manera tiene un porcentaje de afectación a la trabajabilidad, pero es mínimo.

Agregado mezclado

Tabla 4.5 Resultados obtenidos con el agregado grueso mezclado

Asentamientos de las mezclas agregado mezclado cono Abrams y K-slump					
Parámetros			1/2"	3/4"	1"
Asentamiento	cm	Cono de Abrams	2,90	2,85	2,50
		K-slump	2,80	2,80	2,45
Diferencia entre métodos	%	-	3,45	1,75	2,00
Resistencia (kg/cm²)	Probetas	Compresión	284,72	308,97	285,82
	Vigas	Flexión	41,05	47,04	45,27

Fuente: Elaboración propia

Se hizo una mezcla de los agregados de canto rodado y triturados en cantidades iguales para su dosificación, es decir un 50% de agregado natural y 50% de agregado triturado para complementar los análisis de las diferencias que se podrían presentar en su variabilidad del tamaño de sus partículas componentes.

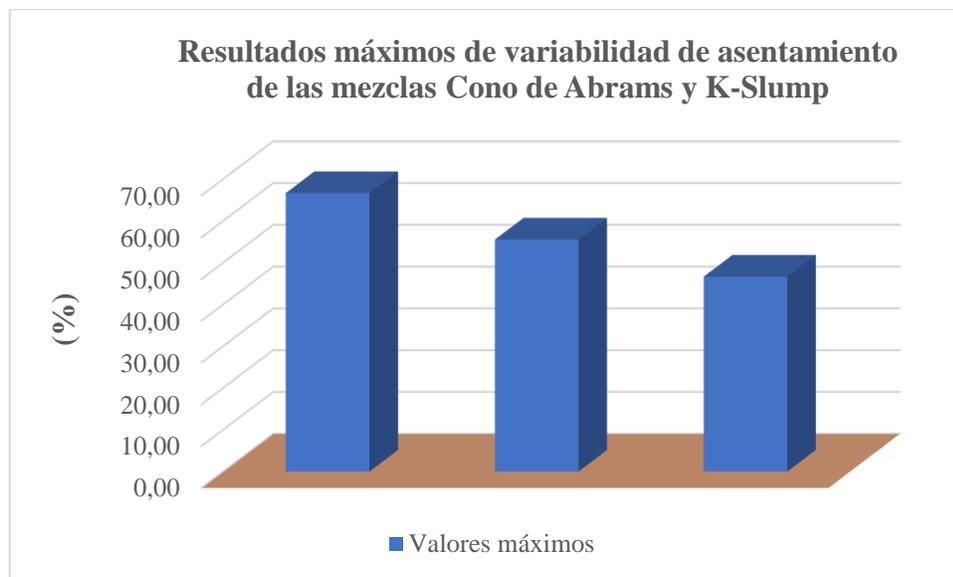
En la diferencia de los asentamientos en todos los casos, los valores están por debajo del 5%, para el parámetro de la trabajabilidad.

En la tabla 4.5 se observa claramente la disminución de resistencia a compresión, y esto se debe directamente a la cantidad de agua en la mezcla. Lo que se quiere verificar es, la afectación de agua también en la resistencia a compresión y una mejor apreciación al uso del K-slump, después de analizar la variabilidad de las muestras en los diferentes ensayos realizados.

4.1.2. Resultados máximos y mínimos de los parámetros ensayados

Trabajabilidad de las mezclas

Gráfico 4.1 Variabilidad máxima de los asentamientos con ambas metodologías

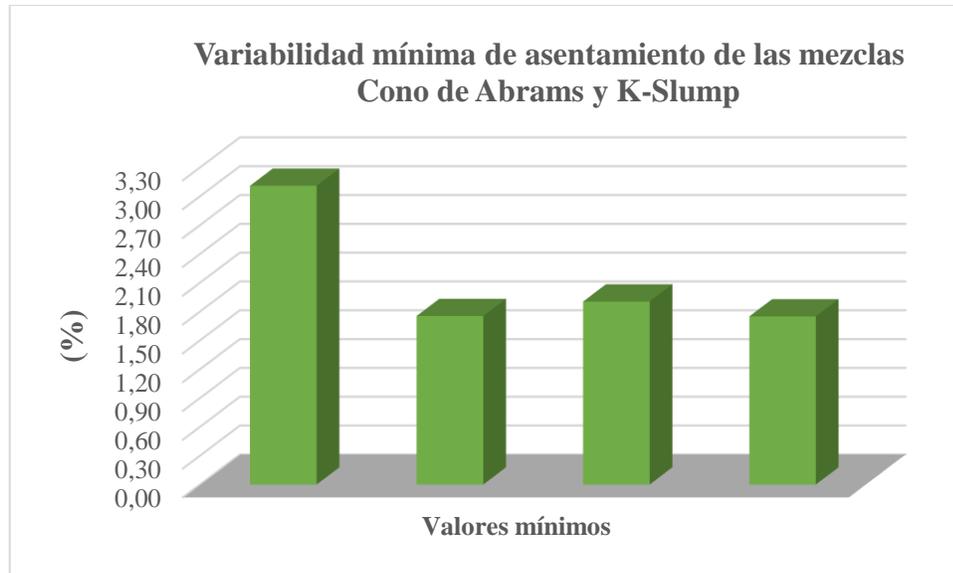


Fuente: Elaboración propia

Los valores máximos de la diferencia de las metodologías empleadas para la medición del asentamiento de las diferentes mezclas, son suficientes para definir que el K-Slump no es aplicable cuando se trata de mezclas con consistencias secas. Es una de las limitantes que

posee este equipo y por lo tanto, es un dato a tomar en cuenta al momento de emplear dicho equipo en trabajo donde se lo requiera.

Gráfico 4.2 Variabilidad mínima de los asentamientos con ambas metodologías



Fuente: Elaboración propia

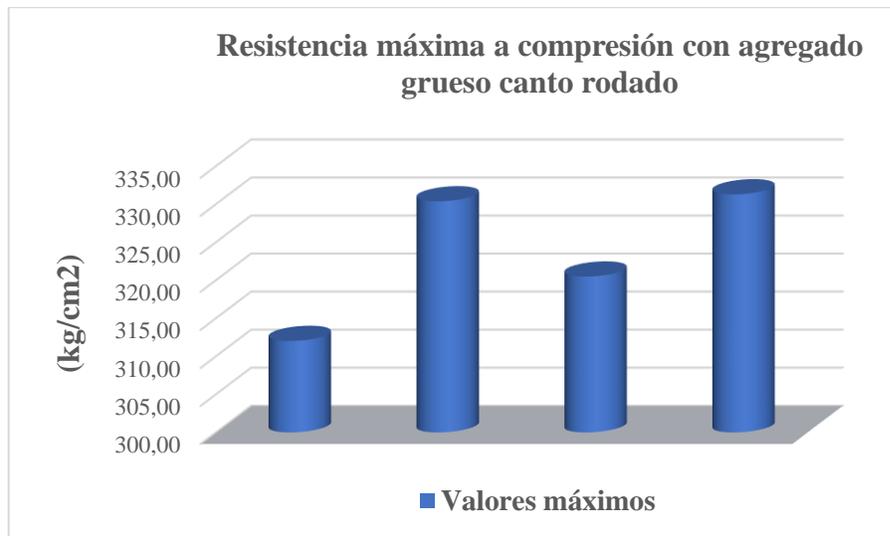
Entre los valores mínimos de las diferencias de los resultados con ambas metodologías, solo se trabajó con consistencias plásticas y con lo visto la diferencia del K-slump respecto al cono de Abrams, tiende a ser mínima si la consistencia de la mezcla está por encima de los 2 cm de asentamiento.

Realizado el análisis, se define que los agregados más recomendados para su uso en la elaboración de mezclas son, tamaños de 1/2" y 3/4", entre canto rodado y triturado viendo desde el punto para resistencia el más recomendable es el agregado triturado y desde el punto de vista para la trabajabilidad el más recomendable es el agregado canto rodado.

Aunque se puede emplear uno u otro, ya que las diferencias no son significativas y sobre la mezcla de ambos materiales, se puede realizar porque las diferencias no son grandes aunque no es lo más recomendable.

Resistencia de probetas y vigas

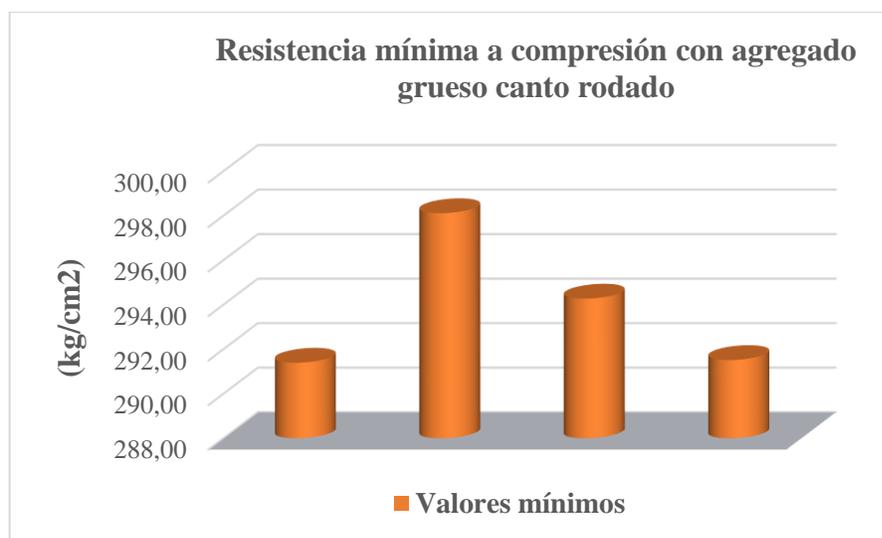
Gráfico 4.3 Resistencias máximas a compresión con agregado canto rodado



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.20 se pueden observar las resistencias a compresión de acuerdo a los tamaños de agregado grueso empleado para las mezclas, de estos resultados máximos alcanzados fue con agregados de 1/2", con asentamientos de 2.30 cm (cono de Abrams) y 2.25 cm (K-slump) los mismos se encuentran registrados en la tabla 3.19.

Gráfico 4.4 Resistencias mínimas a compresión con agregado canto rodado

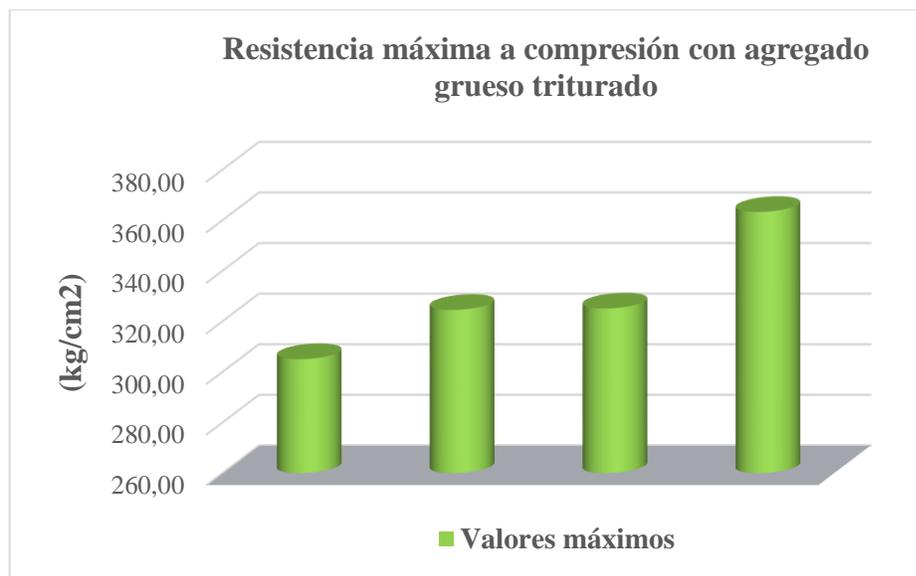


Fuente: Elaboración propia

Tanto valores máximos y mínimos se pueden observar en la tabla 3.20 las resistencias a compresión y en la tabla 3.19 para los asentamientos. En este caso para las resistencias mínimas con agregados de canto rodado los asentamientos son: 2.20 y 2.10 cm respectivamente.

Analizando los agregados de canto rodado, se aprecia que las resistencias máximas se consiguen con agregados de 1/2", es decir, con los agregados de menor tamaño usado para la investigación, por otro parte, a pesar de que las resistencias con agregados de 1" donde se tiene menor asentamiento, no fue suficiente para incrementar la resistencia, quedando como más desfavorable de los agregados naturales en resistencia los de 1".

Gráfico 4.5 Resistencias máximas a compresión con agregado triturado

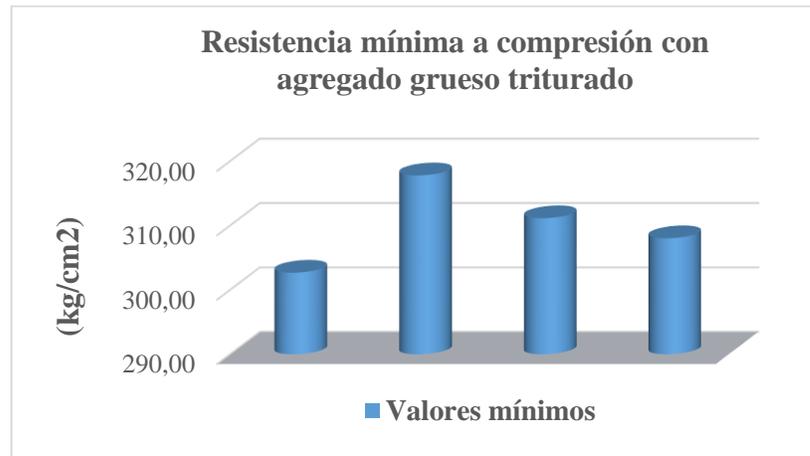


Fuente: Elaboración propia

Para los agregados triturados, la resistencia máxima alcanzada fue empleando el tamaño de agregado grueso 3/4", el asentamiento de la mezcla fue de 1.80 y 0.80 cm respectivamente, con esta mezcla se alcanzó el valor máximo de resistencia a compresión de toda la investigación, llegando a un valor máximo de 363,25 kg/cm².

Sin embargo, tiene que ver con la consistencia que tiene la mezcla según la tabla de consistencias usada, para esta mezcla sería una consistencia seca, y mientras más seca esté la mezcla, mayor resistencia se puede obtener.

Gráfico 4.6 Resistencias mínimas a compresión con agregado triturado

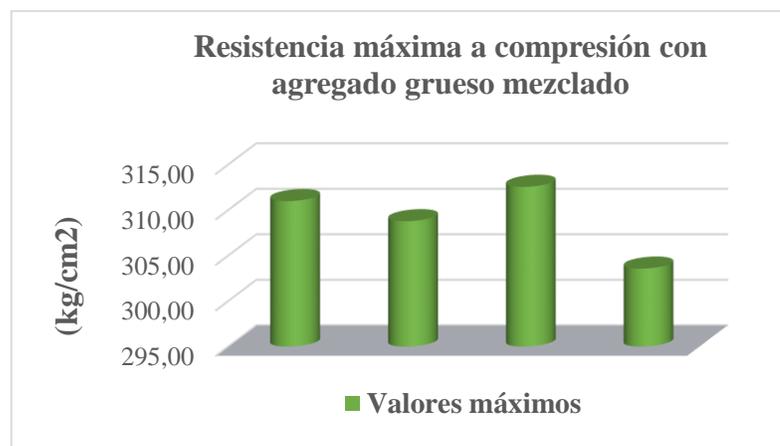


Fuente: Elaboración propia

Para la resistencia mínima con agregado triturado, nuevamente se presenta para los agregados de 1", con asentamiento de 1.50 y 0.80 cm. Los valores son menores que los de la mezcla de 3/4"; sin embargo, la resistencia nuevamente se ve influenciada por el tamaño de los agregados.

Analizando los agregados triturados, se ve nuevamente que las resistencias máximas se consiguen con agregados de 1/2", por otra parte, a pesar de que las resistencias con agregados de 1" donde se tiene menor asentamiento, no fue suficiente para incrementar la resistencia, siendo más desfavorables los agregados triturados en resistencia de 1".

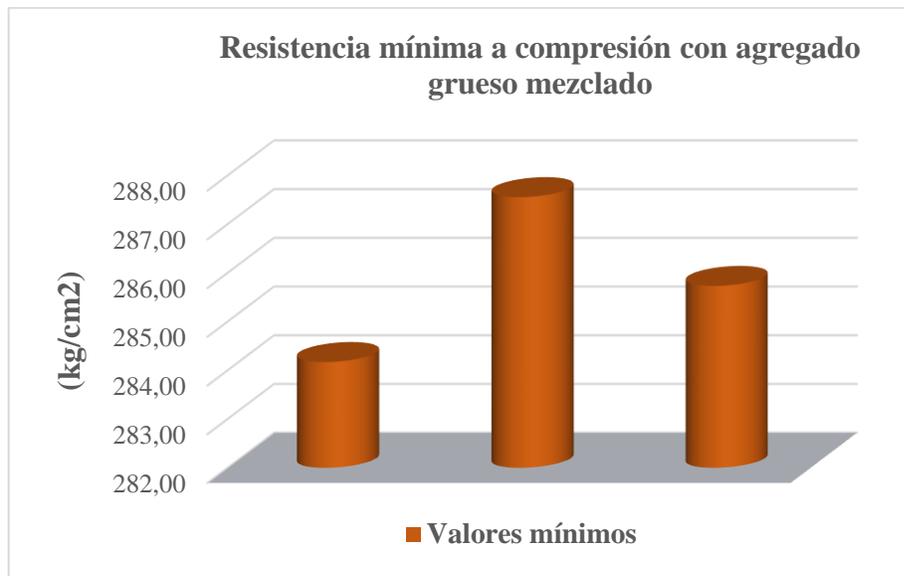
Gráfico 4.7 Resistencias máximas a compresión con agregado mezclado



Fuente: Elaboración propia

Para las mezclas con agregados mezclados en probetas se adicionó agua a la dosificación, en las cantidades mencionadas anteriormente. Los valores máximos corresponden a mezclas con agregados de 3/4" las mismas cuentan con un asentamiento de: 2.85 y 2.80 cm respectivamente.

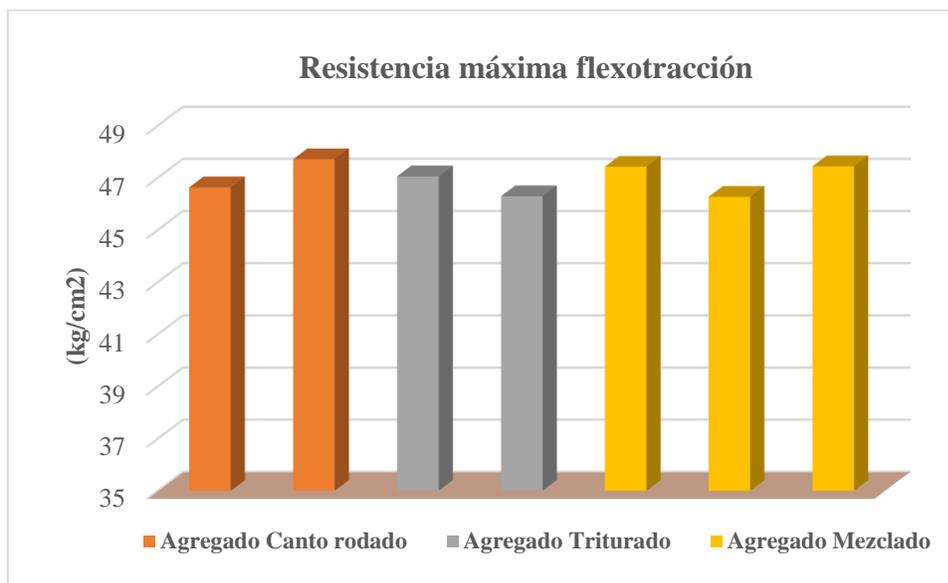
Gráfico 4.8 Resistencias mínimas a compresión con agregado mezclado



Fuente: Elaboración propia

Analizando los agregados mezclados, queda demostrado que las resistencias máximas se consiguen con agregados de 1/2" hasta 3/4"; por otro parte, en todos los tamaños empleados y las mezclas trabajadas, se determina que el tamaño más desfavorable y menos recomendable para su uso a la vez, son los agregados de 1".

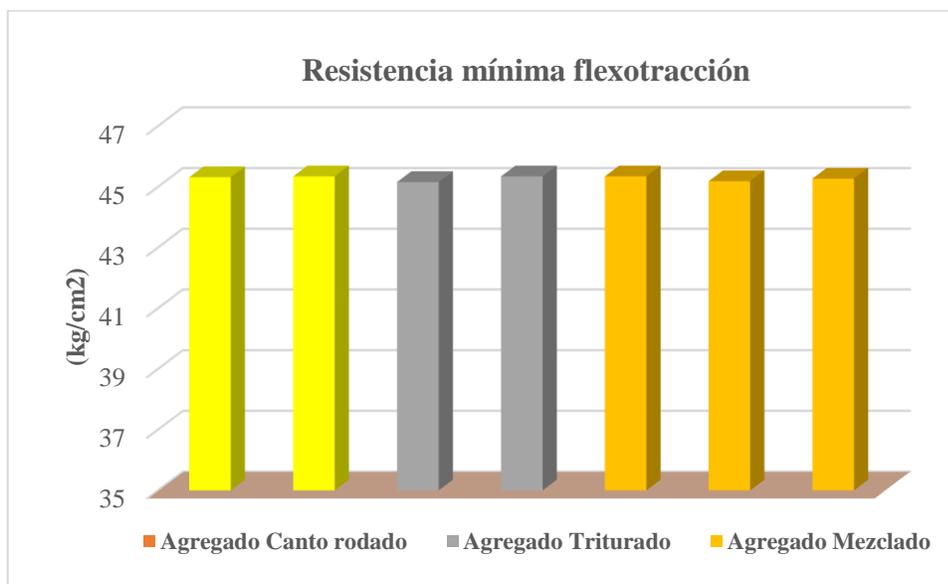
Gráfico 4.9 Resistencias máximas a flexotracción



Fuente: Elaboración propia

En la resistencia de los prismas (vigas), no presenta mucha variación, obteniendo valores máximos con agregados de 1/2" y 3/4", los asentamientos de las mezclas ondulan entre: 2.20-2.10 cm y 1.50-0.60 cm respectivamente.

Gráfico 4.10 Resistencias mínimas a flexotracción



Fuente: Elaboración propia

Los valores mínimos corresponden al igual que en las probetas, a las mezclas con agregados de 1", tanto para agregados canto roda, triturados y mezclados. Los asentamientos de las mezclas se encuentran entre: 2.06-2.10 cm y 2.60-2.50 cm respectivamente.

Las vigas ensayadas en las pruebas de resistencia, las diferencias entre una y otras no fue muy variable como en las probetas, haciendo notar que nuevamente los tamaños más pequeños empleados para la elaboración de las mezclas, arrojaron mejores resultados. En las vigas debido a que se adicionó agua a algunas mezclas como se indicó anteriormente, las resistencias máximas se presentaron para los agregados de 3/4" siendo algunos resultados muy similares a las mezclas con agregados de 1/2". Sin embargo, hay una diferencia respecto al agregado de 1", y es que para este tamaño los resultados no son los mejores. Por lo que, finalmente con todo el análisis realizado y haciendo las respectivas comparaciones con los parámetros estudiados en esta investigación, se define que:

- Agregado grueso 1/2"; Muy recomendable para su uso, entre canto rodado y triturado.
- Agregado grueso 3/4"; Recomendable para su uso, entre canto rodado y triturado.
- Agregado grueso 1"; No recomendable para su uso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De acuerdo a la norma ASTM, los resultados de la caracterización de los agregados dan cumplimiento a las especificaciones exigidas para pavimentos rígidos. Presentando buenas propiedades, tanto los agregados de canto rodado y triturado, teniendo como valor máximo de desgaste de los Ángeles de 27.70% el agregado triturado, tomando como referencia el valor máximo de desgaste que establece la normativa del 35%.
- Con los resultados de la caracterización de los diferentes tamaños de los agregados de canto rodado y triturado, se obtiene la dosificación de las mezclas de estudio, presentando variaciones entre sí, donde el resultado de cada tamaño de agregado define tal variación.
- Para cada dosificación, las mezclas de estudio son sometidas a diferentes ensayos, donde, inicialmente se mide el asentamiento en su estado fresco y la prueba de resistencia en su propiedad de endurecido.
- Las mediciones de los asentamientos de las mezclas elaboradas, definen finalmente la trabajabilidad de las mismas, empleando el método convencional cono de Abrams y el K-slump, haciendo notar las diferencias de los resultados entre mezclas y equipo de medición.
- Para obtener mejores resultados en resistencia, la relación agua/cemento es de 0.41 correspondiente a una resistencia de 350 kg/cm², así también se mantiene el valor constante en todas las pruebas de las mezclas evaluadas.
- Los resultados de los parámetros evaluados de la presente investigación, dan cumplimiento a los objetivos planteados, empleando diferente granulometría del agregado grueso para la elección del tamaño y tipo de agregado más adecuado. Después de dar cumplimiento con los ensayos pertinentes, haciendo notar el uso por primera vez del equipo K-slump en la entidad que sirve para medir el asentamiento de las mezclas de concreto.

- Dentro de las dosificaciones obtenidas, es posible evidenciar las diferencias entre sí, debido a las características de los agregados de canto rodado de 1/2, 3/4 y 1", y agregado triturado de 1/2, 3/4, y 1", y una mezcla de ambos materiales en cantidades iguales, es decir, 50% de agregado canto rodado y 50% de agregado triturado. Debido a la diferente granulometría y tipo de agregado utilizado, el resultado de la dosificación es influenciado por tal variación.
- Las mediciones del asentamiento de las diferentes mezclas con K-slump, se aplican en función de las especificaciones vigentes, sobre el procedimiento de uso, limitantes, ventajas, entre otros parámetros. Siendo posible la utilidad del equipo mediante una investigación de la información del K-slump.
- Los resultados en las mezclas con consistencias secas, presenta grandes porcentajes de diferencia, esto se debe a que el K-slump tiene orificios estrechos por donde ingresa la mezcla, y cuando se trata de mezclas secas, las mismas tienen poco movimiento ingresando en mínima cantidad, siendo la razón para que se presenten resultados abultados en diferencia entre ambas metodologías.
- La consistencia de las mezclas evaluadas en su mayoría plásticas, no presentaron diferencias considerables; por lo contrario, las diferencias de resultados entre las metodologías utilizadas en las mediciones de las mezclas dentro de estos rangos de consistencia, son mínimas.
- Con la mínima diferencia obtenida en las mediciones con el K-slump respecto al cono de Abrams, se define que, el uso del K-slump presenta varias ventajas sobre el método convencional. Entre las ventajas se tienen: fácil uso y aplicación, peso y tamaño reducido, el ensayo se lo puede realizar en cualquier recipiente que se tenga en obra, etc.
- Los agregados con mejor rendimiento dentro de los parámetros ensayados son, de tamaño 1/2" y 3/4", presentando buenas características y condiciones óptimas de comportamiento en trabajabilidad, resistencia a compresión y flexión. Siendo estos tamaños de agregado grueso los más óptimos, descartando la posibilidad de usar tamaños de 1" o mayores a este tamaño, por su grado de afectación que tiene en el acomodado al momento del hormigonado, reduciendo también la resistencia.

- Finalmente, se concluye con todos los análisis de los parámetros estudiados para los 3 tamaños de agregados y en las combinaciones empleadas, el tamaño de agregado triturado de 1/2" es el más recomendable en resistencia y el agregado canto rodado en trabajabilidad es el tamaño más óptimo. El agregado de 3/4", también es recomendable pero, en menor escala que el anterior, su uso tiene una amplia demanda actualmente en varias aplicaciones en el medio. Y para concluir, el agregado de 1", no se recomienda usar en lo posible, o usarlo con una mezcla de menor tamaño para obtener mejores resultados. Se definió a base de los resultados el tamaño de agregado más recomendable, recomendable y no recomendable para su uso en mezclas de concretos para pavimentos rígidos.

5.2 Recomendaciones

- Es muy importante el uso de agregados de buena calidad, para obtener mejores resultados en cuanto a resistencia, ya que es una limitante al trabajar con mezclas para pavimentos rígidos.
- Determinar una dosificación adecuada y que se note la variabilidad de la misma entre los tamaños de agregados, para poder analizar con los resultados obtenidos y definir de manera correcta el tamaño, y tipo de agregado más eficiente para el uso en obras.
- Dentro de los materiales más determinantes de las mezclas como es el cemento, se recomienda el uso del cemento IP-40, ya que posee propiedades especiales que repercuten directamente en la trabajabilidad y más que todo en la resistencia. Aunque no es común su uso y en nuestro medio solo es posible obtenerlo mediante pedido a las distribuidoras, es más conveniente por la seguridad, a pesar de que el costo incrementa, pero no es una diferencia grande entre uno y otro.
- Se recomienda el uso del K-slump para mezclas con consistencias fluidas sin aditivos y con aditivos, para determinar su rango de limitación dentro de los rangos permitidos por las normativas y de esa manera definir el campo de aplicación del equipo que cuenta con muchas ventajas para su uso sobre el método convencional.
- Realizar la medición de la trabajabilidad de las mezclas inmediatamente después del mezclado, para evitar la pérdida de humedad de la misma y para obtener resultados más precisos. Se recomienda usar un cronómetro para medir el tiempo de 60 segundos establecidos por la normativa del equipo K-slump.
- Evitar girar el K-slump, cuando se lo introduzca al recipiente que contenga la mezcla. Se menciona esta parte del proceso por que, cuando se usan agregados de 3/4" o más, es complicado introducir el equipo sin que se presenten alteraciones, y siendo la consistencia de la mezcla que tiende a ser seca es mucho más difícil introducir el equipo para realizar el ensayo.
- Cuando se trabaja con mezclas de consistencias plásticas, semisecas o secas, no se recomienda realizar el ensayo en mezclas compactadas, es decir mezclas que ya se encuentren en moldes, como ser: probetas, prismas, etc.

- Se recomienda realizar la medición de la trabajabilidad en mezclas compactadas con consistencias fluidas, para determinar y definir el grado de variabilidad entre mezclas de diferentes consistencias respecto al método convencional (cono de Abrams).
- No se recomienda usar agregado grueso de 1” o mayor a ese tamaño para la elaboración de mezclas, porque es el más desfavorable de esta investigación, tanto en trabajabilidad como menor rendimiento en resistencia, debido a que las partículas no se acomodan bien durante el hormigonado, quedando más espacios vacíos y ocupando más espacio que el material fino del concreto.