

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En Bolivia existen varias fábricas cementeras que se diferencian en su composición química haciendo que varíe en un margen las propiedades del hormigón entre ellas, en el presente trabajo se estudiara los cementos de las fabricas más importantes como son SOBOCE, COBOCE y FABOCE con sus respectivos cementos EL PUENTE (Tarija), COBOCE (Santa Cruz) y FANCESA (Sucre), con la finalidad de entender el por qué algunos departamentos, regiones, empresas optan por aplicar otros cementos siendo esta de otro lugar en el hormigón para disponer en obras y optimizar según sus propiedades del hormigón el mejor cemento que se disponga en nuestro país.

Un ejemplo claro ocurre en la Ciudad de Tarija en la que la mayoría de las empresas que se adjudican obras tanto para sector privado como público, optan para hacer la mezcla de hormigón cemento Fancesa habiendo a disposición en la ciudad productos El Puente – Soboce, haciendo que haya una incertidumbre en la sociedad.

El tipo de cemento aplicado en obras ya sea IP30 O IP40 influyen en las propiedades del hormigón tales como la trabajabilidad y consistencia que son muy importantes en la puesta en obra ya que esta influye en el modo de manejo y rendimiento de la mezcla por parte de la mano de obra como también de la calidad de hormigón que se está empleando en obra, la resistencias a compresión como flexión que de igual manera son clave en el periodo de vida útil de nuestro proyecto y sin olvidarse de los tiempos del hormigón como de curado y fraguado en que estos se caracterizan por controlar el endurecimiento que tiene el hormigón y prevenir las fallas prematuras que tiene el mismo.

El siguiente trabajo contribuirá o proporcionara información sobre la relevancia que tiene el cemento en el hormigón para empresas constructoras que permitan no solamente aplicar al pavimento rígido, sino a diferentes estructuras, para que esta sean de buena calidad, duración y menor costo de mantenimiento, como también en la sociedad o en la gente común que requiera elaborar sus propios trabajos de construcción.

La finalidad de este análisis y comparación es la de proponer el cemento más óptimo en obra que cumpla mejor las recomendaciones y normas pertinentes sobre las propiedades del

hormigón que se utilizan netamente en el pavimento rígido, como también poder visualizar y determinar en qué grado influyen los tipos de cementos en la mezcla mediante una caracterización de los cementos en estudio y poder reducir la incertidumbre de la sociedad en el uso de los cementos de diferentes fabricas importantes que existen en Bolivia.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Situación Problemática

Como se sabe el cemento posee una gran intervención y relevancia en la mezcla ya que cambia sus características del hormigón, donde existen cementos de distinta calidad y rendimiento dentro de una obra, la cual nos hace pensar que cemento sería el más recomendado y disponible en nuestro medio para poder garantizar la buena calidad de obras o construcciones de carácter menor dispuesto a la gente común.

En Bolivia existen tipos de cementos de diferentes empresas que se diferencian en sus características y costo, haciendo que algunos departamentos obtén el uso del mejor tipo de cemento, tanto en calidad y el más óptimo, es donde se quiere realizar la comparación de las propiedades del hormigón fresco como endurecido, para ser empleados en el pavimento rígido, donde servirá para ver que cemento es el más óptimo y también económico pero todas estas ligadas a la normas y especificaciones pertinentes.

Se sabe que empresas constructoras optan cementos de otras fábricas aun teniendo fábricas de cementos en su propio lugar de trabajo la cual hace que exista incertidumbre de la sociedad, en la que nace la necesidad de por qué ocurre esto.

1.2.2 Problema

¿De qué manera influirán los tipos de cementos existentes en Bolivia en las propiedades del hormigón para ser empleados en el Pavimento Rígido?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar las propiedades del hormigón utilizando distintos cementos que existen en Bolivia por medio de ensayos de laboratorio de hormigón fresco y endurecido para optimizar la calidad del pavimento rígido que cumpla las especificaciones y normas pertinentes.

1.3.2 Objetivo Especifico

Extraer el material del cemento IP30 de la fábrica de SOBOCE, COBOCE Y FANCESA y sus demás componentes del área local (Tarija-Bolivia) y el tipo de dosificación de uso para pavimentos rígidos.

Determinar la consistencia del concreto fresco mediante el cono de ABRAMS

Cronometrar el tiempo de fraguado y temperatura de cada una de las muestras utilizando los distintos tipos de cementos.

Obtener las resistencias de compresión de la probeta de hormigón y su resistencia a flexión mediante vigas de hormigón a diferentes edades que debe tener según la norma pertinente.

Diagramar un resumen comparativo y estadístico de las propiedades del hormigón realizadas.

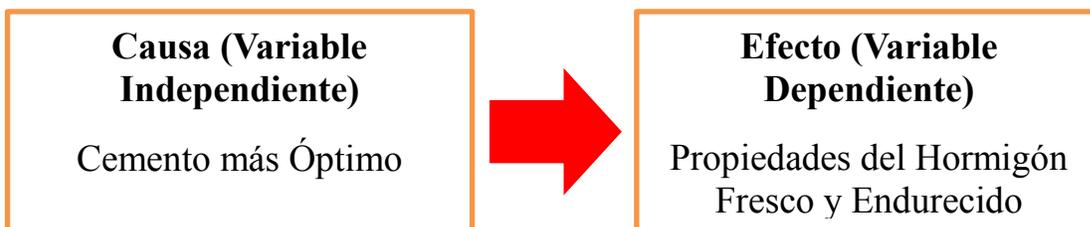
Comparar las propiedades de cada cemento en función a las resistencias a flexión, compresión y trabajabilidad para pavimento rígido.

1.4 Hipótesis

Determinando y observando la influencia que tiene los distintos cementos de Bolivia en las propiedades de hormigón fresco y endurecido, siendo estas propiedades netamente correspondientes al pavimento rígido, se lograra seleccionar mediante pruebas de laboratorio el cemento más óptimo en cuanto a calidad para disponer en nuestro medio.

1.4.1 Variables

Figura 1: Variables de la Investigación



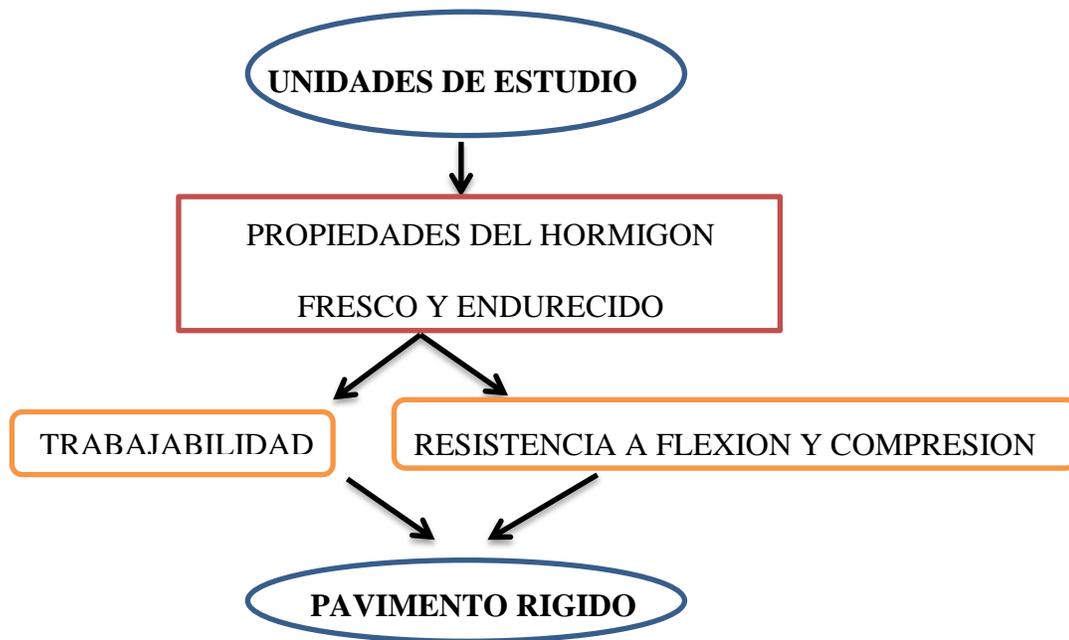
Fuente: Elaboración Propia

1.5 Unidad de Estudio y Decisión Muestral

1.5.1 Unidad de Estudio

Las propiedades del hormigón son los sujetos en estudio de la investigación donde se modificara los cementos que hay en Bolivia para medir y analizar aquellas propiedades netamente referidos al pavimento rígido como ser: el asentamiento de la mezcla (consistencia y trabajabilidad), resistencia (compresión y flexión), tiempos (fraguado y temperatura) y como se hará variar los tipos de cementos en el hormigón se realizara el módulo de finura de los distintos cementos.

Figura 2: Unidades de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

Se realizara el tipo de estudio descriptivo ya que en el trabajo de investigación se hará un análisis del cemento en el hormigón, en donde se identificara la influencia que tiene esta sobre las propiedades de la mezcla referido al pavimento rígido, que con un tratamiento estadístico, la cual es una característica de este tipo de estudio, se utilizara el muestreo para la recolección de la información y su respectivo análisis.

1.5.2 Población

Los pavimentos rígidos son la totalidad de la unidad de análisis donde sobre este se realizara los ensayos pertinentes al fenómeno de la influencia del cemento para poder optimizar, mejorar la calidad, reducir el costo del mantenimiento y aumentar la durabilidad y la vida útil del pavimento rígido

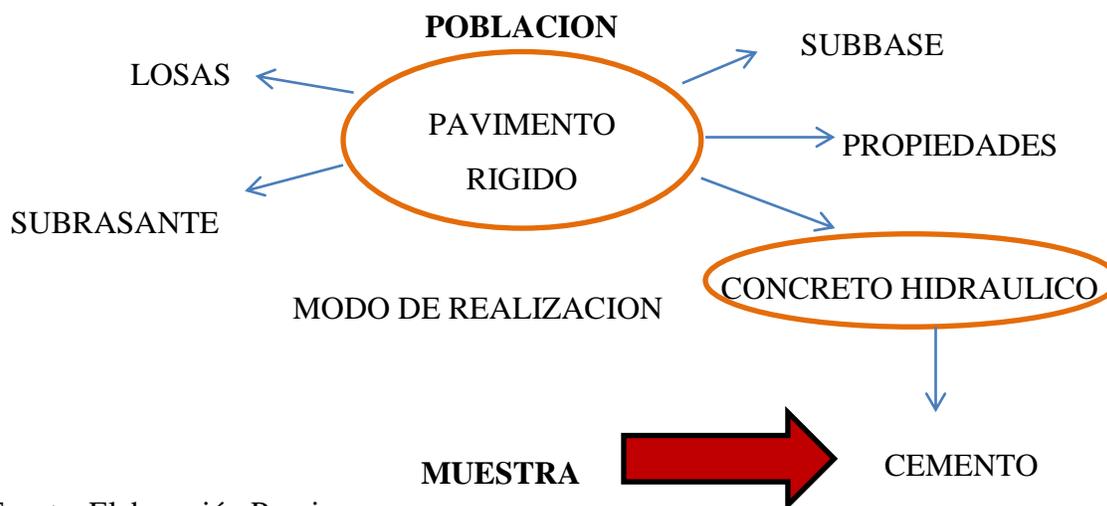
1.5.3 Muestra

El cemento óptimo es clave en la composición de la losa de hormigón la cual hace que sea de buena calidad el pavimento rígido ya que el cemento influirá en las propiedades de estudio del hormigón.

Los tipos de cementos que existen o que se disponen en nuestro territorio Bolivia harán que haya una variación de su composición química y finura, que por tanto no serán los mismos resultados sus propiedades a medir en la investigación.

Por tanto la muestra en nuestro caso seria los cementos ya que este componente fundamental en el p Se dispondrá el cemento en bolsas de 50 kilogramos en función a lo requerido del tamaño de la muestra dependiendo al tipo de estudio y dosificación del hormigón.

Figura 3: Población y Muestra de la Investigación



Fuente: Elaboración Propia

1.5.4 Muestreo

Se dispondrá el cemento en bolsas de 50 kilogramos en función a lo requerido del tamaño de la muestra dependiendo al tipo de estudio y dosificación del hormigón.

Se conseguirá cemento Fancesa de sucursales que existan en nuestro lugar de investigación que es Cercado – Tarija caso contrario se tendrá que hacer pedir de las casas oficiales perteneciente al producto, así como también el cemento Coboce y finalmente del cemento El Puente pero ya habiendo una casa matriz en nuestra localidad se dispondrá de una manera sencilla.

Cuadro 1: Muestreo de Cementos

CEMENTO	PROCEDENCIA	TIPO
FANCESA	SUCRE	IP
EL PUENTE	TARIJA	IP
COBOCE	COCHABAMBA	IP

Fuente: Elaboración Propia

Cabe decir que el tipo de cemento que se empleara en la investigación serán de tipo IP que está compuesta según el marco teórico de Cemento Portland la cual este tipo se lo utiliza como cemento hidráulico ósea que funciona o fragua en presencia del agua la cual es la característica de exposición de este tipo de estructuras como es el pavimento rígido.

También será el tipo de cemento IP-30 ya que estos cementos son comúnmente más utilizados en nuestro medio, la cual este presente trabajo pretende ser para calles urbanas por la que en esta parte es la que se utiliza más este tipo de pavimento rígido debido a su durabilidad, modo de construcción y menos contaminante.

1.6 Métodos y Técnicas Empleadas

1.6.1 Metodología

Los métodos que se usaran en la presente investigación son los métodos inductivo y el método de análisis ya que el fenómeno que se quiere observar permite realizar conclusiones

ya sea de forma descriptiva o explicaciones asociadas a la realidad que es parte del método inductivo y por otra parte un análisis que permiten ver la realidad para la identificación de las partes de las propiedades del hormigón para que todo esto influya en el pavimento rígido que vendría ser nuestro campo de aplicación.

El tipo de estudio será de carácter descriptiva ya que se está realizando un estudio de las propiedades del hormigón debido a la influencia del cemento boliviano, la cual estará sometido a un proceso de tabulación y análisis estadístico.

1.6.2 Técnicas Empleadas

Las técnicas empleadas serán la de la observación donde permitirá visualizar atentamente el fenómeno o hecho para tomar información y registrarla para su posterior análisis, toda esta observación se realizara en el laboratorio a través de los ensayos determinados y también se utilizara la técnica de fichaje que consiste en registrar los datos que se van obteniendo en los ensayos en donde se ordenaran la información para su respectivo análisis y conclusión.

1.6.3 Planteamiento

El muestreo se dispondrá de todos las sucursales de la fabricas de nuestro interés de la investigación ubicadas en la Ciudad de Tarija caso contrario al no tener sucursal en nuestra región, se hará traer o mandar de las casas matrices, cabe recordar que el cemento a usar será el IP-30 ya que es el que usualmente se usa para nuestro campo de aplicación.

Cuadro 2: Cementos de Bolivia

CEMENTO BOLIVIANO	FABRICA	TIPO	PRODUCTOS
FANCESA	FABOCE	IP-30	Bolsas de 50 Kg
COBOCE	COBOCE	IP-30	Bolsas de 50 Kg
EL PUENTE	SOBOCE	IP-30	Bolsas de 50 Kg.

Fuente: Elaboración Propia

Los áridos este componente será de manera estándar ósea que se será la misma para todas la muestra, tanto el agregado grueso (grava) como el agregado fino (arena) se conseguirá de acopios que existan en nuestra ciudad de Tarija.

Debido a su composición el agua necesariamente tendrá que ser potable la cual es usada como agua de mezcla como también de curado.

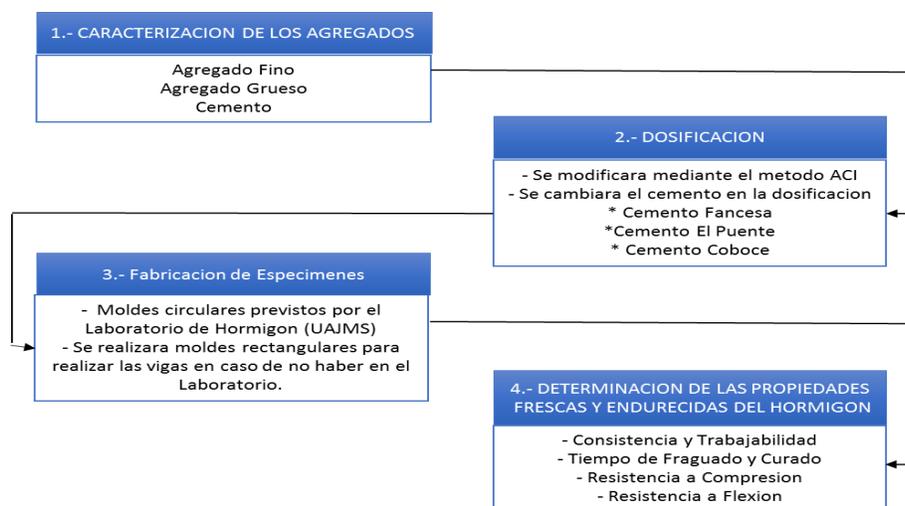
Cuadro 3: Procedencia de Componentes del Hormigón

Componente	Características	Procedencia
Arena	Chancada	Guadalquivir-San Mateo
Grava	Chancada	Guadalquivir-San Mateo
Agua	Potable	Tarija

Fuente: Elaboración Propia

Reunidos todos los materiales de trabajo se realizara el trabajo en el laboratorio de Tecnología del Hormigón (UAJMS) en donde se determinara todos los ensayos planteados en la investigación debido a su disposición de equipo en las instalaciones en la que se seguirá el siguiente esquema de trabajo:

Esquema 1: Planteamiento de la Investigación

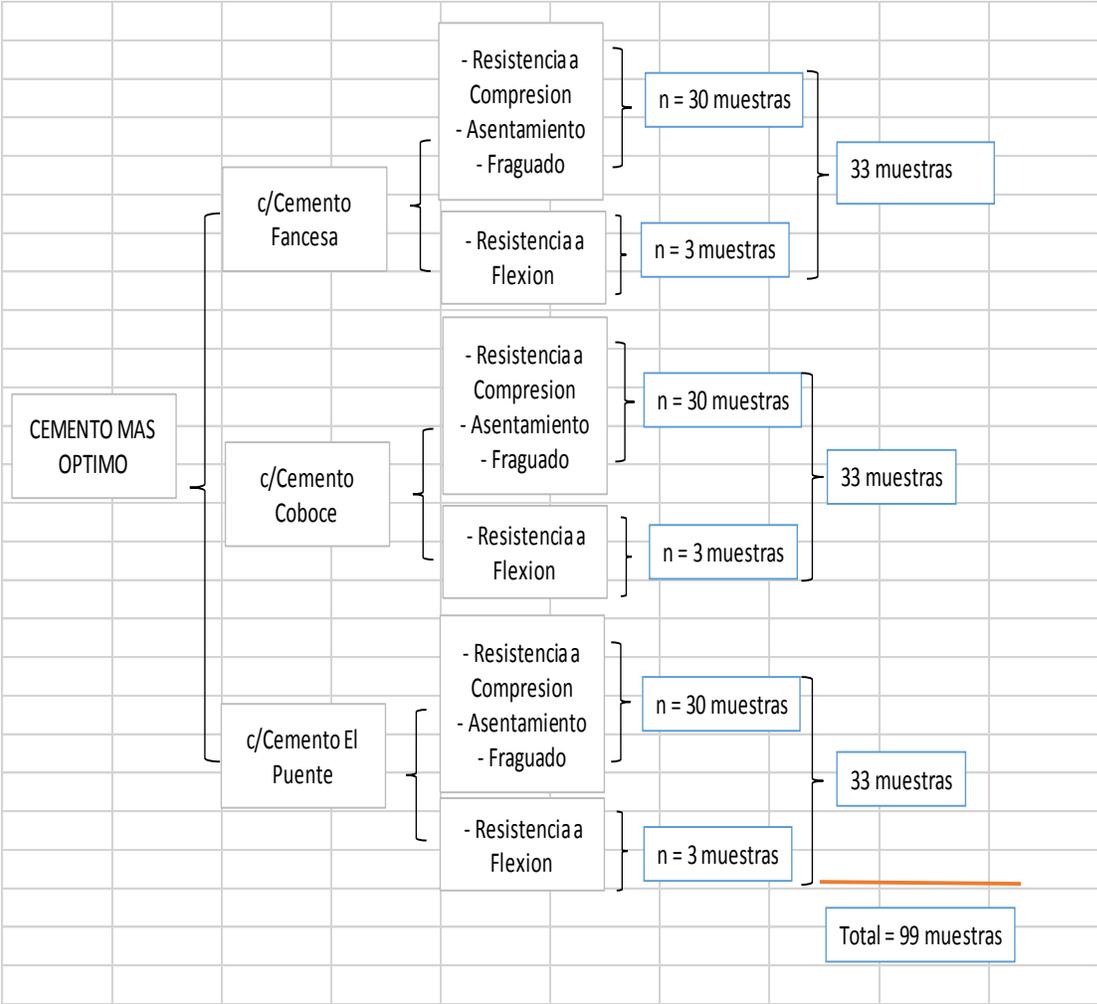


Fuente: Elaboración Propia

Ya que se trata de un tipo de estudio descriptivo se realizara el tamaño de la muestra como mínimo 30 por grupo, la cual correspondería al trabajo de investigación teniendo tres tipos de cementos en estudio de Bolivia la cual dará un total de 90 probetas sometidas a compresión y 9 vigas a flexión con dos apoyos.

Se especificara de mejor forma en el siguiente esquema:

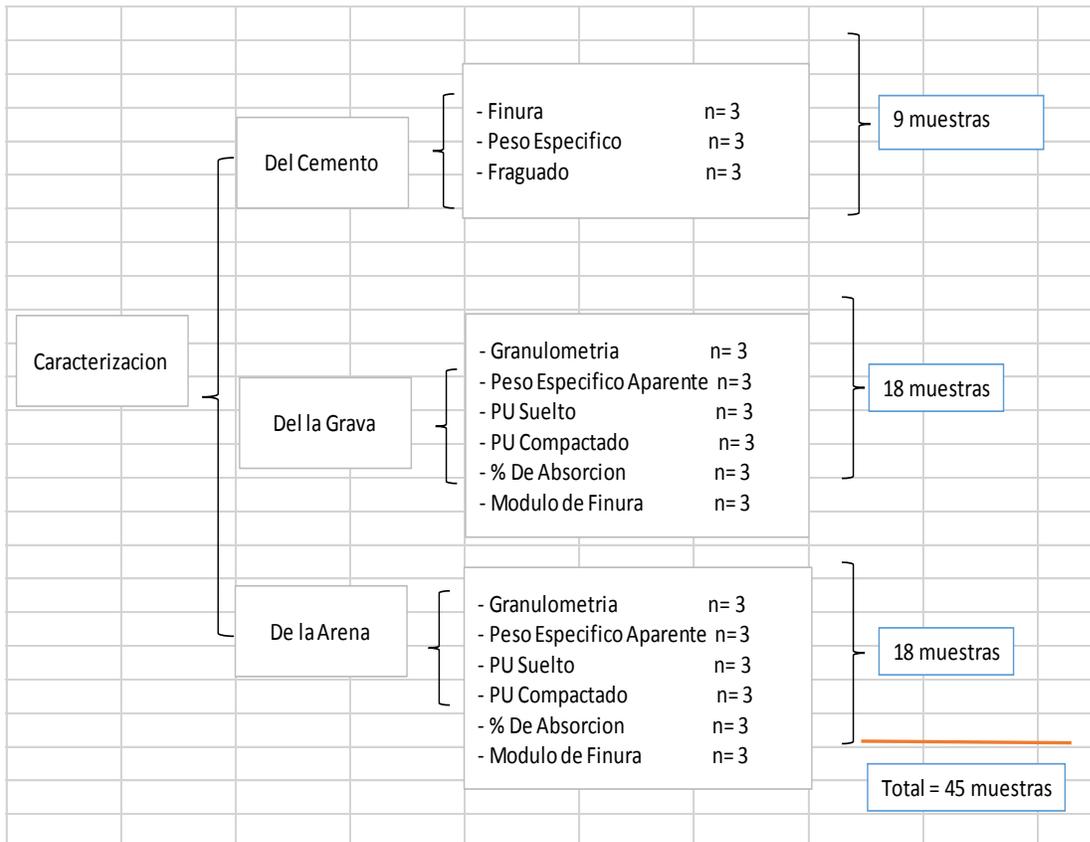
Esquema 2: Selección del número de muestras p/ Investigación



Fuente: Elaboración Propia

Se va realizar también la caracterización de los componentes del hormigón para verificar si se está cumpliendo las normas y son de buena calidad, por lo tanto se va realizar las siguientes muestras a los agregados como al cemento:

Esquema 3: Tamaño de la Muestra p/ Caracterización de componentes



Fuente: Elaboración Propia

1.7 Alcance de la Investigación

En la presente investigación se realizara un estudio de la influencia de los cementos que se cuenta en Bolivia en el hormigón, estos corresponden a diferentes empresas que son FABOCE, SOBOCE y COBOCE que son las únicas tres que existen en Bolivia, con sus respectivos cementos FANCESA, EL PUENTE y COBOCE de tipo IP-30, que son los usuales en la aplicación del pavimento rígido.

El análisis que se realizara será en la propiedades físico-mecánicas del hormigón que son requisitos en el empleo al pavimento rígido, entonces se realizara la comparación del mejor rendimiento de los cementos en la propiedades de trabajabilidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión, para ello se hará un análisis de resultados, mediante cuadros y gráficas.

También como se trata del estudio de influencia del cemento, se hará una comparación de las propiedades fundamentales de los distintos cementos (Finura, Tiempo de fraguado, Consistencia, Peso Específico), en la mezcla del hormigón, que de igual forma se realizara cuadros y graficas de comparación de la influencia de estas propiedades del cemento en las propiedades del hormigón.

1.8 Justificación

El estudio pretende desarrollar una comparación y optimización, a través de los ensayos de las propiedades del hormigón fresco y endurecido para disponer a las empresas constructoras o la población en general el cemento boliviano con mejor rendimiento.

También se realizara la investigación para disminuir la incertidumbre con el propósito de hacer conocer las características de cada cemento en el hormigón y concientizar a la gente que se usa diferentes cementos con distintos propósitos y funciones en la obra.

1.8.1 Académica

Desarrollar la propuesta de trabajo de investigación ya que colabora y contribuye a profundizar los conocimientos adquiridos por el estudiante durante su carrera, además que permite desarrollar en el estudiante conocimientos, destrezas y habilidades en la busca de materiales innovadores con mejores características mecánicas.

1.8.2 Teórica

El trabajo de investigación se propone en función a teorías existentes y pretende aportar con innovaciones constructivas, para enriquecer conocimientos en el proceso de diseño de mezclas para elementos prefabricados con adiciones alternativas.

1.8.3 Metodológica

A través de la selección de una dosificación con distintos cementos, metodológicamente, se pretende:

- ✓ Tener el cemento con mejor rendimiento en función a sus propiedades en el hormigón haciendo un estudio a partir de sus propiedades y comportamiento en la mezcla del hormigón.
- ✓ Con distintos cementos y tratando bien los agregados como lavándolos y manteniéndolo limpios tanto el material fino como el grueso se pretenderá en la elaboración de pavimento rígido evitar la adición o compra de aditivos ya que estos son de mayor precio que influyen en el costo.

1.8.4 Práctica

Prácticamente se tiene dos teorías:

- ✓ Al tener el mejor cemento se reducirá la incertidumbre sobre la problemática del uso del cemento en obra, se realizara un análisis económico con distintos cementos cual es el más barato con mejor rendimiento.
- ✓ Lavando los agregados tanto el fino como el grueso y vibrándolo mecánicamente mediante una compactación también mecánica no será necesario el uso de aditivos para la mezcla para llegar esa resistencia, donde se precisara para llegar a este objetivo se tendrá una supervisión constante y estricta.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

En el desarrollo de este proyecto de investigación se ha tomado en cuenta la información y el conocimiento secundario disponible, ya que es necesario tener un concepto claro de los componentes y etapas que se tratarán en el presente estudio, referidos al Concreto y Cemento en Pavimento Rígido.

3.1 Descripción y Características de los Pavimentos de Concreto Hidráulico

Un pavimento puede definirse como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación expedita de los vehículos como la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos por el proyecto. En general, está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, procesados o sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de la terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor y disposición en la estructura de los pavimentos así como la calidad de la construcción.

La clasificación clásica de los pavimentos distingue dos tipos principales: los pavimentos flexibles o asfálticos, y los de tipo rígido o de concreto hidráulico. En los caso particular del ultimo, los pavimentos propiamente dicho están constituido por una losa relativamente delgada, apoyada sobre una subbase, y en ocasiones directamente sobre la capa subrasante, especialmente cuando esta es de muy buena calidad y el transito no es muy intenso. Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que les sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga de los pavimentos procede de la propia losa, efecto que es conocido como la propia viga. Las losas de concreto hidráulico deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por cambio de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que sirven de apoyo. Las acciones anteriores tienden a deformar las losas produciendo esfuerzos de intensidad muy variables.

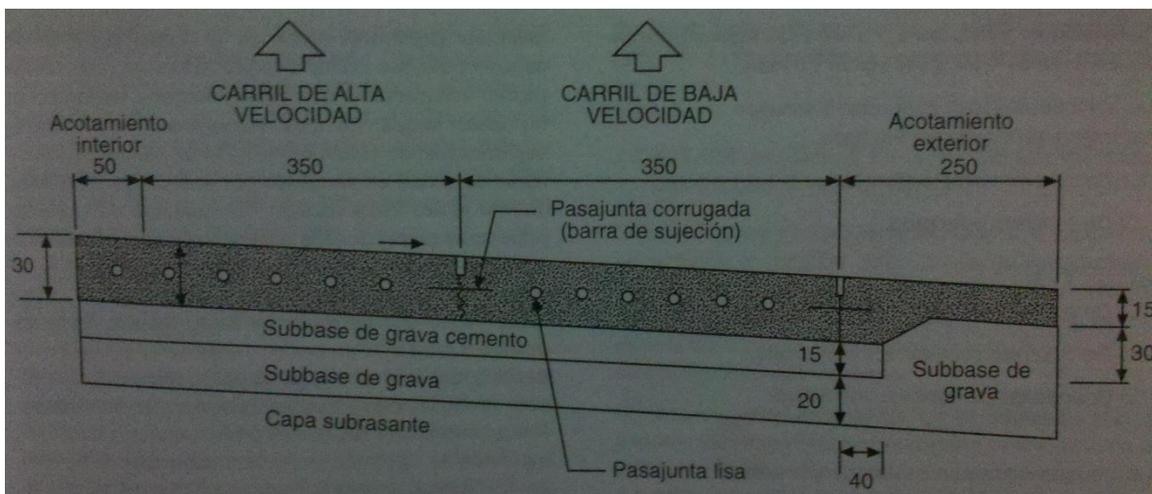
En términos generales, puede decirse que las características estructurales de las losas dependen fundamentalmente del espesor de la calidad de concreto empleado, interviniendo

en esta última y en forma primordial la resistencia a la tensión, aun cuando la resistencia al desgaste superficial juega también un papel importante.

Adicionalmente debe hacerse hincapié en que las características estructurales y funcionales antes descritas y previstas en el proyecto dependen en gran parte de las técnicas y de los procesos constructivos, así como de supervisión y del control de la calidad, siendo por lo tanto muy importante que estos sean los adecuados para alcanzar a satisfacción al cumplimiento de las especificaciones.

3.2 Elementos que constituyen los pavimentos rígidos y sus funciones

Figura 4: Sección Transversal típica de un Pavimento Rígido



Fuente: IMCYC Pavimentos de Concreto

a) Losas de Concreto Hidráulico

Constituyen la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y además proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

b) Subbase

Tiene como función controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción de pavimentos y en ocasiones puede constituir una capa drenante.

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas, y se construye por lo general con materiales granulares no cementados, los cuales, cuando el tránsito llegue a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar, generalmente con cemento portland, para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables, recurriéndose a subbases de grava-cemento y aun de concreto pobre.

Debe mencionarse que esta capa también es denominada base, por su posición inmediata bajo la losa, sin embargo se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan extractos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esta capa por cargas aplicadas por los vehículos.

c) Capa Subrasante

Constituye la capa superior de la terracería y puede estar formado por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado, o por material seleccionado procedente de un banco, si el material natural es inadecuado. Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

3.3 Tipificación y principales características de los pavimentos de concreto hidráulico

Como se mencionó anteriormente, en los pavimentos rígidos la losa de concreto hidráulico constituye el elemento de mayor responsabilidad estructural y funcional, teniendo las capas inferiores, como la subbase y la capa subrasante, la función de asegurar un apoyo uniforme y estable al pavimento, entre otras más.

Normalmente el espesor de las losas puede partir de unos 15 cm, para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de los 40 cm en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con

resistencias a la tensión no inferiores a 3,5 Mpa (35 kg/cm²), y muy comúnmente de 4 Mpa (40 kg/cm²) o más.

Los pavimentos de concreto hidráulico se dividen usualmente en los siguientes tipos:

- De concreto simple vibrado
- De concreto reforzado
- De concreto presforzado
- De concreto fibroso
- De concreto compactado con rodillo
- Sobrelosas de concreto hidráulico

3.4 Losas de concreto hidráulico simple

Son los elementos más comúnmente empleados y están constituidos por concreto hidráulico vibrado en masa, divididos mediante juntas longitudinales y transversales para formar elementos generalmente cuadrados o con relación largo/ancho 1 a 1,25, salvo en superficie de ancho variables, donde se apartan de dicha forma pero adaptan en todo caso formas regulares, sin ángulos agudos.

3.5 Concreto Hidráulico para Pavimentos Rígidos

Los hormigones para pavimento rígido son aquellos hormigones simples de Tipo A o normales, donde están compuestos por áridos, cemento y agua, que dependiendo la naturaleza y temperatura se lo puede añadir aditivos para mejorar la calidad de la mezcla.

Se requieren de hormigones con ciertas características especiales. Estas últimas derivan de la necesidad de contar con un hormigón que potencie su resistencia de adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de mayor tamaño, propiedad que se mide con el ensayo normalizado de resistencias. Un buen hormigón es aquel que resulta satisfactorio tanto en sus estados: Fresco y endurecido.

Normalmente las especificaciones indican resistencias a los 28 días de edad y un nivel de fracción defectuosa de 20% con tamaño de árido de 40 mm. y cono de 3 cm

3.6 Factores que afectan en las Propiedades del Concreto Hidráulico

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.).

Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, pavimentos, diques, puertos, canales, túneles, etc. e incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación.

Figura 5: Factores que afectan las Propiedades del Hormigón



Fuente: Tecnología del Hormigón – Universidad Católica de Chile

3.7 Influencia del Cemento en el Concreto Hidráulico para Pavimento Rígido

a) Influencia del fraguado del Cemento en el concreto

Las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado es otro de los factores que afecta la resistencia del concreto, sin embargo la temperatura ambiente a la que está expuesta la mezcla puede afectar de forma adversa el tiempo de fraguado del concreto. En climas fríos el proceso de hidratación del cemento es más lento debido a que el medio ambiente le roba parte del calor de la hidratación con el subsecuente retardo del tiempo de fraguado, y por tanto, la adquisición de resistencia se demora.

Por el contrario, cuando la temperatura es elevada, se aumenta la resistencia a muy temprana edad, pero se disminuye aproximadamente después de los 7 días. La razón es la que hay una rápida hidratación inicial de los granos del cemento e superficial y parece formar una pasta con una estructura física más pobre y posiblemente más porosa.

b) Influencia de la Finura del Cemento en el concreto

El grado de finura del cemento tiene resultados ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso por la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto

Como contrapartida una finura muy alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua mezclado en el concreto, cuya consecuencia son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posible agrietamiento en las estructuras.

En el caso de los cementos portland debe dárseles una finura de molienda adecuada para cumplir con los valores especificados en cuanto superficie específica.

3.8 Ensayos del Hormigón empleados en el Pavimento Rígido

a) Consistencia y Trabajabilidad (ASTMC143–INVE-404).- Sirve para determinar variaciones en la uniformidad entre las diferentes batchadas de una determinada mezcla, también da una idea de la trabajabilidad y de la facilidad de puesta obra del concreto.

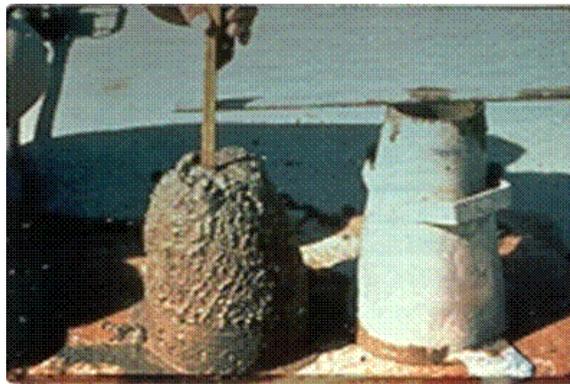
- Factores de los que depende la Consistencia

Existe gran cantidad de factores que influyen en la trabajabilidad siendo los más importantes los siguientes:

- a. Gradación de los agregados.
- b. Forma y textura superficial de los agregados.
- c. Contenido de aire.

- d. Contenido de aditivos.
- e. Fluidez de la pasta.
- f. Cantidades relativas de pasta y agregados.
- g. Relación Arena - Agregado Total.
- h. Algunos factores externos.

Imagen 1: Ensayo de Abrams



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4: Tabla de Asentamiento en el cono de Abrams

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de Concreto)	Grado de Trabajabilidad	Tipo de Estructura y Colocación
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y contruidos con máquina extrusora.
3,5 - 5,0	Semi - seca	Pequeño	Construcción en masa voluminosa, losas medianamente reforzadas con vibración, fundaciones en concreto simple, pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas, pavimentos, compactados a mano, columnas vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo demasiado.

Fuente: Norma ACI 211

b) Resistencia a la Compresión ($f'c$) (ASTM C39 – INV E410).- Es una medida universal del concreto de la calidad del concreto, que no está muy relacionada con las condiciones de trabajo de un pavimento rígido, dado que la relación entre los esfuerzos de compresión del tránsito y la resistencia a la compresión del concreto es muy pequeña para influir sobre el espesor del diseño de las losas.

- **Factores que inciden en la Resistencia**

En general, el factor más importante en la resistencia de un concreto totalmente compactado es la relación agua/cemento. Sin embargo, para una mezcla trabajable, bien dosificada y en condiciones estándar de mezclado, curado y métodos de prueba, además de la influencia de la relación agua/cemento, intervienen otros elementos como la granulometría, textura superficial, forma, resistencia, rigidez y tamaño máximo del agregado; el tiempo y la calidad del cemento; así como de la calidad del agua y el tipo y calidad de los aditivos.

La resistencia del concreto también depende de la temperatura, del fraguado, de la edad y muchos otros factores.

• **Tipo de cantidad de Cemento**

El tipo y cantidad de cemento utilizado tiene gran influencia en la resistencia final conseguida por el concreto debido a que el cemento es el material químicamente “activo” en la mezcla.

Los diferentes tipos de cemento o distintas marcas, no se deben intercambiar sin antes hacer un riguroso análisis del efecto que dicho cambio puede tener sobre la resistencia.

Lo más importante en lo que respecta al cemento es su cantidad en la mezcla, y generalmente que a mayor contenido de este se consiguen mayores resistencias. Dicha afirmación tiene su límite ya que se ha demostrado que para mezclas con una baja relación agua/cemento y con un contenido de cemento muy alto (superior a 470 Kg/m³), en la resistencia surge una disminución, en especial cuando se utiliza agregado de gran tamaño. Este comportamiento se debe a los esfuerzos inducidos por la contracción, que al ser obstruida por las partículas de agregado, causa agrietamientos de la pasta o una pérdida de adherencia entre el cemento y el agregado.

- **Relación agua/cemento**

Un factor que se ha venido mencionando y que tiene gran influencia en la mayor parte de las propiedades del concreto y en especial en la resistencia, es la relación agua / cemento.

Cuando se estudió lo referente al agua de mezclado se anotó que ésta hace parte aproximadamente del 15% del volumen total del concreto, del cual el 5% hidrata al cemento y el 10% restante es agua evaporable. Este último se utiliza para proporcionar fluidez a la mezcla y lograr una masa plástica; al evaporarse deja en su lugar poros de aire.

Imagen 2: Ensayo de Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 5: Resistencia para tipo de Hormigón

NCh 170 Of. 52		NCh 170 cR 81	
Hormigón	R ₂₈ mínima	Hormigón	R ₂₈ característica
Clase	kgf/cm ²	Clase	kgf/cm ²
A	120	H5	50
B	160	H10	100
C	180	-	150
D	225	-	
E	> 300	H35	350

Fuente: Norma Chilena

c) **Resistencia a la Flexión σ_R (ASTM C78 – INV E-414).**- Es el valor que se utiliza en el diseño de pavimentos rígidos, debido a que la relación entre los esfuerzos de flexión producidos por el tránsito y la resistencia a flexión del concreto es alta, a menudo mayor de 0.5. Este valor se determina mediante ensayos de módulo de rotura sobre probetas prismáticas apoyadas en sus extremos y aplicando dos cargas concentradas en los tercios de la luz.

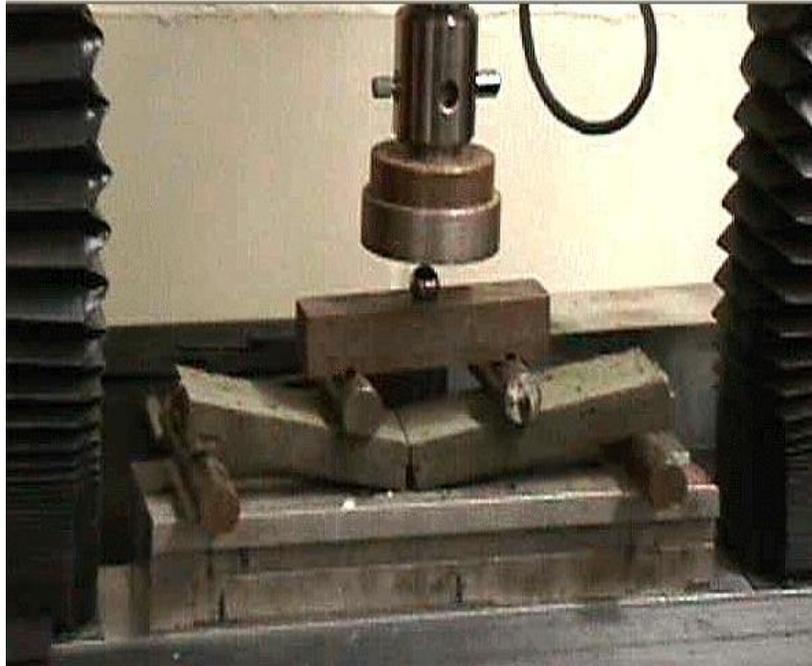
Constituye uno de los factores más importantes que debe considerarse en el diseño de los pavimentos rígidos. Debido a que las losas de concreto se flexionan bajo el efecto de las cargas impuestas por el tránsito, se producen en ellas esfuerzos de tensión y compresión, siendo los primeros obviamente más importante debido a la resistencia del concreto a flexión es apenas del orden 10 por ciento de su resistencia a compresión. Por esta razón es que, para efectos del diseño, se deben considerar los esfuerzos y resistencia de concreto a la tensión, determinándose esta última por medio de ruptura a la tensión por flexión, MR, obtenido al ensayar vigas en la prueba de carga en los tercios del claro. Estas pruebas se realizan en especímenes cuyas edades corresponden a 7, 14, 28 y 90 días, utilizándose las dos primeras para control de obra y para definir la apertura del tránsito.

Las resistencias a 28 días se utilizan para el diseño de pavimentos para carreteras, y la correspondiente a 90 días, generalmente para el diseño de pavimentos de aeropuertos. Con relación a los módulos comúnmente especificados para el diseño de pavimentos, estos varían por lo común de 3,5 a 5 Mpa (35 a 50 kg/cm²). En general se recomienda utilizar los módulos superiores a 4 Mpa (40 kg/cm²) para pavimentos de autopistas y carreteras para tránsito pesado.

En ocasiones se suele especificar y controlar la resistencia del concreto mediante pruebas convencionales de compresión en especímenes cilíndricos, f'_c , estableciéndose una correlación con respecto al módulo de ruptura. El factor de correlación entre el MR y f'_c llega a ser muy amplio, fluctuando entre 0,1 y 0,17, razón por la cual este procedimiento resulta admisible en obras pequeña y previa correlación en cada caso particular. Hay que señalar que igualmente debe conocerse el modulo elástico del

concreto para el diseño de espesores según algunos métodos. El modulo elástico de este material utilizado en pavimento varia usualmente entre 20000 y 60000 Mpa.

Imagen 3: Ensayo de Viga a Flexión



Fuente: Elaboración Propia

d) Curado del Concreto

Luego del proceso de fraguado del concreto es necesario mantener el concreto tan saturado de agua como sea posible con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir su máxima eficiencia.

Por esta razón, la resistencia del concreto depende de gran medida de la atención que se preste a este factor.

Otro factor importante en el curado es su temperatura, debido a que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación lo cual afecta en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del concreto, pero con consecuencias adversas en la resistencia posterior.

e) Permeabilidad

Esta prueba tiene gran importancia ya que sus resultados indican si existe la posibilidad de que el agua proveniente de las lluvias o escurrimientos superficiales penetre a través de los poros que presenta el pavimento rígido.

Permeabilidad es una de las propiedades en el hormigón empleado para pavimento rígido debido a que esta estructura se somete a diferentes tipos de precipitaciones, la cual hace que escurra o se infiltre en la losa de hormigón, esta permeabilidad viene dado por el grado de porosidad que contenga la muestra y el acabado que tenga este.

f) Absorción Sonora

El ensayo consiste en la medición de decibeles que generan los automóviles en circulación por la capa de rodadura.

g) Efecto de la Temperatura en Losas

Esta propiedad se lo realiza en pavimentos rígidos debido a la exposición que sufre a diferentes cambios de temperatura en el ambiente que está consolidado el tramo, sus principales influencias de la temperatura en la losa de hormigón está afectado por:

- Cambio de dimensiones de la losa original, ya sea por altas temperaturas esta tendera a dilatarse en todas sus dimensiones o por bajas temperaturas que la muestra se contraerá.
- Pandeo en la parte longitudinal de la losa en la que sufrirá esbeltez en la parte media de la losa debido a una diferencia de temperatura en la parte superior e inferior de la losa, la que provocara concavidad o convexidad de la losa que provocara un aumento o disminución en la tensión de la losa.

h) Retracción Hidráulica

La retractación hidráulica en los pavimentos rígidos se debe a la perdida de agua en el proceso de secado. Entre los factores que afectan a este coeficiente tienen un mayor énfasis en el contenido de cemento, aditivos químicos, métodos de curado, tipo de áridos y las condiciones de curado.

La resistencia del concreto y la retracción hidráulica son dependientes entre si esto debido que a mayor agua la proporción de cemento reducirá la resistencia del concreto, aumentando el potencial hidráulico de retracción. Por lo que la retracción hidráulica puede ser considerada indirectamente proporcional a la resistencia de tracción del concreto.

3.9 Especificaciones Técnicas del Pavimento Rígido

Factores básicos en el proceso de diseño de una mezcla.

La estimación del peso de la mezcla para el concreto requerido implica una secuencia de pasos lógicos y directos, que de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo. El aspecto de la adaptabilidad no siempre permite la selección individual de las proporciones. En general, estas especificaciones exigen todas o algunas de las siguientes recomendaciones:

- Relación máxima agua/cemento o relación agua/materiales cementantes.
- Contenido mínimo de cemento.
- Contenido de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo de agregado.
- Resistencia.
- Otros requisitos relacionados con aspectos como sobre-diseño de resistencia, aditivos y tipos especiales de cemento, otros materiales cementantes o agregados.

ESPECIFICACIONES DE MATERIALES:

Cemento

El cemento utilizado será Portland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en la norma AASHTO M85. Si los documentos del Proyecto no señalan algo diferente, se empleará el denominado Tipo I.

Cuadro 6: Norma para Cementos

Tabla 1. Resumen de cambios a la AASHTO M85 y ASTM C150 de 2004 a 2009			
Disposición	AASHTO M85-04	ASTM C150-04a	AASHTO M 85-09 ASTM C150-09
Finura máxima (Blaine) Una muestra de un promedio de 5	400 [I,II,IV,V] 420[I,II,IV,V]	Sin límite Sin límite	430[II(MH)*, [V] Ninguno
Tipo II máximo C ₃ S	58	Sin límite	Tipo II(MH) 4.75C ₃ A + C ₃ S ≤ 100
Máximo de adiciones en el procesamiento	1%	No hay límite prescrito	Orgánico ≤ 1% Inorgánico ≤ 5%
Uso de piedra caliza	No permitido	Hasta 5%	Hasta 5%, con nuevo nombre y Sección 5 reorganizada para mayor claridad
Tipo II mínimo SiO ₂	20%	Sin límite	Sin límite
Nota D de la Tabla 1	Ambiguo	Ambiguo	Mejorado para mayor claridad

* Exento para cementos Tipo II (MH) con bajo índice de calor, del límite de finura cuando $4.75 C_3A + C_3S \leq 90$

Fuente: elaboración Propia

Agua

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Cuadro 7: Agua – Sustancias Perjudiciales

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	PPM MÁXIMO
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

Fuente: Norma Colombiana

El pH, medido según norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco (5).

Agregado

Agregado Grueso

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Cuadro 8: Grava – Granulometría

TAMIZ		% QUE PASA
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95-100
3/4"	19.00 mm	35-70
3/8"	9.50 mm	0-30
Núm. 4	4.75 mm	0-5

Fuente: Norma Colombiana

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

Cuadro 9: Grava – Sustancias Perjudiciales

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	%
Partículas Deleznables	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente: Norma Colombiana

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste en la Máquina de Los Ángeles: 35% máximo.
- Intemperismo Acelerado (Solidez): 12% máximo (utilizando sulfato de sodio).

Agregado Fino

El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y un milímetros (9.51 mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Cuadro 10: Arena - Granulometría

TAMIZ		% QUE PASA
3/8"	9.50 mm	100
Núm. 4	4.75 mm	95-100
Núm. 8	2.36 mm	80-100
Núm. 16	1.18 mm	50-85
Núm. 30	600 µm	25-60
Núm. 50	300 µm	10-30
Núm. 100	150 µm	0-10
Núm. 200	75 µm	4 máximo

Fuente: Norma Colombiana

La arena no deberá tener un retenido mayor de cuarenta y cinco por ciento (45%), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Equivalente de arena 80% máximo
- Módulo de finura: 2.30 mínimo y 3.10 máximo
- Intemperismo Acelerado (Solidez): 10% máximo (Empleando sulfato de sodio)

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

Cuadro 11: Arena – Sustancias Perjudiciales

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	% Máximo
Partículas Deleznables	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

Fuente: Norma Colombiana

ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO HIDRAULICO

Resistencia

La resistencia de diseño a la tensión por flexión ($S'c$) o Módulo de Rotura (MR) es de 45Kg /cm².

Trabajabilidad

Cuando se utilicen equipos de colocación tales como rodillos o reglas vibratorias, el asentamiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de tres (3) pulgadas al momento de su colocación; nunca deberá ser menor de dos (2), ni mayor de cuatro (4) pulgadas. Para el caso de equipos de colocación tipo formaleta deslizante, el asentamiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de dos (2) pulgadas al momento de su colocación; nunca deberá ser menor de una (1), ni mayor de tres (3) pulgadas.

Cuadro 12: Asentamiento de la mezcla para Pavimento rígido

Asentamiento (pulg)	Tipo de Vibrado
2 – 4	Rodillo o Regla Vibratoria
1 - 3	Formaleta Deslizante

Fuente: Norma Colombiana

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras menores de concreto, siempre y cuando se cumpla con lo especificado para estas obras, y no se permitirá su colocación para la losa de concreto.

El concreto deberá de ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. El concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie del pavimento.

Resistencia a la compresión

Este ensayo servirá solamente como un parámetro de correlación entre compresión-flexión y en ningún caso las mediciones de resistencia a la compresión remplazarán las mediciones de resistencia a la flexión para el recibo a satisfacción de las obras.

3.10 Componentes del Concreto Hidráulico

Figura 6: Componentes del Concreto Hidraulico



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 13: Porcentaje aproximado de los constituyentes del Concreto

CON AIRE ATRAPADO NATURALMENTE	COMPONENTE		CON AIRE INCLUIDO INTENCIONALMENTE
1/2--3	PASTA DE	AIRE	4--8
7--15	CEMENTO	CEMENTO	7--15
16--21		AGUA	14--18
25--30	AGREGADOS	ARENA O AGREGADO FINO	24--28
30--50		GRAVA O AGREGADO GRUESO	30--50

Fuente: Tecnología del Hormigón Ing. O'Reilly Viterbo

a) Cemento Hidráulico

Tiene la función de llenar huecos entre partículas del árido, aglomerándolas. Lubrica y da cohesión al hormigón en estado fresco, proporciona resistencia al hormigón endurecido, dependiendo de:

Razón agua/cemento	}	En estado endurecido
Tipo de cemento en estado endurecido		
Condiciones de curado		

Da impermeabilidad al hormigón endurecido, al taponar huecos entre los granos de árido en condiciones de servicio.

Cuadro 14: Compuestos del Cemento Portland

COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
SILICATO TRICÁLCICO	3CaOSiO_2	C_3S
SILICATO DICÁLCICO	2CaOSi_2	C_2S
ALUMINATO TRICÁLCICO	$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
FERROALUMINATO TETRACÁLCICO	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	CA_4F

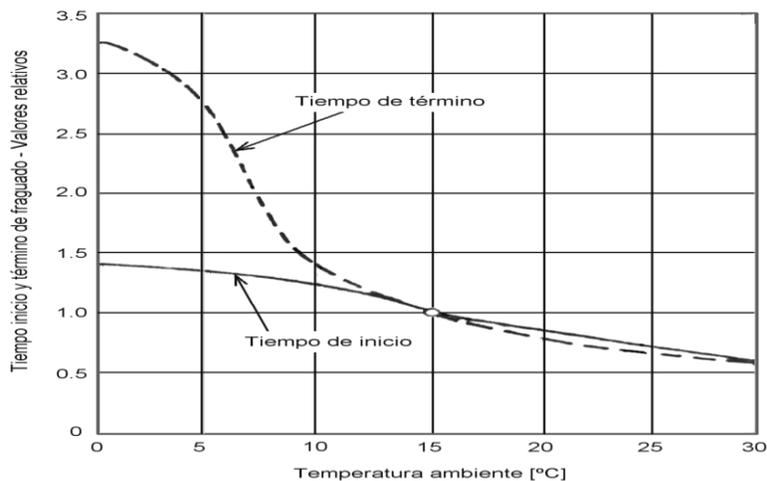
Fuente: Tecnología del Hormigón Ing. O'Reilly Viterbo ASTM C 150

- **Propiedades del Cemento:**

Fraguado del Cemento.- El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento, hay dos etapas de fraguado:

- **Fraguado inicial:** Cuando la masa empieza a perder plasticidad.
- **Fraguado final:** Cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un cuerpo rígido.

Figura 7: Abaco del tiempo de fraguado vs Temperatura



Fuente: Tecnología del Hormigón – Universidad Católica Chilena

Peso Específico.- El peso específico o densidad del cemento es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto que se ocupa en esa masa.

En el cemento portland puro, su valor varía entre 3.10 y 3.15 gr/cm³ y en el cemento Portland con adiciones suele estar entre 2.9 y 3.0 gr/cm³. El valor del peso específico del cemento en realidad no indica la calidad de este, y su valor es usado principalmente para el diseño de mezclas.

Existe gran variedad de métodos para determinar la densidad del cemento de los cuales se pueden citar los de Le Chatelier, Schumann Mann, Condlot y otros.

Finura.- Esta es una de las propiedades más importantes del cemento, y se obtiene en la etapa de la molienda. Como la hidratación comienza sobre la superficie de las partículas del cemento, el área superficial total del cemento representa el material susceptible de hidratación. De esta manera, la velocidad de hidratación, y por tanto la resistencia, dependerá del grado de finura de los granos.

Una gran finura de los granos de cemento implica un mayor costo, además de hidratarse con mayor rapidez poa la exposición a la atmosfera.

La medida de la finura se representa como el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material y se mide en cm²/gr.

Existen varios métodos para medirla que pueden ser directos o indirectos tal como se aprecia en la tabla.

Cuadro 15: Métodos para Determinar la Finura

NOMBRE DEL METODO	
DIRECTO	Tamizado
INDIRECTO	Turbilímetro de Wagner
	Permeabilímetro de Blaine

Fuente: Fábrica de Cemento EL PUENTE

- Cementos de Bolivia

Existen tres empresas cementeras que son más utilizados en Bolivia que se caracterizan por diferente composición las cuales son:

FABOCE (Cemento Fancesa) IP-30

El cemento Fancesa es elaborado en planta CalOrcko en Sucre, sobre las base de Clinker, puzolana y yeso, de acuerdo a la norma boliviana NB 011. Se clasifica según su composición y resistencia como cemento portland con puzolana tipo IP-30.

Categoría 30: Resistencia mín. 30 MPa. 28 días en mortero normalizado.

Propiedades: Sus propiedades principales son: altas resistencias iniciales, bajo calor de hidratación y baja reacción álcali/agregados.

Usos y Aplicaciones: Es un cemento de uso general, presenta ventajas comparativas en las siguientes aplicaciones: hormigones en general viviendas y edificios, hormigones en masa, hormigones para ambientes agresivos, hormigones donde se requiera minimizar los problemas derivados de la reacción álcali/agregados, en morteros de mampostería, en elementos prefabricados, en pavimentos de losas y carreteras

Presentación: Bolsas de 50 kg, Granel en Big Bags de 1,5 t.

Precauciones: Almacenamiento adecuado no mayor a dos meses, curado prolongado especialmente en lugares secos.

COBOCE (Cemento Coboce) IP-30

Propiedades:

- Resistencia mecánica ampliamente superiores a las exigencias requeridas por la Norma Boliviana.
- Estabilidad de volumen.
- Regularidad en tiempos de fraguado y finura.
- Aumento de la impermeabilidad.



- Mayor trabajabilidad y plasticidad en morteros y hormigones.

Aplicaciones:

- Hormigón pretensado.
- Hormigones armados de resistencias mayores.
- Prefabricados en climas cálidos.
- Morteros Pre dosificados.
- Prefabricados.
- Obras Estructurales.
- Hormigón Proyectado
- Hormigones simples y armados.
- Pavimentos.
- Hormigón compactado con rodillo.



Recomendaciones: Los cementos con adiciones requieren un tiempo mayor para desarrollar la resistencia final por lo que se aconseja dejar el apuntalado de los encofrados 10 días más de lo acostumbrado. Apto para todo tipo de hormigón. Para asegurar una buena conservación el cemento envasado se debe estibar bajo techo, separado del piso y paredes y protegido de corrientes de aire húmedo.

Para evitar su compactación excesiva no conviene estibar en pilas de más de 10 bolsas de altura. Mayor resistencia a la compresión.

SOBOCE (Cemento El Puente, Viacha, Warnes y Emisa) IP-30

Especificaciones Técnicas:

- Norma Técnica, Norma Boliviana NB-011
- Tipo de cemento IP-30
- Presentación: Bolsas de 50 kg.



Características:

Producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana, desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.

Mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos

b) Agregado Grueso

Forma esqueleto inerte que da rigidez para resistir acción de cargas, resistir abrasión, durabilidad, mejora estabilidad dimensional al reducir cambios de volumen de la pasta.

Gravas: Comúnmente llamadas “canto rodado”, es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la disgregación natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándose corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositados de forma natural .

Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en forma más o menos redondeadas. Las gravas pesan de 1600 a 1700 Kg. /m³.

Piedra partida o chancada: Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente.

Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda.

- Propiedades del Agregado Grueso:

Módulo de Fineza (MF).- El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz 149 μ (Nº100) en adelante hasta el tamaño máximo presente y divididos por 100.

Tamaño máximo del agregado grueso (TM).- Se define como la abertura del menor tamiz por el que pasa el 100% de la muestra. Como su nombre lo indica, es el tamaño de las partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregados y que en algunos casos puede ser único.

Tamaño Máximo Nominal (TMN).- El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue a la abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Por esta razón la mayoría de las especificaciones granulométricas se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos:

- ✓ El TMN no debe ser mayor que 1/5 de la dimensión menor de la estructura.
- ✓ El TMN no debe ser mayor que 1/3 del espesor de una losa.
- ✓ El TMN no debe ser mayor que 3/4 del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

Humedad Natural.- El contenido de agua dentro de un agregado, expresado en porcentaje por definición:

$$\% \text{ Humedad} = \% w = (H - S) / S * 100$$

Dónde:

- ✓ % w= Porcentaje de humedad
- ✓ H = Peso del agregado húmedo.
- ✓ S = Peso del agregado en condición seca.

Porcentaje de Absorción.- Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a la de saturado superficialmente, se expresa generalmente en porcentaje.

$$\% \text{ Absorción} = \% a = (D - S) / S * 100$$

Dónde:

- ✓ % a = % de Absorción
- ✓ D = Peso del agregado saturado y superficialmente seco
- ✓ S = Peso del agregado en condición seca.

Peso Específico.- El peso específico se refiere al peso del material por unidad de volumen, que se determina mediante la cantidad de agua desplazada por el peso del material (ley de Arquímedes).

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

Donde:

- ✓ P = Peso del Material
- ✓ V = Volumen Desplazado por el Material
- ✓ γ = Peso Específico de la grava

Desgaste.- Esta propiedad del agregado grueso permite determinar el desgaste del cuerpo del agregado ante esfuerzos o golpes sobre el material, esta propiedad se determina mediante el ensayo de Los Ángeles.

c) Agregado Fino

Al igual que los agregados gruesos realizan las mismas funciones en el hormigón.

d) Agua

El agua es un componente fundamental ya que es quien se encarga de producir reacciones químicas con el cemento, dándole a este la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único.

Es importante tener en cuenta que para cada cuantía de cemento, existe una cantidad suficiente para producir la hidratación; el resto, aplicado a la mezcla, solo se encarga de aumentar la fluidez y dar la manejabilidad adecuada a la mezcla fresca.

El agua en el cemento no solo se determina por los requisitos de resistencia sino también por factores como la retracción, adherencia, durabilidad y propiedades para el acabado.

3.11 Dosificación del Hormigón

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, de manera de obtener las condiciones previstas para el hormigón.

Existen varios métodos de dosificación del hormigón como ser los métodos de García Balado, método O'Reilly, método Aashto y el método Americano ACI entre otros. Pero el

método ACI es el que garantiza mejor calidad en el hormigón lo cual optan mayormente este método en la dosificación de la mezcla.

- **Método de Dosificación ACI 211**

Cuadro 16: Selección de la resistencia del hormigón f_{ck} y f_{cm}

Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar (a)	
Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70 \text{ kg/cm}^2$
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85 \text{ kg/cm}^2$
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Código ACI 211

Cuadro 17: Selección del asentamiento

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

Fuente: Código ACI 211

Cuadro 18: Selección del tamaño máximo del agregado

Tamaños máximos nominales de agregados según el tipo de construcción				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 - 29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: Código ACI 211

Cuadro 19: Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire

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: Código ACI 211

Cuadro 20: Requerimiento de Agua de Mezclado sin aire

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	15	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: Norma ACI 211

Cuadro 21: Resistencia en función a la razón agua/cemento

Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente; Norma ACI 211

Cuadro 22: requerimiento de agua de mezclado con aire

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51	12,70	19,00	25,40	38,10	50,80	64,00	76,10
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m³ de hormigón							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	177	169	158

Fuente: Código ACI 211

Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones efectuadas en los cuadros 14 y 16.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (Cuadro 14), dividido entre la relación “agua/cemento” (Cuadro 16). Sí, no obstante la especificación

incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

$$C = A/(A/C)$$

Dónde:

C = Contenido de cemento en kg/m^3 .

A = Requerimiento de agua de mezclado en kg/m^3 .

A/C = Relación agua/cemento, por peso.

Estimación del contenido de agregado grueso

Los agregados similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de agregado grueso y seco, compactado con varilla por volumen unitario de concreto.

Cuadro 23: Volumen del agregado seco y compactado

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		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 211

Estimación del contenido de agregado fino

Si el peso del volumen unitario de concreto se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Por lo general, sobre la base de experiencias anteriores con materiales, se conoce el peso unitario del concreto con una precisión razonable, si no se cuenta con esta información se puede utilizar datos tabulados.

Cuadro 24: Peso seco y Volumen Absoluto

Peso Seco y Volumen Absoluto de los Ingredientes por Metro Cúbico de Hormigón			
Componente	Peso seco	Peso	Volumen
Cemento	P_c	G_c	V_c
Agua	P_a	1.0	V_a
Contenido de aire	-	-	A
Agregado grueso	P_{ag}	G_{ag}	V_{ag}
Agregado fino	P_{af}	G_{af}	V_{af}
TOTAL	P_u		1.000

Fuente: Código ACI 211

Ajustes a las mezclas de prueba

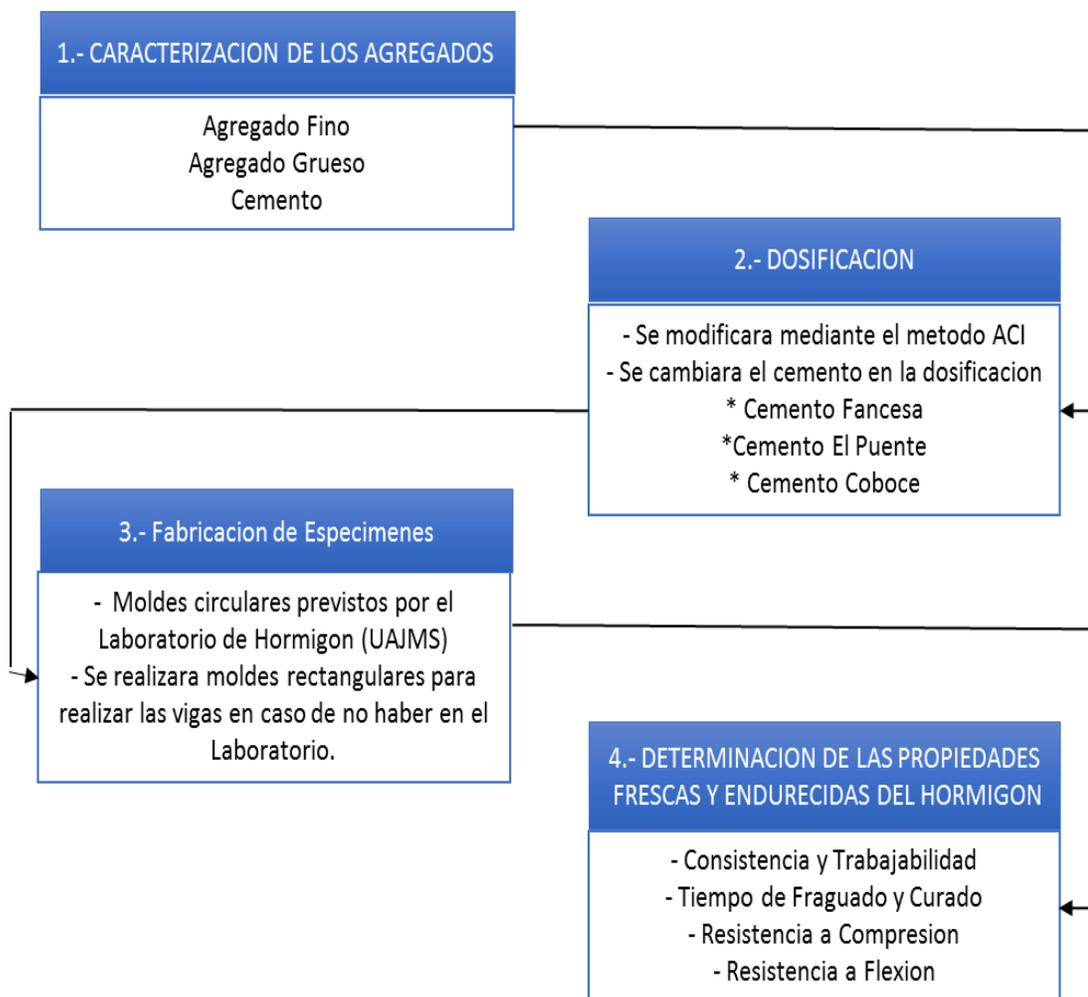
En la obra es común que por las condiciones de los agregados es posible que la cantidad de agua calculada sea demasiado o por lo contrario sea poco. En tales casos debe realizarse una corrección en las proporciones calculadas en función al contenido de humedad que contenga tanto el material fino como grueso.

CAPÍTULO III
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

DOSIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Para el desarrollo del siguiente Proyecto de Investigación es necesario definir las actividades que se pretenden seguir; las cuales se muestran en el siguiente esquema:

Esquema 4: Desarrollo de la Investigación



Fuente: Elaboracion Propia

6.1 Caracterización de los Agregados

6.1.1 Agregado Grueso

- Granulometría del Agregado Grueso

Antes de realizar el ensayo de Granulometría es necesario determinar el Tamaño Máximo de nuestro agregado grueso para saber la cantidad de material que se usara para la granulometría previamente cuarteándolo para que sea representativa la muestra del acopio.

Imagen 4: Acopio de Áridos material Chancado



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 5: Tamizado del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración Propia

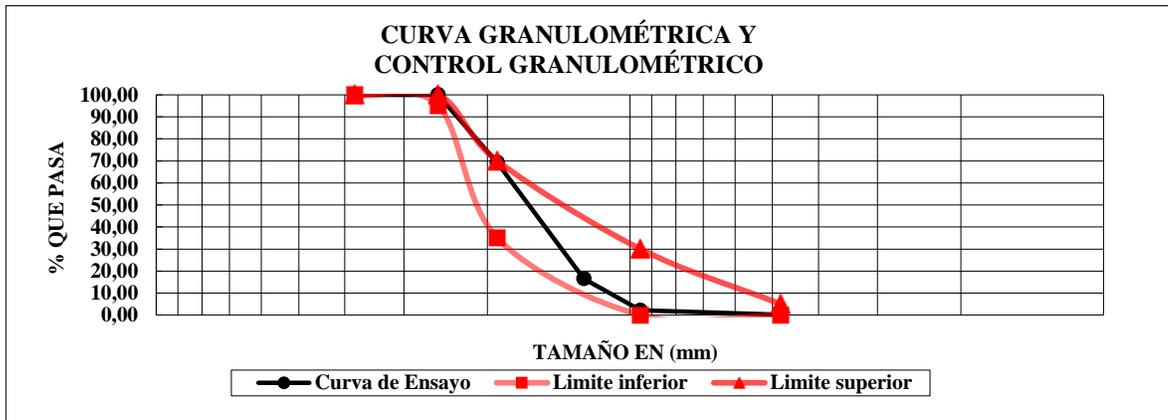
Cuadro 25: Granulometría Agregado Grueso

Peso Total (gr.) =		5010			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. Pav. rígido	
2"	50,8	0	100	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	100,0	95	100
1"	25,40	0,00	100,0	-	-
3/4"	19,05	1540,00	69,3	35	70
1/2"	12,50	2640,00	16,6	-	-
3/8"	9,50	720,00	2,2	0	30
Nº4	4,80	100,00	0,2	0	5
BASE	0	0,00	0,0	-	-
SUMA =		5000,00			
PÉRDIDAS=		10,00			
MF =		6,12			

TAMAÑO MAXIMO = 1"
TAM MAX NOMINAL = 3/4"

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 1: Curva Granulométrica y Control Granulométrico Agregado Grueso



Fuente Elaboración Propia

La granulometría de la grava cumple con los parámetros especificados por la norma para pavimentos rígidos, tanto su granulometría como su tamaño máximo de sus partículas

- **Peso Unitario del Agregado Grueso**

a) **Peso Unitario Suelto**

Se realizó dejando caer la grava desde una altura de 5cm por encima del molde.

Imagen 6: Material para PU del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 26: Planilla de resultados del PU suelto grava

MUESTRA N°	VOLUMEN RECIPIENTE (cm³)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm³)
1	9600,00	13410,00	1,397
2	9600,00	13585,00	1,415
3	9600,00	13485,00	1,405
PROMEDIO			1,41

Fuente: Elaboración Propia

PESO UNITARIO SUELTO (PUS) =	1,41 gr/cm³
-------------------------------------	-------------------------------

b) Peso Unitario Compactado

Se realizó en un molde de 9,6 lt de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como determinan las normas ASTM.

Cuadro 27: Planilla de Resultados de PU Compactado grava

MUESTRA N°	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	9600,00	14220,00	1,481
2	9600,00	14390,00	1,499
3	9600,00	14285,00	1,488
PROMEDIO			1,49

Fuente: Elaboración Propia

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) =	1.49gr/cm³
---	------------------------------

- Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

El mencionado ensayo de laboratorio se efectuó siguiendo el procedimiento estipulado por la Norma ASTM.

Imagen 7: Material y Equipo para el Peso específico Grava



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 28: Planilla de Resultados del Peso Específico Grava

PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm³)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm³)	% DE ABSORCIÓN
2,56	2,60	2,68	1,72
2,55	2,60	2,68	1,77
2,56	2,61	2,68	1,67
2,56	2,60	2,68	1,72

Fuente: Elaboración Propia

PESO ESPECÍFICO (PEA) =	2.68 gr/cm³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABS) =	1.72 %

El peso específico aparente está dentro del rango precisado por la norma ASTM. (2.1 - 2.9 gr/cm³).

El Porcentaje de absorción de la gravilla está dentro del rango establecido por la norma ASTM. (0.2 - 4 %)

- **Desgaste de los Ángeles**

El Desgaste se lo realiza previamente lavando el material con el apoyo del ensayo de granulometría la cual se asemeje más en el tipo de método según la norma para Pavimento Rígido.

Conociendo el método que corresponde nuestro material, se podrá determinar el número de ciclos de la máquina de los Ángeles y el número de esferas a usar para realizar el desgaste al material.

Cuadro 29: Método de Desgaste en función a la Granulometría de la Grava

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

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 8: Maquina del Desgaste los Ángeles



Fuente: Elaboración Propia

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}}$$

Cuadro 30: Planilla de Resultado del Desgaste

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A	5000	5000	0,00	35% MAX
B	5000	4016,5	19,67	35% MAX
C	5000	5000	0,00	35% MAX
D	5000	5000	0,00	35% MAX

Fuente: Elaboración Propia

La grava cumple con la especificación de desgaste del material que consistió luego de introducido a la máquina de los Ángeles el material se lo zarandeo por el tamiz 12 la cual el material de desgaste es aquel que no debe pasar el 35% del total del material.

6.1.2 Agregado Fino

- Granulometría del Agregado Fino

La Granulometría de la Arena se realizó utilizando los tamices dispuestos por la Norma.

Imagen 9: Granulometría agregado Fino



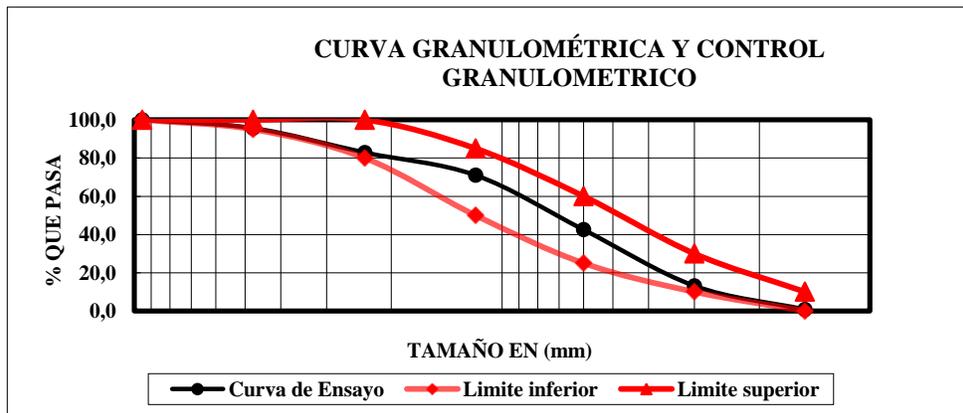
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 31: Planilla de Resultados de la Granulometría del agregado Fino

Peso Total (gr.) =		1500			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	% que pasa del total	Especificación Pavimento rígido	
3/8	9,50	0,00	100,0	100	100
Nº4	4,75	65,40	95,6	95	100
Nº8	2,36	191,60	82,9	80	100
Nº16	1,18	177,80	71,0	50	85
Nº30	0,60	427,90	42,5	25	60
Nº50	0,30	440,00	13,2	10	30
Nº100	0,15	185,90	0,8	0	10
BASE	0,00	10,00	0,1	0	0
SUMA=		1498,6			
PÉRDIDAS=		1,4			
MF =		2,94			

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 2: Curva Granulométrica y Control Granulométrico del Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

La granulometría de la arena cumple con los parámetros especificados por la norma para pavimento rígido. Según la norma ASTM se trata de una arena gruesa.

- **Peso Unitario del Agregado Fino**

a) **Peso Unitario Suelto**

Se realizó dejando caer la arena desde una altura de 5cm por encima del molde.

Imagen 10: Equipo de PU suelto para el agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 32: Planilla de Resultados del PU suelto del agregado fino

MUESTRA N°	VOLUMEN RECIPIENTE (cm³)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm³)
1	3036,89	4640,00	1,528
2	3036,89	4585,10	1,510
3	3036,89	4597,20	1,514
PROMEDIO			1,52

Fuente: Elaboración Propia

PESO UNITARIO SUELTO (PUS) =	1,52 gr/cm³
-------------------------------------	-------------------------------

b) Peso Unitario Compactado

Se realizó en un molde 3 lt de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como determinan las normas ASTM

Cuadro 33: Planilla de Resultados del PU compactado del agregado fino

MUESTRA N°	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	3036,89	5099,90	1,679
2	3036,89	5064,80	1,668
3	3036,89	5087,40	1,675
PROMEDIO			1,67

Fuente: Elaboración Propia

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) =	1,67 gr/cm³
---	-------------------------------

- Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

El mencionado ensayo de laboratorio se efectuó siguiendo el procedimiento estipulado por la Norma ASTM.

Imagen 11: Picnómetro para el ensayo de Peso Específico del agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 34: Planilla de Resultados del Peso Específico del Agregado fino

P. E. A GRANEL (gr/cm ³)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
2,41	2,45	2,50	1,34
2,44	2,47	2,51	1,06
2,47	2,49	2,52	0,90
2,44	2,47	2,51	1,10

Fuente: Elaboración Propia

PESO ESPECÍFICO (PEA) =	2.51 gr/cm³
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABS) =	1.1 %

El peso específico aparente está dentro del rango precisado por la norma ASTM. (2.2-2.7gr/cm³)

El porcentaje de absorción de la arena está dentro del rango especificado por la norma ASTM. (0.2 - 2 %)

- **Equivalente de Arena**

Consiste en la cantidad de limo y de arcilla que tiene la arena proveniente del acopio, según la normas de Pavimento rígidos en su mezcla.

Imagen 12: Instrumentos para el ensayo de Equivalente de Arena



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 35: Planilla de Resultados del Equivalente de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	9,9	10,60	93,40
2	11,3	12,15	93,00
3	10,8	11,70	92,31
Promedio			92,90

Fuente: Elaboración Propia

Equivalente de Arena (%)	NORMA
92,90	> 50%

Según la norma para la impureza de la arena tiene que ser menor del 80% del total de la arena según las especificaciones técnicas de pavimento rígido para que esta pueda utilizarlo para la mezcla de hormigón y que esta adhiera con el cemento con normalidad

6.2 Cemento

- Peso Específico del Cemento

Imagen 13: Distintos Cementos que existen en Bolivia



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 14: Frasco Le Chatelier para peso específico del Cemento



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 36: Planilla de Resultados del Peso Específico de cada Cemento

DESCRIPCIÓN	P (gr/cm ³)	V (cm ³)	PE (gr/cm ³)	PE-MEDIA (gr/cm ³)
<i>CEMENTO FANCESA (FABOCE)</i>	64,00	21,80	2,94	2,94
		21,70	2,95	
		21,90	2,92	
<i>CEMENTO EL PUENTE (SOBOCE)</i>	64,00	20,40	3,14	3,14
		20,30	3,15	
		20,40	3,14	
<i>CEMENTO COBOCE (COBOCE)</i>	64,00	21,50	2,98	2,98
		21,50	2,98	
		21,40	2,99	

Fuente: Elaboración Propia

En el cemento Portland el valor del Peso Específico no especifica dentro de la Norma NB—11 por lo tanto todos cumplen.

- **Finura**

Existen varios métodos para determinar la finura del cemento pero se realizara por medio del tamiz 200 ya que es el único método disponible en el laboratorio de hormigón de la UAJMS.

Imagen 15: Finura del cemento por el Tamiz N°200



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 37: Planilla de Resultados del Módulo de Finura de cada Cemento

DESCRIPCIÓN	R (#200) (gr)	Re 200 %	FINURA MEDIA
<i>CEMENTO</i>	0,80	1,60	1,57
<i>EL PUENTE</i>	0,77	1,54	
<i>FABRICA SOBOCE</i>	0,79	1,58	
<i>CEMENTO</i>	1,39	2,78	2,95
<i>FANCESA</i>	1,49	2,98	
<i>FABRICA FABOCE</i>	1,55	3,10	
<i>CEMENTO</i>	0,47	0,94	0,94
<i>COBOCE</i>	0,52	1,04	
<i>FABRICA COBOCE</i>	0,42	0,84	

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la finura del cemento por medio del tamiz N°200, la especificaciones del cemento para pavimento de concreto hidráulico se encuentra en valores por medio del ensayo de Blaine, ya que no se cuenta con ese equipo, se lo realizo la correlación de finura por Blaine y Tamiz, mediante correlaciones de otras tesis..

Ecuación de Correlación de Finura Blaine y Tamizado:

$$BL = -1013 \ln Re_{200} + 3794,1 \text{ [cm}^2\text{/gr]}$$

Fuente: Tesis Proyecto de Grado " Influencia de la Fibra y Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar en Bloques de Hormigón “

Cuadro 38: Relación de Finura entre Método Blaine y Tamiz

FINURA	Re 200 (%)	BL (cm ² /gr)	BL (m ² /kg)	BL Promedio (m ² /kg)
C. FANCESA	2,78	2758,36	275,83572	269,81
	2,98	2687,98	268,79817	
	3,10	2647,99	264,79897	
C. EL PUENTE	1,60	3317,99	331,79863	333,51
	1,54	3356,70	335,67044	
	1,58	3330,73	333,07286	
C. COBOCE	0,94	3856,78	385,67798	386,06
	1,04	3754,37	375,43694	
	0,84	3970,72	397,072	

Fuente: Elaboración Propia

- **Consistencia Normal**

Se determina la cantidad de agua ideal para llegar a una penetración ideal en el aparato Vicat, que nos da un parámetro de cuanto de agua de cada cemento se necesitara para tener una dosificación ideal.

Imagen 16 Aparato Vicat para ensayo de Consistencia



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 39: Planilla de Resultados de Consistencia de cada Cemento

DESCRIPCIÓN	Cemento (gr)	Agua (ml)	Relación A / C
<i>CEMENTO FANCESA FABRICA FABOCE</i>	350	78,5	0,224
<i>CEMENTO EL PUENTE FABRICA SOBOCE</i>	350	77,5	0,221
<i>CEMENTO COBOCE FABRICA COBOCE</i>	350	77,0	0,223

Fuente: Elaboración Propia

Se debe realizar una penetración en la pasta de cemento de 10 ± 1 mm en la aguja de Vicat según la Norma NB-062 que se determina como un porcentaje en peso del cemento seco

Tiempo de Fraguado

También se realiza por el aparato de Vicat donde consiste en determinar el tiempo en el que reacciona el cemento para llevar al endurecimiento.

Cuadro 40: Planilla de Resultados del Tiempo de Fraguado de cada Cemento

DESCRIPCIÓN	HORA ENSAYO	HORA Fr. Ini.	HORA Fr. Fin.	T. Fr. Ini. (hrs)	T. Fr. Fin. (hrs)
<i>CEMENTO EL PUENTE FABRICA SOBOCE</i>	8:45	11:40	13:30	2:55	4:45
<i>CEMENTO FANCESA FABRICA FABOCE</i>	8:55	11:10	13:20	2:15	4:25
<i>CEMENTO COBOCE FABRICA COBOCE</i>	8:15	10:47	12:50	3:30	5:00

Fuente: Elaboración Propia

Según la Norma NB-063 especifica que el tiempo de fraguado del cemento debe ser el inicial mayor a 45 min y el tiempo de fraguado final menor a 10 hr. por lo tanto los cementos que se va usar cumplen con las especificaciones.

6.3 Dosificación del Hormigón

Una vez culminado con la caracterización de los Agregados y el Cemento, es necesario determinar las condiciones necesarias para la dosificación.

EL Método de Dosificación a emplearse para este Trabajo de Investigación es el del American Concrete Institute (ACI 211) ya que este se basa en tablas empíricas confiables mediante las cuales se especifican las condiciones de partida para la dosificación.

- **Resumen de la caracterización de los agregados y cementos**

A continuación, se muestra el resumen de las características de los materiales (Agregados y Cemento) necesarios para la Dosificación.

Cuadro 41: Características Físicas del Agregado Grueso

GRAVA		
Procedencia:	Chancadora	San Mateo
CARACTERÍSTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Tamaño Máximo	1	Pulgada
T. Máximo Nominal	3/4	Pulgada
Módulo de Finura	6,12	-
Peso Unitario Suelto	1,41	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1,49	gr/cm ³
Peso Específico	2,68	gr/cm ³
Absorción	1,72	%
Humedad	1,89	%
Desgaste	19.67	%

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 42: Características Físicas del Agregado Fino

ARENA		
Procedencia:	Chancadora	San Mateo
CARACTERÍSTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Módulo de Finura	2,94	-
Peso Unitario Suelto	1,52	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1,67	gr/cm ³
Peso Específico	2,51	gr/cm ³
Absorción	1,1	%
Humedad	5,57	%
Equivalente de Arena	92.9	%

Cuadro 43: Características Físicas de Cemento El Puente SOBOCE

CEMENTO		
Procedencia:	SOBOCE El Puente	
CARACTERÍSTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Peso Específico	3,14	gr/cm ³
Finura	33.51	m ² /kg
Consistencia Normal R=A/C	0,221	%
Tiempo de Fraguado Inicial	2:55	Hr
Tiempo de Fraguado Final	4:45	Hr

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 44: Características Físicas del Cemento Fancesa FABOCE

CEMENTO		
Procedencia:	FABOCE Fancesa	
CARACTERÍSTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Peso Específico	2,94	gr/cm ³
Finura	269,81	m ² /kg
Consistencia Normal R=A/C	0,224	%
Tiempo de Fraguado Inicial	2:15	Hr
Tiempo de Fraguado Final	4:25	Hr

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 45: Características Físicas del Cemento Coboce COBOCE

CEMENTO		
Procedencia:	COBOCE	Coboce
CARACTERÍSTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Peso Específico	2,98	gr/cm ³
Finura	386,06	m ² /kg
Consistencia Normal R=A/C	0,223	%
Tiempo de Fraguado Inicial	2:32	Hr
Tiempo de Fraguado Final	4:35	Hr

Fuente: Elaboración Propia

- **Dosificación**

La dosificación se diseñó para una resistencia para un hormigón H-35 y un asentamiento ideal para el vaciado de pavimentos de 1 - 3 pulg. de revenimiento. Mediante la dosificación ACI 211.

Cuadro 46: Dosificación con Cemento El Puente

DOSIFICACIÓN CEMENTO EL PUENTE				
DISEÑO EN ESTADO SECO			DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad
Agua	Kg/m ³	183	Kg/m ³	146,97
Cemento	Kg/m ³	457,5	Kg/m ³	457,5
Grava	Kg/m ³	977,05	Kg/m ³	995,49
Arena	Kg/m ³	768,54	Kg/m ³	811,38

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 47: Proporciones de Mezcla con Cemento El Puente

Cemento	Arena	Grava		
1,0	1,7	2,1		
	SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO
	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 2 vigas	(Kg) para 2 vigas
CEMENTO	17,5	17,5	12,8	12,8
AGUA (Lt)	7,0	5,6	5,1	4,1
GRAVA	37,3	38,0	27,4	27,9
ARENA	29,3	31,0	21,5	22,7

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 48: Dosificación con Cemento Fancesa

DOSIFICACIÓN CEMENTO FANCESA				
DISEÑO EN ESTADO SECO			DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad
Agua	Kg/m ³	183	Kg/m ³	148,08
Cemento	Kg/m ³	457,5	Kg/m ³	457,5
Grava	Kg/m ³	977,05	Kg/m ³	995,49
Arena	Kg/m ³	743,68	Kg/m ³	785,13

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 49: Proporciones de mezcla con Cemento Fancesa

Cemento	Arena	Grava		
1,0	1,6	2,1		
	SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO
	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 2 Vigas	(Kg) para 2 vigas
CEMENTO	17,5	17,5	12,8	12,8
AGUA (Lt)	7,0	5,6	5,1	4,1
GRAVA	37,3	38,0	27,4	27,9
ARENA	28,4	30,0	20,8	22,0

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 50: Dosificación Con Cemento Coboce

DOSIFICACIÓN CEMENTO COBOCE				
DISEÑO EN ESTADO SECO			DISEÑO EN ESTADO HUMEDO	
Material	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad
Agua	Kg/m ³	183	Kg/m ³	147,85
Cemento	Kg/m ³	457,5	Kg/m ³	457,5
Grava	Kg/m ³	977,05	Kg/m ³	995,49
Arena	Kg/m ³	748,92	Kg/m ³	790,66

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 51: Proporciones de Mezcla con Cemento Coboce

Cemento	Arena	Grava
1,0	1,6	2,1

	SECO	HUMEDO	SECO	HUMEDO
	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 6 probetas	(Kg) para 2 Vigas	(Kg) para 2 vigas
CEMENTO	17,5	17,5	12,8	12,8
AGUA (Lt)	7,0	5,6	5,1	4,1
GRAVA	37,3	38,0	27,4	27,9
ARENA	28,6	30,2	21,0	22,1

Fuente: Elaboración Propia

6.4 Fabricación de Moldes

Los especímenes para este trabajo de Investigación se dispusieron de probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto ($H=2D$) del laboratorio de hormigón de la UAJMS para el ensayo de Compresión y de las vigas se realizaron de madera de 15*15*53 cm para el ensayo de Flexión.

Antes de realizar el vaciado de la mezcla en los moldes se aceito previamente las superficies que estarán en contacto con la mezcla para evitar que este se quede adherida a los moldes.

Imagen 17: Moldes para ensayos a compresión y Flexión



Fuente: Elaboración Propia

- Mezclado

Para el Mezclado de los materiales se utilizó una máquina mezcladora para lograr una distribución homogénea de los agregados.

Imagen 18: Mezcladora de Hormigón



Fuente: Elaboración Propia

Para la Dosificación se mezcló en seco los agregados donde el orden de colocación de los componentes fue de lo más grueso a lo más fino ósea desde la grava, arena, cemento y agua, también se inclinó la mezcladora para tener una mejor unión de los componentes de la mezcla de hormigón.

- **Asentamiento de la Mezcla**

Luego del Mezclado es necesario determinar el asentamiento que nuestra mezcla puede llegar a alcanzar por lo que se realizó este ensayo del Cono de Abrams, como se dijo anteriormente en la dosificación se debe respetar el revenimiento de 5 a 7 cm. La cual estamos usando esa mezcla para pavimento rígido.

Imagen 19: Revenimiento mediante el cono de Abrams



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 52: Asentamiento del Cono para Diferentes tipos de vibrados y compactación

Consistencia	Asentamiento del Cono	Forma de Compactación
Seca	0 a 2	Vibrado Energético en Taller
Plástica	3 a 5	Vibrado energético en Obra
Blanda	6 a 9	Vibrado o Apisonado
Fluida	10 a 15	Picado con Barra
Líquida	16	No apta para elementos resistentes

Fuente: Elaboración Propia

Como muestra la tabla para este tipo de asentamiento que se usara para la mezcla se puede emplear la forma de compactación vibrada o apisonada en nuestro caso se lo realizara la apisonada por medio la varilla de compactación.

Asentamiento de la Mezcla del Concreto de cada Cemento:

Los asentamientos de las mezclas de concreto se lo realizo compensando un volumen de 6 probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y en 2 vigas de 15*15*60 cm.

Cuadro 53: Asentamiento de la Mezcla con Cemento FANCESA

N	Uso de Mezcla	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg)	Cantidad de Agua para la Mezcla (kg)	Cantidad de Cemento para la Mezcla (litros)	Relación Agua/Cemento
1	6 Probetas	1,5	0,59	4,9	17,5	0,28
2	6 Probetas	2	0,79	5,2	17,5	0,30
3	6 Probetas	1,8	0,71	5	17,5	0,29
4	6 Probetas	2,1	0,83	5,6	17,5	0,32
5	6 Probetas	2	0,79	5,1	17,5	0,29
6	2 Vigas	1,7	0,67	4,1	12,8	0,32
Promedio		1,85	0,73			0,3

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 54: Asentamiento de la Mezcla con Cemento EL PUENTE

N	Uso de Mezcla	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg)	Cantidad de Agua para la Mezcla (kg)	Cantidad de Cemento para la Mezcla (litros)	Relación Agua/Cemento
1	6 Probetas	4	1,57	6,2	17,5	0,35
2	6 Probetas	4,2	1,65	6,5	17,5	0,37
3	6 Probetas	3,5	1,38	5,4	17,5	0,31
4	6 Probetas	3,5	1,38	5,2	17,5	0,30
5	6 Probetas	3,8	1,50	6	17,5	0,34
6	2 Vigas	3,9	1,54	4,5	12,8	0,35
Promedio		3,82	1,50			0,34

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 55: Asentamiento de la Mezcla con Cemento COBOCE

N	Uso de Mezcla	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg)	Cantidad de Agua para la Mezcla (kg)	Cantidad de Cemento para la Mezcla (litros)	Relación Agua/Cemento
1	6 Probetas	6	2,36	7,2	17,5	0,41
2	6 Probetas	5,8	2,28	6,5	17,5	0,37
3	6 Probetas	5,6	2,20	6,9	17,5	0,39
4	6 Probetas	6,1	2,4	6,6	17,5	0,38
5	6 Probetas	5,9	2,32	6,8	17,5	0,39
6	2 Vigas	6	2,36	5,6	12,8	0,44
Promedio		5,9	2,32			0,4

Fuente: Elaboración Propia

- **Vaciado y Apisonado**

Para el Vaciado y Apisonado del Hormigón se dispuso de los moldes en la que tanto como probetas y vigas se distribuyeron por 3 capas iguales cada capa 25 golpes de la varilla y una vez al tope del molde se lo aplico golpes a los costados para eliminar vacíos existentes y para el acomodamiento de los componentes.

Antes del vaciado se realizó el lavado de los agregados tanto grueso como fino para evitar que exista material limo o arcilla que evite la buena adherencia del cemento con los agregados.

También se le adiciono cemento de lo estipulado para poder mejorar todavía la resistencia tanto compresión como flexión.

Luego de enrasarlo se pondrá en un lugar que no absorba mucha humedad y también se le pondrá en la parte superior un impermeable para que la mezcla no pierda humedad y esta no se deshidrate rápidamente, para si evitar que tenga fisuras prematuras y se fragüe normalmente.

Se desencofra pasando un día del vaciado donde la mezcla ya adquiere rigidez para ponerle al curado dentro de un estanque de agua hasta el día de la rotura.

Imagen 20: Varillado y Compactación Manual de la Mezcla de Hormigón



Fuente: Elaboración Propia

Se observó que en el vaciado de la mezcla se tuvo que introducir más agua de lo indicado debido a que al variar el cemento esta necesitan más agua que otras para hidratar sus partículas y así fraguar con normalidad.

- **Tiempo de Fraguado de la Mezcla de Concreto**

Para realización del ensayo del tiempo de fraguado en la mezcla de concreto, se separó la pasta de cemento de la mezcla para poder determinar el ensayo mediante la aguja Vicat, que se registró el tiempo inmediatamente después de hacer contacto el cemento con el agua en el proceso de mezclado.

Cuadro 56: Tiempo de Fraguado de la mezcla con Cemento FANCESA

N	Uso de Mezcla	Temperatura del Agua (°C)	Temperatura del Hormigón (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Tiempo Inicial de Fraguado (Hrs)	Tiempo Final de Fraguado (Hrs)
1	6 Probetas	22	21	26	2:10	4:15
2	6 Probetas	20	19	21	2:25	4:35
3	6 Probetas	19	20	22	2:20	4:35
4	6 Probetas	18	21	24	2:15	4:30
5	6 Probetas	23	24	26	2:10	4:15
6	2 Vigas	20	22	25	2:10	4:20
PROMEDIO					2:15	4:25

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 57: Tiempo de Fraguado de la Mezcla con Cemento EL PUENTE

N	Uso de Mezcla	Temperatura del Agua (°C)	Temperatura del Hormigón (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Tiempo Inicial de Fraguado (Hrs)	Tiempo Final de Fraguado (Hrs)
1	6 Probetas	23	21	25	3:05	5:00
2	6 Probetas	20	22	28	2:50	4:40
3	6 Probetas	22	21	27	2:55	4:45
4	6 Probetas	21	22	26	3:00	4:50
5	6 Probetas	24	25	30	2:40	4:30
6	2 Vigas	22	21	26	3:00	4:50
PROMEDIO					2:55	4:45

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 58: Tiempo de Fraguado de la Mezcla con Cemento COBOCE

N	Uso de Mezcla	Temperatura del Agua (°C)	Temperatura del Hormigón (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Tiempo Inicial de Fraguado (Hrs)	Tiempo Final de Fraguado (Hrs)
1	6 Probetas	18	20	23	3:25	4:55
2	6 Probetas	19	21	23	3:30	4:55
3	6 Probetas	19	22	23	3:30	4:55
4	6 Probetas	20	21	24	3:20	4:50
5	6 Probetas	19	20	22	3:40	5:15
6	2 Vigas	20	21	21	3:35	5:10
PROMEDIO					3:30	5:00

Fuente: Elaboración Propia

- Curado y Almacenamiento

Pasado el día del vaciado de la mezcla se desencofro tanto probetas como vigas de sus moldes en donde la mezcla adquirió rigidez.

Sacado de los moldes se los sumergió en tanques de agua limpia sin que tenga ningún químico o impurezas que perjudiquen en el curado normal y la resistencia.

Se le mantiene sumergido las muestras hasta el día de la rotura ya sea 7, 14 o 28 días para que esta tenga una mejor resistencia.

Imagen 21: Curado de los Especímenes



Fuente: Elaboración Propia

6.5 Determinación de las Propiedades Físicas del Hormigón

Al finalizar las muestras de hormigón es necesario determinar las propiedades físicas mecánicas más importantes que rigen en el comportamiento de los especímenes.

- Resistencia a Compresión

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante; en general, no solo define el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia al intemperismo o cualquier otra causa de deterioro. Este ensayo se lo realizó en una prensa hidráulica en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de la UAJMS.

Imagen 22: Rotura de Testigos de Hormigón a Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo a Compresión también se debe tener en cuenta que las superficies del hormigón que se apoyan contra las placas deben ser completamente planas para garantizar la distribución uniforme de la carga; para lograr este cometido se hizo uso del refrentado, que consiste en aplicar pastas o morteros en la sección deforme con el fin de uniformizarla; estos deben ser capaces de resistir las tensiones de compresión del ensayo.

Imagen 23: Prensa Hidráulica para todo tipo de rotura



Fuente: Elaboración Propia

Una vez ensayados las probetas de hormigón es indispensable determinar la Resistencia Característica mediante el empleo de la estadística básica por el método de Student de la siguiente manera:

$$f_{ck} = f_{cm} - t * s$$

Dónde:

f_{ck} = Resistencia Característica (kg/cm²)

f_{cm} = Resistencia Promedio (kg/cm²)

t = Coeficiente de Student

s = Desviación estándar

Cuadro 59: Resistencias a 7, 14 y 28 días a Compresión con Cemento FANCESA

Probeta N°	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Sección (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
1	08/04/2015	15/04/2015	7	176,71	455	46410,00	262,63	364,57
2	08/04/2015	15/04/2015	7	176,71	458	46716,00	264,36	366,98
3	08/04/2015	15/04/2015	7	176,71	465	47460,60	268,57	372,82
4	08/04/2015	15/04/2015	7	176,71	459	46818,00	264,94	367,78
5	09/04/2015	16/04/2015	7	176,71	456	46512,00	263,20	365,37
6	09/04/2015	16/04/2015	7	176,71	439	44727,00	253,10	351,35
7	09/04/2015	16/04/2015	7	176,71	420	42840,00	242,42	336,53
8	09/04/2015	16/04/2015	7	176,71	460	46920,00	265,51	368,58
9	10/04/2015	17/04/2015	7	176,71	469	47838,00	270,71	375,79
10	10/04/2015	17/04/2015	7	176,71	467	47634,00	269,55	374,19
11	08/04/2015	22/04/2015	14	176,71	539	55008,60	311,28	366,22
12	08/04/2015	22/04/2015	14	176,71	550	56100,00	317,46	373,48
13	08/04/2015	22/04/2015	14	176,71	555	56610,00	320,35	376,88
14	08/04/2015	22/04/2015	14	176,71	540	55080,00	311,69	366,69
15	09/04/2015	23/04/2015	14	176,71	525	53550,00	303,03	356,51

16	09/04/2015	23/04/2015	14	176,71	532	54264,00	307,07	361,26
17	09/04/2015	23/04/2015	14	176,71	500	51000,00	288,60	339,53
18	09/04/2015	23/04/2015	14	176,71	559	57018,00	322,66	379,60
19	10/04/2015	24/04/2015	14	176,71	529	53958,00	305,34	359,22
20	10/04/2015	24/04/2015	14	176,71	535	54570,00	308,80	363,30
21	08/04/2015	06/05/2015	28	176,71	645	65790,00	372,30	372,30
22	08/04/2015	06/05/2015	28	176,71	680	69360,00	392,50	392,50
23	08/04/2015	06/05/2015	28	176,71	660	67320,00	380,95	380,95
24	08/04/2015	06/05/2015	28	176,71	658	67116,00	379,80	379,80
25	09/04/2015	07/05/2015	28	176,71	652	66504,00	376,34	376,34
26	09/04/2015	07/05/2015	28	176,71	608	62016,00	350,94	350,94
27	09/04/2015	07/05/2015	28	176,71	624	63648,00	360,17	360,17
28	09/04/2015	07/05/2015	28	176,71	672	68544,00	387,88	387,88
29	10/04/2015	08/05/2015	28	176,71	645	65790,00	372,30	372,30
30	10/04/2015	08/05/2015	28	176,71	625	63750,00	360,75	360,75
PROMEDIO								367,35

Resistencia Promedio	367,35	kg/cm2
Desviación Estándar	12,52	--
Coefficiente de Student	1,7	--
Resistencia Característica	346,067	kg/cm2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 60: Resistencia de 7, 14 y 28 días de Compresión con Cemento EL PUENTE

Probeta N°	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Sección (cm2)	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm2)	Proyección 28 días (kg/cm2)
1	13/04/2015	20/04/2015	7	176,71	440	44880,0	253,97	352,55
2	13/04/2015	20/04/2015	7	176,71	418	42615,6	241,15	334,77
3	13/04/2015	20/04/2015	7	176,71	445	45390,0	256,85	356,56
4	13/04/2015	20/04/2015	7	176,71	435	44370,0	251,08	348,55
5	14/04/2015	21/04/2015	7	176,71	420	42840,0	242,42	336,53
6	14/04/2015	21/04/2015	7	176,71	442	45084,0	255,12	354,16
7	14/04/2015	21/04/2015	7	176,71	439	44778,0	253,39	351,75
8	14/04/2015	21/04/2015	7	176,71	429	43758,0	247,62	343,74
9	15/04/2015	22/04/2015	7	176,71	459	46818,0	264,94	367,78
10	15/04/2015	22/04/2015	7	176,71	438	44676,0	252,81	350,95
11	13/04/2015	27/04/2015	14	176,71	535	54570,0	308,80	363,30
12	13/04/2015	27/04/2015	14	176,71	525	53550,0	303,03	356,51

13	13/04/2015	27/04/2015	14	176,71	520	53040,0	300,15	353,11
14	13/04/2015	27/04/2015	14	176,71	528	53856,0	304,76	358,54
15	14/04/2015	28/04/2015	14	176,71	510	52020,0	294,37	346,32
16	14/04/2015	28/04/2015	14	176,71	518	52836,0	298,99	351,75
17	14/04/2015	28/04/2015	14	176,71	505	51510,0	291,49	342,93
18	14/04/2015	28/04/2015	14	176,71	523	53346,0	301,88	355,15
19	15/04/2015	29/04/2015	14	176,71	509	51918,0	293,80	345,64
20	15/04/2015	29/04/2015	14	176,71	524	53448,0	302,45	355,83
21	13/04/2015	11/05/2015	28	176,71	601	61302,0	346,90	346,90
22	13/04/2015	11/05/2015	28	176,71	625	63750,0	360,75	360,75
23	13/04/2015	11/05/2015	28	176,71	615	62730,0	354,98	354,98
24	13/04/2015	11/05/2015	28	176,71	611	62322,0	352,67	352,67
25	14/04/2015	12/05/2015	28	176,71	625	63750,0	360,75	360,75
26	14/04/2015	12/05/2015	28	176,71	604	61608,0	348,63	348,63
27	14/04/2015	12/05/2015	28	176,71	608	62016,0	350,94	350,94
28	14/04/2015	12/05/2015	28	176,71	612	62424,0	353,25	353,25
29	15/04/2015	13/05/2015	28	176,71	620	63240,0	357,87	357,87
30	15/04/2015	13/05/2015	28	176,71	635	64770,0	366,52	366,52
PROMEDIO								352,66

Resistencia Promedio	352,66	kg/cm2
Desviación Estándar	7,65	--
Coeficiente de Student	1,7	--
Resistencia Característica	339,643	kg/cm2

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 61: Resistencia de 7, 14 y 28 días a Compresión con Cemento COBOCE

Probeta N°	Fecha de	Fecha de	Edad	Sección	Lectura	Carga	Resistencia	Proyección 28
	Vaciado	Rotura	(días)	(cm2)	(KN)	(kg)	(Kg/cm2)	días (kg/cm2)
1	16/04/2015	23/04/2015	7	176,71	401	40902,0	231,46	321,30
2	16/04/2015	23/04/2015	7	176,71	406	41412,0	234,34	325,31
3	16/04/2015	23/04/2015	7	176,71	415	42330,0	239,54	332,52
4	16/04/2015	23/04/2015	7	176,71	410	41820,0	236,65	328,52
5	17/04/2015	24/04/2015	7	176,71	402	41004,0	232,04	322,11
6	17/04/2015	24/04/2015	7	176,71	408	41616,0	235,50	326,91
7	17/04/2015	24/04/2015	7	176,71	415	42330,0	239,54	332,52
8	17/04/2015	24/04/2015	7	176,71	398	40596,0	229,73	318,90
9	20/04/2015	27/04/2015	7	176,71	400	40800,0	230,88	320,50

10	20/04/2015	27/04/2015	7	176,71	410	41820,0	236,65	328,52
11	16/04/2015	30/04/2015	14	176,71	490	49980,0	282,83	332,74
12	16/04/2015	30/04/2015	14	176,71	498	50796,0	287,45	338,17
13	16/04/2015	30/04/2015	14	176,71	498	50796,0	287,45	338,17
14	16/04/2015	30/04/2015	14	176,71	480	48960,0	277,06	325,95
15	17/04/2015	04/05/2015	17	176,71	520	53040,0	300,15	337,04
16	17/04/2015	04/05/2015	17	176,71	525	53550,0	303,03	340,28
17	17/04/2015	04/05/2015	17	176,71	528	53856,0	304,76	342,22
18	17/04/2015	04/05/2015	17	176,71	518	52836,0	298,99	335,74
19	20/04/2015	04/05/2015	14	176,71	485	49470,0	279,94	329,34
20	20/04/2015	04/05/2015	14	176,71	475	48450,0	274,17	322,55
21	16/04/2015	14/05/2015	28	176,71	590	60180,0	340,55	340,55
22	16/04/2015	14/05/2015	28	176,71	605	61710,0	349,21	349,21
23	16/04/2015	14/05/2015	28	176,71	601	61302,0	346,90	346,90
24	16/04/2015	14/05/2015	28	176,71	585	59670,0	337,66	337,66
25	17/04/2015	15/05/2015	28	176,71	595	60690,0	343,44	343,44
26	17/04/2015	15/05/2015	28	176,71	602	61404,0	347,48	347,48
27	17/04/2015	15/05/2015	28	176,71	604	61608,0	348,63	348,63
28	17/04/2015	15/05/2015	28	176,71	600	61200,0	346,32	346,32
29	20/04/2015	18/05/2015	28	176,71	598	60996,0	345,17	345,17
30	20/04/2015	18/05/2015	28	176,71	589	60078,0	339,97	339,97
							PROMEDIO	334,82

Resistencia Promedio	334,82	kg/cm ²
Desviación Estándar	9,30	--
Coficiente de Student	1,7	--
Resistencia Característica	319,016	kg/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

- Resistencia a Flexión

La prueba de flexión es muy útil especialmente en relación con el diseño de losas para carreteras y pistas de aeropuertos porque en ellas la tensión por flexión es un factor crítico. E valor del módulo de ruptura depende de las dimensiones de la viga, y sobre todo de la distribución de la carga. Se emplean dos sistemas: la carga en un punto central, que produce una distribución triangular del momento de flexión, de manera que el esfuerzo máximo tiene lugar solo en una sección de la viga; y la carga

simétrica en dos puntos, que produce un momento constante de flexión entre los puntos de carga es de esperarse que la carga en dos puntos rendirá un valor de modulo menor que cuando se aplica una carga en un solo punto.

Para reflejar esta resistencia a flexión se realizaron vigas de 15*15*53 cm donde por medio del equipo para la rotura a flexión y se utilizara el equipo de dos puntos de carga.

Imagen 24: Equipo de Flexión



Fuente: Elaboración Propia

La resistencia a flexión se calcula mediante la fórmula clásica:

$$f_{ctf} = \frac{Mr}{W} = \frac{6Mr}{a^3} = \frac{3F}{a^2}$$

Dónde: Mr.: Momento de la Rotura

W: Modulo resistente de la sección

F: Carga total aplicada en la rotura

a: Lado de la sección de la viga

Imagen 25: Montaje de la viga en el Equipo de Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 62: Resistencia a Flexión a los 28 días con Cemento Fancesa

Nº	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Flexión (Kg/cm ²)
1	23/04/2015	21/05/2015	28	15	33,8	3447,60	45,97
2	23/04/2015	21/05/2015	28	15	37,7	3845,40	51,27
3	23/04/2015	21/05/2015	28	15	39,3	4004,52	53,39
PROMEDIO							50,21

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 63: Resistencia a flexión a los 28 días con Cemento El Punte

Nº	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Flexión (Kg/cm ²)
1	23/04/2015	21/05/2015	28	15	35,8	3651,60	48.69
2	23/04/2015	21/05/2015	28	15	36,2	3692,40	49.23
3	23/04/2015	21/05/2015	28	15	34,1	3478,20	46.38
PROMEDIO							48,10

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 64: Resistencia a flexión a los 28 días con Cemento Coboce

Nº	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Dim. "a" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Res. Flexión (Kg/cm2)
1	23/04/2015	21/05/2015	28	15	32,0	3264,00	43,52
2	23/04/2015	21/05/2015	28	15	29,5	3009,00	40,12
3	23/04/2015	21/05/2015	28	15	31,1	3172,20	42,30
PROMEDIO							41,98

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y RESULTADOS

COMPARACION E INFLUENCIA DEL CEMENTO EN LA PROPIEDADES DEL HORMIGON

En este capítulo se procederá a realizar un análisis minucioso de las propiedades pertenecientes a nuestros cementos, que fueron obtenidas en el desarrollo de la investigación. Así también se podrá comparar resultados de las propiedades del hormigón entre cada cemento y mediante gráficos se realizara un análisis en la influencia de las propiedades de cada cemento en las propiedades del hormigón utilizados para pavimento rígido.

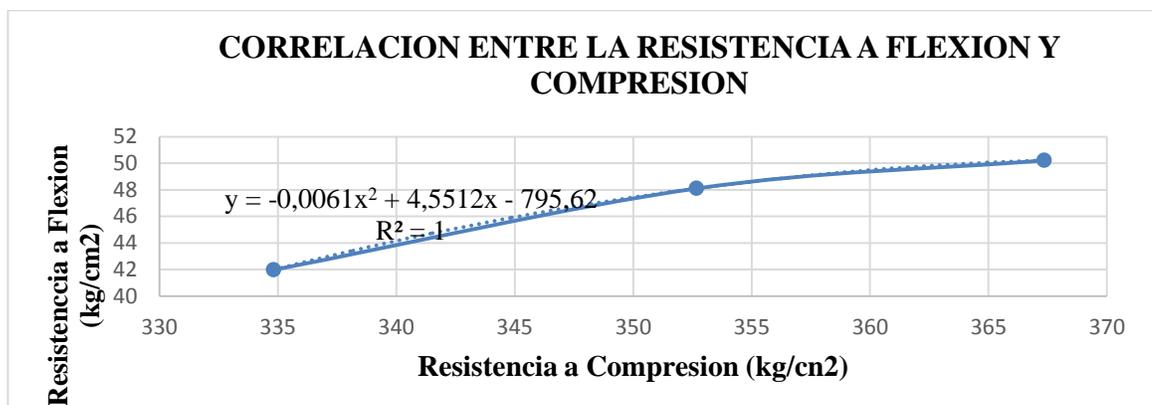
10 Correlación entre la resistencia a Compresión y Resistencia a Flexión a los 28 días de edad

Cuadro 65: Resultados de la resistencia a Compresión y Flexión a los 28 días de edad

Mezcla de Concreto	Resistencia Promedio a Compresión (kg/cm ²)	Resistencia Promedio a Flexión (kg/cm ²)
Con C. FANCESA	352,67	50,1
Con C. EL PUENTE	367,35	48,1
Con C. COBOCE	334,82	41,98

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3: Correlación entre la resistencia a Flexión y Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Esta correlación se lo realiza con el fin de cumplir con las especificaciones técnicas del pavimento rígido, para el uso del parámetro de la propiedad de resistencia a compresión, y tener un estimado de la resistencia a flexión, que es la propiedad que interesa en pavimentos rígidos y en ningún caso las mediciones de resistencia a la compresión remplazarán las mediciones de resistencia a la flexión para el recibo a satisfacción de las obras.

4.1 Análisis de la Influencia del cemento en las Resistencia a Flexión

- Finura de los Cementos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de la finura de los cementos mediante el método del Tamiz 200:

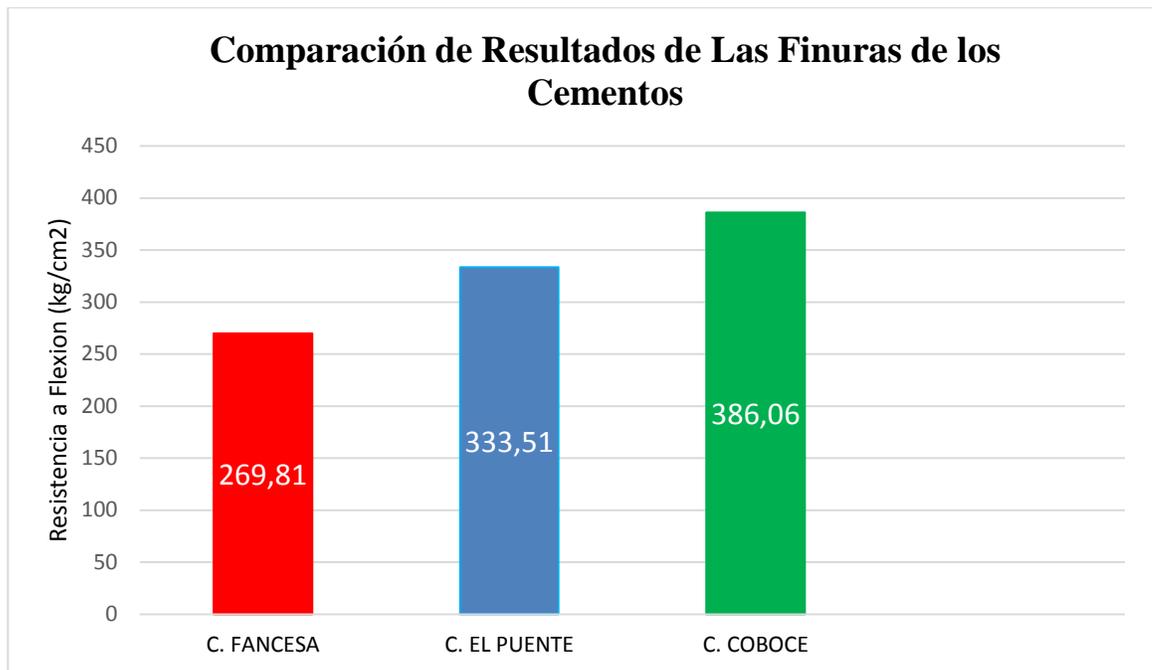
Cuadro 66: Comparación de Resultados de la Finura de los Cementos

Propiedad	Finura Blaine (m²/kg)	Especificación
C. FANCESA	269,81	420 - 260 m ² /kg
C. EL PUENTE	333,51	
C. COBOCE	386,06	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados determinados pertenecen a cada cemento en las condiciones que se la realizo, en donde cada cemento presento resultados diferentes de finura en la cual al tener mayor el valor de Blaine esta tendera a ser más fino sus partículas del cemento.

Grafica 4: Comparación de Resultados de Las Finuras de los Cementos



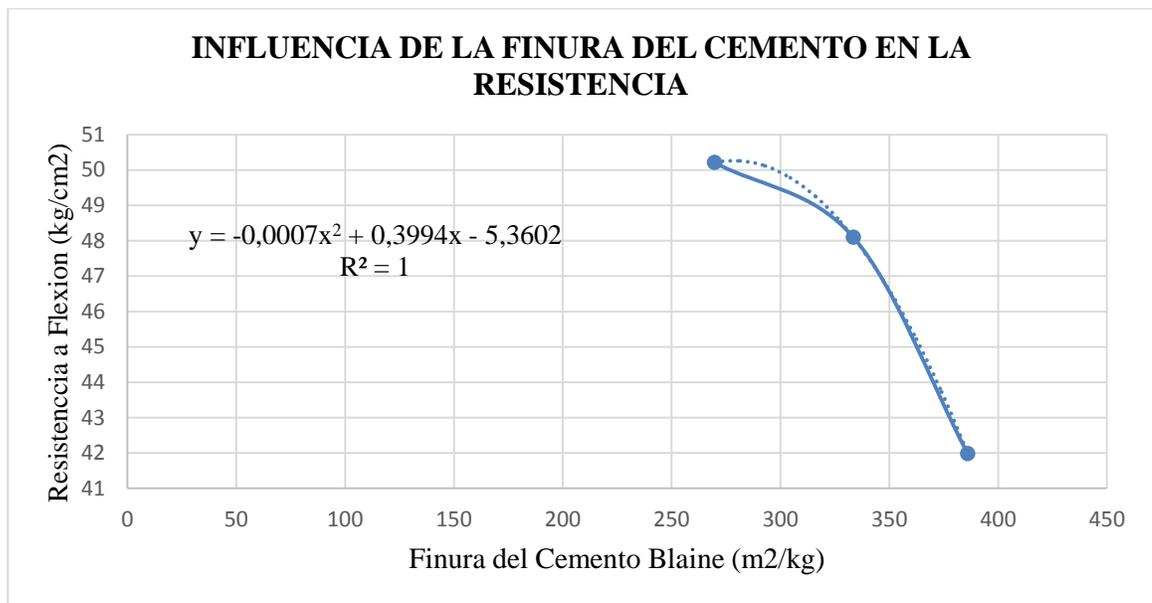
Fuente: Elaboración Propia

La finura como dice la teoría es una propiedad muy importante del cemento ya que esta influye en la velocidad del proceso de hidratación y por lo tanto adquiere resistencia con mayor rapidez.

Cabe decir que una mayor finura del cemento esta tiende a ser de mayor costo en la cual esta se hidrata en mayor rapidez ante los climas severos y exposición a la atmosfera.

Por lo tanto el grado de finura que tenga menor será mejor para los pavimentos rígidos debido a que estos se hidratan y fragua más rápidamente debido a que esta obra está expuesta a la atmosfera y climas cambiantes.

Gráfica 5: Influencia de la Finura del Cemento en la Resistencia a Flexión del Concreto



Fuente: Elaboración Propia

En este gráfico representa la influencia de la finura en cuanto a la resistencia, por medio de los resultados determinados de finura y resistencia de cada cemento, por la cual podemos decir que a menor finura se tendrá mejores resultados en cuanto a la resistencia.

Por tanto al poseer menos finura el cemento FANCESA, esta como tiende la gráfica viene a tener mejores resultados de flexión.

- **Tiempo de Fraguado de los Cementos**

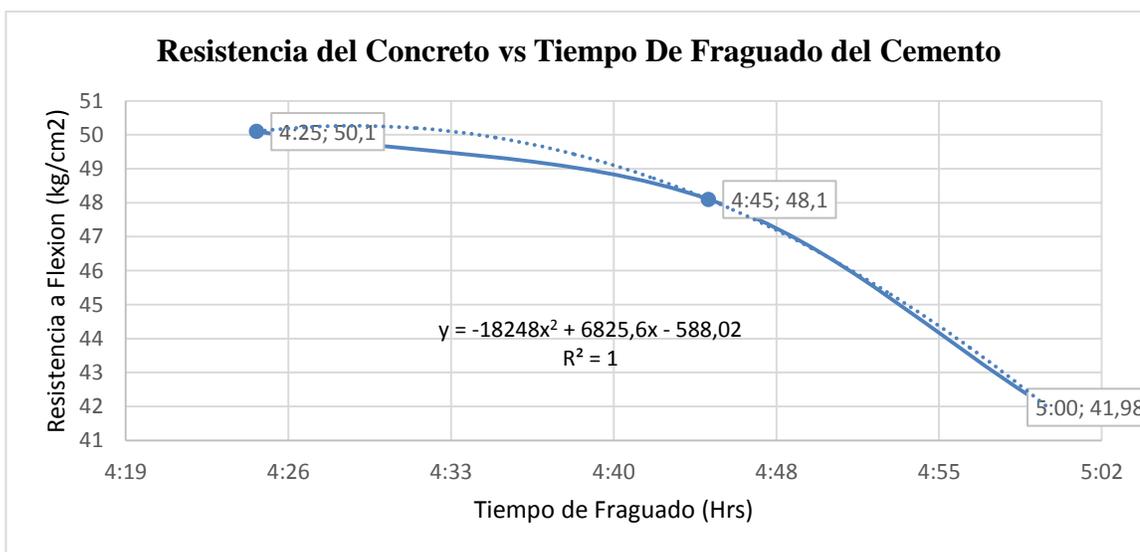
Cuadro 67: Tiempo de Fraguado de cada Cemento

Mezcla de Concreto	Tiempo de Fraguado (Hrs)
Con C. FANCESA	4:25
Con C. EL PUENTE	4:45
Con. C. COBOCE	5:00

Fuente: Elaboración Propia

Al poseer mayor tiempo de fraguado de una mezcla esta tiende a adquirir una resistencia mas rápida según el marco teórico de la presente investigación, en este análisis se realizara la influencia del cemento con la propiedad del tiempo de fraguado en la resistencia del concreto ya sea esta en un tiempo final del fraguado.

Gráfica 6: Influencia del Tiempo de Fraguado en la Resistencia



Fuente: Elaboración Propia

- **Relación a/c en las Mezclas de Concreto Hidráulico**

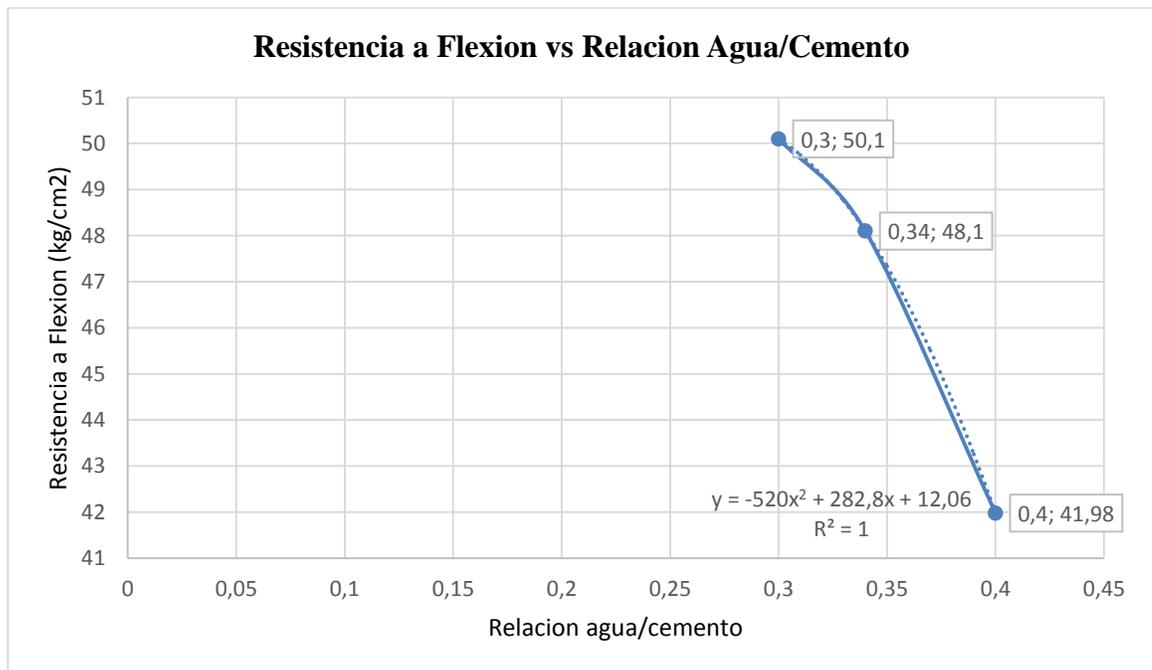
Cuadro 68: relación a/c con cada Cemento

Mezcla de Concreto	Relación Agua/Cemento
Con C. FANCESA	0,3
Con C. EL PUENTE	0,34
Con C. COBOCE	0,4

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafica se puede analizar, que al aumentar la relación agua/cemento esta tendera a que el asentamiento también aumente dando una ecuación de manera lineal.

Gráfica 7: Influencia de la relación Agua / Cemento en la Resistencia



Fuente: Elaboración Propia

La relación agua/cemento en la mezcla del concreto hidráulico influye en la resistencia, debido a que a menor sea el valor de la relación a/c esta tendera ser la resistencia mayor, debido a que al tener una relación a/c, esta necesitara de menos agua necesaria para la dosificación de la mezcla, los cementos en este caso influyen en la relación agua/cemento ya que unos necesitan mas agua que otras para poder

reaccionar satisfactoriamente, es por eso la explicación de que porque el cemento FANCESA, tiene una mayor resistencia, ya que para poder reaccionar sus partículas de cemento, hidratarse y fraguar, necesita de menos agua, la cual hace que esta sea menor la relación a/c.

4.2 Análisis de la Influencia de los Cementos en la Trabajabilidad de la Mezcla de Concreto Hidráulico.

Los asentamientos de la mezcla de concreto, se encuentran en función de la cantidad de agua que esta tiene y la hidratación del cemento, como también en la relación agua/cemento.

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de Concreto)	Grado de Trabajabilidad	Tipo de Estructura y Colocación
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y contruidos con máquina extrusora.
3,5 - 5,0	Semi - seca	Pequeño	Construcción en masa voluminosa, losas medianamente reforzadas con vibración, fundaciones en concreto simple, pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas, pavimentos, compactados a mano, columnas vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil, revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo demasiado.

Cuadro 69: Resultados de la Prueba del Concreto Fresco

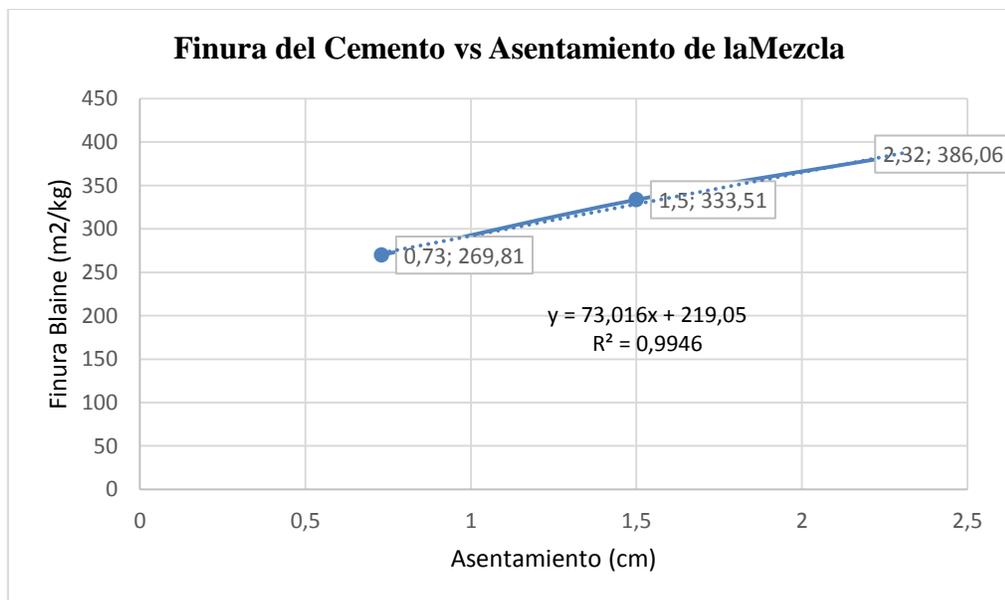
Mezcla de Concreto	Asentamiento Promedio (pulg)	Relación Agua/Cemento	Grado de Trabajabilidad	Asentamiento para P. Rígido (1 – 3 Pulg)
Con C. FANCESA	0,73	0,3	Muy Pequeño	No cumple
Con C. EL PUENTE	1,50	0,34	Pequeño	Cumple
Con C. COBOCE	2,32	0,4	Pequeño	Cumple

La trabajabilidad en obra es muy importante en cuanto a la mano de obra y su rendimiento, por lo que podemos apreciar en los resultados obtenidos del asentamiento según la dosificación en primera instancia de las mezclas de concreto utilizadas para distinto cemento, en la que promediando los revenimientos de cada mezcla los mejores resultados en cuanto trabajabilidad se obtuvo con la mezcla utilizada con cemento EL PUENTE Y COBOCE, también estas cumplieron con las especificaciones de asentamiento para Pavimento Rígido, la cual ambos estuvieron dentro del rango entre a 1-3 pulgadas, la mezcla que no cumplió fue con el cemento FANCESA, ya que esta no cumplió con los parámetros especificados y grado de trabajabilidad, pero que también es favorable a la resistencia.

- Finura del Cemento

Se realizara el análisis de la influencia de la finura del cemento, en las condiciones de consistencia, trabajabilidad y revenimiento de la mezcla de concreto del pavimento rígido.

Grafica 8: Influencia de la Finura del Cemento en el Asentamiento de la Mezcla

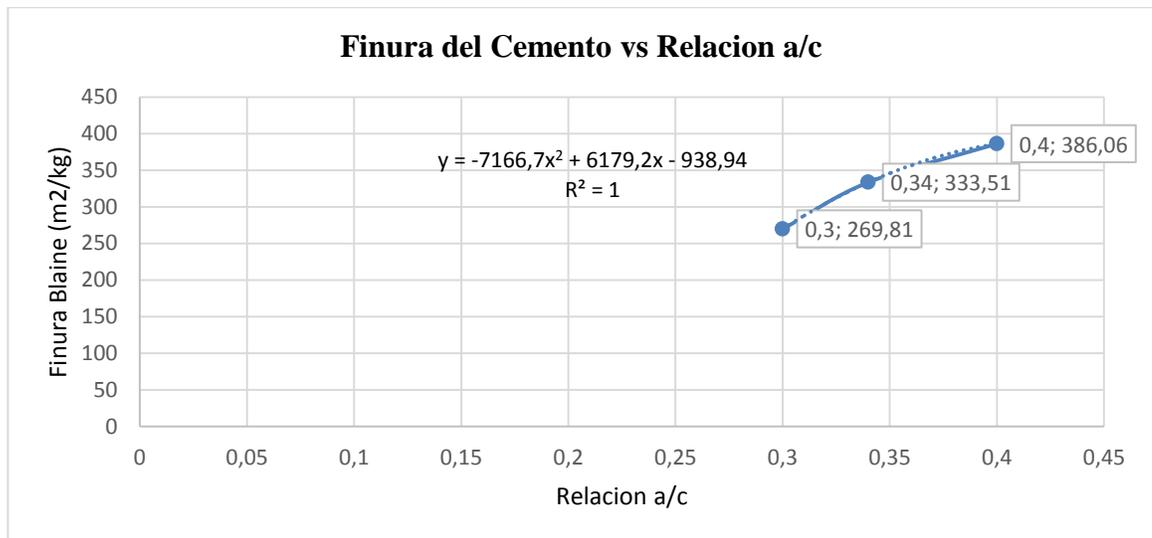


Fuente: Elaboración Propia

La finura como se ve en la gráfica tiende a ser lineal o proporcional asentamiento de la mezcla, en donde menos fino sea el cemento a utilizar en la mezcla esta tendrá a ser de menor asentamiento.

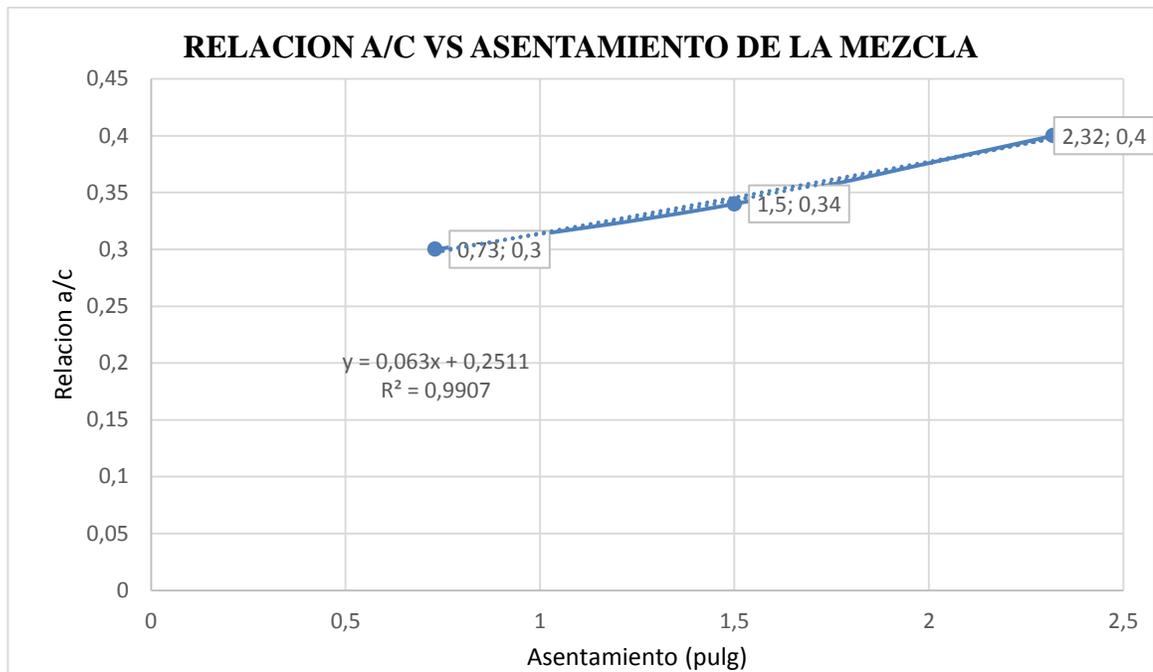
Como también proporcional a la consistencia del concreto pero inversamente proporcional al grado de trabajabilidad.

Grafica 9: Influencia de la Finura en la relación Agua/Cemento



- **Relación Agua/Cemento**

Gráfica 10: Influencia de la relación a/c en el Asentamiento de la Mezcla

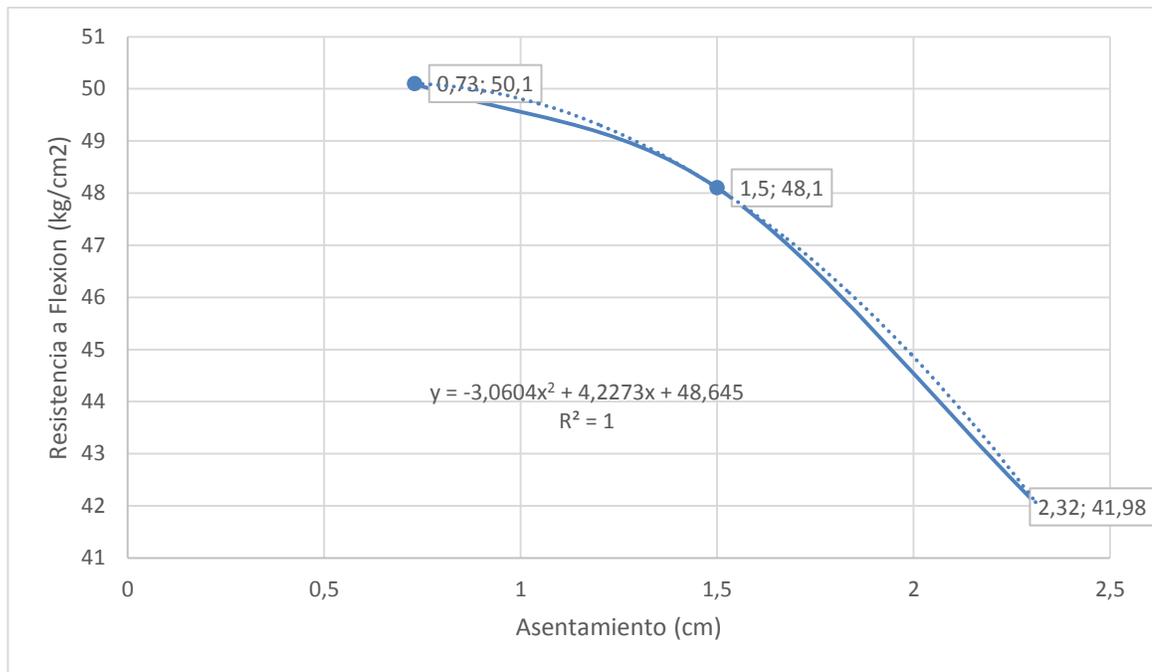


Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente grafica se puede analizar, que al aumentar la relación agua/cemento esta tendera a que el asentamiento también aumente dando una ecuación de manera lineal.

4.3 Influencia de las Propiedades de Resistencia y Trabajabilidad por efecto del Cemento.

Gráfica 11: Relación entre Propiedades del Pavimento Rígido por Efecto del cemento



Fuente: Elaboración Propia

El asentamiento de la mezcla también en este caso es proporcional a la resistencia del concreto para ser sometido a flexión, esto también ocurre como al igual de la relación agua/cemento, al poseer menos agua la mezcla debido a la hidratación del cemento, esta tendrá una mayor resistencia, en la consistencia del concreto mientras mas seca sea tendrá mayor resistencia, pero esta será inversamente proporcional al grado de trabajabilidad.

Que como en el caso de la relación a/c vs Resistencia, también posee los mejores rendimientos en cuanto a resistencia del cemento FANCESA ya que posee su mezcla menor cantidad de agua.

10.4 Resultados de la Resistencia a Compresión con cada Cemento

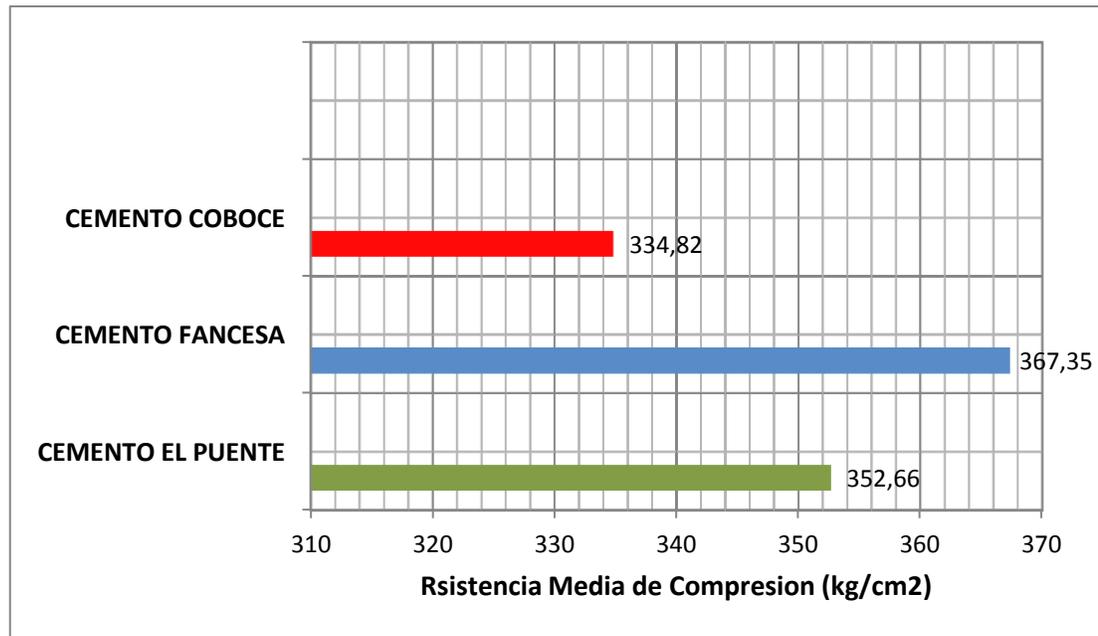
Aunque no es una propiedad importante de los pavimentos rígidos, se tendrá como parámetro o dato en la influencia del cemento sobre la mezcla de concreto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de Rotura de Probetas a Compresión:

Cuadro 70: Resistencia a la Compresión De cada Cemento a los 28 días

Cemento El Puente	352,66 kg/cm ²
Cemento Fancesa	367,35 kg/cm ²
Cemento Coboce	334,82 kg/cm ²

Fuente: Elaboracion Propia

Grafico 12: Resistencia Promedio a Compresion con Diferentes Cementos



Fuente: Elaboración Propia

La resistencia obtenida en los resultados y grafica son las resistencias promedios de nuestras roturas de probetas de hormigón con distinta clase de hormigón que dan resultados que se ven claramente una diferencia de esfuerzo de cada cemento con otro, nuestros resultados como se ve la gráfica ven claramente mejores resultados en cuestión de resistencia a la compresión del hormigón a la mezcla que se utilizó el cemento fancesa dando un promedio de 367 kg/cm² de 30 muestras ensayadas a rotura, el menor valor de resistencia fue la de la mezcla con cemento coboce que dio un promedio de 30 muestras a rotura de 334,82 kg/cm², dejado a la mezcla del cemento el puente como el intermedio de estas.

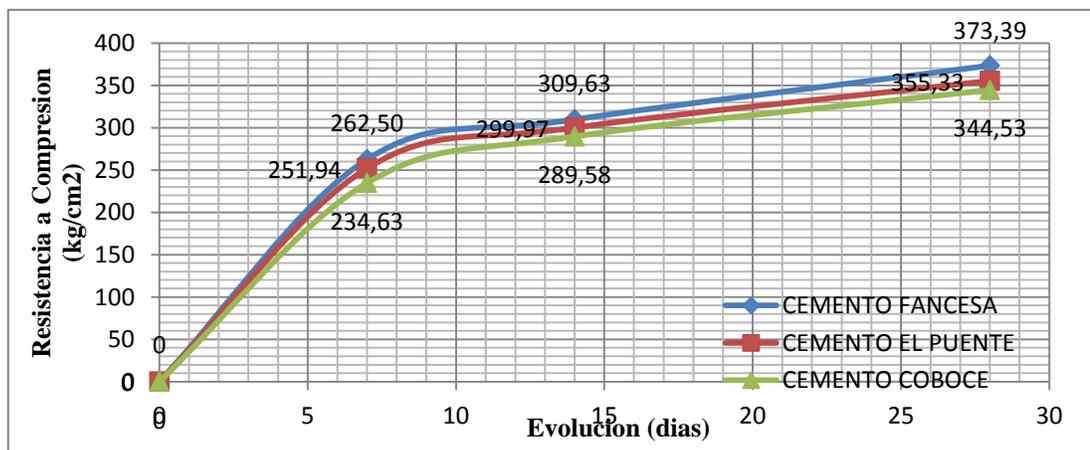
Cabe decir que la dosificación de la mezcla se elaboro con una resistencia característica de 350 kg/cm², dado que teóricamente todas las muestras deberían superar este valor, pero como se verá siempre habrá una desviación de valores por lo que se promedió cada uno de las resistencias para ver el valor característico de cada cemento, la cual tendría que ser igual o superior a 350kg/cm² pero como se ve en los resultados existe una resistencia de un concreto que no cumple con esta especificación que es la de cemento Coboce, por lo que se sugerirá que no se utilice este tipo de cemento en este tipo de estructuras que es de pavimento rígido, o caso contrario al usar se recomiendo el uso de aditivos de alta resistencia que mejoren la resistencia del hormigón.

Cuadro 71: Evolución de las Resistencias a Compresión a Diferentes Edades de cada Cemento

CEMENTO	RESIST. PROMEDIO fcm (kg/cm ² .)			
	EVOLUCIÓN DE LAS PROBETAS (DIAS)			
	0	7	14	28
FANCESA	0	262,5	309,6	373,39
EL PUENTE	0	251,94	300	355,33
COBOCE	0	234,63	289,6	344,53

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13: Curva de evolución de resistencia en testigos con diferentes cemento



Fuente: Elaboración Propia

La evolución como se ve en las gráficas consta de diferentes resistencias a diferentes edades del hormigón luego del vaciado de la mezcla en las probetas para someterlo a rotura, en la que como se ve en la gráfica en los primeros días el concreto aumenta rápidamente la resistencia hasta los 7 días, en donde se menciona teóricamente que a los 7 días de edad el hormigón alcanza un 70% de la resistencia a compresión por lo que a partir de esta fecha ya el crecimiento o aumento de resistencia es menor hasta llegar a su resistencia al 100 % que viene ser a la edad de 28 días, en la que se puede apreciar que no cambia las resistencias de distinto cemento en diferentes edades.

- **Influencia del Peso Específico del Cemento**

La influencia del peso específico del cemento como se dijo anteriormente influye exclusivamente en la dosificación de la mezcla, la cual mediante esa dosificación Nos dará volúmenes de obra en cuanto cantidad de material como también las proporciones de mezcla que serán importantes en el análisis económico de nuestros materiales, sobre todo en el precio del cemento a usar.

4.3 Análisis Económico

A continuación se representara en el cuadro los precios en el mercado actualmente de los componentes del hormigón:

Cuadro 72: Precios actualizados de los Materiales utilizados en el Hormigón

Material	Precio	Unidad
Cemento Fancesa	1,08	Bs/Kg
Cemento El Puente	1,16	Bs/Kg
Cemento Coboce	1,2	Bs/Kg
Grava	110	Bs/m3
Arena	125	Bs/m3

Fuente: Elaboración Propia

Para poder tener un conocimiento del costo de los materiales utilizando distintas dosificaciones con distintos cementos, se tiene los insumos de cada componente del hormigón en función a la proporción de la mezcla para cada cemento:

Cuadro 73: Cantidad de material utilizado para 1 m³ de Hormigón empleado en Pavimento Rígido

MATERIAL	UNIDAD	C/ Cemento Fancesa	C/ Cemento El Puente	C/Cemento Coboce
Cemento	Kg	457,5	457,5	457,5
Grava	Kg	995,49	995,49	995,49
Arena	Kg	785,13	811,38	790,66

Fuente: Elaboración Propia

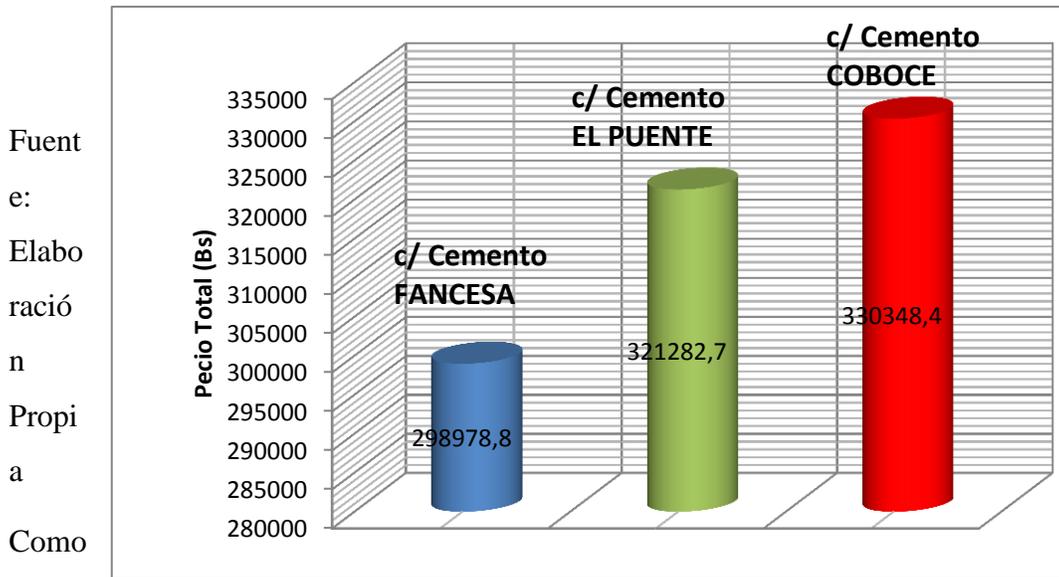
se realizara la pavimentación de hormigón macizo, esto quiere decir sin armadura y despreciando el espacio que puede ocupar las juntas longitudinales y transversales en el pavimento, por ejemplo de 500 m de longitud, losas de espesor de 15 cm y un ancho de calzada de 7 m, la cual haciendo cálculos de Volumen de hormigón necesarios para cumplir ese tendido nos da como 525 m³ de hormigón, en la que estos volúmenes de obra se reflejara en que proporción de precios corresponderá a cada componente del hormigón, la cual esta reflejado en el siguiente cuadro

Cuadro 74: Precio Total de Materiales para ½ Km. De Pavimento rígido macizo

MATERIAL	UNIDAD	CON CEMENTO FANCESA	CON CEMENTO EL PUENTE	CON CEMENTO COBOCE
CEMENTO	Bs	257000	278617.5	288225
GRAVA	Bs	21451.3	21451.3	21451.3
ARENA	Bs	20527.5	21213.9	20672.1
TOTAL	Bs	298978,8	321282,7	330348,4

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 14: Costo Total para la Elaboración de 500 m de Pavimento Rígido macizo con distintos cementos Bolivianos



Como se ve

claramente se puede apreciar la diferencia gigantesca que hay entre precio total del hormigón para satisfacer el volumen de obra requerido, ya que al ser el cemento como el material más caro entre todos los componentes del hormigón, se ve reflejada al realizar obras de mucha magnitud y volumen, la cual nos da entender que el cemento Fancesa es el más económico de los demás cementos y que estas también repercuten en la cantidad de agregados que son menores que las demás, haciendo que optemos por este cemento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones y Recomendaciones

Al igual que en el análisis de resultados e interpretación de gráficos, cumpliendo satisfactoriamente los objetivos tanto general como el específico se pudo garantizar resultados satisfactorios acordes a la investigación de nuestro tema en estudio, en donde luego de elaborar cuadros, grafica, esquemas y figuras se logró las siguientes conclusiones:

- ✓ El cemento óptimo en nuestra investigación es el cemento Fancesa ya que obtiene los mejores resultados en las propiedades mecánicas del hormigón como también en el costo del cemento ya que este cemento es el más barato, en la cual cuando se trabaja en pavimento rígido, el cemento como material del hormigón es el componente más costoso en la obra, por lo cual hace que sin lugar dudas opte por este cemento dando resultados a compresión de 367,35 kg/cm² y de flexión de 50,21 kg/cm², siendo estos valores superiores a las resistencias de los demás cementos, debido a que su mezcla de concreto fresco se encontraba con menor asentamiento por el cono de Abrams y que a la vez poseía una menor relación agua/cemento, ya habiendo realizado el análisis se comprobó que repercute la cantidad de agua necesaria que se va utilizar, ya que mientras menos agua tenga la mezcla tendrá menor trabajabilidad, pero una mejor resistencia.
- ✓ Como se habló del mejor cemento también se mencionó que el cemento COBOCE es el que menos resultados dio, ya que tanto como en la resistencia y precio no se recomendaría para nuestro medio utilizar este cemento o tal vez para la estructura que estamos aplicando a nuestra investigación, en ambas resistencias la de este cemento fue la menor valor dando como resultados a compresión de 334,82 kg/cm², además incumpliendo la resistencia mínima requerida a compresión para esa estructura de 350 kg/cm², y la de flexión de 41,98 kg/cm². Ambas fueron la menor de los demás cementos y costo, fue la más antieconómica debido a que la bolsa de su cemento es de 60 Bs a comparación la de fancesa que es 54 bs, donde nos indica que al aplicarlo en volúmenes de concreto considerables estos valores se disparan considerablemente.

- ✓ El cemento El Puente fue el intermedio de los otros dos cementos donde dio valores satisfactorios tanto en resistencia a compresión que apenas pudo superar el mínimo de lo especificado que fue de 352,66 kg/cm² y de flexión 48,1 kg/cm², como al igual del precio este es el intermedio del análisis de costos descrito en el capítulo 4, que también cumplió las condiciones de trabajabilidad y consistencia de la mezcla de concreto.
- ✓ También se realizó las comparaciones de las propiedades físicas y químicas de los cementos en estudio, la cual mostro siempre en todas las propiedades un mismo orden desde Cemento FANCESA, luego Cemento EL PUENTE y Cemento COBOCE, ya sea está menor o mayor, por ejemplo en la propiedad de finura el cemento fancesa su módulo de finura fue menor que la de Coboce de , en la que esta propiedad como se indica la teoría influye en la resistencia del hormigón, que indica que a menor finura esta tendrá a endurecer más rápido dependiendo las condiciones ambientales, como también del peso específico que fue de fancesa 2,94 kg/cm² y la de El Puente 3,14 kg/cm² en la que esta propiedad influye en la cantidad de volúmenes de material que va entrar en obra, la cantidad de agua como se mencionó en la parte teórica es de suma importancia en la consistencia y trabajabilidad del concreto ya que en este punto habrá que ser muy cuidado ya que el exceso de agua varia en la resistencia del hormigón donde indica que a más agua esta tendrá menor resistencia, esta valor del agua viene dada por la relación agua/cemento.
- ✓ Se realizó gráficas y esquemas de comparación en que influyen cada propiedad en las resistencias tanto a flexión como a compresión y trabajabilidad a partir de su asentamiento y consistencia de la mezcla, en la cual todas, sabiendo que la resistencia más altas eran por parte del cemento FANCESA, nos dio como parámetro sus valores de cada propiedad, cabe recalcar que las propiedades de los cementos se hicieron solamente 4 (Tiempo de Fraguado, Consistencia Normal, Modulo de Finura y Peso Específico) ya que no se cuenta con más equipos para los demás ensayos, entonces por lo cual se caracterizó esas propiedades de cada cemento, dando como parámetro los mejores valores de cada propiedad al del cemento FANCESA en comparación a los demás.

- ✓ También se realizó un análisis económico en cuanto a los precios del mercado actualizados de todos los materiales que componen en la mezcla de hormigón para un pavimentado de 500m. Donde según a mi persona se gasta en enormes cantidades de capital en el material del cemento ya que estos eran muy elevados a comparación de los agregados, se distinguió el más barato el Cemento FANCESA debido a su precio y el de COBOCE como el más antieconómico para usarlos en obras grandes.
- ✓ Se respetó todas las especificaciones descritas en la parte teórica, tanto de los materiales a usar en la elaboración de la mezcla como propiamente dicho del concreto hidráulico sobre pavimento rígido, también se respetó los parámetros de resistencia y trabajabilidad con la que se utiliza en el pavimento rígido.
- ✓ Como se indicó en el objetivo y planteamiento de la investigación se mantuvo constante los agregados que no influyeron en las mezclas de estudio del hormigón ya que eran los mismos agregados para los tres diferentes cementos ósea de material chancado que por ser angulosas son los más apropiados para resistir altos esfuerzos a comparación con los agregados naturales.
- ✓ Con esta investigación se verá de alguna forma, como poder parar la incertidumbre en la aplicación de otros cementos que no son de la región en las obras, haciendo a conocer el rendimiento que tienen los cementos de Bolivia en las propiedades del Hormigón.
- ✓ Se recomienda si se quiere evitar el uso de aditivos en la mezcla para ser empleado en el pavimento rígido se tendrá que necesariamente tener una buena supervisión en donde se supervisara que cumpla todas las especificaciones pertinentes de los componentes del hormigón, y se recomienda tener limpios y lavados los agregados antes de vaciar a la mezcla para tener aún mejor resultados, como también la opción de vibrar mecánicamente que también ayuda la resistencia.
- ✓ Se pudo cumplir el objetivo donde obtuvimos las influencias de cada cemento que existe en Bolivia en las propiedades del hormigón que son la resistencia a flexión y compresión, claves en la elaboración de pavimento rígido, como también determinando el cemento más eficiente en función a los resultados obtenidos.