

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

La duración y etapa de vida de una losa de hormigón en el pavimento rígido es una preocupación persistente actualmente en la ingeniería dado su constante requerimiento en la construcción; es por eso que el hombre se encuentra en constante investigación en la búsqueda del perfeccionamiento de sus propiedades, en tal sentido, la finalidad del presente proyecto es determinar los efectos de la incorporación de cascarilla de huevo pulverizada sustituyendo un porcentaje de cemento en pavimentos rígidos, tomando como referencia cargas vehiculares de tipo liviano.

En los últimos años han permitido realizar investigaciones sobre los efectos de la cascarilla de huevo pulverizada en la elaboración de losas de hormigón, dicho material se obtiene de la cascara de huevo; pues ya que, esta no tiene un buen uso, es desechado en restaurantes, panaderías, domicilios, etc.

Frente a esta realidad existen estudios a nivel internacional que conllevan a su aplicación como es el caso de Perú, donde muestra que la adición de cáscaras de huevo triturada en 1,50%; 3% y 5% a la muestra se ve que con 1,50% presenta un mayor nivel de resistencia. (Patrick Meza, 2019), de esta manera también, con la sustitución de cemento en 2%; 15% y 20% donde mediante la aplicación de los diversos ensayos se aprecia que la resistencia en cuanto a la compresión del concreto presenta un mayor nivel que el concreto convencional, con el 2% de esta manera se presenta la cáscara de huevo como un aditivo para la resistencia. (Castro David, 2019).

El desarrollo experimental comprenderá la elaboración de hormigones incorporando diferentes porcentajes de cascarilla de huevo (0,50%; 1% y 5% en peso de cascarilla de huevo pulverizada) sustituyendo una cantidad de cemento, los cuales serán ensayados y analizados en estado sumergido, de tal manera se pueda determinar mejor resistencia a flexión de las losas de hormigón en termino ventajoso.

Es por ello que se emplea el estudio del análisis de los efectos de la cascarilla de huevo pulverizado en las losas de hormigón, aplicado a carreteras de tráfico vehicular liviano, obteniendo el resultado más óptimo.

1.2. Situación problemática.

Las losas de hormigón, en la construcción de pavimentos rígidos son elementos estructurales cuya función es transportar cargas debidas al tránsito vehicular. Estas cargas a flexo-tracción producen esfuerzos que deben ser calculados para seleccionar el material y las dimensiones más apropiadas para la estructura, en los últimos años en nuestra localidad se atraviesa con una baja durabilidad y ciclo de vida de las obras civiles, debido que pretenden economizar en materiales, por lo cual se realiza este proyecto, buscando mejorar la resistencia del concreto en las losas de hormigón.

La cascarilla de huevo es un material que se desperdicia siendo que este es comercializado en otros países de distintas formas, pueden ser como artesanías o en polvo como calcio, es por eso que se realizaron distintas investigaciones y estudios donde se pudo observar un aporte en la resistencia de pavimentos rígidos usado sustituyendo una cantidad de porcentaje del cemento, en el sentido de obtener resultados satisfactorios en el pavimento durante la elaboración del trabajo.

Si el porcentaje a incorporar de cascarilla de huevo pulverizada en la losa de hormigón de pavimento rígido no es el adecuado, es decir cuando se añade en porcentajes altos en polvo de cascarilla de huevo, entonces, el efecto será negativo en la resistencia y durabilidad. Causando una mala calidad del concreto y a su vez tener un gasto económico sin fundamento.

Es recomendable analizar a detalle, los efectos de la cascarilla de huevo pulverizada en las losas de hormigón sustituyendo así un porcentaje de cemento adecuado. Buscando comprobar la resistencia a flexo-tracción y trabajabilidad de las obras civiles que pueden ser mayores o iguales al de uno convencional.

1.2.1. Problema.

¿Cómo afecta la cascarilla de huevo pulverizada en las losas de hormigón al sustituir un porcentaje de cemento, en carreteras de tráfico vehicular livianos?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.

En este trabajo se realiza por la acumulación y desecho de cascara de huevo tanto en locales y domicilios, los cuales son desechados y con diferentes estudios se pudo observar que son beneficiosos por su cantidad de calcio existente, por otro lado, se tiene que el pavimento rígido posee una resistencia baja lo cual produce fallas en el concreto.

El consumo de huevo es bastante común en la vida diaria y genera una excesiva demanda de estos, por lo que el desecho de sus residuos es un desperdicio que podría recolectarse para darle un mejor uso ya que este es beneficioso en el suelo por su cantidad de calcio y que casi toda la población lo desecha como si fuese un desperdicio generando grandes cantidades que son desaprovechados. Por otro lado, se observa que el concreto hidráulico es un material utilizado para la pavimentación, aunque por su baja resistencia puede presentar fallas reflejadas en grietas que reducen la vida útil del pavimento.

Por lo cual el análisis del pavimento modificado mediante incorporación de cascarilla de huevo pulverizada reemplazando un porcentaje de cemento es una buena alternativa, por lo que obtendrá una opción más para el correcto manejo de los desperdicios de cascarilla de huevo y a su vez un material que, mediante su incorporación, obtendrá una mejora en las propiedades mecánicas. Dicha mejora se da por la interacción entre la cascara de huevo pulverizada y la puzolana del cemento, la cual contribuye a la formación positiva aumentando su rendimiento y trabajabilidad.

El proyecto es factible puesto que en los laboratorios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se tiene todo el equipo necesario para realizar los diferentes ensayos a los materiales y posterior determinación de resistencias con diferentes porcentajes de cascarilla de huevo pulverizada aplicados a vigas de hormigón. El material que incorporamos, la cascarilla pulverizada es de fácil recolección tanto en domicilios como locales y panaderías que utilizan grandes cantidades de este material.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.

El presente proyecto será válido hasta encontrar el porcentaje más óptimo de cascarilla de huevo pulverizada que pueda mejorar las características del hormigón, para dicha investigación, se toma como característica principal la resistencia a flexo-tracción, puesto que será aplicada a pavimentos rígidos.

El proyecto se realizó en los laboratorios de resistencia de los materiales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, realizando los diferentes ensayos de caracterización de materiales y rotura de vigas.

1.3. Justificación.

Actualmente en Bolivia es necesario tener obras viales de mejor calidad, resistencia y trabajabilidad, con buenas características, debido principalmente al considerable aumento del parque automotor y por ende del tráfico urbano.

Otro gran problema que se presenta es el cuidado del medio ambiente, por lo que sería recomendable darle un mejor uso a nuestro material de cascara de huevo y de esta manera poder aprovechar sus beneficios y evitar que la población en general lo deseche, dado que ha sido un gran benefactor en necesidades cotidianas y su fácil recolección lo vuelve un material fácil de aprovechar, encontrándose en gran cantidad en panaderías, restaurantes y domicilios.

El estudio de la incorporación de cascarilla de huevo pulverizada en el hormigón para pavimento rígido ha dado muy buenos resultados en otros países, aunque el mismo puede a su vez tener resultados negativos si, no es adicionado en las cantidades adecuadas, por este motivo es necesario seguir realizando investigaciones para encontrar un porcentaje óptimo de cascara de huevo pulverizada que mejore las propiedades del hormigón en resistencia a flexo-tracción para posteriormente utilizarlo como pavimento rígido.

La finalidad del proyecto fue analizar el efecto de la cascarilla de huevo pulverizada en la resistencia a flexo-tracción elaborando vigas de hormigón, se consideró tres diferentes porcentajes los mismos no superan el 5 % en función al peso de cemento portland ya que se sustituyó este porcentaje del cemento con cascara de huevo y se utilizó en la mezcla

por recomendaciones de investigaciones realizadas en otros países previamente estudiadas.

La incorporación de este material se considera una alternativa sustentable al obtener un hormigón para pavimento rígido con características adecuadas de resistencia, a su vez se da un beneficioso uso ayudando de gran forma a aprovechar los efectos de nuestro material incorporado en losas de hormigón.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar los efectos de la cascarilla de huevo pulverizado en losas de hormigón, sustituyendo un porcentaje de cemento, aplicado a carreteras de tráfico vehicular liviano, logrando establecer parámetros óptimos de resistencia, calidad y costo.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar los agregados a utilizar en el diseño de las muestras de pavimento rígido.
- Realizar la caracterización del cemento Portland.
- Describir las propiedades de la cascarilla de huevo.
- Definir los porcentajes de la cascarilla con los que se trabajará.
- Determinar la resistencia a flexo-tracción en cilindros de hormigón con/sin cascarilla de huevo a sus edades de 14 y 28 días.
- Concretar el porcentaje de cascarilla que obtiene la mejor resistencia.

1.5. Hipótesis.

Si, al sustituir cemento por un porcentaje de cascarilla de huevo pulverizada en la mezcla de hormigón aumentará la resistencia de cargas de vehículos livianos en losas de pavimento rígido.

1.6. Operacionalización de las variables.

Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de la variable independiente.

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Cantidad de cascarilla de huevo pulverizada.	Son porciones porcentuales distintas de cascarilla de huevo añadidas a la mezcla de hormigón	La masa de hormigón	Gramos (gr)	Preparación anticipada de la muestra de hormigón según la Normativa ABC.
		Cascarilla de huevo pulverizada.	Porcentaje (%)	Se ocupó 3 porcentajes de cascarilla de huevo (0,50%; 1% y 5%) calculadas en función al peso total del cemento.
		Mezcla del hormigón con cascarilla de huevo pulverizada.	Gramos (gr)	Se realizará muestras separadas en función a los porcentajes de cascarilla de huevo determinada, por lo menos 10 muestras por porcentaje.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente.

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Resistencia a flexo-tracción.	Referida a la comparación de valores obtenidos de las distintas muestras ensayadas con el parámetro poblacional que indica la normativa en el diseño de losas de hormigón para vehículos livianos.	Elaboración de vigas	Número	Se realizará vigas de hormigón con los porcentajes ya definidos de cascarilla de huevo pulverizada.
		Curado	Datos de expansión por días.	Las muestras se sumergirán en agua durante 28 días.
		Resistencia a flexo-tracción.	KN	Ejecutar la prueba a flexo-tracción en la máquina hidráulica calibrada.
		Resultados y Curvas	Informe final	Proceso de cálculos semejantes.

Fuente: Elaboración propia.

1.6.1. Variable independiente.

La variable independiente es; cantidad de cascara de huevo pulverizada.

1.6.2. Variable dependiente.

La variable dependiente es; la resistencia a flexo-tracción.

1.7. Identificación del tipo de investigación.

El presente proyecto hace referencia al tipo de investigación experimental puesto que se basa en el principio de generar una acción y obtener la reacción, manipulando con criterio la variable independiente, teniendo control sobre la misma y de esta forma obtener efectos en la variable dependiente.

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.

1.8.1. Unidad de estudio.

Para el presente proyecto se definió una unidad de estudio como la resistencia a flexo-tracción en función de los porcentajes de cascarilla.

En la siguiente tabla se observa la determinación de la cantidad de ensayos que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3. Unidad elemental, población y muestra.

Unidad elemental	Población	Muestra
Resistencia a flexo-tracción en función de los porcentajes de cascarilla.	Pavimentos rígidos.	Pavimento de hormigón simple de alta resistencia con juntas.

Fuente: Elaboración propia.

1.8.2. Población.

Para la población del proyecto se tiene al pavimento rígido.

Para la determinación de cantidad de ensayos un total de 85 ensayos de laboratorio los siguientes se presentan:

Tabla 4. Tamaño de población para ensayos de laboratorio.

Estrato	Ensayo	Cantidad de ensayos
I	Granulometría de grava	3
II	Granulometría de arena	3
II	Peso específico de la grava	3
IV	Peso específico de la arena	3
V	Desgaste de los ángeles	1
VI	Peso unitario de la grava	3
VII	Peso unitario de la arena	3
VIII	Finura del cemento	3
IX	Peso específico	3
X	Resistencia a flexo-tracción de vigas	60

Fuente: Elaboración propia.

1.8.3. Muestra.

Para la muestra se la obtuvo mediante el método de muestreo estratificado dado que este cumple con las características para nuestro tipo de unidad, nuestra muestra es el pavimento de hormigón simple de alta resistencia con juntas; se tiene también una muestra de determinación de ensayos de laboratorio un total de 65 ensayos los siguientes se presentan:

Tabla 5. Tamaño de muestra para ensayos de laboratorio.

Estrato	Ensayo	Cantidad de ensayos
I	Granulometría de grava	3
II	Granulometría de arena	3
II	Peso específico de la grava	3
IV	Peso específico de la arena	3
V	Desgaste de los ángeles	1
VI	Peso unitario de la grava	3
VII	Peso unitario de la arena	3
VIII	Finura del cemento	3
IX	Peso específico	3
X	Resistencia a flexo-tracción de vigas	40

Fuente: Elaboración propia.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.

Las técnicas de muestreo a usar partieron de un muestreo intencional (no probabilístico), en función a una población finita. Para determinar el tamaño confiable de la muestra se tiene una población definida de la cual se toma una muestra con un nivel de confianza NC=95%, usando la ecuación para medias poblacionales en un muestreo estratificado.

Ecuación para cálculo población finita para ensayos de laboratorio (muestreo estratificado).

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N}}$$

Donde:

n = Muestra para población finita.

N= Población finita 85 ensayos.

Ni= Número de ensayos.

σ^2 = Varianza asumida de 0,15 por el corto tiempo para realizar la investigación.

NC=Nivel de confianza 95%.

Z= Variable estandarizada que para NC de 95% es igual a 1,96.

e = Margen de error deducido en función al nivel de confianza.

$$n = \frac{12,75}{85 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{12,75}{85}} = 65 \text{ ensayos}$$

En las siguientes tablas se presenta la población y el tamaño de la muestra estratificado para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 6. Población y muestra estratificada de ensayos de laboratorio.

Estrato	Ensayo	Ni	s²	Ni s²	fi	ni
I	Granulometría de grava	1	0,15	0,15	0,04	3
II	Granulometría de arena	1	0,15	0,15	0,04	3
II	Peso específico de la grava	3	0,15	0,45	0,03	3
IV	Peso específico de la arena	3	0,15	0,45	0,03	3
V	Desgaste de los ángeles	1	0,15	0,15	0,02	1
VI	Peso unitario de la grava	3	0,15	0,45	0,04	3
VII	Peso unitario de la arena	3	0,15	0,45	0,04	3
VIII	Finura del cemento	3	0,15	0,45	0,02	3
IX	Peso específico	3	0,15	0,45	0,02	3
X	Resistencia a flexo-tracción de vigas	60	0,15	9	0,55	40
	TOTAL	81		12,15	0,82	65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Muestra estratificada.

Fase de la Investigación	Nombre de los ensayos	Cantidad de ensayos
Ensayos de los Agregados	Granulometría de grava	3
	Granulometría de arena	3
	Peso específico de la grava	3
	Peso específico de la arena	3
	Desgaste de los ángeles	1
	Peso unitario de la grava	3
	Peso unitario de la arena	3
Ensayos del cemento Portland	Finura del cemento	3
	Peso específico	3
Pruebas de Resistencia encontrando valores óptimos para los porcentajes de cascara de huevo pulverizada.	Resistencia a flexo-tracción de vigas	40
	TOTAL	65

Fuente: Elaboración propia.

De donde se tiene ya calculada la muestra de ensayos de laboratorio mediante un muestreo probabilístico obteniendo una muestra estratificada de 65 ensayos de laboratorio.

1.9. Métodos y técnicas empleadas.

Se presentan los siguientes métodos y técnicas a continuación:

1.9.1. Métodos.

Para la elaboración de este trabajo de investigación se adoptó el método empírico, en el cual se encuentra el experimento en nuestro proyecto.

1.9.1.1. Experimental.

Se utilizó el método experimental porque se realizaron observaciones y mediciones de prácticas experimentales de laboratorio, para determinar la resistencia a flexo-tracción del hormigón, obtenidos de la fabricación de vigas, que serán sometidos a cargas puntuales, a través del equipo “prensa hidráulica” el cual nos determina la carga que logra resistir estas muestras.

1.9.2. Técnicas.

Las técnicas usadas en este trabajo refieren a una investigación de campo los cuales son:

1.9.2.1. Recolección de datos.

Consiguiente a la realización de cualquier ensayo se procederá a recolectar toda la información necesaria para la obtención de porcentajes de cascará de huevo pulverizada en función a estudios ya realizados en otros países para obtener una dosificación eficiente y óptima.

1.9.2.2. Ensayos.

Se realizó ensayos de caracterización de los materiales para la elaboración de vigas modelo, con adición de cascará de huevo pulverizada, posteriormente determinar los ensayos de resistencia a flexo-tracción en las mismas.

1.9.2.3. Procesamiento de datos y validación.

Los resultados obtenidos de las diferentes dosificaciones serán analizados y procesados estadísticamente en el capítulo 4 del presente trabajo.

1.9.2.4. Tabulación.

Se realizará una recopilación de los valores obtenidos, se los ordenará y presentará en tablas resumen de resultados.

1.9.2.5. Análisis de resultados.

Se realizará un análisis entre los datos obtenidos de las diferentes dosificaciones de hormigón para pavimento rígido, de esta forma establecer un porcentaje óptimo de adición de cascará de huevo pulverizada.

1.10. Procesamiento de la información.

Se realizaron los siguientes pasos:

1. Revisión crítica y definida de la información recolectada.
2. Tabulación de datos de acuerdo a la hipótesis y sus variables.
3. Representación numérica y grafica de los resultados.
4. Realizar la confiabilidad de los resultados a través de métodos estadísticos.
5. Analizar e interpretar los resultados obtenidos haciendo referencia a los objetivos y la hipótesis.

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

1.11. Alcance de la investigación.

En el presente proyecto se utilizó agregados recolectados de la chancadora ubicada en Charajas, en la ciudad de Tarija- Bolivia. De esta manera se recolectó agregado grueso y agregado fino de este lugar.

Se trabajó con cemento IP 40 queriendo obtener una resistencia a flexo-tracción de 42 Kg/cm².

Se realiza un análisis de los efectos que produce la cascarilla de huevo pulverizada sustituyendo una cantidad de cemento en 6 porcentajes diferentes (0%; 1%; 2%; 3%; 4% y 5%), con el objetivo de poder definir 3 porcentajes entre el más y menos resistente para estudiarlo a flexo-tracción y obtener una resistencia optima.

Se toma 3 porcentajes para la sustitución cascarilla- cemento (0,50%;1% y 5%), de acuerdo a los valores más y menos óptimos en probetas, queriendo lograr de esta manera en la mezcla de hormigón una resistencia a flexo- tracción y comparando con un hormigón patrón, para obtener sus características físicas, mecánicas y técnicas con el fin de identificar las diferencias, ventajas y desventajas que causa la adición de cascarilla en la resistencia y trabajabilidad, se hará un análisis estadístico y económico para la factibilidad de la incorporación de cascarilla en losas de pavimentos hidráulicos.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.1. Pavimento.

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito para el cual fue diseñado.
- Ser resistente ante los agentes del intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.

- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.2. Clasificación del pavimento.

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en:

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos semirrígidos o semiflexibles
- Pavimentos rígidos
- Pavimentos articulados

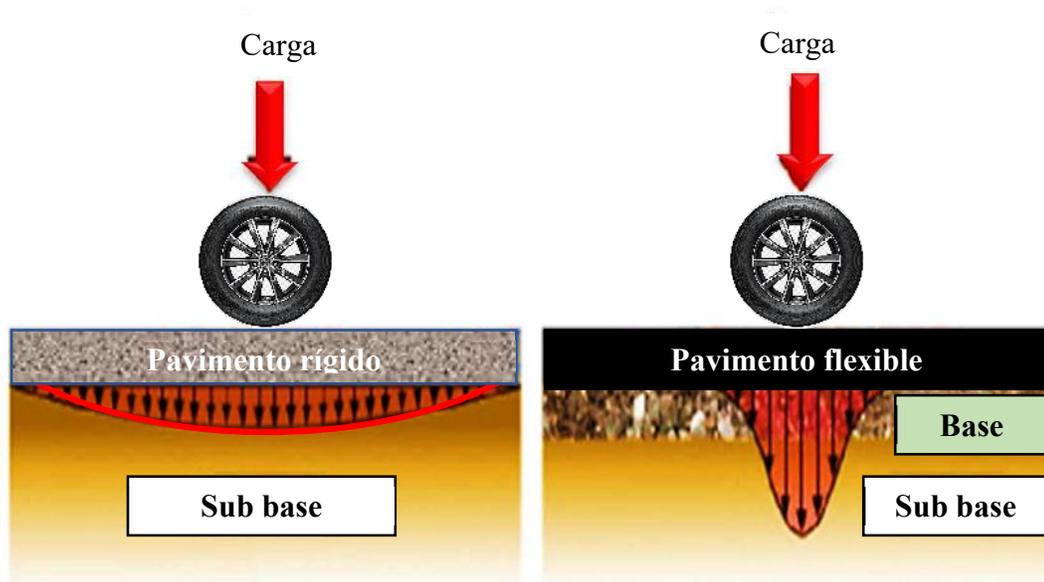
2.2.1. Pavimentos rígidos.

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Montejo Fonseca, 2002).

La carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto, que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares.

Debido a la naturaleza rígida de la carpeta de rodadura, las cargas vehiculares se distribuyen en una forma más eficiente. Por ello, por lo general, requieren en su estructura de un menor número de capas granulares entre la carpeta de rodadura y la subrasante. (Becerra Salas, 2012).

Ilustración 1. Diferencias entre pavimento rígido y flexible.



Fuente: Análisis comparativo de los métodos de suelo pavimento duro (hormigón) por flexible (asfalto), revista científica multidisciplinaria.

2.3. Clasificación de los pavimentos de concreto.

Existen cuatro tipos de pavimentos de concreto utilizados en vías, los cuales se diferencian principalmente por la forma en que se distribuyen las juntas sobre la carpeta de rodadura los cuales son:

- Pavimento de concreto simple con juntas (JPCP)
- Pavimento de concreto armado con barras transversales (JRCP)
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados (CRCP)
- Pavimentos de concreto con losas cortas (Optipave)

2.3.1. Pavimento de concreto simple con juntas (JPCP).

Se le conoce como JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement, por sus siglas en inglés). En este tipo de pavimentos se requieren realizar juntas de contracción transversal que, en teoría, están espaciadas entre 3,50 y 6m. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores. Las

juntas inducen el agrietamiento, propio del comportamiento del concreto, por las tensiones originadas debido a los cambios de temperatura y humedad que experimenta la carpeta de rodadura. Aunque la teoría indica que se pueden alcanzar espaciamientos de 6 m, por la experiencia recogida en numerosos proyectos viales, se recomienda no superar los 4,50 m de espaciamiento entre paños.

Ilustración 2. Esquema de pavimento de concreto simple con juntas.

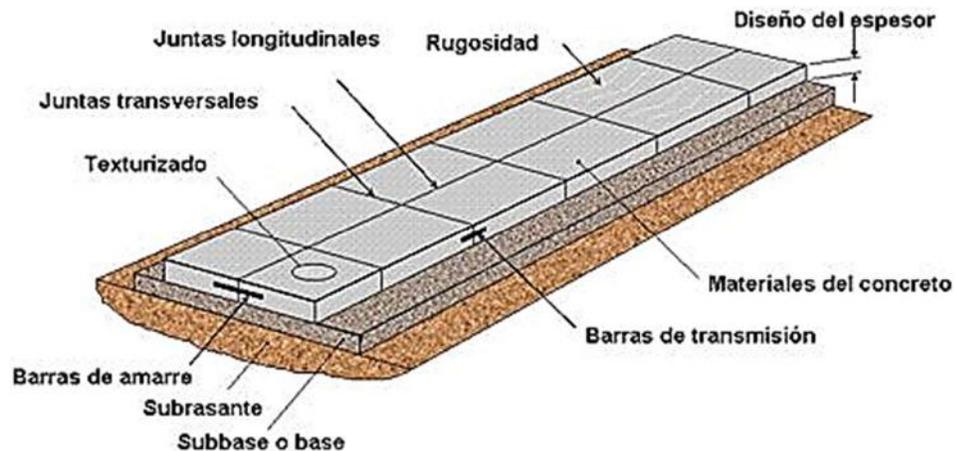


Fuente: Tópicos de pavimentos de concreto 2012 – LB 001.

2.3.2. Capas del pavimento rígido.

Entre las capas que posee el pavimento rígido podemos citar a la losa de concreto, la sub base y la sub rasante.

Ilustración 3. Capas de un pavimento rígido.



Fuente: Pavimentos de Ing. Claudio Giordani y Ing. Diego Leone, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario.

2.3.2.1. Losa de concreto.

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

Constituye la parte fundamental del pavimento rígido debido a la rigidez que presenta la losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde un punto de vista teórico apoyarse sobre una explanada u capa elevada capacidad de soporte. Las losas deben estar diseñadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los efectos ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

2.3.2.2. Capa subbase.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

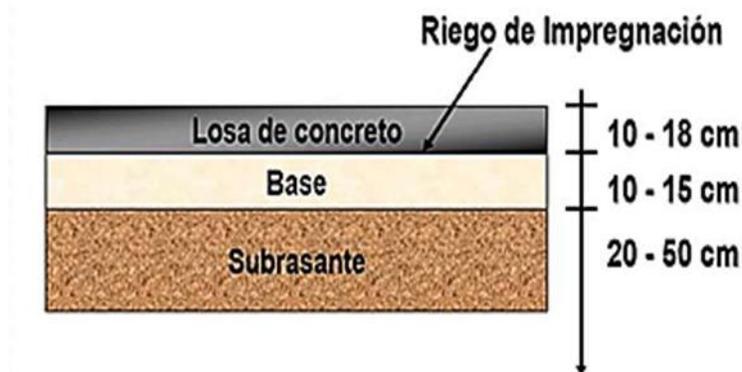
La función más importante de esta capa es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo la fluencia del material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

2.3.2.3. Capa subrasante.

Es la capa de terreno o suelo natural donde se encuentra el pavimento. El propósito es darle al pavimento la estabilidad requerida. El diseño del pavimento comienza con la subrasante, puesto que es el soporte de toda la estructura del pavimento.

Esta capa puede estar conformada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

Ilustración 4. Capas del pavimento rígido y espesores comúnmente usados.



Fuente: Pavimentos de Ing. Claudio Giordani y Ing. Diego Leone, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario.

2.3.3. Cargas en el pavimento rígido.

- **Carga concentrada.** - Son cargas que se ejercen sobre una pequeña superficie (como un estante). Se requiere la carga significativa más grande. La separación entre los pilares es el espacio del pasillo, la superficie de fricción y la posición de la carga en relación a la junta.
- **Carga distribuida.** - Se asocia a mercancías apiladas en naves industriales. El diseño respectivo requiere la máxima resistencia de carga, tamaño del área, ancho del pasillo y posición de la junta horizontal.
- **Cargas lineales.** - Son cargas distribuidas en áreas estrechas (como paredes).

2.3.4. Esfuerzos en el pavimento rígido.

Los esfuerzos de toda índole que teóricamente pueden presentarse al estar expuestas a cargas, temperaturas, reacciones durante el proceso de fraguado y el comportamiento del refuerzo que lleva inmerso. (Sánchez, 2014).

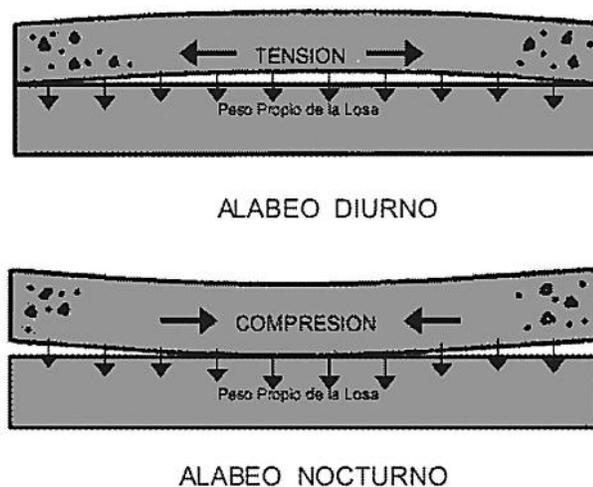
Algunos factores que causan estrés en pavimentos rígidos:

- Variación de temperatura
- Variación de humedad.
- Transporte de carga.
- Otros (bombeo, cambios en el volumen del soporte)

2.3.4.1. Cambios de temperatura.

A medida que cambia la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura de la acera. Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa. Los degradados pueden hacer que la losa se deforme. El peso propio de la losa en sí y el contacto con la superficie de apoyo restringirán su movimiento y generarán fuerza. En función de la hora del día, dichos esfuerzos consiguen aumentar o disminuir en el impacto de la carga de tráfico.

Ilustración 5. Alabeo de la losa de pavimento rígido.



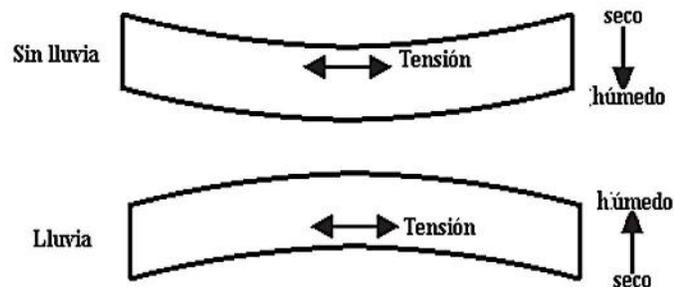
Fuente: Sánchez, F. Esfuerzos en pavimentos rígidos.

2.3.4.2. Cambios por humedad.

Este fenómeno de mojado y mojado y secado del hormigón es similar al fenómeno que ocurre cuando se produce un gradiente térmico.

La contracción o elongación causada por cambios de humedad es menor que la contracción o elongación causada por gradientes térmicos y debe tenerse en consideración al computar las variaciones dimensionales. El gradiente de humedad en el grosor puede causar alabeos (deformaciones) en la superficie del miembro de hormigón, lo que afecta el comportamiento de los bloques colocados en esa superficie.

Ilustración 6. Alabeo causado por cambios de humedad.



Fuente: Becker, E. Esfuerzos en pavimentos rígidos.

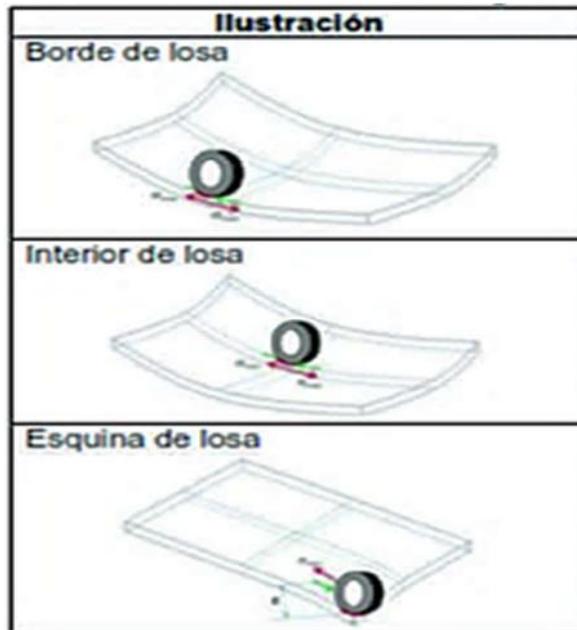
2.3.4.3. Cargas de tránsito.

Las losas de concreto hidráulico al estar expuestas a cargas de tránsito presentan los siguientes esfuerzos:

- Fricción provocada a causa de neumáticos de vehículos.
- Esfuerzo de compresión directo y esfuerzo cortante causado por la carga de la rueda.
- La presión y tensión provocadas por la flexión de la losa bajo la cara de la rueda.
- Debido al gran impacto de la carga en la estructura, el efecto más importante causado por la carga es la flexión.

A continuación, tras estudiar la tensión provocada por el impacto de la carga de la rueda sobre el pavimento de hormigón, el DR. H. M. Westergaard obtuvo el punto crítico de la posición de la carga.

Ilustración 7. Puntos críticos de localización de las cargas.



Fuente: Sánchez, F. Esfuerzos en pavimentos rígidos.

Según el manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito las variables con las que se realizaron los diferentes diseños se indican en la tabla que se presenta a continuación. En la tabla la abreviatura EALS se refiere a la abreviatura de Equivalent Axle Loas System o, el número de cargas ejercidas por ejes equivalentes de 8,200 toneladas en el periodo de diseño.

Tabla 8. Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento.

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	T0 (EALS <1X10 ⁶)	D y B (Dovelas y bermas)	SN (Subrasante)	MR1=38 Mpa
S2 (2<CBR<5)	T1 (1X10 ⁶ <EALS <1.5X10 ⁶)	D y No B (Dovelas y no bermas)	BG (15 cm BG)	MR2=40 Mpa
S3 (5<CBR<10)	T2 (1.5X10 ⁶ < EALS <5X10 ⁶)	No D y B (No dovelas y bermas)	BEC (15 cm BEC)	MR3=42 Mpa
S4 (10<CBR<20)	T3 (5X10 ⁶ <EALS <9X10 ⁶)	No D y No B (No dovelas y no bermas)		MR4=45 Mpa
S5(CBR>20)	T4 (9X10 ⁶ <EALS <17X10 ⁶)			
	T5 (17X10 ⁶ <EALS <25X10 ⁶)			
	T6 (25X10 ⁶ <EALS <100X10 ⁶)			

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Donde:

S_i = Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5

T_i = Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6

SN = Suelo natural o subrasante

BG = Base granular

BEC = Base estabilizada con cemento

CBR = Relación de soporte de california

E'SAL = Ejes equivalentes definidos con el procedimiento "Equivalent Axels Load System"

2.3.5. Propiedades estructurales.

Existen 3 propiedades estructurales en el pavimento rígido de las cuales se toma con mayor relevancia al módulo de rotura puesto que el mismo nos ayuda a determinar la resistencia a flexión del pavimento rígido.

- Módulo de reacción de la subrasante (k)
- Módulo elástico del concreto
- Módulo de rotura del concreto (M_r)

2.3.5.1. Resistencia a flexión módulo de rotura del hormigón (M_r).

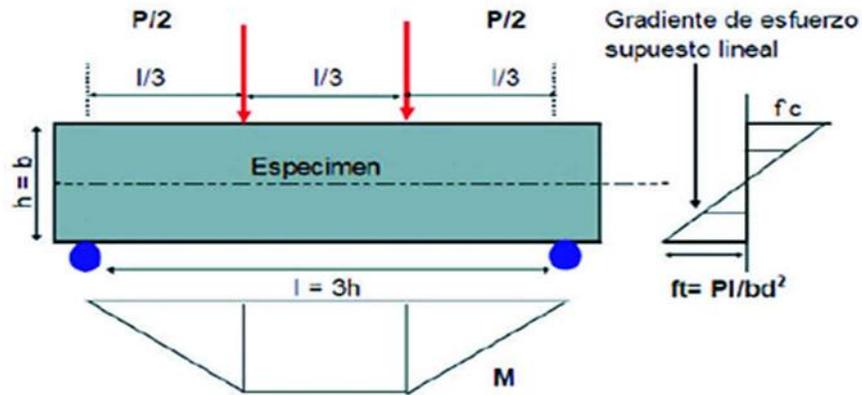
La resistencia a flexión o módulo de ruptura (M_r) es uno de los parámetros más significativos empleados para el diseño de pavimentos y losas industriales. Las diversas metodologías de diseño de pavimentos rígidos se refieren al (M_r) como parámetro principal de diseño. (Salas, 2012)

Para el diseño de carreteras rígidas, es una variable de entrada muy importante porque controlará las grietas por fatiga de la carretera causadas por cargas repetidas de camiones. También se llama resistencia a la flexión del hormigón.

Dado que el pavimento de concreto trabaja principalmente en un estado curvo, este parámetro se introduce en la ecuación AASHTO-93 y el módulo de ruptura (M_r) está estandarizado de acuerdo con ASTM C-78.

Después de 28 días, la viga debe probarse utilizando los dos tercios de la prueba de carga. De esta forma se obtiene una región que experimenta un momento flector constante igual a carga multiplicado la longitud dividida entre tres en el tercio medio, y se producirá la fractura en algún punto del tercio medio, la exclusiva situación es que exista una debilidad allí. Esta prueba se recomienda en comparación con la prueba de carga en el medio, en la que la rotura ocurre inevitablemente en el punto (punto de aplicación de la carga) en el que el momento flector es máximo. (Norma Invias, 2012).

Ilustración 8. Esquema de ensayo ASTM C-78.



Fuente: Normas y especificaciones Invias 2012.

Tabla 9. Resistencias a flexión del hormigón.

Descripción	Resistencia a la flexión (Kg/cm ²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: Normas y especificaciones invias 2012.

El módulo de rotura (Mr) del hormigón se relaciona con el módulo de compresión (F'c) del hormigón mediante la siguiente ecuación:

$$Mr = K * f'c^{1/2}$$

Donde:

Mr = Módulo de ruptura (kg/cm²).

f'c = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

K= 2,10 a 2,70 para resistencias en (kg/cm²) a los 28 días.

2.4. El hormigón.

El hormigón o concreto es un material mezclado con cemento, áridos, agua y aditivos opcionales en cierta proporción, primero muestra una estructura plástica que es moldeable y luego logra una consistencia rígida con propiedades de durabilidad y resistencia, lo que lo convierte en un material apto para la construcción.

El cemento, la arena y el agua integran el mortero cuya finalidad es unir las distintas partículas de agregado grueso completando los vacíos entre ellas. La combinación de estos materiales produce una masa plástica moldeable, pero a medida que el tiempo avanza, más pierde esta propiedad y se convierte cada vez más rígido. (Carvajal, 1998).

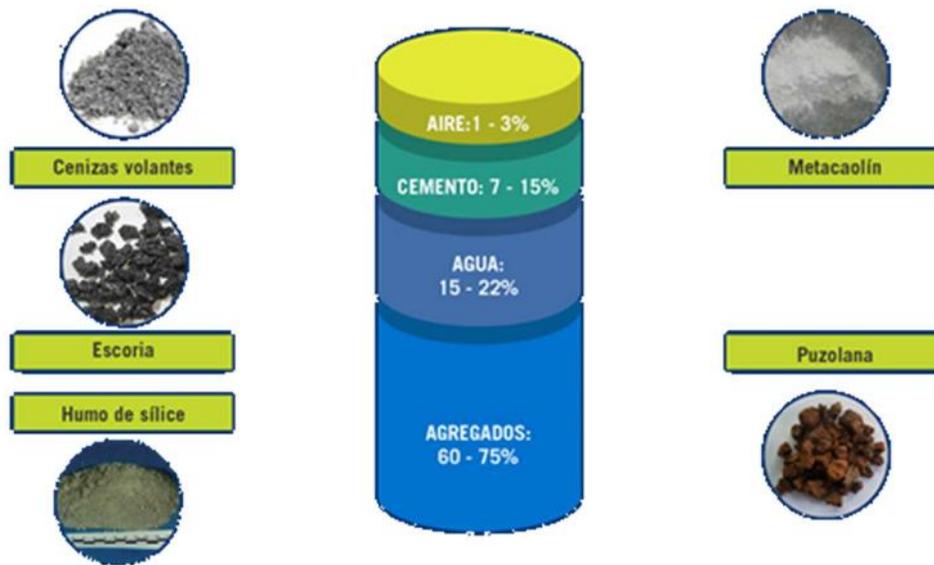
El hormigón o concreto es un material mezclado con cemento, áridos, agua y aditivos opcionales en cierta proporción, primero muestra una estructura plástica que es moldeable y luego logra una consistencia rígida con propiedades de durabilidad y resistencia, lo que lo convierte en un material apto para la construcción.

El cemento, la arena y el agua integran el mortero cuya finalidad es unir las distintas partículas de agregado grueso completando los vacíos entre ellas. La combinación de estos materiales produce una masa plástica moldeable, pero a medida que el tiempo avanza, más pierde esta propiedad y se convierte cada vez más rígido.

La tecnología moderna del hormigón define cuatro componentes para este material: el cemento, el agua, los áridos y los aditivos que son componentes activos, mientras que el aire es un componente pasivo.

Aunque la precisión convencional trata a los aditivos como elementos opcionales, son ingredientes normales en el mundo moderno. Por lo tanto, se ha demostrado científicamente que son convenientes para mejorar las condiciones de procesabilidad, resistencia y durabilidad, de modo que a largo plazo esta es una solución más económica tomando en cuenta la el personal humano y equipos ahorrados en el empleo y compactación, conservación, reparación incluido la reducción del cemento. (Carvajal, 1998).

Ilustración 9. Relación de volumen típica de los materiales del hormigón.



Fuente: Tópicos de tecnología del concreto, Enrique Pasquel.

Al examinar el desempeño del concreto, los ingenieros deben tener en cuenta las limitaciones de aplicar diversas variables que pueden funcionar modificando el hormigón. En este análisis, el ingeniero debe tener en cuenta que el hormigón, como cualquier otro material, cambiará con el tiempo y se tiene que considerar los problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia este de acuerdo a las solicitudes requeridas. (Carvajal, 1998)

Los materiales usados para la realización del hormigón son: el cemento portland, agregado grueso, agregado fino y agua, los cuales según normativa ASTM deben cumplir ciertas características.

2.4.1. Cemento.

Es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación y molienda de calizas, areniscas y arcillas que, mezclado con pequeñas cantidades de yeso, y en presencia de agua endurece con el tiempo.

Existen dos tipos de cementos entre los cuales tenemos:

- Cementos Pórtland
- Cementos Adicionados

2.4.1.1. Composición del cemento portland.

Como ya se ha mencionado, existen cuatro componentes que son los predominantes en el cemento:

- Silicato tricálcico, es el responsable de la resistencia inicial y tiene relación con el calor de hidratación.
- Silicato di cálcico, es el responsable de la resistencia a largo plazo, teniendo menor relación con el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador de la mezcla, y es la razón por la que se requiere la presencia de yeso (3-5%) para el control del fraguado violento. Es el responsable además del comportamiento del cemento a hacia los sulfatos, por lo que hay que limitar su contenido.
- Ferro aluminato tetracálcico, tiene implicancia con la velocidad de hidratación y con el calor de hidratación en menor grado.

2.4.1.2. Hidratación del cemento.

El agua al entrar en contacto con el cemento, desata una serie de reacciones químicas que logran la transformación de una masa plástica a un cuerpo endurecido. Este proceso recibe el nombre de hidratación.

Para valores muy bajos de relación a/c, la hidratación del cemento se detiene por falta de agua para hidratar la totalidad del cemento disponible. Si entregamos agua extra por medio de un curado adecuado, sólo se hidratará el cemento que disponga de espacio para desarrollar los productos, por lo que existen relaciones que por más agua adicional que apliquemos no se producirá la hidratación del cemento.

En general se puede aceptar que la hidratación se realiza para una relación a/c mínima de 0,42.

2.4.1.3. Tipos de cemento y sus aplicaciones.

Existen como ya se ha mencionado Cementos Pórtland y Adicionados.

Los tipos de Cemento Pórtland se rigen bajo la norma ASTM C 150 y son:

- Tipo I, que es de uso general, donde no hay requerimientos especiales.
- Tipo II, de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Al no generar calor abundante pueden ser empleados para vaciados masivos.
- Tipo III, desarrollan rápidamente resistencias, por lo que generan un gran calor de hidratación, por ello son utilizados en climas fríos.
- Tipo IV, de bajo calor de hidratación, inclusive menor que el tipo II, son preferentemente empleados para vaciados masivos.
- Tipo V, Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes agresivos.

Estos cementos pueden ser modificados mediante la adición de sustancias como puzolanas, escoria de alto horno, o filler calizo, recibiendo el nombre de Cementos Adicionados (Carvajal, 1998).

Los cementos adicionados se rigen bajo ASTM C 595, algunos de ellos son:

- Tipo IP, al que se le adicionado entre 15 y 40% del peso total en puzolana.
- Tipo IPM, al que se le ha adicionado hasta 15% de puzolana en peso.
- Tipo IS, al que se le ha adicionado entre 25 y 70% de escoria de alto horno.
- Tipo ISM, al que se le ha adicionado hasta 25% de escoria de alto horno.

En Bolivia se tiene cementos tipo “IP” los cuales son:

- Cemento Ip-30 Líder.
- Cemento Ip-30 Líder Superior.

- Cemento Ip-40 Superior.

2.4.1.3.1. Cemento Ip-40 superior.

Ilustración 10. Bolsa de cemento fancesa IP- 40 superior.



Fuente: www.fancesa.com/producto

Se clasifica por su composición y resistencia como cemento portland con puzolana tipo IP-40, con categoría resistente mínima de 40 MPa a 28 días en mortero normalizado.

Cumple la norma americana ASTM C595, se clasifica como tipo IP – portland puzolana cemento.

Cumple la norma europea EN 197-1, corresponde al cemento CEM II/A-P.

Entre sus características se tiene:

- Altas resistencias iniciales
- Menor tiempo de fraguado
- Hormigones impermeables
- Resistente a ataques químicos
- Buena trabajabilidad

- Hormigones durables
- Moderada reacción expansiva álcali/agregado.

Campo de aplicación recomendado:

- Hormigones estructurales de alta resistencia inicial
- Hormigones para desencofrados rápidos
- Elementos pre y post tensados
- Prefabricados de hormigón
- Hormigones proyectados (Shotcrete).

2.4.2. Agregados.

Se definen como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las 3/4 partes del volumen total y tienen una importancia primordial en el producto final.

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc.

Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente, así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total entre las partículas, de manera que las más pequeñas ocupen los espacios entre las mayores y el conjunto este unido por la pasta de cemento. (Carvajal, 1998).

2.4.2.1. Agregado grueso.

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4,75mm. (Nº4). Dicho agregado deberá proceder fundamentalmente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permite la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

La gradación del material deberá cumplir lo establecido en la norma invias en su ART.500 del capítulo 5, o en la norma ASTM C-33 las cuales se presenta tabla 10. Es recomendable tener en consideración los siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La granulometría seleccionada deberá permitir obtener una máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de las mezclas.
- La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más de 6% del agregado que pasa la malla de 1/4".

Tabla 10. Granulometrías de agregado grueso para pavimentos hormigón.

Tipo de gradación		Tamiz (mm / U.S. Standard)								
		63	50	37	25	19	12,50	9,50	4,75	2,36
		2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No.8
		% PASA								
AG 1	Fracción 1: 2 1/2" a 1"	100	90-100	37-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	Fracción 2: 1 1/2" a No. 4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	-	-
AG 2	Fracción 1: 2" a 3/4"	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	Fracción 2: 1" a No. 4	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
AG 3	Fracción 1: 1 1/2" a No. 4	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5

Fuente: Norma y especificaciones 2012 INVIAS capítulo 5.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados; o
- Un tercio del peralte de las losas; o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de prees fuerzo.

El agregado grueso empleado en concreto para pavimento, o en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas ITINTEC 400.019 o 400.020, o a la Norma ASTM C 131.

El lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materia orgánica, o sólido en suspensión.

2.4.2.2. Agregado fino.

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz ITINTEC 9,50 mm (3/8”).

El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes.

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.

La gradación del material deberá cumplir lo establecido en la norma invias en su ART.500 del capítulo 5, o en la norma ASTM C-33 las cuales se presenta tabla 11. Es recomendable tener en consideración los siguiente.

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler.

- El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- El agregado fino deberá estar libre de materia orgánica.

Tabla 11. Granulometría de agregado fino para pavimentos de hormigón.

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)						
	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100
% PASA							
Única	100	95-100	80-100	50-85	25-60	05-30	2-10

Fuente: Norma y especificaciones 2012 INVIAAS capítulo 5.

El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0,20 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto, siendo recomendable que el valor asumido este entre 2,30 y 3,10.

Si se excede el límite indicado de más o menos 0,20; el agregado podrá ser rechazado por la inspección o, alternativamente, esto podrá autorizar ajustes en las proporciones de la mezcla para compensar las variaciones en la granulometría. Estos ajustes no deberán significar reducciones en el contenido de cemento.

2.4.3. Agua.

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir los requisitos establecidos en el numeral 630.2.3 del artículo 630 y ser de preferencia potable. (Vías, 2012).

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados.

Igualmente está prohibido el empleo de aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali-agregado es posible.

Podrá utilizarse aguas naturales no potables, previa autorización de la inspección, únicamente si:

- Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica, u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo, o elementos embebidos.

Al seleccionar el agua deberá recordarse que aquellas con alta concentración de sales deberán ser evitadas. Ello debido a que puedan afectar el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto y su estabilidad del volumen, sino que, adicionalmente, pueden originar eflorescencias o corrosión del acero de refuerzo.

- La calidad del agua, determinada mediante análisis de laboratorio, cumple con los valores que a continuación se indican; debiendo ser aprobados por la inspección las excepciones a los mismos.

Tabla 12. Limites permisibles máximo del agua

Descripción	Limite permisible
Sólidos en suspensión	5000 o.p.m. máximo
Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 p.p.m. máximo
Sulfato (Ion SO ₄)	600 p.p.m. máximo
Cloruros (Ion Cl)	1000 p.p.m. máximo
Ph	5 a 8

Fuente: NTP .339.088

2.5. Cascarilla de huevo.

El término cascarilla de huevo es empleado para designar a la parte dura externa de un huevo, La estructura material de una cáscara de huevo suele variar según las especies, se puede decir que es una matriz de proteína alineada con cristales minerales. Además, se ha descubierto en varias investigaciones que la cascarilla se la puede utilizar como aditivo y/o sustituyente natural en el concreto, ya que está compuesta por carbonato de calcio, que se encuentra en un 94% de su composición química, de esta manera se puede recomendar una dosis de 5% del peso del cemento como uso de aditivo, sin embargo, esto puede variar

según las condiciones. Ya que los huevos con cáscara más dura están más mineralizados que los de cáscara más débil o frágil.

Una cáscara de huevo de buena calidad contiene aproximadamente 2,20 gramos de calcio en la forma de carbonato de calcio. La calidad de la cáscara del huevo se determina por el color, la forma, y la estructura de la cáscara. Los colores pueden variar de blanco a tonos a marrón y la forma del huevo puede también variar.

Ilustración 11. Cascarilla de huevo.



Fuente: Elaboración propia.

Este material a menudo es desechado, lo cual afecta negativamente al medio ambiente. Son pocos estudios los realizados para estudiar los residuos de la cascarilla de huevo como material puzolánico.

De manera internacional existen empresas productoras de polvo de cascara de huevo que elaboran con diferentes características. Al ser este un componente natural de origen biológico.

2.5.1. Cascarilla pulverizada.

Cada vez se realizan más investigaciones buscando similitudes entre la cascarilla de huevo pulverizada y el cemento con el propósito de evitar la contaminación tanto del cemento como de la cascara de huevo que es desechada. Laura Daniela Ochoa, estudiante de ingeniería civil, de la universidad de La Sabana hizo el proyecto llamado construcción sostenible, que consiste en la fabricación de un mortero con cascara de huevo que tenía como objetivo encontrar un material innovador. Reemplazo el cemento en la mezcla de un mortero ya que el cemento es altamente contaminante. También identifiqué que las propiedades de la cascarilla de huevo concuerdan con las propiedades del cemento, pues

tienen las mismas características en cuanto a calcio, y este es uno de los factores más importantes en cuanto a resistencia.

De esta manera se observa varios estudios a nivel internacional de estudiantes que buscan evitar la contaminación y utilizar materiales desechos con composiciones cercanas a las del cemento ya sea por su cantidad de calcio o el porcentaje de puzolana cercano, utilizado de varias maneras, pudiendo este ser, calcinado, molido y/o triturado.

Ilustración 12. Cascarilla de huevo pulverizada.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1.1. Proceso de recolección y elaboración de la cascarilla pulverizada.

El huevo es un producto utilizado en panaderías, restaurantes y domicilios, en nuestra ciudad pude observar que es muy utilizado en la vida diaria en el departamento de Tarija.

- **Recolección ;** fue de manera fácil y satisfactoria ya que al tener definido el tema de mi proyecto empecé a recolectarlo en mi domicilio, de esta manera cuando estaba cerca a hacer mis prácticas de laboratorio me acerque a varios restaurantes sobre todo de comida chatarra en dos zonas, fueron de mucha ayuda (Estadio IV centenario y parque temático), donde me acerque a los encargados de cada uno de los locales a dejarles una bolsa con el nombre de cascarilla de huevo y pedirles si ellos podían juntar este material para así de esta manera a los dos o tres días volver a recolectar y fue de esta manera que empecé a recolectar la cascarilla de huevo necesitada.
- **Lavado y secado;** una vez recolectado el producto, se procedía a lavar este material tratando de sacar todas las impurezas por dentro y fuera de la cascarilla de huevo y de esta manera poner todas las cascarillas a un costado de la lavandería, todas hacia

abajo para que esta pueda exprimirse y secar con ayuda del sol, y en ese momento tocaba embolsarla y guardarla para que esté lista para poder triturarla.

Ilustración 13. Lavado y secado de la cascarilla de huevo.



Fuente: Elaboración propia.

- Pulverizado de la cascarilla; una vez seca la cascarilla se procedió a guardarlas en bolsas nuevas para que de esta manera estén listas para su triturado y obtener una forma similar a la del cemento en finura, de manera que se procedió a licuar la cascarilla de huevo formando así, la cascarilla pulverizada y también se tamizo este polvo para tratar de que todo este de manera uniforme y evitando pedazos de gran tamaño o magnitud de nuestro producto, que es muy importante en el proyecto.

Ilustración 14. Cascarilla pulverizada.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Ubicación geográfica.

3.1.1. Ubicación en el contexto nacional.

El departamento de Tarija, se encuentra ubicado al sur de Bolivia, limita al Norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con la Republica de Argentina, al Este con la República del Paraguay y al Oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

Ilustración 15. Mapa político del estado plurinacional de Bolivia.



Fuente: www.mapade.org/bolivia.html

3.1.2. Ubicación en el contexto departamental.

La provincia de Cercado, se sitúa al noreste del departamento de Tarija, entre los paralelos de 20°56'; 21°36' de latitud Sur y los 64°05'; 65°13' de longitud Oeste, tiene una extensión de 4861 km².

Ilustración 16. Mapa político del departamento de Tarija.



Fuente: www.bo.reyqui.com/2017/07/provincia-aviles-1843-departamenti-de.html

3.1.3. Ubicación en el contexto regional.

El proyecto estudiado se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija en el campus universitario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en el laboratorio de hormigón y resistencia de materiales.

Ilustración 17. Mapa de la provincia Cercado.

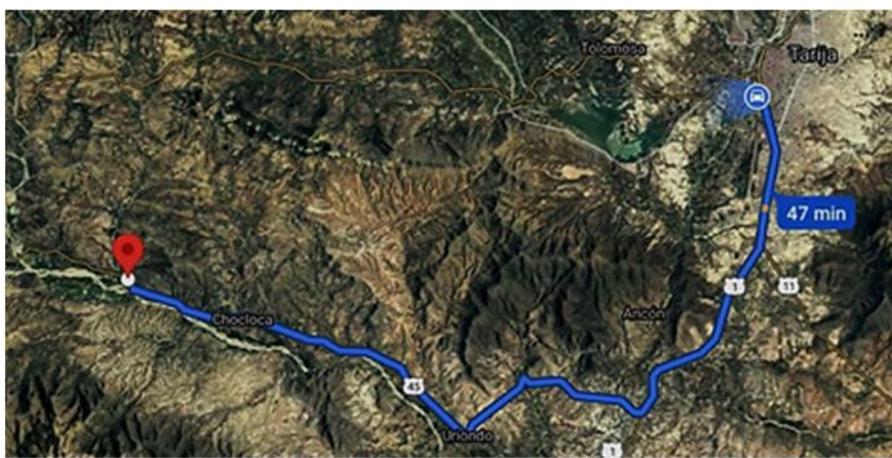


Fuente: www.educa.com.geografia/provincia-cercado-tarija-mapa

3.1.4. Ubicación del banco de materiales.

Los áridos se extrajeron del banco de materiales de Charajas. La misma se encuentra ubicado camino a la carretera a Chaguaya a 41km. del centro de la ciudad de Tarija. De este banco de materiales se extrajo grava y arena chancada o triturada para la realización del presente proyecto.

Ilustración 18. Ruta de camino al banco de materiales Charajas.



Fuente: www.GoogleEarth.jpg.

Ilustración 19. Chancadora de áridos Charajas.



Fuente: www.GoogleEarth.jpg.

3.2. Materiales usados.

3.2.1. Muestreo de agregados.

Para la extracción de los agregados se lo realizó mediante método convencional con la ayuda de una pala, realizando la extracción de la parte superior, medio e inferior del banco de material, esto con la finalidad que la muestra sea lo más homogénea posible.

La muestra se fue recolectando en bolsas de nailon de harina, posteriormente se las cargo a un vehículo tipo camioneta para trasladar las mismas hasta el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Ilustración 20. Extracción de agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21. Extracción de agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Lavado de material.

Una vez obtenido el material se procede a la limpieza del mismo esto con ayuda de un nailon sobre la camioneta con la que se recolectó el agregado, sacando todo el material e impurezas que pueda tener el mismo y todas las partículas de polvo o arcilla. Pasado esto el material fue extendido en un nailon sobre la parte trasera de la camioneta para su secado y posterior colocado en bolsas para ser llevadas a laboratorio y realizar los ensayos correspondientes.

Ilustración 22. Limpieza y lavado del material.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 23. Proceso de extendido del material para su secado.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Cascarilla de huevo pulverizada.

Las cascaras usadas en el proyecto fueron adquiridas en mi domicilio y en locales de comida chatarra en las zonas del estadio IV Centenario y parque temático. Las mismas fueron molidas por mi persona con ayuda de una licuadora teniendo en cuenta sobre todo la limpieza de la cascara y de la licuadora antes y después de moler nuestro material.

Ilustración 24. Molido de la cascarilla de huevo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 25. Tamizado del material listo para utilizar.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Ensayos de laboratorio.

3.3.1. Ensayo de granulometría agregado grueso y fino.

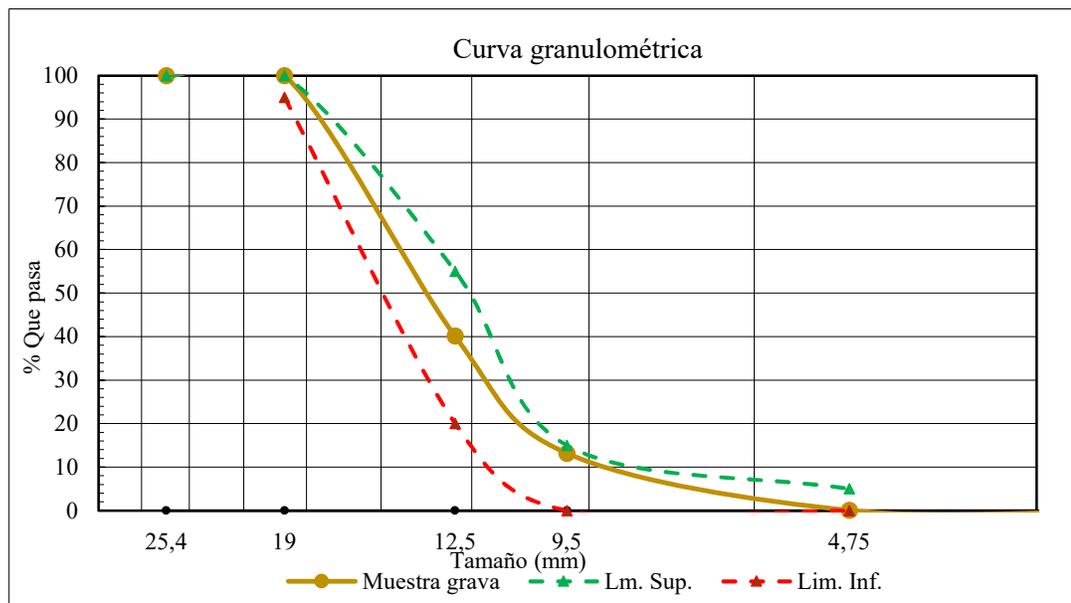
3.3.1.1. Granulometría agregado grueso.

Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Análisis granulométrico										
Tamices		Grava 3/4"							Especificaciones	
		MT=5000 gr								
(pulg)	(mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Prom. Ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% Ret.	% que pasa	Lim. Inf.	Lim. Sup.
1"	25,40	0	0	0	0	0	0	100,00		100
3/4"	19	0	0	0	0	0	0	100,00	95	100
1/2"	12,50	2998,80	2980,80	3002,50	2994,03	2994,03	59,88	40,12	20	55
3/8"	9,50	1339,20	1382,80	1323,60	1348,53	4342,57	86,85	13,15	0	15
Nº4	4,75	657,80	632,20	670,80	653,60	4996,17	99,92	0,08	0	5
Nº8	2,36	4,10	3,80	2,50	3,47	4999,63	99,99	0,01	-	-
Base		0	0	0	0	4999,63	99,99	0,01	-	-
Perdida		0,10	0,40	0,60	-	-	-	-	-	-
Módulo de finura					-	-	3,47	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26. Cuarteo y pesado del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 27. Tamizado y pesado del retenido por tamiz.



Fuente: Elaboración propia.

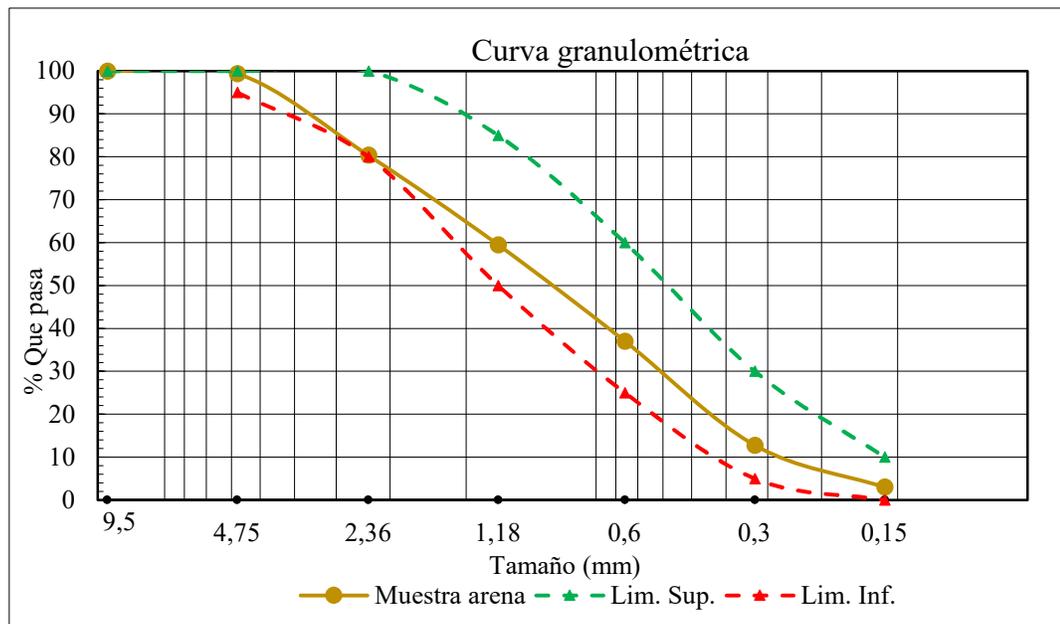
3.3.1.2. Granulometría agregado grueso.

Tabla 14. Análisis granulométrico del agregado fino.

Análisis granulométrico										
Tamices		Arena N° 4							Especificaciones	
		MT=1000 gr								
(pulg)	(mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. (gr)	Prom. Ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% Ret.	% que pasa	Lim. Inf.	Lim. Sup.
3/8"	9,50	0	0	0	0	0	0,00	100,00	-	100
N°4	4,75	7,50	5	5,50	6	6	0,60	99,40	95	100
N°8	2,36	195,10	190,40	185,40	190,30	196,30	19,63	80,37	80	100
N°16	1,18	206,10	210,70	209,20	208,67	404,97	40,50	59,50	50	85
N°30	0,60	220	230	225	225	629,97	63,00	37,00	25	60
N°50	0,30	250,20	245	232,40	242,53	872,50	87,25	12,75	5	30
N°100	0,15	97,60	98,40	95,80	97,27	969,77	96,98	3,02	0	10
Base		22,60	20	45,80	29,47	999,23	99,92	0,08	-	-
Perdida		0,90	0,50	0,90		999,23	99,92	-	-	-
Módulo de finura					-	-	3	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28. Pesado del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29. Tamizado del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 30. Retenido en tamices.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Ensayo desgaste máquina de los ángeles.

Tabla 15. Grados de ensayo (definidos por su rango de acuerdo al tamaño, en mm).

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de esferas		12	11	8	6
Número de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		15	15	15	15

Fuente: Manual de Carreteras V48 (Norma ABC).

Tabla 16. Resultados del ensayo (ASTM C 131).

Gradación	Pasa tamiz	Peso retenido (gr)	Carga abrasiva
B	1/2"	2500,50	11 esferas a 32,50 Rpm 500 revoluciones
	3/8"	2501,10	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados finales del ensayo (ASTM C 131).

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación invias
B	5001,60	3764,70	24,73	Máximo 35 %

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 31. Retenido necesario a utilizar.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32. Incorporar el material a la máquina para el desgaste de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 33. Obtención y tamizado del material sacado de la máquina.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 34. Lavado del material para la obtención de resultados finales.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Ensayo peso específico en el agregado grueso.

Tabla 18. Peso de muestras para determinar su peso específico.

Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca "A" (gr)	4949,60	4940,90	4952
Peso muestra Sat. con sup. seca "B" (gr)	5000,20	5000,50	5000
Peso muestra Sat. dentro del agua "C" (gr)	3109	3106	3110

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resultados del ensayo peso específico.

Ensayos	1	2	3	Promedio
Peso específico SH (gr/cm^3)	2,62	2,61	2,62	2,62
Peso específico S.S.S (gr/cm^3)	2,64	2,64	2,65	2,64
Peso específico aparente (gr/cm^3)	2,69	2,69	2,69	2,69
Absorción, %	1,02	1,21	0,97	1,07

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 35. Preparación del agregado grueso (sumergido en agua 24 horas).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 36. Secado superficial del material antes de colocarlo en la cesta.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Ensayo peso específico en el agregado fino.

Tabla 20. Peso de las muestras para determinar su peso específico.

Ensayos	1	2	3
Peso muestra seca al horno "A" (gr)	492,80	495,10	498,60
Peso matraz + agua "B" (gr)	736,40	736,40	736,40
Peso muestra + matraz + agua "C" (gr)	1025,20	1028,90	1020,50
Peso muestra Sat. Seca "S" (gr)	500	500	500
Peso matraz (gr)	236,40	236,40	236,40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resultados de peso específico agregado fino.

Ensayos	1	2	3	Promedio
Peso específico SH (gr/cm ³)	2,33	2,39	2,31	2,34
Peso específico S.S.S (gr/cm ³)	2,37	2,41	2,32	2,36
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2,42	2,44	2,32	2,39
Absorción, %	1,46	0,99	0,28	0,91

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37. Preparación del agregado fino para obtener su peso específico.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 38. Medir temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 39. Colocado de muestras en el horno para obtener datos finales.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Ensayo peso unitario agregado grueso.

Peso unitario suelto:

Tabla 22. Cálculo de peso unitario suelto.

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5845	9897,82	19265	13420	1,36
2	5845	9897,82	19260	13415	1,36
3	5845	9897,82	19268	13423	1,36
Promedio					1,36

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado:

Tabla 23. Cálculo de peso unitario compactado.

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compac (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	5845	9897,82	20690	14845	1,50
2	5845	9897,82	20695	14850	1,50
3	5845	9897,82	20685	14840	1,50
Promedio					1,50

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 40. Pesado del molde para el ensayo de peso unitario con agua.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 41. Medir la temperatura del agua.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 42. Apisonado para la obtención del peso unitario compactado.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Ensayo peso unitario agregado fino.

Peso unitario suelto:

Tabla 24. Cálculo peso unitario suelto del agregado fino.

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2605	3030,45	7225	4620	1,52
2	2605	3030,45	7231	4626	1,53
3	2605	3030,45	7235	4630	1,53
Promedio					1,53

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado:

Tabla 25. Cálculo peso unitario compactado del agregado fino.

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra compac (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	2605	3030,45	7720	5115	1,69
2	2605	3030,45	7725	5120	1,69
3	2605	3030,45	7735	5130	1,69
Promedio					1,69

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 43. Obtención del peso unitario suelto agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 44. Apisonado de muestra para peso unitario compactado.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.7. Ensayo contenido de humedad agregado grueso y fino.

Contenido de humedad agregado grueso:

Tabla 26. Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Unid.	1	2	3
Peso de la muestra húmeda	gr	500,20	500	500,10
Peso de la muestra seca	gr	498,30	498,30	498,80
Peso del agua contenida	gr	1,90	1,70	1,30
Porcentaje de humedad	gr	0,38	0,34	0,26
Promedio		0,33		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 45. Muestras para el cálculo de contenido de humedad agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia

Contenido de humedad agregado fino:

Tabla 27. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unid.	1	2	3
Peso de la muestra húmeda	gr	300,20	300,10	300,20
Peso de la muestra seca	gr	298,80	298,50	298,40
Peso del agua contenida	gr	1,40	1,60	1,80
Porcentaje de humedad	gr	0,47	0,54	0,60
Promedio		0,54		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 46. Obtención de contenido de humedad de muestras de agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.8. Ensayo finura del cemento.

Tabla 28. Obtención de la finura del cemento IP- 40.

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso ret. Tamiz N° 50 (gr)	Peso ret. Tamiz N° 200 (gr)	Peso pasa Tamiz N° 200 (gr)	Peso no pasa Tamiz N° 200 (gr)	Finura del cemento (%)
1	50	0,10	9,80	40,20	9,90	19,80
2	50	0	9	39,50	9,00	18
3	50	0	9,50	40,50	9,50	19
Promedio						18,93

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 47. Obtención del peso del cemento antes de tamizarlo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 48. Retenido en el tamiz N° 200.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.9. Ensayo peso específico del cemento.

Tabla 29. Cálculo del peso específico del cemento.

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Volumen desplazado (ml)	Peso específico (gr/cm²)
1	64	300	320,30	20,30	3,15
2	64	300	320,20	20,20	3,17
3	64	300	320,20	20,20	3,17
Promedio					3,17

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 49. Medición de la temperatura de la gasolina.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 50. Pesado de la muestra del cemento para el peso específico.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.10. Ensayo contenido de humedad cascarilla de huevo.

Tabla 30. Cálculo contenido de humedad cascarilla de huevo.

Descripción	Unid.	1	2	3
Peso de la muestra humedad	gr	150	150	150
Peso de la muestra seca	gr	148,50	148,60	148,60
Peso del agua contenida	gr	1,50	1,40	1,40
Porcentaje de humedad	gr	1,01	0,94	0,94
Promedio		0,96		

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 51. Obtención de contenido de humedad, muestras de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Dosificación de la mezcla del hormigón.

3.4.1. Dosificación de hormigones para pavimentos rígidos con cemento IP-40.

Proporciones de mezcla para la dosificación:

Cemento	Arena	Grava
1	1,54	1,89

Tabla 31. Proporciones de materiales para moldes cilíndricos y prismáticos.

Molde cilíndrico			Molde viga		
Diámetro	Alto	AREA	Alto	Ancho	Largo
0,15	0,30	0,02	15	15	50
Volumen (cm³)		0,005	Volumen (cm³)		11250
Probetas		1	Vigas		1
Desperdicio 1,20					
Cemento	3,02	kg	Cemento	6,41	kg
Agua	1,21	kg	Agua	2,57	kg
Grava	5,73	kg	Grava	12,15	kg
Arena	4,64	kg	Arena	9,84	kg

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Determinación de porcentajes de cascarilla de huevo pulverizada.

3.5.1. Ensayos del asentamiento del cono de Abrams.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia (Cemento IP-40):

Tabla 32. Resultados del asentamiento del hormigón (patrón).

N° Probeta	COD.	Edad (Dias)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 0% CAHU (1)	28	12/9/2022	1	20	5
2	GAC 0% CAHU (2)	28	12/9/2022	1	20	5
3	GAC 0% CAHU (3)	28	12/9/2022	1	20	5

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 52. Ensayo del cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 53. Medición del asentamiento de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia sustituyendo cascarilla de huevo pulverizada al 1%:

Tabla 33. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 1% de cascarilla.

Nº Probeta	COD.	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla Nº	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 1% CAHU (1)	28	12/9/2022	2	21	3,50
2	GAC 1% CAHU (2)	28	12/9/2022	2	21	3,50
3	GAC 1% CAHU (3)	28	12/9/2022	2	21	3,50

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia sustituyendo cascarilla de huevo pulverizada al 2%:

Tabla 34. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 2% de cascarilla.

N° Probeta	COD.	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 2% CAHU (1)	28	12/9/2022	3	20,50	2,50
2	GAC 2% CAHU (2)	28	12/9/2022	3	20,50	2,50
3	GAC 2% CAHU (3)	28	12/9/2022	3	20,50	2,50

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia sustituyendo cascarilla de huevo pulverizada al 3%:

Tabla 35. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 3% de cascarilla.

N° Probeta	COD.	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 3% CAHU (1)	28	14/9/2022	4	19	2
2	GAC 3% CAHU (2)	28	14/9/2022	4	19	2
3	GAC 3% CAHU (3)	28	14/9/2022	4	19	2

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia sustituyendo cascarilla de huevo pulverizada al 4%:

Tabla 36. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 4% de cascarilla.

N° Probeta	COD.	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 4% CAHU (1)	28	14/9/2022	5	20	1,50
2	GAC 4% CAHU (2)	28	14/9/2022	5	20	1,50
3	GAC 4% CAHU (3)	28	14/9/2022	5	20	1,50

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia cascarilla de huevo pulverizada al 5%:

Tabla 37. Resultados del asentamiento del hormigón sustituyendo 5% de cascarilla.

N° Probeta	COD.	Edad (Dias)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	GAC 5% CAHU (1)	28	14/9/2022	6	19,50	2
2	GAC 5% CAHU (2)	28	14/9/2022	6	19,50	2
3	GAC 5% CAHU (3)	28	14/9/2022	6	19,50	2

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 54. Llenado de cono con hormigón y un porcentaje de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 55. Llenado del cono para su posterior extracción del molde.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 56. Medición del asentamiento en una muestra con cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas.

- Muestras cilíndricas con hormigón de alta resistencia, a la edad de 16 días proyectando a 28 días.

Tabla 38. Resistencia a compresión de cilindros con hormigón (patrón).

Probeta N°	COD.	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	GAC 0% CAHU (1)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	496,70	50663,40	286,84	326,78
2	GAC 0% CAHU (2)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	497,60	50755,20	287,36	327,37
3	GAC 0% CAHU (3)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	499,40	50938,80	288,40	328,56

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 57. Preparación de cilindros con hormigón (patrón).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 58. Ruptura de cilindros con hormigón de alta resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

- Muestras cilíndricas con hormigón sustituyendo cascarilla de huevo pulverizada en 1%; 2%; 3%; 4% y 5%; a edades de 16 y 18 días proyectando a 28 días.

Tabla 39. Resistencia a compresión usando 1% de cascarilla pulverizada.

Probeta N°	COD.	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	GAC 1% CAHU (1)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	591,20	60302,40	341,41	388,95
2	GAC 1% CAHU (2)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	597,60	60955,20	345,11	393,16
3	GAC 1% CAHU (3)	12/9/2022	28/9/2022	16	176,63	601,30	61332,60	347,25	395,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Resistencia a compresión utilizando 2% de cascarilla pulverizada.

Probeta N°	COD.	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	GAC 2% CAHU (1)	12/9/2022	30/9/2022	18	176,63	518,70	52907,40	299,55	331,86
2	GAC 2% CAHU (2)	12/9/2022	30/9/2022	18	176,63	520,60	53101,20	300,64	333,07
3	GAC 2% CAHU (3)	12/9/2022	30/9/2022	18	176,63	522,50	53295	301,74	334,29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Resistencia a compresión utilizando 3% de cascarilla pulverizada.

Probeta N°	COD.	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	GAC 3% CAHU (1)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	486	49572	280,66	319,74
2	GAC 3% CAHU (2)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	490,70	50051,40	283,38	322,83
3	GAC 3% CAHU (3)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	495,20	50510,40	285,98	325,79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Resistencia a compresión utilizando 4% de cascarilla pulverizada.

Probeta N°	COD.	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	GAC 4% CAHU (1)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	515,20	52550,40	297,53	338,95
2	GAC 4% CAHU (2)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	485,10	49480,20	280,14	319,15
3	GAC 4% CAHU (3)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	448,40	45736,80	258,95	295

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Resistencia a compresión utilizando 5% de cascarilla pulverizada.

Probeta N°	COD.	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	GAC 5% CAHU (1)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	439,40	44818,80	253,75	289,08
2	GAC 5% CAHU (2)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	432,30	44094,60	249,65	284,41
3	GAC 5% CAHU (3)	14/9/2022	30/9/2022	16	176,63	427,40	43594,80	246,82	281,19

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 59. Preparación de cilindros con porcentajes diferentes de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 60. Ruptura de cilindros utilizando 1% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 61. Ruptura de cilindros utilizando 2% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 62. Ruptura de cilindros utilizando 3% de cascarilla.



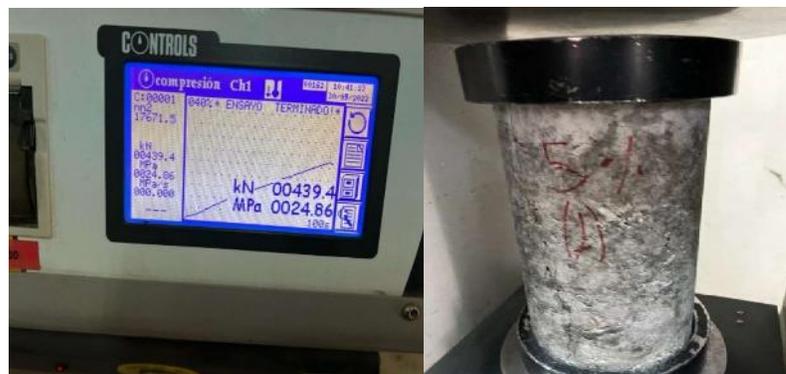
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 63. Ruptura de cilindros utilizando 4% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 64. Ruptura de cilindros utilizando 5% de cascarilla



Fuente: Elaboración propia.

3.6. Ensayos para determinar la resistencia a flexo-tracción.

3.6.1. Ensayos del asentamiento del cono de Abrams.

- Asentamiento en muestras con hormigón de alta resistencia:

Tabla 44. Resultados del ensayo del cono de Abrams (hormigón de alta resistencia).

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Edad (Días)	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	V-(1) 0% CAHU	20/10/2022	28	1	25	2,70
2	V-(2) 0% CAHU	20/10/2022	28	1	25	2,70
3	V-(3) 0% CAHU	20/10/2022	28	2	24	2,50
4	V-(4) 0% CAHU	20/10/2022	28	2	24	2,50
5	V-(5) 0% CAHU	20/10/2022	28	3	25	2,30
6	V-(6) 0% CAHU	20/10/2022	28	3	25	2,30
7	V-(7) 0% CAHU	20/10/2022	28	4	24	2,50
8	V-(8) 0% CAHU	20/10/2022	28	4	24	2,50
9	V-(9) 0% CAHU	20/10/2022	28	5	26	2,30
10	V-(10) 0% CAHU	20/10/2022	28	5	26	2,30

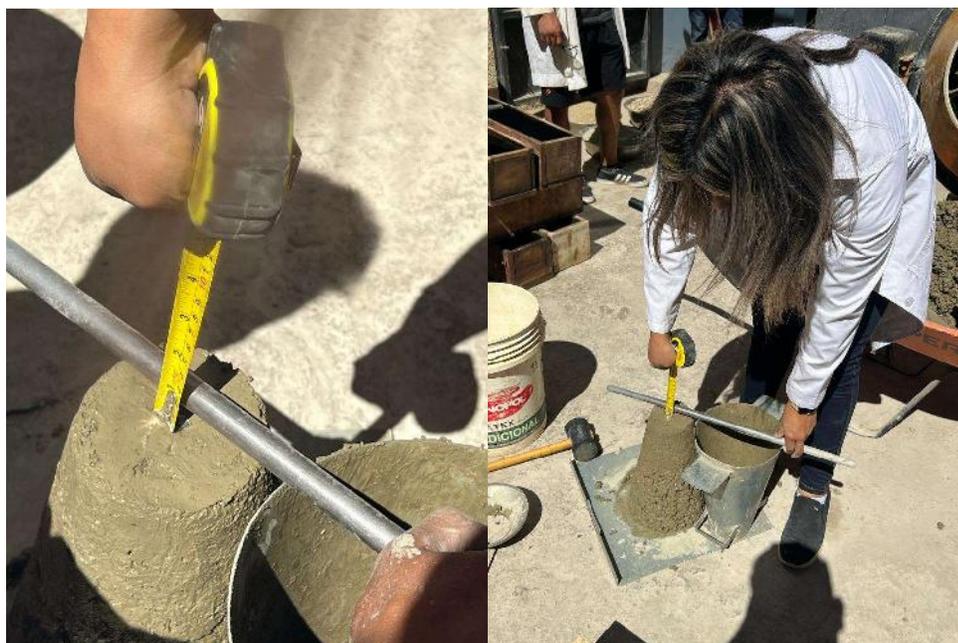
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 65. Realización del ensayo del cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 66. Medición del asentamiento.



Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras prismáticas con hormigón reforzado con 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 45. Resultados de asentamiento para hormigón con 0,50% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Edad (Dias)	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	V-(1) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	1	25	2,50
2	V-(2) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	1	25	2,50
3	V-(3) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	2	26	2,80
4	V-(4) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	2	26	2,80
5	V-(5) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	3	25	2
6	V-(6) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	3	25	2
7	V-(7) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	4	26	2,50
8	V-(8) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	4	26	2,50
9	V-(9) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	5	25	2
10	V-(10) 0,5% CAHU	21/10/2022	28	5	25	2

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras prismáticas con hormigón reforzado con 1% de cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 46. Resultados de asentamiento para hormigón con 1% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Edad (Días)	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	V-(1) 1% CAHU	21/10/2022	28	1	24	2,50
2	V-(2) 1% CAHU	21/10/2022	28	1	24	2,50
3	V-(3) 1% CAHU	21/10/2022	28	2	26	2
4	V-(4) 1% CAHU	21/10/2022	28	2	26	2
5	V-(5) 1% CAHU	21/10/2022	28	3	25	2,20
6	V-(6) 1% CAHU	21/10/2022	28	3	25	2,20
7	V-(7) 1% CAHU	21/10/2022	28	4	26	2,50
8	V-(8) 1% CAHU	21/10/2022	28	4	26	2,50
9	V-(9) 1% CAHU	21/10/2022	28	5	27	2,30
10	V-(10) 1% CAHU	21/10/2022	28	5	27	2,30

Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras prismáticas con hormigón reforzado con 5% de cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 47. Resultados de asentamiento para hormigón con 5% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Edad (Días)	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (cm)
1	V-(1) 5% CAHU	20/10/2022	28	1	25	2
2	V-(2) 5% CAHU	20/10/2022	28	1	25	2
3	V-(3) 5% CAHU	20/10/2022	28	2	26	1,50
4	V-(4) 5% CAHU	20/10/2022	28	2	26	1,50
5	V-(5) 5% CAHU	20/10/2022	28	3	27	2,20
6	V-(6) 5% CAHU	20/10/2022	28	3	27	2,20
7	V-(7) 5% CAHU	20/10/2022	28	4	25	1,80
8	V-(8) 5% CAHU	20/10/2022	28	4	25	1,80
9	V-(9) 5% CAHU	20/10/2022	28	5	26	2
10	V-(10) 5% CAHU	20/10/2022	28	5	26	2

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 67. Llenado y apisonado para ensayo de cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 68. Razado del cono bien apisonado.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 69. Medición del asentamiento del hormigón con 0,50% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 70. Medición del asentamiento del hormigón con 1% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Ensayos de resistencia a flexo-tracción de vigas prismáticas.

En este ensayo se tomó diferentes muestras como ser hormigón de alta resistencia, con cascarilla de huevo al 0,50%; 1% y 5%. Los resultados se presentan a continuación.

- Vigas prismáticas con hormigón de alta resistencia.

Tabla 48. Resultados de resistencia a flexión en vigas con hormigón (patrón).

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,30	15	35,50	3621	48,28	48,28
2	V-(2) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	51,50	15	36,70	3743,40	49,91	49,91
3	V-(3) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	51	15	35,60	3631,20	48,42	48,42
4	V-(4) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,50	15	35,80	3651,60	48,69	48,69
5	V-(5) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50	15	36,80	3753,60	50,05	50,05
6	V-(6) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,80	15	36,50	3723	49,64	49,64
7	V-(7) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50	15	35,30	3600,60	48,01	48,01
8	V-(8) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,80	15	36,60	3733,20	49,78	49,78
9	V-(9) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50	15	35,20	3590,40	47,87	47,87
10	V-(10) 0% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,80	15	34,80	3549,60	47,33	47,33

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 71. Vigas prismáticas con hormigón de alta resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 72. Anotación de datos para poner a la máquina de ruptura.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 73. Viga de alta resistencia en prensa hidráulica.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 74. Rotura de viga prismática con hormigón de alta resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

- Vigas prismáticas sustituyendo 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 49. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 0,50% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,70	15	37,40	3814,80	50,86	50,86
2	V-(2) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50	15	36,80	3753,60	50,05	50,05
3	V-(3) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,20	15	38,20	3896,40	51,95	51,95
4	V-(4) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	37,50	3825	51	51
5	V-(5) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	38,10	3886,20	51,82	51,82
6	V-(6) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	36,90	3763,80	50,18	50,18
7	V-(7) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	38,30	3906,60	52,09	52,09
8	V-(8) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,20	15	37,60	3835,20	51,14	51,14
9	V-(9) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,70	15	36,60	3733,20	49,78	49,78
10	V-(10) 0,5% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	37,90	3865,80	51,54	51,54

Fuente: Elaboración propia.

- Vigas prismáticas sustituyendo 1% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 50. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 1% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Dias)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	36,30	3702,60	49,37	49,37
2	V-(2) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	35,90	3661,80	48,82	48,82
3	V-(3) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,80	15	36,60	3733,20	49,78	49,78
4	V-(4) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	36,90	3763,80	50,18	50,18
5	V-(5) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	36,50	3723	49,64	49,64
6	V-(6) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	35,80	3651,60	48,69	48,69
7	V-(7) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,30	15	36,10	3682,20	49,10	49,10
8	V-(8) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,80	15	37	3774	50,32	50,32
9	V-(9) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	50,50	15	36,40	3712,80	49,50	49,50
10	V-(10) 1% CAHU	21/10/2022	18/11/2022	28	51	15	37,50	3825	51	51

Fuente: Elaboración propia.

- Vigas prismáticas sustituyendo 5% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 51. Resultados de ensayo a flexo-tracción con 5% de cascarilla.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,20	15	35,40	3610,80	48,14	48,14
2	V-(2) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,50	15	34,90	3559,80	47,46	47,46
3	V-(3) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,50	15	33,90	3457,80	46,10	46,10
4	V-(4) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50	15	35,90	3661,80	48,82	48,82
5	V-(5) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,30	15	34,80	3549,60	47,33	47,33
6	V-(6) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,50	15	35,50	3621,00	48,28	48,28
7	V-(7) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,30	15	34,80	3549,60	47,33	47,33
8	V-(8) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,30	15	36,20	3692,40	49,23	49,23
9	V-(9) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,80	15	35,30	3600,60	48,01	48,01
10	V-(10) 5% CAHU	20/10/2022	17/11/2022	28	50,30	15	34,70	3539,40	47,19	47,19

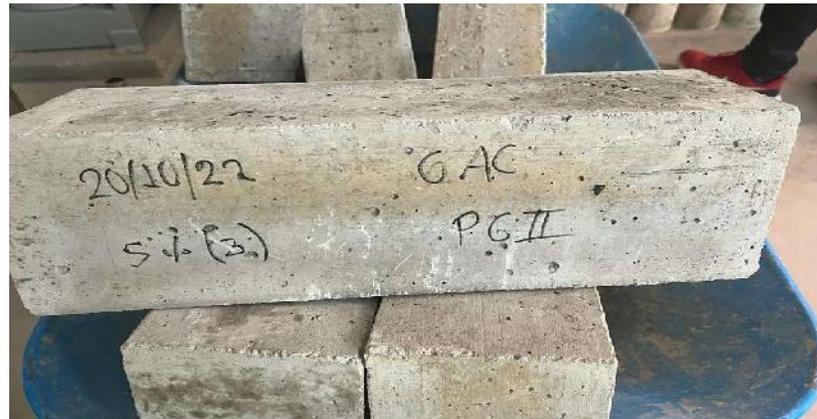
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 75. Preparación de vigas prismáticas con cascarilla pulverizada.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 76. Movimiento de vigas para pesarlas.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 77. Colocación de viga en la prensa hidráulica y llenado de datos.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 78. Viga con cascarilla en prensa hidráulica.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 79. Rotura de vigas con cascarilla de huevo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 80. Vista de rotura de vigas con cascarilla en distintos porcentajes.



Fuente: Elaboración propia.

- Vigas prismáticas aumentando cemento para llegar a la resistencia de nuestra muestra óptima.

Tabla 52. Resultados de ensayo a flexo tracción aumentando cemento.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) +200gr	15/2/2023	17/3/2023	30	50,30	15	30,70	3131,40	41,75	41,75
2	V-(2) +500gr	15/2/2023	17/3/2023	30	50,50	15	37,40	3814,80	50,86	50,86
3	V-(3) +700gr	15/2/2023	17/3/2023	30	50,20	15	40,20	4100,40	54,67	54,67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53. Resultados de ensayo a flexo tracción aumentando 0,50kg de cemento.

Nro. Viga	COD.	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Longitud (cm)	Dim. "a" (cm)	Carga de Rotura "F" (KN)	Carga "F" (Kgf)	Resistencia "fct,f" (Kg/cm ²)	Proyección "fct,f" 28 días (Kg/cm ²)
1	V-(1) Patrón +500gr	23/3/2023	21/4/2023	29	50,30	15	37,50	3825	51	51
2	V-(2) Patrón +500gr	23/3/2023	21/4/2023	29	50,50	15	37,80	3855,60	51,41	51,41
3	V-(3) Patrón +500gr	23/3/2023	21/4/2023	29	50,20	15	37,40	3814,80	50,86	50,86
4	V-(4) Patrón +500gr	23/3/2023	21/4/2023	29	50,50	15	38,40	3916,80	52,22	52,22
5	V-(5) Patrón +500gr	23/3/2023	21/4/2023	29	50,10	15	36,70	3743,40	49,91	49,91

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 81. Vaciado en moldes de vigas para correcciones.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 82. Apisonado en vigas para eliminar vacíos.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 83. Muestras de vigas en la piscina por 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 84. Medición de vigas antes de su ruptura.



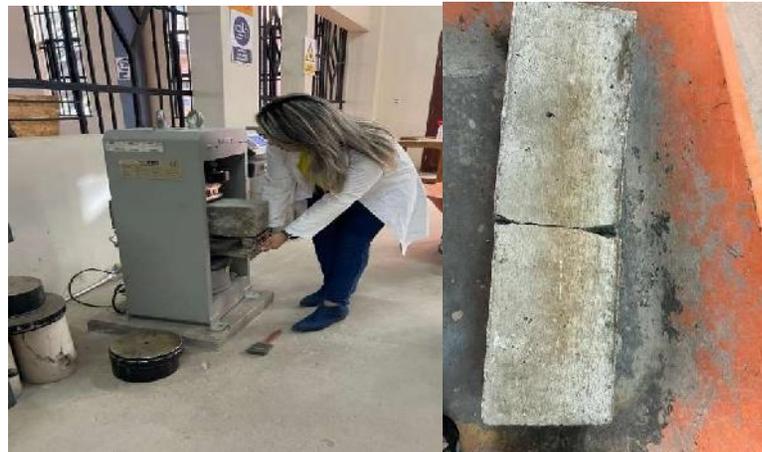
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 85. Resistencias a flexo tracción aguantadas en pruebas iniciales.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 86. Acomodado y forma de ruptura de una muestra inicial.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 87. Muestra con resistencia óptima aumentando 0,50kg de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados de asentamiento.

Este ensayo fue ideado por el investigador norteamericano Abrams, en donde dice que una mezcla bien diseñada debe ser capaz de ser mezclada, transportada, colocada y compactada con el equipamiento disponible. La aptitud de la mezcla para que tenga una correcta terminación también es un factor a tener en cuenta, debiendo minimizarse la exudación y la segregación.

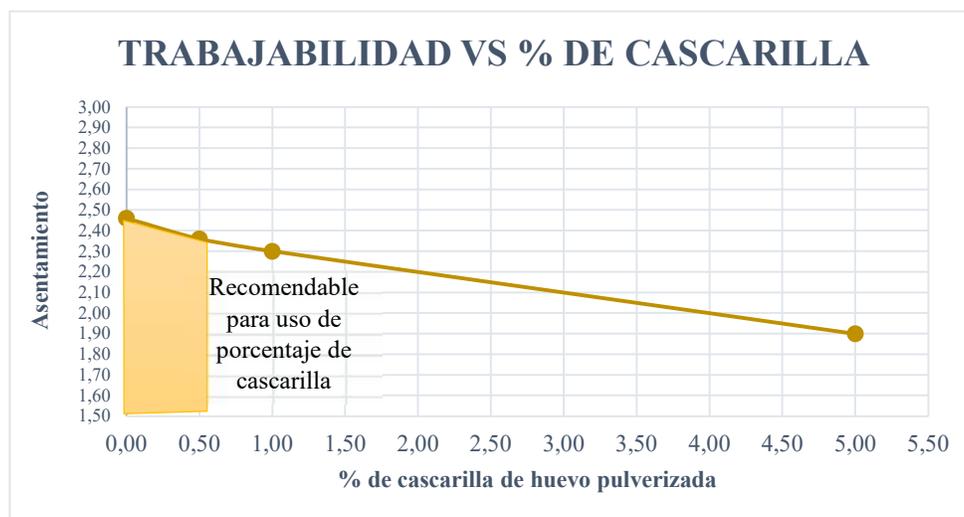
A continuación, se presenta el comportamiento del asentamiento en hormigones con alta resistencia y con cascarilla de huevo pulverizada utilizando distintos porcentajes.

Tabla 54. Resultados del asentamiento promedio.

Tipo de hormigón	Asentamiento promedio (cm.)
Hormigón de alta resistencia	2,46
Hormigón con 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada	2,36
Hormigón con 1% de cascarilla de huevo pulverizada	2,30
Hormigón con 5% de cascarilla de huevo pulverizada	1,90

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Comportamiento del asentamiento en función al porcentaje de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 54 se puede observar un resumen del asentamiento medido durante el proceso de preparación de la mezcla con la adición de diferentes porcentajes de cascarilla pulverizada. La dosificación fue realizada para 5 cm de asentamiento, los valores obtenidos en trabajabilidad dados se encuentran dentro del rango que nos indica la norma ACI 211.1 que tiene como valores extremos de 7,50 a 2,50 cm para pavimentos por tanto se cumple lo requerido por la norma.

Así también en la gráfica N°3, el asentamiento disminuye considerablemente mientras mayor cantidad de cascarilla se añade, este descenso se debe a los efectos de la incorporación de la cascarilla, la misma se pudo observar en la trabajabilidad del hormigón.

Con este análisis se puede definir un área en la parte inferior de la curva en la que se identifican porcentajes aceptables para que la trabajabilidad no se vea afectada en el hormigón, dándonos como porcentaje máximo 0,50% de cascarilla en función de la cantidad de cemento para que el hormigón sea trabajable.

Para porcentajes mayores a 0,50% se tiene un asentamiento que va disminuyendo, pero de manera lenta por lo que presenta pequeñas desventajas en la trabajabilidad, pero no de gran magnitud.

4.2. Análisis estadístico de la resistencia a la flexo-tracción.

La resistencia a la flexo-tracción se expresa como el módulo de ruptura (M_r), que incluye muestras de ensayo con secciones transversales prismáticas apoyadas sobre dos soportes separados a 0,46m., por una carga en dos tercios del tramo libre (0,15 m de ambos extremos) hasta que ocurra la falla. El quiebre de la muestra ocurre dentro del tercio central del tramo de prueba, y la resistencia a la flexo-tracción se calcula como el módulo de ruptura en función a la ecuación dada por la norma (ASTM-C78). A continuación, se presenta los resultados del análisis estadístico de las resistencias obtenidas de los diferentes grupos de muestras.

Tabla 55. Diseño estándar con hormigón de alta resistencia.

Vigas prismáticas con 0% de cascarilla de huevo pulverizada.			
Cantidad de muestras	n=	10	Nro.
Sumatoria de resistencias	Σ=	487,97	
Módulo de rotura promedio	X prom=	48,80	kg/cm²
Desviación estándar	σ=	0,97	kg/cm²
Coefficiente de variación	CV=	2,00	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Diseño con hormigón con 0,50 % de cascarilla de huevo pulverizada.

Vigas prismáticas con 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada.			
Cantidad de muestras	n=	10	Nro.
Sumatoria de resistencias	Σ =	510,41	
Módulo de rotura promedio	X prom=	51,04	kg/cm ²
Desviación estándar	σ =	0,83	kg/cm ²
Coefficiente corrección de	σ =	1,16	según tabla
Desviación estándar corregida	σ =	0,96	kg/cm ²
Coefficiente de variación	CV=	1,88	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57. Diseño con hormigón con 1 % de cascarilla de huevo pulverizada.

Vigas prismáticas con 1% de cascarilla de huevo pulverizada.			
Cantidad de muestras	n=	10	Nro.
Sumatoria de resistencias	Σ =	496,40	
Módulo de rotura promedio	X prom=	49,64	kg/cm ²
Desviación estándar	σ =	0,71	kg/cm ²
Coefficiente corrección de	σ =	1,16	según tabla
Desviación estándar corregida	σ =	0,83	kg/cm ²
Coefficiente de variación	CV=	1,67	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Diseño con hormigón con 5 % de cascarilla de huevo pulverizada.

Vigas prismáticas con 5% de cascarilla de huevo pulverizada.			
Cantidad de muestras	n=	10	Nro.
Sumatoria de resistencias	Σ =	477,90	
Módulo de rotura promedio	X prom=	47,79	kg/cm ²
Desviación estándar	σ =	0,90	kg/cm ²
Coefficiente corrección de	σ =	1,16	según tabla
Desviación estándar corregida	σ =	1,04	kg/cm ²
Coefficiente de variación	CV=	2,19	%

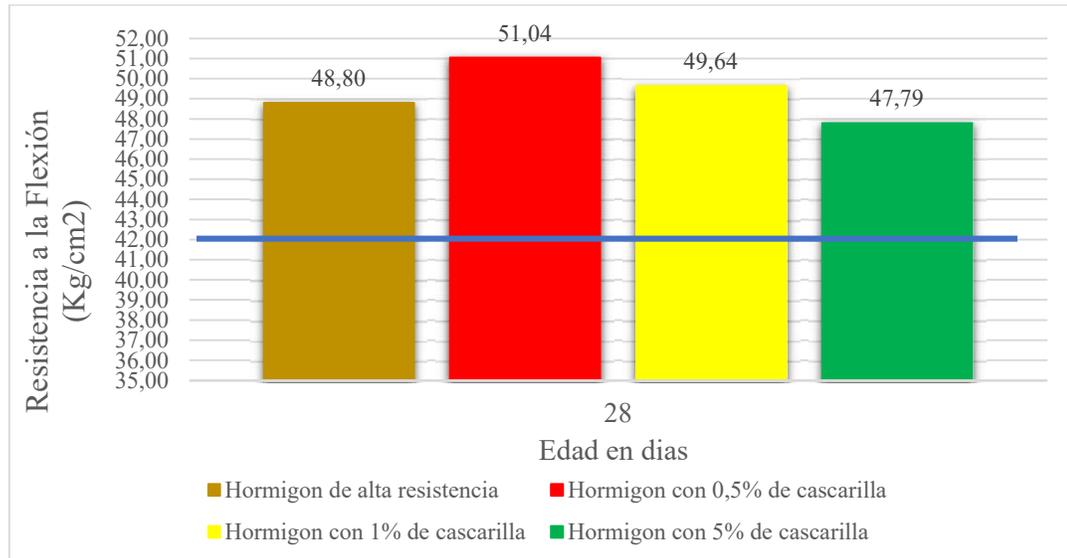
Fuente: Elaboración propia.

Las tablas completas y su análisis correspondiente se podrán ver en los anexos.

4.3. Análisis general de resultados.

Una vez obtenidos los datos sobre el módulo de rotura a flexo-tracción, se presenta la gráfica N°4, donde se puede observar la evolución del módulo de rotura a los 28 días de todos los grupos de control.

Gráfico 4. Efecto de la cascarilla pulverizada en la resistencia a flexo-tracción.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°4, se puede observar el efecto que provoca la cascarilla en la resistencia a la flexo-tracción. Por lo tanto, a mayor cantidad de cascarilla la resistencia disminuye es decir, la dosificación óptima para la incorporación de cascarilla de huevo pulverizada pertenece a la barra de color rojo, que contiene 0,50% de cascarilla en el hormigón sustituyendo este porcentaje de cemento por el mismo, de esta manera observamos como aumenta la resistencia a flexión; a los 28 días se tiene 51,04 kg/cm² que es un valor mayor de acuerdo al objetivo que se tenía a la hora de dosificar a comparación del diseño estándar de alta resistencia sin cascarilla que a los 28 días nos dio 48,80 kg/cm².

Así también se observa que el módulo de rotura para 1% de cascarilla en el hormigón es mayor en comparación al concreto estándar de alta resistencia (patrón).

Pero no pasa lo mismo con el hormigón que contiene 5% de cascarilla, pues se puede ver que si bien es mayor a nuestro valor que nos planteamos en un principio, es menor al valor del hormigón estándar de alta resistencia (patrón).

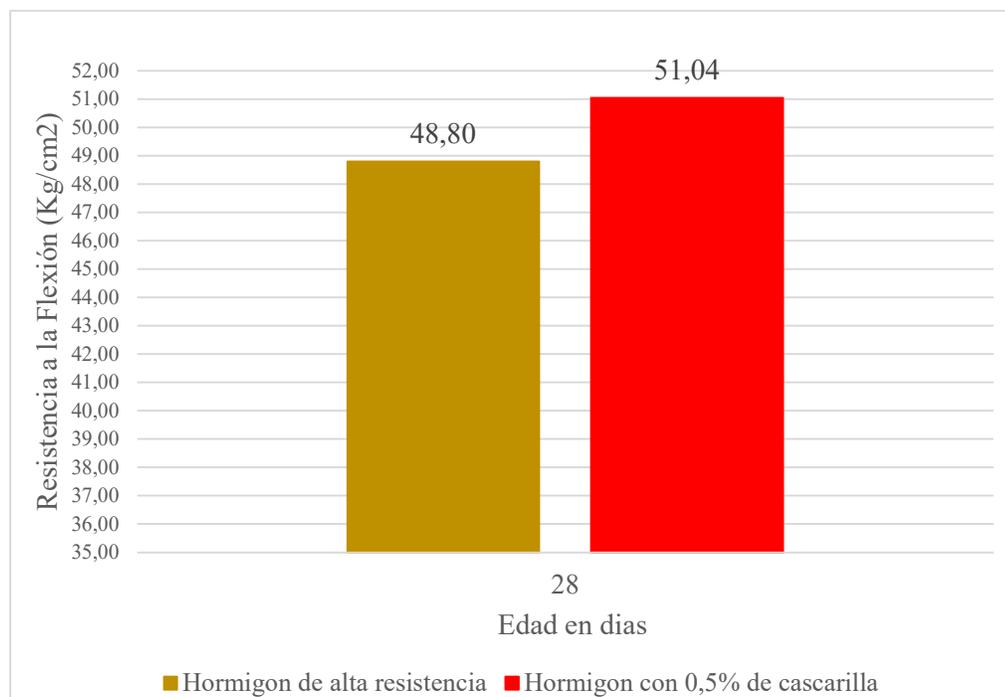
Así también se puede apreciar que al utilizar cemento IP-40 tanto en las muestras patrón como en las muestras con porcentajes de cascarilla de huevo pulverizada los resultados de resistencia son valores mayores ya que la dosificación estaba para $41,80 \text{ kg/cm}^2$, por tanto, lo que más nos interesaba era demostrar que la cascarilla pulverizada de huevo aumenta la resistencia a flexo-tracción utilizándose en porcentajes adecuados.

Por esta razón se hizo un análisis de presupuestos para ver si es factible añadir nuestro material y mejorar la resistencia a flexión para hormigones de alta resistencia o con cemento (IP-40).

4.4. Análisis individual de resultados.

Según el gráfico 5 situado a continuación:

Gráfico 5. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 0,50% de cascarilla.



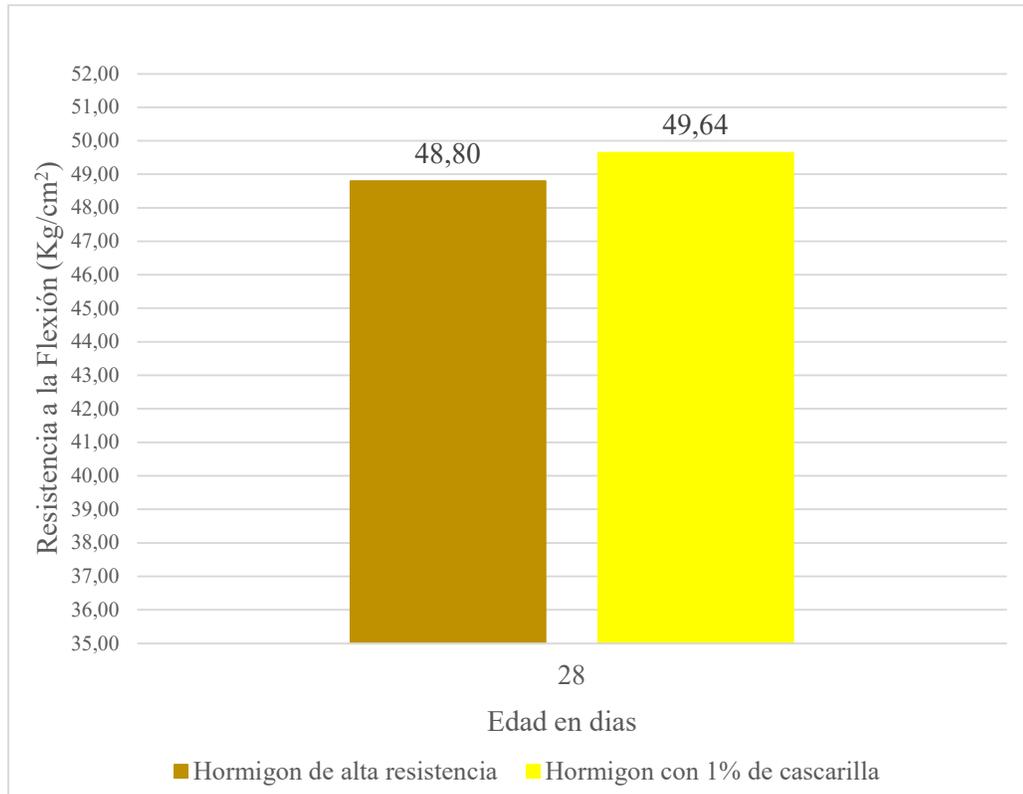
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el (M_r) promedio del hormigón con sustitución de 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada, después de 28 días es de $51,04 \text{ kg/cm}^2$, y corresponde a un 104% respecto a la resistencia que obtuvo el hormigón de alta resistencia (patrón) de $48,80 \text{ kg/cm}^2$.

Por lo tanto, se obtuvo un aumento en la resistencia a la flexo-tracción de 4,60%.

Según el gráfico 6 situado a continuación:

Gráfico 6. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 1% de cascarilla.



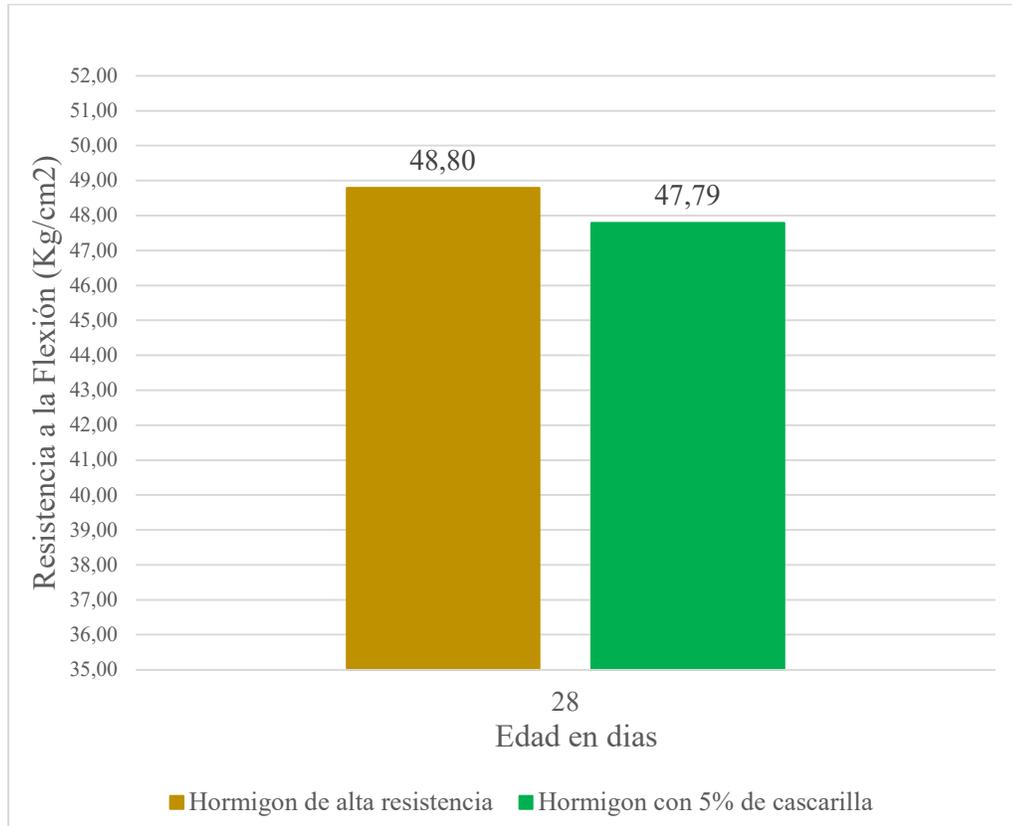
Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el (Mr) promedio del hormigón con sustitución de 1,000% de cascarilla de huevo pulverizada, después de 28 días es de 49,64 kg/cm². y corresponde a un 101,73% respecto a la resistencia que obtuvo el hormigón de alta resistencia (patrón) de 48,80 kg/cm².

Por lo tanto, se obtuvo un aumento en la resistencia a la flexo-tracción de 1,73%.

Según el gráfico 7 situado a continuación:

Gráfico 7. Hormigón de alta resistencia vs hormigón con 5% de cascarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el (M_r) promedio del hormigón con sustitución de 5% de cascarilla de huevo pulverizada, después de 28 días es de 47,79 kg/cm². y corresponde a un 97,94% respecto a la resistencia que obtuvo el hormigón de alta resistencia (patrón) de 48,80 kg/cm².

Por lo tanto, se obtuvo una disminución en la resistencia a la flexo-tracción de 2,06%.

4.5. Porcentaje óptimo de cascarilla de huevo pulverizada.

Para obtener el porcentaje óptimo con cascarilla se denota que la dosificación se realizó para obtener una resistencia de 41,80 Kg/cm², y se observa que al utilizar cemento IP-40 se obtuvo valores mucho más elevados y a su vez con ayuda de la sustitución de un 0,50% de cascarilla con relación al porcentaje de cemento tenemos el valor más alto en relación a los valores utilizados. Bajo este resultado se observa que se sobrepasó la resistencia indicada por norma, que es igual a 41,80 kg/cm² y de esta manera se realizó el análisis del comportamiento del porcentaje de la cascarilla obteniendo una gráfica y una ecuación que nos indica el porcentaje exacto de cascarilla

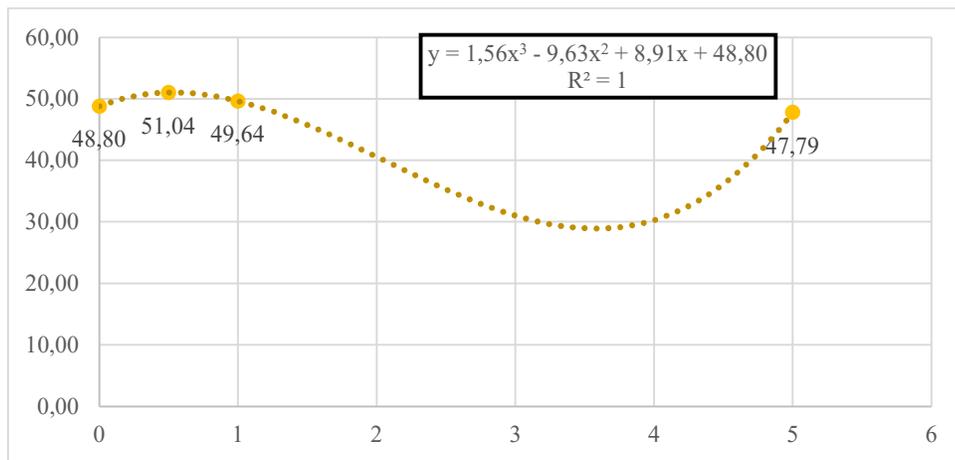
que se debe añadir para obtener una resistencia a flexo-tracción óptima y a su vez observando que este valor coincide con el tomado.

Tabla 59. Resistencias promedio de vigas (patrón y con cascarilla).

N°	Tipo	Xi Promedio
1	0% Cascarilla	48,80
2	0,50% Cascarilla	51,04
3	1% Cascarilla	49,64
4	5% Cascarilla	47,79

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Curva de resistencias promedio (patrón y con cascarilla).



Fuente: Elaboración propia.

Con ayuda de la ecuación de la curva se obtiene el porcentaje óptimo de cascarilla. Por consiguiente, se presenta la dosificación óptima y la cantidad en peso de la cascarilla de huevo pulverizada para poder llegar a la resistencia más alta.

Ecuación:

$$MR = 1,56x^3 - 9,63x^2 + 8,91x + 48,80$$

Tabla 60. Porcentaje óptimo de cascarilla.

% de Cascarilla	Resistencia a flexión del Concreto
0,50	51,04

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación óptima:

Tabla 61. Proporciones de materiales óptimos.

Cemento	Arena	Grava
1	1,54	1,89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Cantidad de materiales necesarios para 1m³ de hormigón.

Material	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
Cemento	472,63	472,63
Agua	190	199,36
Grava	900	902,97
Arena	729,22	733,15
TOTAL	2294,22	2310,48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Cantidad de cascarilla de huevo pulverizada para 1m³.

Aditivo	Peso Seco
	kg/m³
Cascarilla de huevo pulverizada	2,38

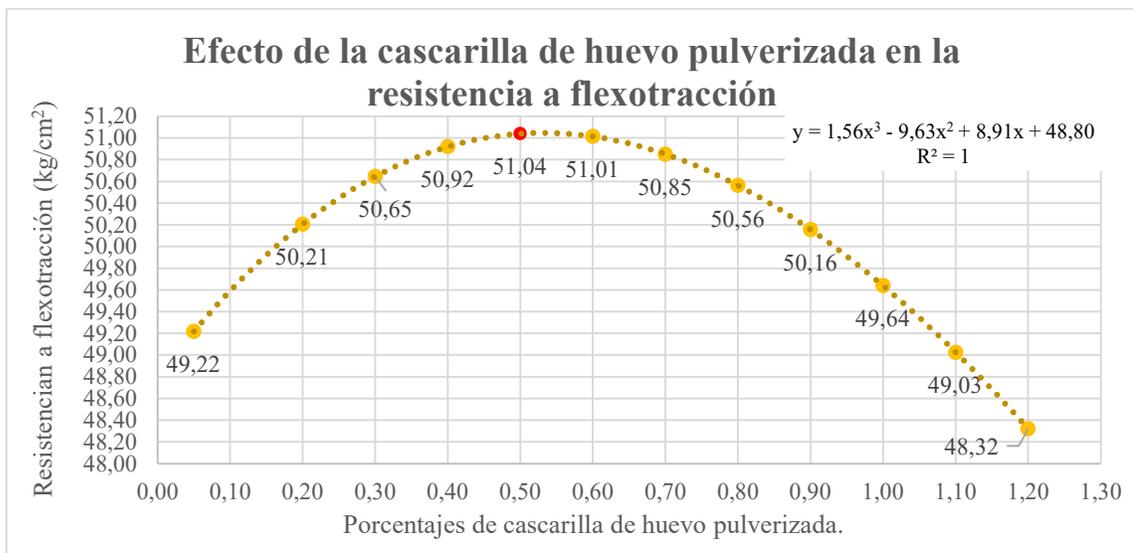
Fuente: Elaboración propia.

Donde se obtiene que para 1 m³ de hormigón el peso de cascarilla es de 2,38 Kg, obteniendo de esta forma una dosificación óptima para una resistencia a flexo-tracción de 51,04 Kg/cm².

4.6. Análisis del efecto de la cascarilla pulverizada a resistencia a flexo tracción.

A partir de la ecuación obtenida para encontrar el porcentaje óptimo de cascarilla se obtiene el siguiente gráfico que nos indica el comportamiento de la cascarilla en diferentes porcentajes en función de la resistencia a flexo-tracción.

Gráfico 9. Curva de efecto de la cascarilla en la resistencia a flexo-tracción.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 9 se presenta el efecto que produce la cascarilla de huevo pulverizada en la resistencia a flexo-tracción, mostrándonos que la resistencia es variable ya que hasta un determinado valor sube, y de ahí en adelante esta empieza a bajar, se observa en la gráfica que el valor más alto en nuestros resultados de resistencias es coincidentemente a nuestro valor más pequeño; este es un comportamiento inusual que se puede observar según las prácticas realizadas en laboratorio.

A partir de esta curva se encontró relaciones bajo las resistencias en promedios obtenidos en laboratorio a los 28 días de edad. De donde podemos denotar que el porcentaje óptimo bajo parámetros de calidad y costo es de 0,50%, estos porcentajes son válidos para la dosificación presentada en el presente proyecto.

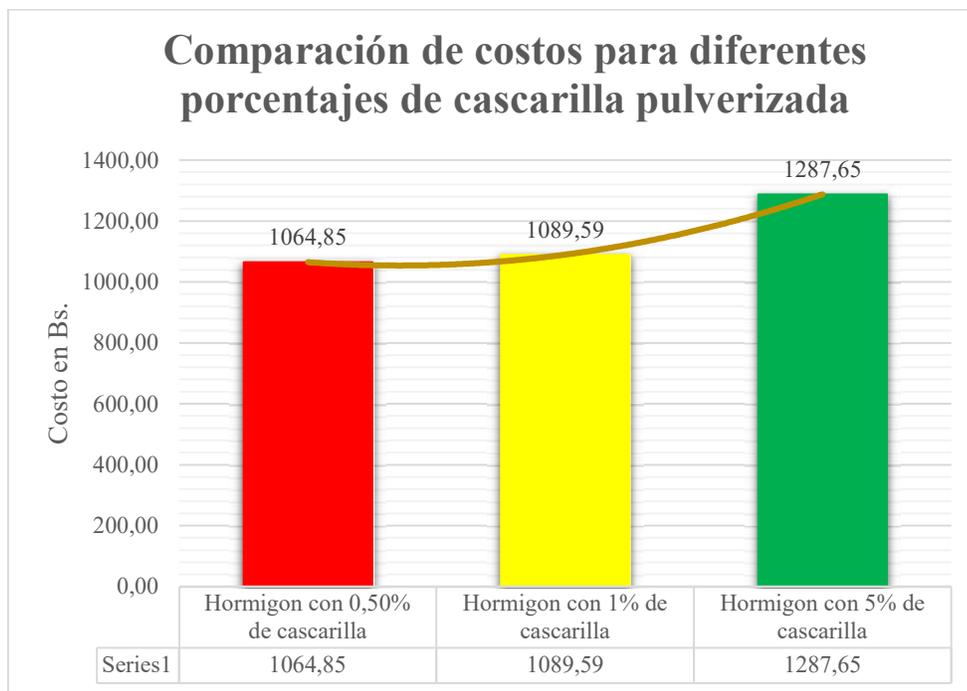
4.7. Análisis de costos.

Para este análisis se tomó como referencia costos de materiales de la revista PL presupuestos y construcción N.º 73 agosto-noviembre del 2021, el precio del cemento fue por investigación en la

zona, también la cascarilla de huevo pulverizada sacando un costo de acuerdo a trabajo realizado en la obtención y lavado del material como se menciona en el capítulo II.

Se hizo un análisis de precios unitarios para el hormigón de alta resistencia patrón y para el hormigón de alta resistencia con cascarilla al 0,50%, 1% y al 5%. En el proyecto 0,50% fue el porcentaje óptimo bajo parámetros de calidad, donde se realizó un análisis comparativo obteniendo que este porcentaje es de igual forma el óptimo bajo parámetros de costo en comparación de los porcentajes adoptados para la investigación, en el presente gráfico se denota esta afirmación.

Gráfico 10. Comparación de costos en mezclas con cascarilla.

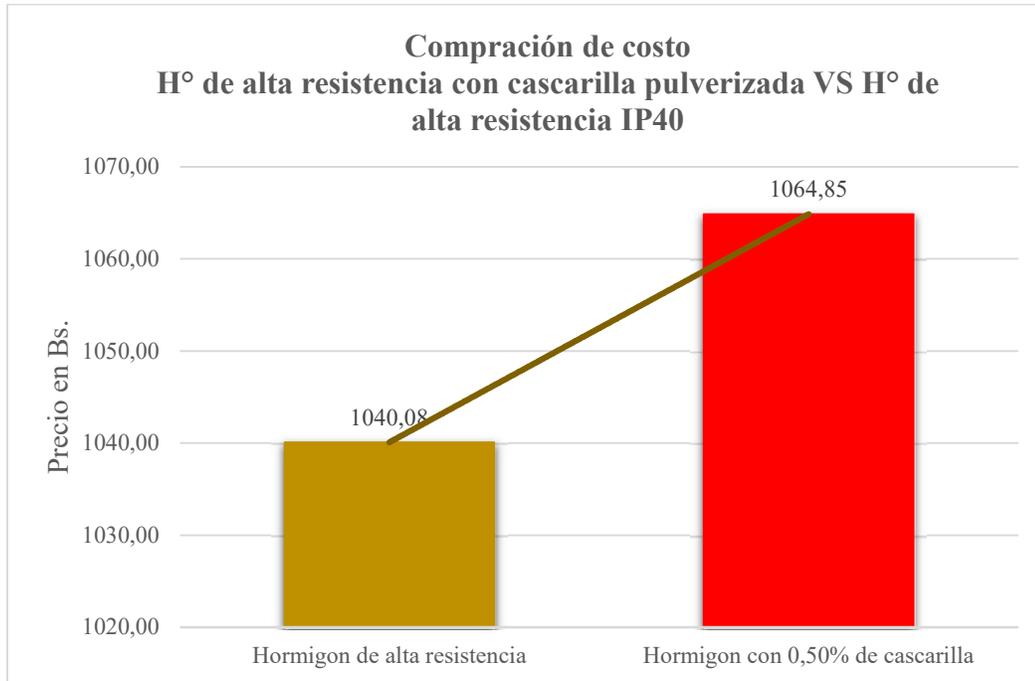


Fuente: Elaboración propia.

Donde se observa que a menor cantidad de cascarilla el costo disminuye por tanto se obtiene que para 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada añadida a la mezcla sustituyendo un porcentaje de cemento esta es técnica y económicamente óptima para hormigones con cemento IP-40.

También en comparación del hormigón de alta resistencia (patrón) y de hormigón con sustitución óptima de cascarilla el resultado tiende a cambiar, aunque en un porcentaje muy pequeño, mismo que se presenta en el siguiente gráfico.

Gráfico 11. Costo de hormigón alta resistencia VS hormigón con cascarilla óptima.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 11 se presenta la comparación de costo entre un hormigón y el otro denotándose que el hormigón de alta resistencia es un 2,38% y con un costo de 24,77bs. más económico que el hormigón con cascarilla para 1 m³. Dado que se trata de una investigación, se debe hacer énfasis en el costo de la cascarilla ya que el mismo es un poco elevado e idealizado porque en nuestro respectivo país o ciudad no existe, y fue fabricado o realizado por mi persona. Este valor podría bajar considerablemente si existiría alguna empresa que lo fabricara y sea comercializado pues se tendría que realizar una compra en grandes cantidades como lo necesitaría realmente un pavimento a la hora de hacer una aplicación con la cascarilla, se debe tomar en cuenta también el impacto ambiental positivo que se tendría a la hora de reciclar puesto que es un material rico en calcio y que muy pocas personas conocen sobre sus beneficios y así también esta fue una de las inquietudes más grandes a la hora de escoger el material a añadir.

El análisis de precios unitarios detallado se lo presenta en anexos.

Presupuesto general:

Tabla 64. Presupuesto general.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Numeral)	Precio Unitario (Literal)	Precio Total (Numeral)
1	Hormigón de alta resistencia sustituyendo 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada para losa pavimento rígido.	m ³	1	1.064,85	Mil sesenta y cuatro 85/100 bolivianos	1.064,85
Precio total (numeral)						1.064,85
Precio total (literal)						Mil sesenta y cuatro 85/100 bolivianos

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Análisis de la diferencia con otros estudios del porcentaje óptimo de cascarilla.

Tabla 65. Diferencias con estudios del porcentaje óptimo.

Título del tema	Porcentajes óptimos	Edad (días)	Resistencia Propuesta (Kg/cm ²)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a flexión (Kg/cm ²)	Conclusión
Análisis comparativo de las propiedades físicas- mecánicas del concreto de resistencias $F^c= 210, 280, 350\text{Kg/cm}^2$ sustituyendo material cementicio por cáscara de huevo. (Adicción de CH). David Daniel Castro Gallardo - Jhon Jhames Alfaro Pérez	2%	28	350	494,15	55,57	El concreto experimental que ha obtenido mejores resultados y se ha mantenido lineal a sus diferentes edades es el concreto sustituyendo 2% de cascarilla de huevo.
Resistencia a compresión de un concreto $f^c= 210\text{kg/cm}^2$ al sustituir al cemento en 4%, 6% y 8% por cáscara de huevo. (Sustitución de CH). (Reyes Chaupis Miguel Ángel)	4%	28	210	214,96	36,65	La resistencia alcanzada del concreto experimental sustituyendo al 4% con la ceniza de cascarilla de huevo es de $f^c=214,96\text{kg/cm}^2$ superando un 2,72% respecto al concreto patrón.
Diseño de pavimento rígido utilizando cascarilla de huevo triturada para mejorar la resistencia a la compresión en el Jr. Ricardo Palma, Banda de Shilcayo, 2019. (Meza Coral Patrick Jian Pierre- Vela Meza Mac Relly)	1,50%	28	210	219,90	37,07	Concluimos que el diseño optimo nos resultó adicionando un porcentaje de 1,50% de cascarilla de huevo triturado, se han mostrado satisfactorios con un $f^c=219,90\text{kg/cm}^2$ a los 28 días.
Análisis de los efectos de la cascarilla de huevo pulverizada en las losas de hormigón, aplicado a carreteras de tráfico vehicular liviano. (Andrade Castillo Grecia Massiel)	0,50%	28	350	416,83	51,04	El porcentaje óptimo de cascarilla de huevo pulverizada es de 0,50%, el cual genera una resistencia a flexo-tracción de $51,04\text{kg/cm}^2$, superando la resistencia mínima requerida según norma en pavimentos rígidos que es de 38 kg/cm^2 .

Fuente: Elaboración propia.

Según referencias guía de estudios similares realizados en países vecinos donde se analizó la sustitución de un porcentaje de cemento por cascarilla de huevo, se observan en los diferentes proyectos, que trabajan con porcentajes variados, donde el objetivo es buscar el porcentaje óptimo. Es por esta razón que trabajan con valores diferentes en su mayoría y al terminar su estudio recomiendan utilizar el valor más bajo que utilizaron en sus prácticas ya que concluyen que esos son los que dan mejores resultados, considerando así el valor óptimo al menor porcentaje utilizado en su respectivo estudio con el que se llega a obtener un valor de resistencia mayor al comparar con la resistencia de la muestra patrón y de esta manera concluyendo que al sustituir un porcentaje de cemento por cascara de huevo ya sea pulverizada o en ceniza se obtienen buenos resultados en losas de pavimento rígido.

4.9. Análisis de otros materiales con propiedad similar a la cascarilla, más factibles.

Para el análisis de otros materiales con propiedades similares a la cascara de huevo que a su vez sean más factibles en su uso, se tomó en cuenta la composición química que tiene nuestro material estudiado el cual cuenta con 1,60% de agua y 98,40% de minerales. De los cuales 93,60% corresponden a carbonato de calcio, 0,80% de carbonato de magnesio y otros en cantidades bajas.

El carbonato de calcio en la industria de la construcción es fundamental en el cemento, o como material de partida para la preparación de la cal mediante su combustión en un horno, es por esta razón que se toma **“la Cal como material más factible en su uso”** siendo esta más comercial y utilizado en construcciones, suelos y otros, teniendo a su vez un costo accesible y de fácil accesibilidad en ferreterías, comerciales, etc.

De esta manera se pudo realizar un análisis de estudios con este material, de manera individual es decir cal sola y combinado con otros materiales también factibles a nuestro medio ya sea como cal más chala de maíz y cal más eucalipto que mezclados concluyen con resultados satisfactorios como se puede observar en la tabla 66, pero no llegan a la resistencia lograda con la cascarilla de huevo ya que trabajan con otros porcentajes.

Tabla 66. Análisis de materiales con propiedades similares a la cascara de huevo.

Título del tema	Material utilizado	Porcentajes óptimos	Edad (días)	Resistencia Propuesta (Kg/cm ²)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a flexión (Kg/cm ²)	Conclusión
Adición de cal para mejorar la resistencia a la compresión del concreto f'c= 210kg/cm² - Moyobamba - San Martín. (Aguilar Macedo Jorge Luis- Díaz Sunción Víctor Luis Germán)	Cal	4%	28	210	235,15	31,85	Adicionar cal tiene un efecto positivo para mejorar la resistencia a la compresión del concreto f'c=210kg/cm ² a los 28 días, se obtienen resultados favorables con 4% de cal y es un material factible y viable.
Propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando cenizas de Chala de Maíz y Cal para pavimentos rígidos, Cusco. (Amat Tito Elías Fortunato)	Cal	5%	28	210	244,10	33,54	La resistencia varia debido a los tratamientos propuestos donde a compresión (5%cal y 10% ceniza) con 244,10kg/cm ² que es 10,97% mayor que el patrón y a flexión (5%cal y 10% ceniza) con 33,54kg/cm ² que es 7,39% mayor que el concreto patrón.
	Ceniza de Chala de Maíz	10%					
Propiedades físicas y mecánicas del concreto adicionando cenizas de Eucalipto y Cal para pavimentos rígidos, Urubamba Cusco 2022. (Huanaco Loayza Eber Buni)	Cal	4%	28	210	219,43	29,69	La resistencia se diferenció debido a las dosificaciones distintas donde a compresión (4%cal y 10% ceniza) es de 219,43kg/cm ² después empezara a descender y a flexión (4%cal y 10% ceniza) con 29,69kg/cm ² después empezara a descender.
	Ceniza de Eucalipto	10%					

Fuente: Elaboración propia.

4.10. Análisis de factibilidad con cascarilla en pavimentos mayor o igual una cuadra.

Realizando el cálculo de la cantidad de cascara de huevo que se utilizó para el proyecto “Análisis de los efectos de la cascarilla de huevo pulverizada en losas de hormigón, aplicado a carreteras de tráfico vehicular liviano”, se calcula 9,21Kg de cascarilla de huevo pulverizada (CH) que usamos para realizar 30 vigas y 15 cilindros con diferentes porcentajes de CH. Para su recolección inicialmente comencé en mi domicilio de acuerdo a la cantidad consumida por mi familia, pasado ese tiempo al ver que necesitaba mayor cantidad de CH me dirigí al Estadio IV Centenario y al Parque Temático a siete carritos ambulantes a dejar bolsas negras con un letrero que decía “cascara de huevo” para que los dueños de estos locales junto a sus cocineros puedan recolectarlo, recogiendo y cambiando de bolsa día por medio, fue de esta manera que se recolecto la cantidad para la realización de las practicas del proyecto presentado, en un tiempo promedio de 1 semana y media aproximadamente. A continuación, se puede ver las cantidades utilizadas por porcentaje tanto en vigas como en probetas.

Tabla 67. Cantidad total de cascarilla de huevo en prácticas.

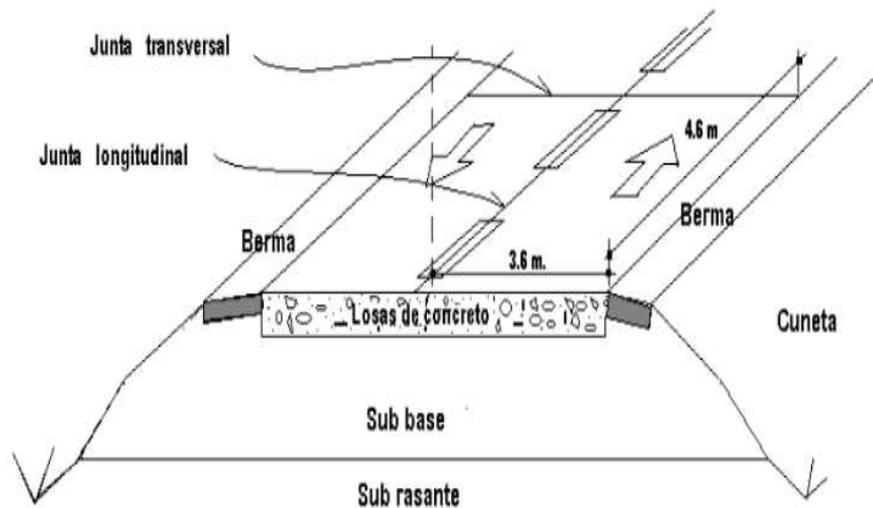
Cantidad de cascarilla de huevo utilizada en vigas					
b= 0,15 m			L= 0,50 m		
h= 0,15 m			V= 0,01 m ³		
Vigas con 0,50% CH (Kg)		Vigas con 1% CH (Kg)		Vigas con 5% CH (Kg)	
0,27		0,53		2,67	
Total % ch en vigas (kg)				3,47	
Cantidad de cascarilla de huevo utilizada en probetas					
D= 0,15 M			L= 0,30 M		
A= 0,07 M			V= 0,02 M ³		
Probeta con 1% CH (Kg)	Probeta con 2% CH (Kg)	Probeta con 3% CH (Kg)	Probeta con 4% CH (Kg)	Probeta con 5% CH (Kg)	Total % CH en probetas
0,30	0,60	0,91	1,21	1,51	4,53
Total de % ch utilizado			9,21		Kg

Fuente: Elaboración propia.

Concluyendo que la cantidad total se puede llegar a recopilar en un tiempo aproximado de 2 semanas, ya que una vez recolectada esta necesita su limpieza y secado.

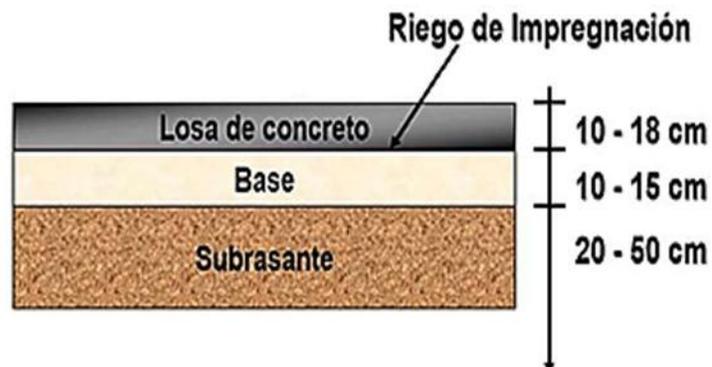
Para calcular el volumen necesario de una losa de concreto para pavimento rígido igual o mayor a una cuadra se tomará en cuenta los siguientes parámetros:

Ilustración 88. Diseño de un pavimento rígido



Fuente: Construyored, Jhonn Jairo Mocondino R.
Ingeniero Civil- Especialista en Ingeniería en Vías Terrestres

Ilustración 89. Capas del pavimento rígido y espesores comúnmente usados.



Fuente: Pavimentos de Ing. Claudio Giordani y Ing. Diego Leone,
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario.

Por lo que se considera que las medidas para un pavimento rígido en el área urbana son iguales a:

Longitud para una cuadra $L= 100\text{m}$

Ancho de carril $b= 3,60\text{m} *2= 7,20\text{m}$ (dos carriles)

Espesor de losa de concreto $h= 0,18\text{m}$

$$\text{Volumen} = L * 2b * h$$

$$\text{Volumen} = 100 \text{ m} * 7,20 \text{ m} * 0,18\text{m}$$

$$\text{Volumen} = 129,60\text{m}^3$$

A continuación, se puede observar la dosificación sin y con cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 68. Dosificación del hormigón sin cascarilla de huevo

Cemento	Arena	Grava
1	1,54	1,89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69. Pesos de los materiales requeridos sin cascarilla de huevo.

Material	Peso kg/m ³
Cemento	475
Agua	190
Grava	900
Arena	729,22
Total	2294,22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. Dosificación del hormigón con cascarilla de huevo

Cemento	Arena	Grava	Cascarilla de huevo 0,50%
1	1,54	1,89	0,005

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71. Pesos de los materiales requeridos con cascarilla de huevo.

Material	Peso Seco kg/m ³
Cemento	472,63
Agua	190
Grava	900
Arena	729,22
Cascarilla de huevo 0.500%	2,37
Total	2294,22

Fuente: Elaboración propia.

Con las distintas dosificaciones mostradas se calcula los precios unitarios de un hormigón de alta resistencia para un pavimento rígido con y sin cascarilla de huevo pulverizada que se pueden observar en el **Anexo 6. Precios Unitarios** y con ayuda de este cálculo se obtiene el presupuesto para pavimentaciones iguales a una cuadra y a su vez el cálculo de la cantidad de cascarilla de huevo necesaria.

Tabla 72. Presupuestos para un hormigón de alta resistencia sin y con Cascarilla.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Cantidad necesaria para una cuadra (m ³)	Precio Total
1	Hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido	m ³	1	Bs1.040,08	129,60	Bs134.794,37
2	Hormigón de alta resistencia sustituyendo 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada para losa pavimento rígido.	m ³	1	Bs1.064,85	129,60	Bs138.004,56

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad requerida para una cuadra de hormigón de alta resistencia sustituyendo 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada para losa de pavimento rígido.

Aditivo	Peso Seco
	kg/m ³
Cascarilla de huevo pulverizada	2,38

Para una cuadra de volumen igual a 129,60m³

$$P = 129,60\text{m}^3 * 2,38\text{Kg/m}^3$$

$$P = 307,80\text{Kg}$$

Cascarilla de huevo necesaria

Concluyendo que el uso de la cascarilla de huevo **no es factible** ya que este no es un material comercial por lo tanto su recolección puede llegar a ser morosa, asumiendo que en 2 semanas se recolecta 9,21Kg de cascarilla de huevo pulverizada y que para una cuadra se necesita 307,80Kg de cascarilla por lo que estimada mente se necesita alrededor de 67 semanas (17 meses) para realizar el trabajo una sola persona, en caso que exista mayor cantidad de personas recolectando de más lugares como panaderías, locales de otras zonas, patios de comida, etc. el trabajo sería más rápido y a su vez requeriría mayor esfuerzo de un grupo encargado.

Por otra parte hablando de costos se observa que la diferencia entre un hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido sin cascarilla de huevo llegaría a costar Bs134.794,37 y utilizando 0,50% de cascarilla de huevo tendría un costo de Bs138.004,56 lo cual lo convierte en un proyecto más costoso con una diferencia de alrededor de Bs3.210,19 por lo que si bien aumenta su resistencia a su vez también aumenta su precio siendo una alta cantidad solo en una cuadra, se llega a la conclusión que su uso **no es factible**.

4.11. Diseño de espesores para diferentes subrasantes (mala, buena y excelente).

4.11.1. Obtención de datos para diseño de espesores con el método AASHTO -93

El diseño de espesores se efectúa con el programa AASHTO- 93, para su ejecución se necesita datos iniciales obtenidos del estudio de pavimento rígido, subrasante y volumen de tráfico de una calle de Villamontes, con los datos obtenidos se realizó el diseño final.

a) Determinación de Unidades ESAL's (W18)

El número equivalente de ejes de 80 KN (ESAL'S) para una vida útil de 15 años para la calle Alberto Vedia se tomó el dato de esta calle de mayor volumen de tráfico diario en estudio del proyecto de grado ("Dimensionamiento de pavimento de concreto de bajo tráfico con la aplicación de losas cortas" / Mollo Flores Patricia), se calcula con la siguiente fórmula:

$$W18 = N^{\circ} \text{ ESAL} * Fc * Fd$$

Donde:

Fc = Factor de distribución

Fd = Factor de distribución direccional

Para la calle Alberto Vedia se tomó el factor de distribución de dos direcciones se tiene el 50 %

$$Fc = 0,50 \text{ el } 50\%$$

Para la calle Alberto Vedia se tomará el factor de distribución es de 2 carriles por dirección del cuadro:

Tabla 73. Número de ESAL que circulan en la calle Alberto Vedia

Número de carriles en cada dirección	% ESAL de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$F_d = 0,80 \text{ el } 80 \%$$

$$W_{18} = 2367678,90 * 0,50 * 0,80$$

$$W_{18} = 947071,56 \text{ ESAL}$$

b) Serviciabilidad

Dependiendo de la importancia de la viabilidad, pueden considerarse los valores de serviciabilidad inicial P_o para pavimento rígido por la norma I.B.C.H. es:

$$P_o = 4,50$$

$$P_t = 2$$

Pérdida de Serviciabilidad

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 4,50 - 2$$

$$\Delta PSI = 2,50$$

c) Desviación estándar

Para los tramos en estudio se procederá a adoptar como se indica en la Tabla 74.

Tabla 74. Desviación estándar para pavimento rígido y flexible.

Condición de diseño	Desviación estándar (S_o)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0,39	0,49

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$S_o = 0,39$$

d) Drenaje

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto de drenaje en la vida de los pavimentos rígidos, desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante un año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la tabla 75, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 75. Coeficiente de drenaje.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1-5 %	5 - 25 %	>25 %
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,00	1,10-1,00	1,00
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

Las condiciones morfológicas de la zona las obras de drenaje indican entre regular y bueno, las características y precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 – 25 % del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por lo tanto, el coeficiente global de drenaje adoptado es:

$$Cd = 1$$

e) Nivel de Confiabilidad

Bajo el criterio la AASHTO la tabla 76, donde se presentan los niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

Tabla 76. Nivel de confiabilidad del pavimento rígido.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías libres	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 90	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

Se adoptó una confiabilidad de 80 % que cumplirá su función prevista dentro de su vida útil y bajo las condiciones (medio ambiente).

$$R = 80\% \quad Z_r = -0,841$$

f) Transferencia de cargas

De la tabla 77 de método AASHTO (1993) considera una berma de asfalto y se adoptara con junta sencilla y reforzada.

Tabla 77. Transferencia de cargas para pavimento rígido.

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de Ho. vinculada	
	Dispositivos de transferencia		Dispositivos de transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y junta reforzada	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Continuamente reforzada	2,9 – 3,2	N/D	2,3 – 2,9	N/D

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$J = 3,20$$

g) Módulo de Elasticidad (Ec)

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión o a flexión del hormigón se usará en nuestra siguiente fórmula:

Resistencia a compresión del hormigón

$F'c = 450,12 \text{ Kg/cm}^2$ o $6402,32 \text{ Psi}$ Para H° Alta resistencia

$$E'c(\text{Psi}) = 57000 * \sqrt{f'c}$$

$$E'c = 57000 * \sqrt{6402,32}$$

$$E'c = 4560824,64 \text{ Psi} \quad \text{Para H° Alta resistencia}$$

$F'c = 492,47 \text{ Kg/cm}^2$ o $7004,69 \text{ Psi}$ Para H° con 0,50% de cascarilla

$$E'c(\text{Psi}) = 57000 * \sqrt{f'c}$$

$$E'c = 57000 * \sqrt{7004,69}$$

$$E'c = 4770560,85 \text{ Psi} \quad \text{Para H° con 0,50% de cascarilla}$$

h) Modulo promedio de rotura del hormigón a los 28 días (Sc)

Se realizó el ensayo de dosificación de hormigón en vigas para las calles en estudio para obtener la ruptura a flexión del hormigón se realizó por cada 10 muestras para así poder sacar el promedio de la resistencia de rotura a flexión.

Tabla 78. Resistencia a flexión.

Módulo de rotura (Sc)	H° Alta resistencia	H° con 0,50% de cascarilla
Sc kg/cm ²	48,80	51,04
Sc lb/pg ² (PSI)	640	700

Fuente: Elaboración propia.

i) Modulo efectivo de reacción de la subrasante (K)

Este factor no da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga.

Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada.

Calle Alberto Vedia

El valor de k se obtuvo a través del ensayo de soporte california (C.B.R.) del suelo natural que vendría a ser nuestra subrasante que se obtuvo de acuerdo a la norma Aashto donde se especifica cuando sería una subrasante mala, buena o excelente:

C.B.R. = 2 %	Mala
C.B.R. = 15 %	Buena
C.B.R. = 40 %	Excelente

Se han propuesto algunas correlaciones de "K" a partir de datos de CBR de diseño de la Sub Rasante, siendo una de las más aceptadas por AASHTO las siguientes expresiones:

$$K=2,55+52,50(\text{Log CBR}) \quad \text{CBR} \leq 10$$

$$K = 46 + 9,08(\text{Log CBR})^{4.34} \quad \text{CBR} > 10$$

K=	18,35	CBR Malo
K=	64,36	CBR Bueno
K=	116,21	CBR Excelente

Tabla 79. Datos para el cálculo de espesores.

Parámetros de diseño	Subrasante		
	CBR Malo	CBR Bueno	CBR Excelente
W18 (ESAL')	947071,56	947071,56	947071,56
Po	4,50	4,50	4,50
Pt	2	2	2
So	0,39	0,39	0,39
Cd	1	1	1
R (%)	80	80	80
Zr	-0,841	-0,841	-0,841
J	3,20	3,20	3,20
F'c (Psi) "H° Alta Resistencia"	6402,32	6402,32	6402,32
F'c (Psi) "H° con 0,50% de cascarilla"	7004,69	7004,69	7004,69
E'c (Psi) "H° Alta Resistencia"	4560824,64	4560824,64	4560824,64
E'c (Psi) "H° con 0,50% de cascarilla"	4770560,85	4770560,85	4770560,85
S'c (PSI) "H° Alta Resistencia"	640	640	640
S'c (PSI) "H° con 0,50% de cascarilla"	700	700	700
K (PSI)	18,35	64,36	116,21

Fuente: Elaboración propia.

4.11.2. Dimensionamiento de espesor con el programa.

Hormigón de Alta Resistencia (Patrón)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 7,18 pulgadas adoptando 7,20 pulgadas con un CBR= 2%, trabajando con un H° Alta Resistencia.

Ilustración 90. Dimensionamiento CBR=2% H° Alta Resistencia.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento
 Flexible
 Rígido

Confiability (R) y desviación estándar (So)
80 % Zr = -0.841
So 0.39

Serviciabilidades inicial y final
PSI inicial 4.5
PSI final 2.0

Tránsito de diseño
W18 947071.56

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) 18,354 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) 4560825 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) 640

Coeficiente de transmisión de carga - J 3.2 J

Coeficiente de drenaje - Cd 1,00 Cd

Espesor de losa D (plg) 7,18

D redondeado (plg) 7,50

W18 real 1,34E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg)
D 7,18 W18 9,47e+005

Quitar el control de variables

Diseñar Ver informe Salir

Fuente: Elaboración propia

Hormigón con 0.500% de cascarilla (Óptimo)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,78 pulgadas adoptando 6,80 pulgadas con un CBR= 2%, trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla.

Ilustración 91. Dimensionamiento CBR=2% H° con 0,50% de cascarilla.

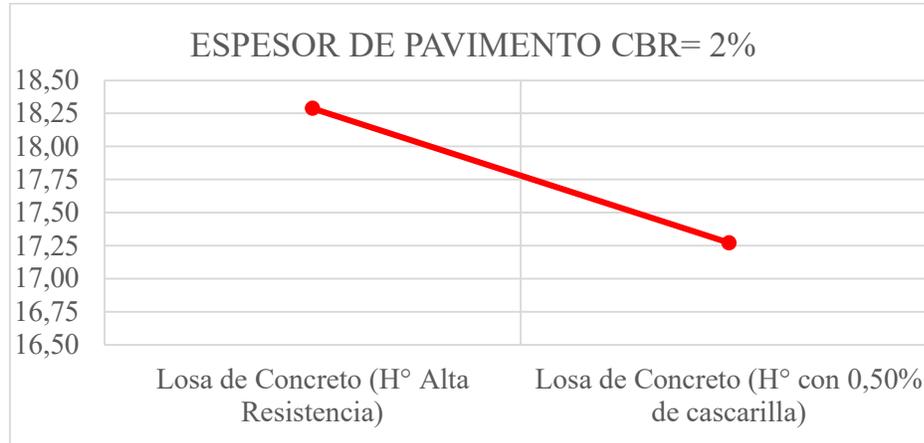
Fuente: Elaboración propia

Tabla 80. Espesor de pavimento CBR= 2% (Malo).

Espesor	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)
Losa de Concreto (H° Alta Resistencia)	7,20	18
Losa de Concreto (H° con 0,50% de cascarilla)	6,80	17

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Demostración de espesor CBR=2%



Fuente: Elaboración propia.

Hormigón de Alta Resistencia (Patrón)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,78 pulgadas adoptando 6,80 pulgadas con un CBR= 15%, trabajando con un H° Alta Resistencia.

Ilustración 92. Dimensionamiento CBR=15% H° Alta Resistencia.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confianza (R) y desviación estándar (So):
 80 % $Z_r = -0.841$ (Ayuda)
 So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final:
 PSI inicial: 4.5 (Ayuda)
 PSI final: 2.0

Tránsito de diseño: W18: 947071.56

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 64.357 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 4560825 ¿ E_c/Sc ?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 640

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coefficiente de drenaje - C_d : 1.00 C_d

Esesor de losa D (plg): 6.78

D redondeado (plg): 7.00

W18 real: 1,18E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg):
 D: 6.78 W18: 9,47e+005

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir, Quitar el control de variables

Fuente: Elaboración propia.

Hormigón con 0,50% de cascarilla (Óptimo)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,48 pulgadas adoptando 6,50 pulgadas con un CBR= 15%, trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla.

Ilustración 93. Dimensionamiento CBR=15% H° con 0,50% de cascarilla.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80% Z_r = -0.841 So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2.0

Tránsito de diseño: W18: 947071.56

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 64.357 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 4770561 ¿E_c/S_c?

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 700

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coefficiente de drenaje - C_d: 1.00 C_d

Espesor de losa D (plg): 6.48

D redondeado (plg): 6.50

W18 real: 1.02E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg): D: 6.48 W18: 9.47e+005

Quitar el control de variables

Diseñar Ver informe Salir

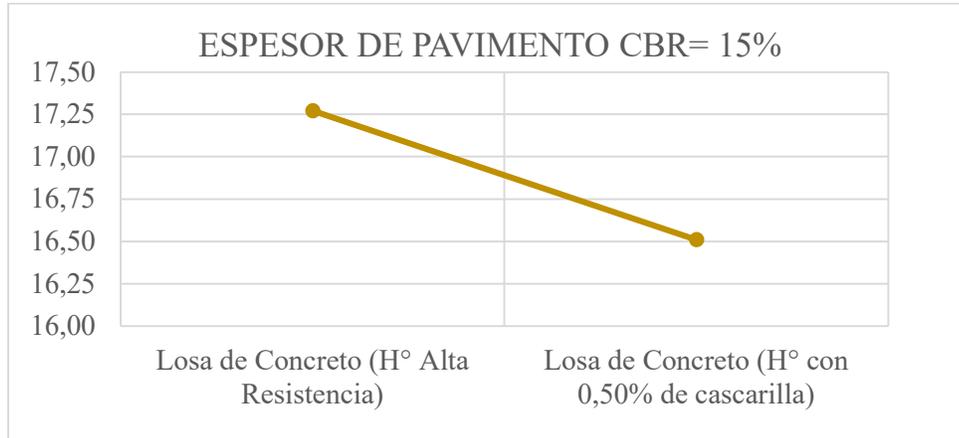
Fuente: Elaboración propia

Tabla 81. Espesor de pavimento CBR= 15% (Bueno).

Espesor	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)
Losa de Concreto (H° Alta Resistencia)	6,80	17
Losa de Concreto (H° con 0,50% de cascarilla)	6,50	16,50

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13. Demostración de espesor CBR=15%



Fuente: Elaboración propia

Hormigón de Alta Resistencia (Patrón)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,53 pulgadas adoptando 6,60 pulgadas con un CBR= 40%, trabajando con un H° Alta Resistencia.

Ilustración 94. Dimensionamiento CBR=40% H° Alta Resistencia.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80% Zr = -0.841, So = 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.5, PSI final = 2.0

Tránsito de diseño: W18 = 947071.56

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 116.209

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4560825

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 640

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2

Coefficiente de drenaje - Cd: 1.00

Esesor de losa D (plg): 6.53

D redondeado (plg): 7.00

W18 real: 1.46E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg): D = 6.53, W18 = 9.47e+005

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Fuente: Elaboración propia

Hormigón con 0.500% de cascarilla (Óptimo)

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,21 pulgadas adoptando 6,30 pulgadas con un CBR= 40%, trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla.

Ilustración 95. Dimensionamiento CBR=40% H° con 0,50% de cascarilla.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80 % Zr = -0.841 (Ayuda) So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 (Ayuda) PSI final: 2.0

Tránsito de diseño: W18: 947071.56

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 116.209 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4770561 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 700

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coefficiente de drenaje - Cd: 1.00 Cd

Espesor de losa D (plg): 6.21

D redondeado (plg): 6.50

W18 real: 1,28E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg): D: 6.21 W18: 9,47e+005

Quitar el control de variables

Diseñar Ver informe Salir

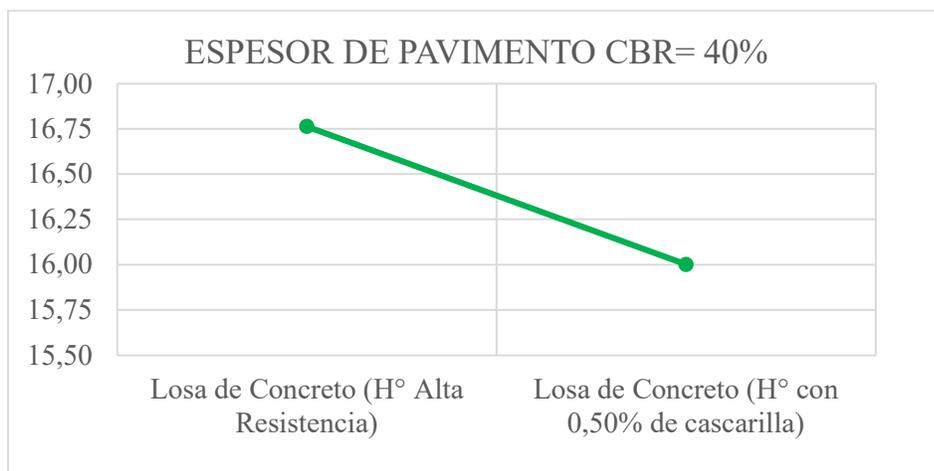
Fuente: Elaboración propia

Tabla 82. Espesor de pavimento CBR= 40% (Excelente).

Espesor	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)
Losa de Concreto (H° Alta Resistencia)	6,60	17
Losa de Concreto (H° con 0,50% de cascarilla)	6,30	16

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14. Demostración de espesor CBR=40%



Fuente: Elaboración propia

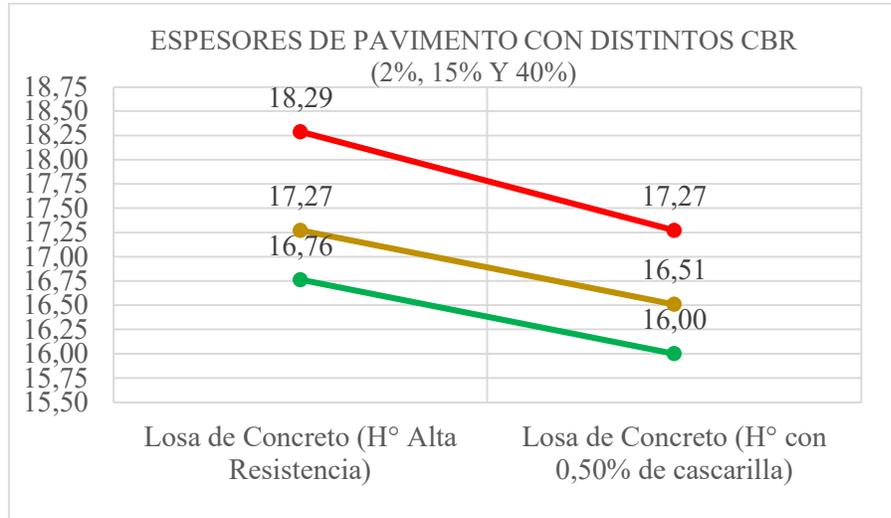
En la siguiente tabla se puede observar los distintos resultados de acuerdo a un CBR (Malo, Bueno y Excelente).

Tabla 83. Resultados finales de espesores según su CBR

Espesor	CBR (Malo)		CBR (Bueno)		CBR (Excelente)	
	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)
Losas de Concreto (H° Alta Resistencia)	7,20	18	6,80	17	6,60	17
Losas de Concreto (H° con 0,50% de cascarilla)	6,80	17	6,50	16,50	6,30	16

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15. Diferencia de espesores entre los 3 CBR (cm).



Fuente: Elaboración propia

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 7,20 pulgadas (18 cm) con un CBR= 2% (Malo) con un H° alta resistencia (patrón) y se tiene un espesor de losa= 6,800 pulgadas (17 cm) con un CBR= 2% trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla (óptimo) con lo cual se puede observar que la diferencia de espesores utilizando estos concretos es de 1 cm de altura siendo el H° con 0,50% de cascarilla el de menor altura.

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,80 pulgadas (17cm) con un CBR= 15% (Bueno) con un H° alta resistencia (patrón) y se tiene un espesor de losa= 6,50 pulgadas (16,50 cm) con un CBR= 15% trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla (óptimo) con lo cual se puede observar que la diferencia de espesores utilizando estos concretos es de 0,50 cm de altura siendo el H° con 0,50% de cascarilla el de menor altura.

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de losa= 6,60 pulgadas (17cm) con un CBR= 40% (Excelente) con un H° alta resistencia (patrón) y se tiene un espesor de losa= 6,30 pulgadas (16 cm) con un CBR= 40% trabajando con un H° con 0,50% de cascarilla (óptimo) con lo cual se puede observar que la diferencia de espesores utilizando estos concretos es de 1 cm de altura siendo el H° con 0,50% de cascarilla el de menor altura.

4.12. Evaluación técnica, económica y ambiental sobre el uso de la cascarilla.

4.12.1. Evaluación técnica.

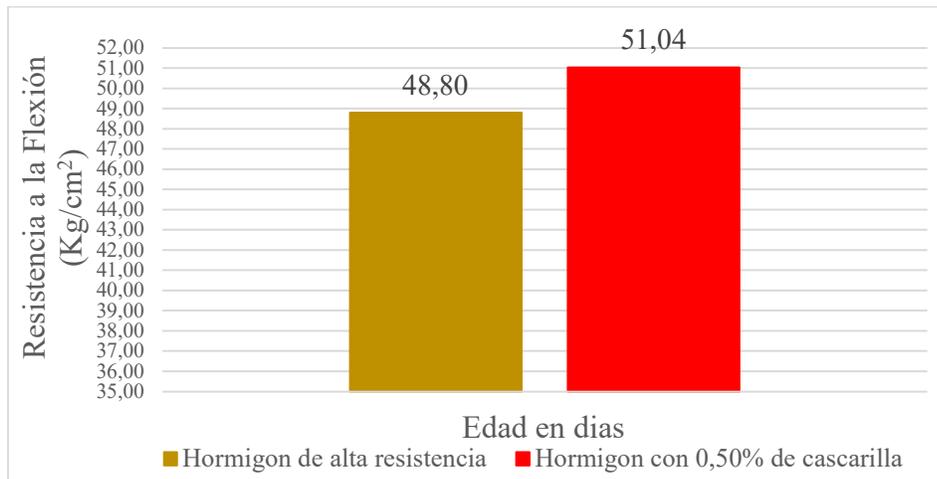
A nivel técnico se puede observar en la siguiente tabla y gráfica de resistencias finales de las vigas patrón y de las vigas con sustitución de 0,50% de cascarilla de huevo, que el uso de esta llegaría a ser un aditivo beneficioso al remplazarse un pequeño porcentaje de cemento en losas de concreto para pavimento rígido.

Tabla 84. Resistencias a flexión en hormigones sin y con cascarilla de huevo.

Material	Resistencia (kg/cm ²)
Hormigón de alta resistencia	48,80
Hormigón con 0,50% de cascarilla	51,04

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16. Diferencia entre las resistencias de muestras patrón VS óptima.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual, se puede apreciar que técnicamente la sustitución de cascarilla de huevo muestra un estudio beneficioso ya que obtiene una diferencia sobresaliente en **resistencia a flexión**, con relación a una viga patrón que resiste 48,80Kg/cm² y una viga que al sustituir 0,50% de cemento por CH resiste 51,04Kg/cm² teniendo una diferencia total de 2,24Kg/cm² entre estas muestras.

Ilustración 96. Presentación de la cascarilla de huevo utilizada.



Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración se observa la forma y presentación de la cascarilla de huevo, en la que se utilizó para realizar las prácticas de dicho proyecto por lo que se muestra que es un **material de gran trabajabilidad**, pues su forma es similar a la del cemento, es por eso que no presenta problemas al adherirse con los demás materiales y logra un resultado beneficioso y de similar trabajabilidad que al usar solo cemento como se observa en la tabla.

Tabla 85. Trabajabilidad muestra patrón VS muestra óptima

Tipo de hormigón	Asentamiento promedio (cm.)
Hormigón de alta resistencia	2,46
Hormigón con 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada	2,36

Fuente: Elaboración propia.

Así también, es un material que se puede encontrar internacionalmente, aunque de momento no es un material comercial, en el continente europeo ya existe una fábrica (Eco-SHELL que con su coordinador Eggnovo) trabaja con cascaras de huevo recopilando el compuesto carbonato de calcio y dándole un mayor beneficio.

4.12.2. Evaluación Económica.

Evaluando desde el punto económico el uso de la cascarilla de huevo **no es beneficioso** ya que este no es un material comercial en nuestro medio. Al realizar su recopilación, limpieza, secado y pulverizado para que dicho material logre una textura trabajable y similar a la del cemento se necesita un proceso moroso y que podría llegar a ser costoso dependiendo de la cantidad de personas o empresa que realice este trabajo.

Por lo tanto, se analiza la comparación de presupuestos que se realizó para la construcción de una cuadra de losa de concreto de alta resistencia sin y con la sustitución de 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada.

Tabla 86. Presupuesto comparativo hormigón patrón VS hormigón óptimo.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Volumen para 1 cuadra (m ³)	Precio Total
1	Hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido.	m ³	1	Bs1.040,08	129,60	Bs134.794,37
2	Hormigón de alta resistencia sustituyendo 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada para losa pavimento rígido.	m ³	1	Bs1.064,85	129,60	Bs138.004,56
Diferencia de presupuesto para una cuadra						Bs 3.210,19
Diferencia de presupuesto (literal)						Tres mil, Doscientos diez 19/100 bolivianos

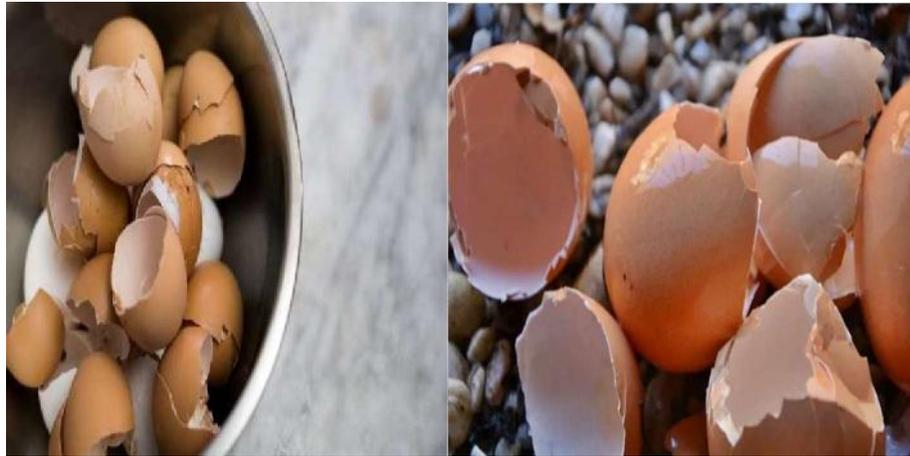
Fuente: Elaboración propia.

Haciendo la comparación de presupuestos se concluye que para una cuadra de construcción la diferencia en costos es de Bs. 3.210,19; considerando que no será realizado en una cuadra sino más bien mínimamente para un kilómetro donde estaríamos hablando de 10 cuadras aproximadamente aumentando de esta manera su precio a Bs. 32.101,90 en lo cual se muestra una diferencia alta en su presupuesto, demostrándose de esta manera que **no sería un proyecto bueno económicamente.**

4.12.3. Evaluacion Ambiental

En el ámbito ambiental, hoy en día a nivel nacional e internacionalmente, existe un problema relevante debido a la contaminación ambiental, al alto volumen de residuos, de todo tipo; en donde podemos encontrar la cáscara de huevo la cual se produce en gran volumen y es un material no reutilizado en la actualidad.

Ilustración 97. Como es desechada la cascara de huevo y podría ser reutilizada.



Fuente: Okdiario.com – Nuestroclima.com

Una alternativa es mediante una adecuada gestión de la cáscara de huevo, por ejemplo, realizar actividades de reciclaje y reutilización de ella, la cual, si se realizará de manera eficiente, logrará generar beneficios para la sociedad, economía y medio ambiente, reduciendo la demanda de materiales cementicios. Estos residuos podrían ser aprovechados en usos alternativos, diversos estudios avalan la inclusión de estos productos pulverizados o como cenizas ya que logran obtener propiedades puzolánicas y podrían usarse en sustitución del cemento para producir concreto de similares características que los convencionales lo que abre nuevas posibilidades, el aprovechamiento de estos desechos reducirá la contaminación ambiental y por ende su impacto en el ambiente.

Concluyendo que **ambientalmente tendría un provechoso beneficio** al reducir de cierta manera la contaminación.

Tabla 87. Resumen total de la Evaluación.

Tipo de evaluación						
Técnica				Económica		Ambiental
Resistencia a flexo tracción del hormigón de alta resistencia sin cascarilla de huevo.	48,80	kg/cm ²	Al sustituir un porcentaje de cemento por cascarilla de huevo esta se vuelve más resistente.	Hormigón de alta resistencia sin cascarilla de huevo. (1 cuadra)	Bs 134.794,37	Reciclar evitaría la acumulación de volúmenes de residuos y así también la contaminación ambiental.
Resistencia a flexo tracción del hormigón de alta resistencia con la sustitución de 0,50% de cemento por cascarilla de huevo.	51,04	kg/cm ²		Hormigón de alta resistencia con sustitución de 0.500% de cemento por cascarilla de huevo. (1 cuadra)	Bs 138.004,56	
Trabajabilidad en el hormigón de alta resistencia sin cascarilla de huevo.	2,46	cm	Tiene una trabajabilidad similar a la del hormigón de alta resistencia (muestra patrón).	Diferencia entre ambos presupuestos	Bs 3.210,19	
Trabajabilidad en el hormigón de alta resistencia con sustitución de 0,50% de cemento por cascarilla de huevo.	2,36	cm				
Existencia del material	Es encontrado a nivel mundial, ya que es un alimento de alto consumo en todos los países.					Ayudaría por sus propiedades en la sustitución del cemento evitando desechar este material y más al contrario reutilizándolo.

Fuente: Elaboración propia.

Técnicamente es beneficioso tanto por su resistencia demostrada, por la trabajabilidad que tiene y por lo que existe a nivel mundial. **(Bueno)**

Económicamente muestra ser no beneficiosa por lo que su precio se eleva con Bs 3.210,19 en un tramo de una cuadra considerando que en un proyecto de mayor magnitud este tendría un aumento mayor. **(Malo)**

En el ámbito ambiental es beneficioso al evitar principalmente acumulación de residuos ayudando a la contaminación ambiental. **(Bueno)**.

Tabla 88. Evaluación de manera porcentual.

Tipo de Evaluacion					
Técnico		Económico		Ambiental	
Resistencia	11%	Su precio aumenta	0%	Reciclar evitaría la contaminación	33%
Trabajabilidad	5%				
Existencia del material	11%				
Sumatoria	27%	+	0%	+	33%
60%					

Fuente: Elaboración propia.

Concluyendo que, si sería factible el proyecto, ya que, logra tener un 60% de aceptación según los tres puntos estudiados en los casos técnico, económico y ambientalmente que llegaría a ser su calificación de manera porcentual.

4.13. Evaluación y comparación de hormigones con cascarilla a misma resistencia.

Para subsanar esta corrección primero se realizó el vaciado de 3 vigas aumentando cemento a la muestra patrón en 3 cantidades diferentes (200gr, 500gr, 700gr) cantidad aumentada por viga, para llegar a una resistencia igual o similar a la obtenida con nuestra muestra óptima donde se sustituyó 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada y de esta manera llegamos a obtener una resistencia a flexo tracción de 51,04Kg/cm².

Tabla 89. Análisis estadístico aumentando cemento y obtener la resistencia óptima.

N°		Xi	(Xi-X prom)	(Xi-X prom) ²
1	X1	51	-0,08	0,01
2	X2	51,41	0,33	0,11
3	X3	50,86	-0,22	0,05
4	X4	52,22	1,14	1,31
5	X5	49,91	-1,17	1,37
Sumatoria	$\Sigma=$	255,41	$\Sigma=$	2,83
Media	$X \text{ prom} =$	51,08	kg/cm²	
Desviación estándar	$\sigma =$	0,84	kg/cm²	
Coficiente de variación	$CV =$	1,65	%	
Varianza	$\sigma^2 =$	0,71		

Fuente: Elaboración propia.

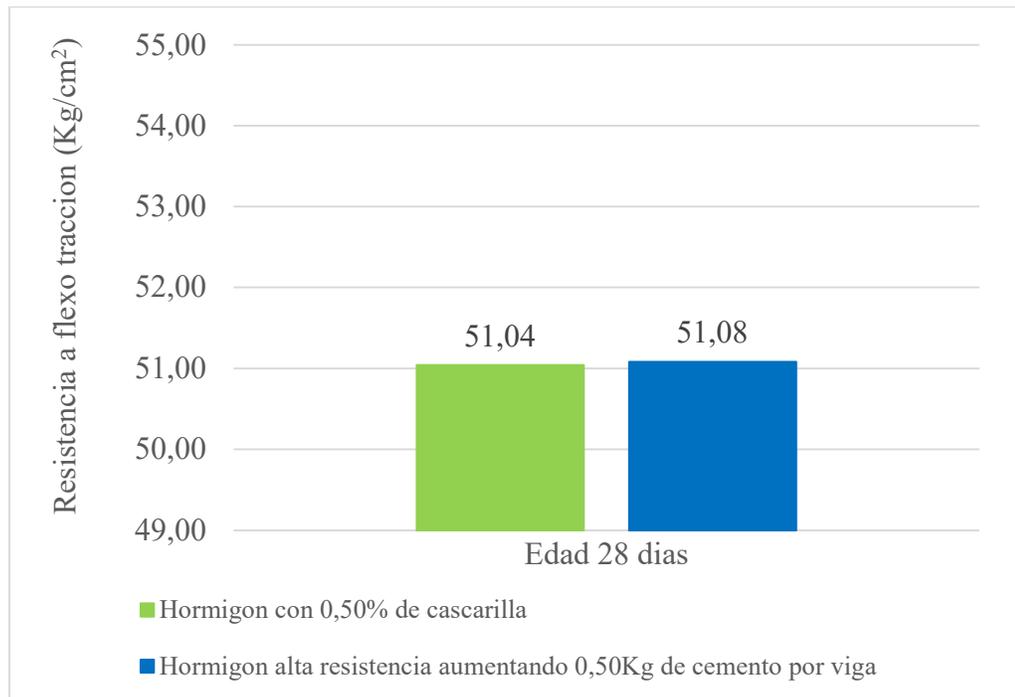
Tabla 90. Resultados obtenidos del análisis estadístico

Vigas prismáticas con 0% de cascarilla de huevo pulverizada.			
Cantidad de muestras	n=	5	Nro.
Sumatoria de resistencias	Σ=	255,41	
Módulo de rotura promedio	X prom=	51,08	kg/cm²
Desviación estándar	σ=	0,84	kg/cm²
Coefficiente de variación	CV=	1,65	%

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar las muestras aumentando cemento para llegar a la misma resistencia del valor optimo se llega a la conclusión que es necesario aumentar 0,50Kg de cemento por viga, para que esta pueda tener una resistencia similar a la óptima variando 0,04Kg/cm² pues la viga en la que se utilizó 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada tiene una resistencia de 51,04Kg/cm² y la viga donde aumentamos 0,50Kg de cemento por viga tiene una resistencia de 51,08Kg/cm².

Gráfico 17. Muestra 0,50% CH (óptima) VS 0,50Kg aumento de cemento



Fuente: Elaboración propia.

Con esta gráfica se demuestra que se pudo llegar a una resistencia muy parecida aumentando 0,50Kg de cemento en cada viga vaciada, de esta manera se realizará el cálculo de cemento a utilizar por metro cúbico para obtener su precio unitario.

Dosificación utilizada para una viga con hormigón de alta resistencia (patrón)

Cemento	Arena	Grava
1,000	1,540	1,890

Material	Peso kg/m³
Cemento	475
Agua	190
Grava	900
Arena	729,22
Total	2294,22

Medidas de una viga (muestra) para la práctica de resistencia a flexo tracción

Tabla 91. Cálculo del volumen necesario para una viga.

Molde viga		
Alto	Ancho	Largo
0,15	0,15	0,50
Volumen (m³)		0,01

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo para el peso necesario de cemento en viga patrón

$$P = \frac{0,01 * 475}{1}$$

$$P = 6,42 \text{ Kg}$$

Tabla 92. Material necesario para el vaciado de una viga.

Para Patrón IP-40		
Molde Rectangular Viga		
Volumen (m³)		0,01
Vigas		1
Cemento	6,42	Kg
Agua	2,57	Kg
Grava	12,15	Kg
Arena	9,85	Kg
Total	30,98	Kg

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del peso nuevo de cemento para 1m³ al aumentar 0,500Kg de cemento por viga.

$$P + 0,500 = 6,42Kg + 0,50 Kg$$

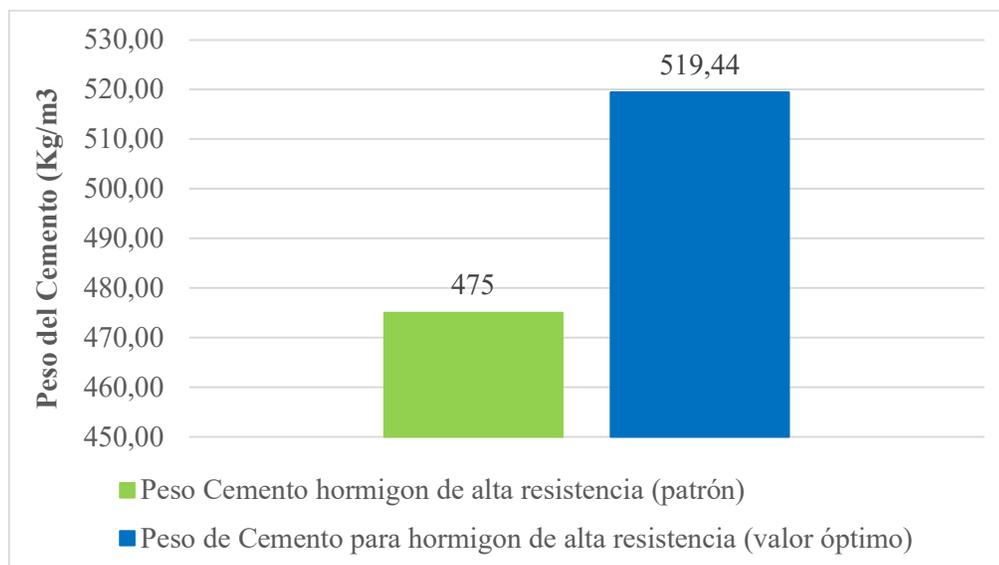
$$P + 0,50 = 6,92Kg$$

$$P_{nuevo} = \frac{6,92Kg * 475Kg/m^3}{6,42Kg}$$

$$P_{nuevo} = 519,44Kg/m^3$$

Entonces el nuevo peso del cemento para 1m³ de hormigón de alta resistencia(óptimo) para que este llegue a una resistencia a flexo tracción similar a la obtenida con la sustitución de 0,50% de cascarilla de huevo por cemento es de 519,44Kg/m³, comparándolo con la dosificación de la viga (patrón) que tenía un peso de 475 Kg/m³ su diferencia es igual a 44,44Kg/m³ de cemento.

Gráfico 18. Cantidad de cemento aumentado para 1m³ concreto (resistencia óptima).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93. Diferencia de precio viga patrón, 0,50% cascarilla y aumento cemento.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Numeral)	Precio Unitario (Literal)	Precio Total (Numeral)
1	Hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido	m ³	1	1.040,08	Mil cuarenta 80/100 bolivianos	1.040,08
2	Hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido con 0,50% cascarilla	m ³	1	1.064,85	Mil sesenta y cuatro 85/100 bolivianos	1.064,85
3	Hormigón de alta resistencia para losa de pavimento rígido con aumento de cemento para llegar a la resistencia óptima	m ³	1	1.091,55	Mil noventa y uno 55/100 bolivianos	1.091,55
Diferencia de precio patrón vs 0,50% de cascarilla						24,77
Diferencia de precio patrón vs aumento de cemento para llegar a la resistencia óptima						51,47
Diferencia de precio 0,50% cascarilla vs aumento de cemento para llegar a la resistencia óptima						26,70

Fuente: Elaboración propia.

En esta evaluación podemos concluir que obteniendo una resistencia de $51,04 \text{Kg/cm}^2$ al sustituir 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada (nuestro valor óptimo) se tiene un precio de Bs 1.064,85 por metro cúbico de hormigón y realizando un aumento de cemento para llegar a una resistencia similar a la óptima con $51,08 \text{Kg/cm}^2$ su precio es igual a Bs 1.091,55 por metro cúbico lo cual demuestra que para tener la misma resistencia y no usar cascarilla de huevo pulverizada su precio aumenta en Bs 26,70 y en comparación al precio de la muestra patrón aumenta Bs 51,47 por metro cúbico.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Se cumplió con el objetivo general de analizar el efecto de la cascarilla de huevo pulverizada sustituyendo un porcentaje de cemento, aplicado en carreteras de tráfico vehicular liviano, se encontró que la cascarilla reciclada influye de manera positiva en la resistencia a la flexo-tracción, calidad y costo.

- Se realizó la respectiva caracterización de los agregados y del cemento logrando obtener una buena dosificación para el pavimento rígido.
- Se obtuvo los porcentajes utilizados realizando pruebas en laboratorio utilizando los valores más recomendados por tesis de otros países quienes demostraron que utilizando entre 1% y 5% de cemento sustituido por cascarilla de huevo se obtenían resultados satisfactorios comparados con la muestra patrón, donde se obtuvo que las probetas más resistentes a compresión estaban entre 0% ($327,57\text{Kg/cm}^2$) y 1% ($392,57\text{Kg/cm}^2$).
- Las resistencias a flexo-tracción utilizando el porcentaje de 0,50% y 1% en la sustitución de cemento por cascarilla pulverizada comparando con la muestra patrón tiene una resistencia mayor, más al contrario, la muestra con 5% de cascarilla pulverizada tiene una resistencia menor a la misma, por lo que se concluye que si se adiciona cascarilla dentro de los rangos apropiados existirá una mejora en la resistencia a flexo-tracción.
- La sustitución de un porcentaje de cemento por cascarilla de huevo pulverizada, influye en las propiedades de hormigón, ya que reduce su trabajabilidad debido a las propiedades del material y del cemento, sin embargo, es tolerable hasta un porcentaje máximo de 0,50% ya que aumentando cascarilla la trabajabilidad del hormigón disminuye.
- El porcentaje óptimo de cascarilla de huevo pulverizada es de 0,50%, el cual genera una resistencia a flexo-tracción de $51,04\text{Kg/cm}^2$, este valor supera la resistencia mínima requerida según norma para hormigones en pavimentos rígidos igual a 38Kg/cm^2 , tomando en cuenta que este porcentaje es limitante, ya que, a mayor cantidad de adición de cascarilla se evidencia una reducción en la resistencia del hormigón a flexo-tracción.

- En el análisis de costos de acuerdo a precios unitarios se comprobó que el hormigón con 0,50% de cascarilla de huevo pulverizada es técnica y económicamente el valor óptimo, en comparación de las otras mezclas con el mismo tipo de cemento (IP-40), obteniendo que el hormigón con 0,50% de sustitución de cemento por cascarilla es un 2,38 % más caro que el hormigón con cemento de alta resistencia (patrón), es decir esta muestra es Bs. 24,77 más económica.
- Técnicamente el uso de cascarilla de huevo está a la mitad ya que es factible por su mayor resistencia, pero no es un material comercial; económicamente no es factible, por su tardía recolección lavado y pulverizado; finalmente ambientalmente es factible evitando contaminación y acumulación de residuos.
- El diseño de espesores se realizó con tres CBR de la subrasante, los cuales tienen variabilidad mínima es decir: para un CBR=2% (Malo) entre la muestra patrón y óptima su diferencia de altura de espesor del concreto es de 1cm; para un CBR=15% (Bueno) entre la muestra patrón y óptima su diferencia de altura de espesor del concreto es de 0,50cm y para un CBR=40% (Excelente) entre la muestra patrón y óptima su diferencia de altura de espesor del concreto es de 1cm siendo en todos los casos la muestra óptima la de menor altura de espesor.
- El precio unitario para la resistencia de 51,04 Kg/cm² obtenida con la muestra óptima al sustituir 0,50% de cemento por cascarilla de huevo pulverizada es igual a Bs 1.064,85 por metro cúbico y el precio unitario utilizando solo cemento logrando la misma resistencia es igual a Bs. 1.091,55 por metro cúbico. Concluyendo que al no utilizar cascarilla de huevo pulverizada su costo incrementa Bs. 26,70 por metro cúbico.

5.2. Recomendaciones.

- Es recomendable que la cascara de huevo sea pulverizada, así mismo lograr que esta sea lo más parecida posible a la finura del cemento.
- No se recomienda el uso de cascarilla en porcentajes mayores a 0,50%, puesto que la trabajabilidad reduce en hormigones, volviéndose ineficiente a la hora de puesta en obra por la mezcla seca poco trabajable.

- La cascarilla de huevo como material de sustitución del cemento, actúa de forma efectiva, sin embargo, los rangos que se establece según los antecedentes y la presente investigación son de 0,10% a 0,50% que es el valor más elevado y óptimo en nuestro proyecto. Estos valores nos dan la resistencia mayor comparada con la resistencia de la muestra patrón.
- Para el uso correcto en obra de la cascarilla usada en el presente proyecto, el autor presenta en el capítulo II, la forma de fabricación del material ya que este no es comercializado y son muy pocas las personas que conocen sus propiedades.
- Uno de los inconvenientes para la caracterización de los agregados es la disposición de estos por lo que se recomienda ubicar los agregados y el cemento en un lugar adecuado, para que el material mantenga las condiciones en las cuales se realizaron las caracterizaciones iniciales.
- Se recomienda que el equipo para hormigonar sea de capacidad de al menos 4 probetas prismáticas, esto porque se tiene una variación en los resultados, dado que en la presente investigación la mezcladora era de capacidad de 2 probetas prismáticas generando una variable extraña que puede ocasionar error a la hora de realizar una investigación.