

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En la relación agua/cemento, el agua es de suma importancia ya que su relación con el cemento está totalmente unida a grandes cantidades de propiedades finales. Pero cuando existe el aumento de cantidad adicional de agua, se tendrá un aumento de fluidez de la mezcla, la cual por su contextura nos podrá dar una mejor trabajabilidad y plasticidad, estos beneficios son muy grandes puestos en obra. No obstante, también tiene ciertas desventajas como disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre.

El hormigón es un material muy utilizado en el ámbito de la construcción, puesto que se debe tener mucho en cuenta, propiedades, efectos, y en principal la relación agua/cemento, puesto que esta relación tiene varias propiedades mecánicas con el concreto. La resistencia es afectada directamente por la relación y se mide mediante la prueba de compresión y flexión. Por lo que es muy importante conocer las propiedades del concreto con el que se está trabajando, determinando su utilidad a largo plazo y cumpliendo con los estándares requeridos para su finalidad de proyecto.

Lo que se pretende realizar con este trabajo es el de dar mayor utilización del pavimento rígido con el mejoramiento de la resistencia a flexotracción, ya que el pavimento rígido es más durable. Con la investigación se quiere determinar una relación agua cemento óptima con la cual se pueda mejorar la resistencia a flexotracción y definir los criterios mediante ensayos de laboratorio, los cuales consisten en rotura de probetas o vigas. Con los conocimientos adquiridos en materias pasadas como ser mecánica de suelos, hormigón armado, carreteras, etc. Obtenemos una base firme sobre la teoría del proyecto de investigación para su posterior desarrollo. Los conceptos de la investigación se pueden aplicar en la ciudad de Tarija, ya que se usarán materiales del medio tarijeño y se quiere dar mayor uso a los pavimentos de rígidos.

1.2. Antecedentes de trabajos relacionados

1.2.1. Internacional

1.2.1.1. Lima

Bustamante Romero, I. G. (febrero de 2017), en su tesis de pregrado “Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú” sostiene que una alta permeabilidad podría ocasionar efectos nocivos en el concreto, debido a que es más propenso al deterioro físico y químico del mismo. Por este motivo se plantea como objetivo, el correlacionar el efecto en las propiedades del concreto que tiene el uso de diferentes relaciones de agua / cemento (0.45, 0.5, 0.6 y 0.7) y adicionando una serie de aditivos plastificantes para compensar dicha porosidad. Haciendo usos de los ensayos de capilaridad y permeabilidad, es que se pudo llegar a la conclusión de que esta varía exponencialmente, si es que la comparamos con la relación agua / cemento. (Bustamante Romero, 2017).

Esta tesis nos ha sido de gran utilidad para saber qué ensayos son empleados al evaluar la permeabilidad del concreto. Las diferencias que se pueden encontrar entre esta tesis y el trabajo de investigación a desarrollar, son: en esta investigación no se ha hecho uso de impermeabilizantes con el fin de encontrar una relación neta entre la relación agua cemento y la permeabilidad del concreto; se ha hecho uso de un distinto tipo de cemento, lo que altera todos los resultados; se ha hecho uso de diferentes relaciones agua cemento, tomando como referencia el respectivo diseño de mezcla; además de que se ha jugado con diferentes resistencias del concreto.

1.2.2. Nacional

1.2.2.1. La Paz

Ever Marcelo Calle Velazco (2019), en su tesis de pregrado “Evaluación del pavimento rígido con implementación de macro fibras de distinta fabricación” sostiene que evaluar la mejora de calidad del pavimento rígido con la incorporación de macro fibras y sus distintas procedencias de fabricación, las mismas que fueron utilizadas en los 10,46 km de la autopista de dos calzadas y tres carriles de circulación cada sentido.

Por este motivo se plantea que la adición de macro fibras de polipropileno incrementa las propiedades mecánicas del pavimento rígido, esto con el fin de evitar fisuras de contracción durante el fraguado y reducir el espesor de losa.

La tesis mencionada ha sido tomada como referencia para saber los que ensayos son empleados para evaluar las propiedades mecánicas del pavimento rígido, tales como la resistencia a flexotracción y compresión.

1.2.3. Local

1.2.3.1. Tarija

Mendoza Sánchez Fabián Fernando (2021) es su tesis de pregrado “Evaluación del comportamiento mecánico del pavimento rígido reforzado con fibras de acero DRAMIX 3D” Analizar y comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas, el espesor de losa y los costos en un pavimento convencional y un pavimento reforzado con fibras de acero, lo cual permita evaluar las ventajas y desventajas de la utilización de las fibras de acero.

Lo que se pretende realizar con este trabajo es el de dar mayor utilización del pavimento rígido con la utilización de las fibras de acero, por esta razón se encuentra la cuestionante de qué ventajas ofrece este material (fibras de acero) y si en efecto con la utilización de este material existe una reducción de costo.

Esta tesis nos ha sido de gran utilidad para saber qué ensayos son empleados al evaluar la permeabilidad del concreto. Las diferencias que se pueden encontrar entre esta tesis y el trabajo de investigación a desarrollar, son: en esta investigación no se ha hecho uso de impermeabilizantes con el fin de encontrar una relación neta entre la relación agua cemento y la permeabilidad del concreto; se ha hecho uso de un distinto tipo de cemento, lo que altera todos los resultados; se ha hecho uso de diferentes relaciones agua cemento, tomando como referencia el respectivo diseño de mezcla; además de que se ha jugado con diferentes resistencias del concreto.

1.3. Justificación

El concreto es el principal material que se utiliza en la industria de la construcción. Se caracteriza por ser heterogéneo y poroso, por tanto, propenso al ingreso de agentes agresivos que causan su deterioro físico y químico afectando sus propiedades mecánicas.

La relación agua cemento constituye un parámetro importante de la composición del hormigón, tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón, también es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el hormigón fresco. O sea que se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de hormigón.

La relación agua cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua cemento tanto más favorable son las propiedades de la pasta de cemento endurecida. Existe una estrecha relación entre la relación agua/cemento y la resistencia del concreto. A menor relación agua/cemento, mayor será la resistencia a obtener. Por el contrario, a mayor relación agua/cemento, menor será la resistencia.

La investigación contribuye a ampliar los datos sobre las propiedades mecánicas del pavimento rígido, en específico de la resistencia a flexotracción y también la incidencia de la relación agua/cemento en la calidad de pavimento rígido para el uso de la población, para contrarrestarlos con otros estudios similares y analizar las posibles variantes que se generen. La investigación busca proporcionar información que sea útil al investigador y demás personas que realicen un estudio sobre el tema, para mejorar el conocimiento sobre el alcance del problema que existe y las formas de prevenirlo y solucionarlo.

Es de conocimiento que en la ciudad de Tarija la mayoría de las vías construidas son de pavimento flexible, debido a que, en comparación con el pavimento rígido, el tiempo de ejecución y costo son menores. Un pavimento rígido no solo compensa esos aspectos, sino que también ayudaría a mejorar la calidad de vida de las personas y se evitarían accidentes de tránsito debido a baches y demás fallas que existen en muchas de las calles de nuestra ciudad y que no son reparadas o que ya fueron reparadas demasiadas veces y el pavimento flexible sigue deteriorándose aún más con el tiempo.

El presente estudio pretende determinar un análisis entre la relación agua/cemento y la resistencia a flexotracción, tomando en cuenta que la resistencia o módulo de rotura se utiliza para el control de campo y de aceptación de pavimentos.

1.3.1. Aporte académico

El presente trabajo se basa en el ensayo de dosificación por método ACI y la rotura de vigas de hormigón por ASTM C-78, entonces al estudiar la variación de las propiedades del concreto al variar su relación agua/cemento me permite conocer cuál es el comportamiento que tiene este en la resistencia a flexotracción o durabilidad, por ejemplo. Aparte de ello me permite conocer el efecto que tiene el diseño de mezcla sobre dichas propiedades del concreto en estado fresco y endurecido para pavimentos rígidos.

1.4. Planteamiento del problema

1.4.1. Situación problemática

La incidencia del agua cemento es un factor que influye en la resistencia de flexotracción en los pavimentos rígidos de tal manera que se puede cuantificar mediante pruebas de laboratorio en las cuales se variaran las relaciones de agua/cemento para obtener dichas resistencias y posteriormente analizar los resultados.

Los pavimentos rígidos presentan distintas fallas a causa de la variación agua cemento y recibir las cargas de los vehículos. Todo esto influye en los valores de la resistencia a flexotracción en los pavimentos rígidos, para lo cual se estudiará las variaciones de relación agua/cemento y buscar una óptima relación para obtener la máxima resistencia posible.

El pavimento flexible a diferencia del pavimento rígido requiere un mantenimiento en un lapso de menor tiempo, lo que implica un mayor costo a largo plazo por lo cual se busca que los efectos de cargas en los pavimentos rígidos deben disminuir para evitar fallas en la resistencia y daños posteriores para así darle mayor uso ya que es más durable.

Se deben realizar un análisis a las causas que producen las deficiencias y corregirlas para posibles mejoras, para esto se realizaran un número “n” de muestras en las cuales se determinara la resistencia a flexotracción y con los resultados obtenidos formar una base de datos.

1.4.2. Delimitación temporal.

Esta investigación se realiza en tiempo presente por qué se quiere analizar la incidencia de la relación agua cemento en la resistencia a flexotracción.

Fecha aproximada	EVENTO	¿Cómo tributa este dato?
Agosto del 2022	Exploración de un concepto de interés (MECOIN)	Se determina un concepto de interés trazando la línea de interés más factible
Octubre del 2022	Se identifica el objeto de investigación y perspectiva	Se realiza una afirmación negativa y luego se determina el objeto de investigación
Noviembre del 2022	Se redacte el título preliminar	Aprobado por el docente guía
Noviembre del 2022	Se da precedente el título de la propuesta	Esto aprobado en junta del departamento de vías
Diciembre del 2022	Se aprueba la asignatura CIV 501	Perfil aprobado en sus diseños; teórico y metodológico.
Febrero del 2023	Exploración de bancos de material	Se busca diferentes bancos de la ciudad de Tarija para ver si cumplen las especificaciones técnicas
Marzo del 2023	se inicia con la extracción de materiales del banco	llevando el material de trabajo a laboratorio
Marzo del 2023	se planifica todos los ensayos a realizar	se plantea un horario de laboratorio para realizar los ensayos
Marzo del 2023	Se da inicio a los ensayos	Presentando folder de documentos al encargado de laboratorio
Agosto del 2023	Se termina con los ensayos	Firmado de planillas por el encargado de laboratorio de hormigones
Octubre del 2023	Entrega de borrador	Borrador completo para ser revisado y aprobado por el docente.
A partir de noviembre	Pre defensa	Pre defensa con tribunales

Fuente: Elaboración propia

1.4.3. Delimitación espacial.

Las muestras de los agregados serán obtenidas de la cantera de Santa Ana ubicada en la ciudad de Tarija, provincia Cercado; así también el tipo de cemento “el puente” y luego de ser extraídas las muestras de los agregados serán trasladadas al laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para los ensayos correspondientes.

1.4.4. Formulación del problema.

¿De qué manera, la relación agua cemento incide en la resistencia a flexotracción de pavimentos rígidos?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar la incidencia de la relación agua/cemento en hormigones para pavimento rígido, realizando vigas o probetas prismáticas en las cuales se pueda calcular la trabajabilidad y la resistencia a flexotracción con el fin de determinar la relación agua/cemento óptimo que cumpla la norma ACI.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados mediante pruebas de laboratorio.
- Determinar una dosificación adecuada para cada relación agua/cemento.
- Determinar mediante pruebas de laboratorio las propiedades de trabajabilidad y resistencia a flexotracción para cada variación de relación a/c.
- Analizar y comparar las propiedades de trabajabilidad y resistencia a flexotracción para cada variación de relación agua/cemento.

1.6. Hipótesis.

La incidencia de la relación agua cemento aumenta la resistencia a flexotracción del hormigón para pavimento rígido

1.6.1. Definición de variables independientes y dependientes

VARIABLES

➤ Independientes

- La relación del agua/cemento en el hormigón para pavimento rígido.

➤ Dependientes

- La resistencia a flexotracción y la trabajabilidad del hormigón para pavimento rígido.

1.6.2. Operacionalización de las variables

Tabla 1.1 Variable Independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO	Se refiere a un incremento o disminución de cemento y/o agua en la dosificación	Agua	[lt].	Calculada respecto del volumen total de la muestra
		Cemento	[gr.]	Calculada respecto del volumen total de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
RESISTENCIA DEL PAVIMENTO	Es la resistencia a flexotracción del pavimento que aumenta o disminuye en función a la variación de dosificación	Trabajabilidad	Asentamiento [cm]	Ensayo del cono de Abrams
		Curado	datos por día [n]	Sumergido a 28 días en la piscina
		Prueba de Resistencia	[kg/cm ²]	Realizado con la prensa hidráulica, aplicando 2 cargas iguales simétricas colocadas a los tercios de la luz de la probeta
		Resultados y tablas	Informe final	Proceso de cálculos normados.

Fuente: Elaboración propia

1.7. Alcance de la investigación

En esta investigación se tiene como única variable manipulable a la relación agua cemento expresado en unidades adimensionales los cuales fueron dados por el investigador y una variable dependiente que es la resistencia a flexotracción.

Esta variable dependiente (resistencia a flexotracción), que motivada por la variable independiente (relación agua cemento) cambia su valor en tal sentido que se trata de una investigación con alcance “causal/explicativo”, con diseño experimental en la categoría cuasiexperimento.

Para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación se evalúan los agregados del hormigón los cuales están sometidos a ensayos de caracterización, la mezcla de hormigón en estado fresco realizando el ensayo de consistencia y las probetas prismáticas únicamente a ensayos de rotura, de esta manera obtener los resultados y analizar la incidencia que tiene la relación agua cemento en la resistencia a flexotracción.

CAPÍTULO II
ESTADO DEL CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Antecedentes

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

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

2.1.2. Historia de los pavimentos rígidos

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

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

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

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

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

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

2.1.3. Pavimento rígido

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

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

Se compone de losas de concreto que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40

años, el mantenimiento que requiere es mínimo y sólo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas. (Montejo, 2002)

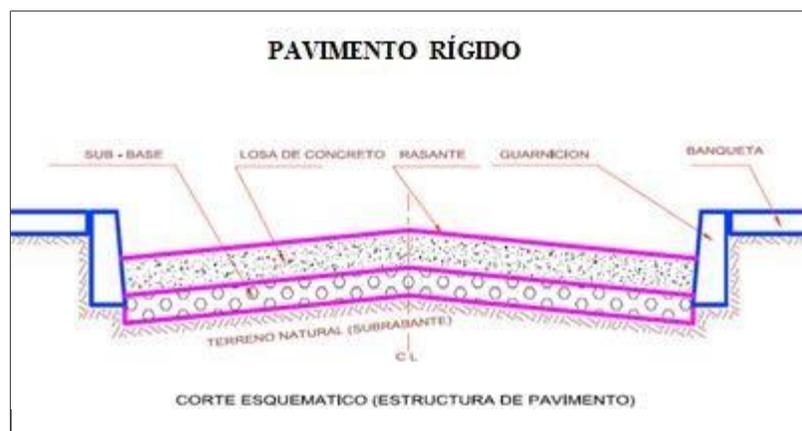
Figura 2.1: Absorción de esfuerzo que se ejerce sobre el pavimento



Fuente: Ingeniería de pavimentos Alfonso Montejo Fonseca

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

Figura 2.2: Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido



Fuente: Ingeniería de pavimentos Alfonso Montejo Fonseca

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

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

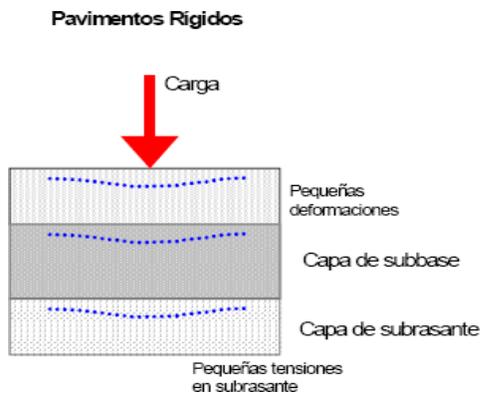
- Velocidad en su construcción.
- Mayor vida útil con alto índice de servicio
- Mantenimiento mínimo
- No se deforma ni deteriora con el tiempo
- Requiere menor estructura de soporte

“Para la elaboración de un pavimento de concreto es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento en el tiempo”
(Montejo, 2002)

2.1.4. Estructura de pavimento rígido

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. (Sanchez, 2003)

Figura 2.3: Pavimento rígido sometido a una carga



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

2.1.5. Elementos que integran un pavimento rígido

2.1.5.1. Subrasante

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

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. (*Montejo, 2002*)

2.1.5.2. Subbase

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

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

Especificaciones técnicas para la subbase:

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

Para la construcción de afirmados y sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras clasificados y aprobados

por el Supervisor o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

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

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

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

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

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

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

Subbase de afirmado o material granular:

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

- Distribuir las cargas solicitantes, de manera que sobre las subrasantes actúan presiones compatibles con la calidad de ésta. (*Montejo, 2002*)

2.1.6. Tipos de pavimento rígido

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

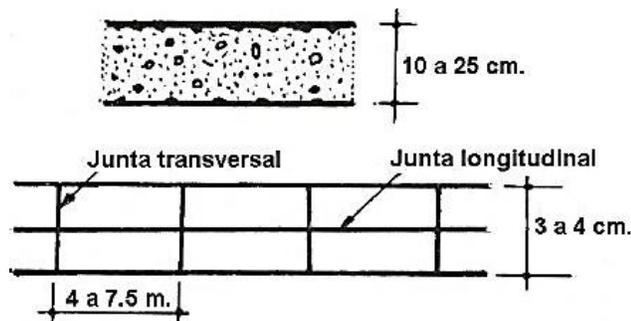
- Pavimentos de concreto simple
- Pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas.
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.
- Pavimentos de concreto preesforzado

A continuación, se presentan las características de cada tipo de pavimento. (Garza, 1996)

2.1.6.1. Pavimentos de concreto simple

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

Figura 2.4: Pavimento rígido simple

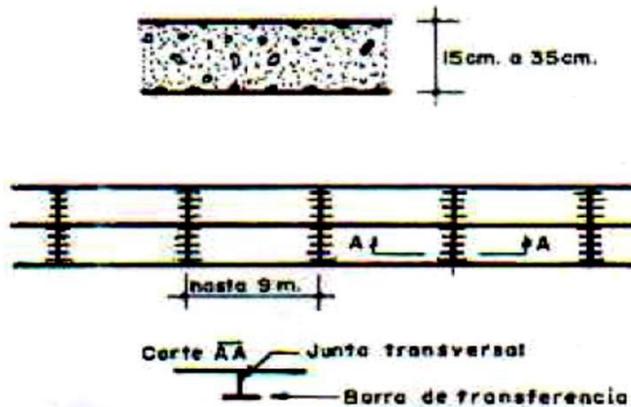


Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

Pavimentos de concreto con refuerzo en las juntas

En los pavimentos de concreto las juntas son consideradas las zonas críticas, por lo cual dichas se entrelazan entre sí por medio de un refuerzo. Cuando la losa está sometida a la acción de una carga, las varillas que van en dichas juntas cumplen la función de transmitir la carga a las demás losas. La ventaja que ofrece el refuerzo en las juntas es que el espesor de la losa se reduce y la capacidad de carga del pavimento se ve aumentada. (Garza, 1996)

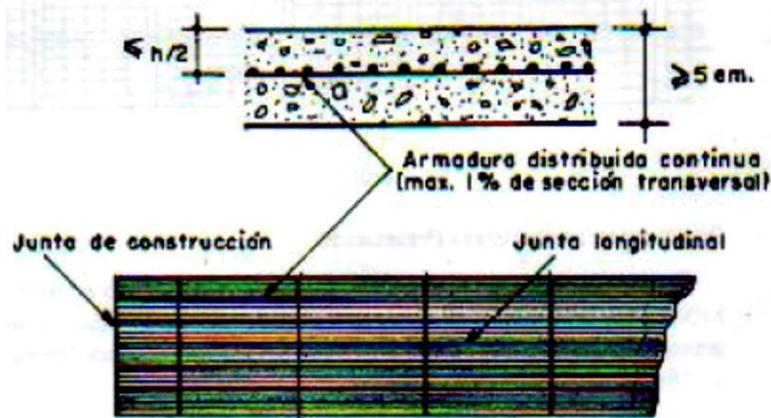
Figura 2.5: Pavimento rígido con refuerzo en las juntas



Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

2.1.6.2. Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

Figura 2.6: Pavimento Rígido con Refuerzo Continuo



Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

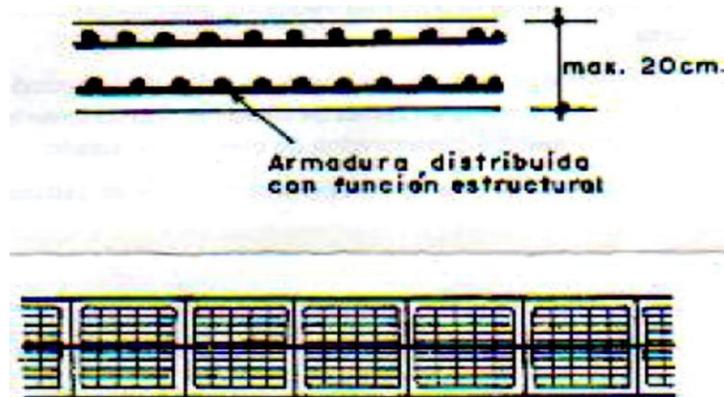
En este tipo de pavimentos, también se requiere que existan las juntas, pero en este caso el refuerzo no está limitado a estas, sino que dicho refuerzo se coloca en forma longitudinal y transversal quedando una malla continua en el pavimento, con este tipo de armado se puede tener un control sobre las grietas que aparecen en el concreto, así como también tener un aumento en la capacidad de carga del pavimento, reduciéndose el espesor de la losa. (Garza, 1996)

2.1.6.3. Pavimentos de concreto preesforzado

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

Con esto se logra una reducción del espesor de la losa en forma notable y además las juntas van un poco más alejadas. (Garza, 1996)

Figura 2.7: Pavimento rígido preesforzado



Fuente: Pavimentos Rígidos. José Juan Garza Ruiz.

2.1.7. Propiedades y características del pavimento rígido

2.1.7.1. Propiedades de pavimento rígido

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

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

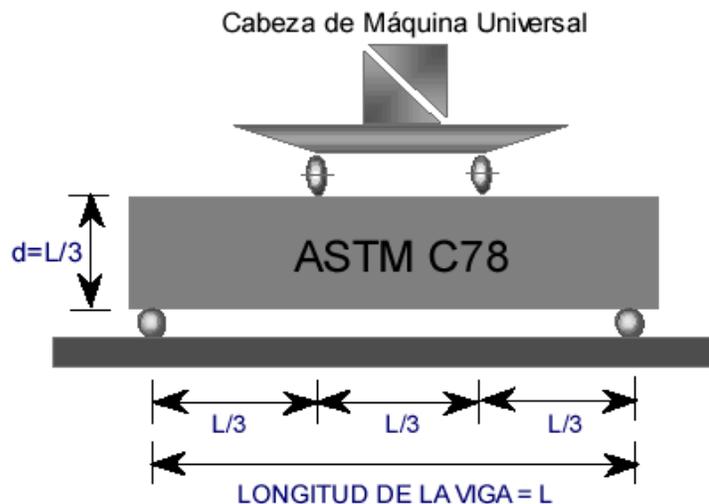
Propiedades del Concreto: Son tres las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil:

- Resistencia a la tensión por flexión (S'c) ó Módulo de Rotura (MR).
- Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec).
- Durabilidad. (Rodriguez, 2015)

2.1.7.1.1. Módulo de rotura (MR)

Los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, se recomienda que su especificación de resistencia sea trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Rotura (MR) normalmente especificada a los 28 días. El módulo de rotura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aprox. 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño. (AASHTO, 2006)

Figura 2.8: Medida del módulo de rotura ASTM C78



Fuente: Manual de construcción Cemex

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

Tabla 2.1: Recomendaciones para módulos de rotura

Módulo de Ruptura Recomendado

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

Fuente: Manual de construcción Cemex

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

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

Según el comité ACI, la resistencia promedio a la compresión del concreto a los 28 días no será menor de 280 kg/cm² esta resistencia se toma como base para el diseño de la pasa junta y los tensores. (*Instituto mexicano del cemento y del concreto, 2004*)

2.1.7.1.2. Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

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

Los dos más utilizados son:

- $E_c = 6,750 * MR$
- $E_c = 26,454 * MR ^ 0$

Estas fórmulas aplican con unidades inglesas (*ABC, 2007*)

2.1.7.1.3. Durabilidad

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

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

2.1.7.1.4. Características de pavimento rígido

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

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

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

Alta Resistencia

El pavimento de concreto posee una alta resistencia a la flexión y compresión; estas dependen principalmente del material (cemento) en combinación con los agregados pétreos que la conforman. Aquella, simplemente no puede ser alcanzada por un asfalto debido a las características de sus materiales. (*Hormigon, 2004*)

Rigidez

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

Estabilidad de la superficie de rodamiento

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

La estabilidad de las superficies de rodamiento, se califican de acuerdo a su comportamiento ante la acción de los agentes atmosféricos y a la resistencia al daño acumulado por la magnitud de las cargas, que el tráfico vehicular produce. En calidad de usuarios de las carreteras, es obvio que muchas veces no cuantificamos el enorme impacto que representa el transitar por superficies de rodamiento deformables. La experiencia que en este sentido tienen en E.U.

Color

Tal vez, ésta característica sea despreciada por muchos proyectistas de pavimentos a la hora de hacer una elección por uno de asfalto o de concreto, pero se ha demostrado que el color natural que da el cemento Portland al concreto, hace que éste posea una alta reflectancia a la luz; tal vez en algunas horas del día puede ser un poco molesto pero en la noche hace que el pavimento de concreto sea mucho más visible que el asfáltico, y esto representa un enorme ahorro en cuanto a iluminación y al mantenimiento de éste.
(Hormigon, 2004)

2.1.8. Mezclas en pavimentos rígidos

2.1.8.1. Agregados

Los agregados son fragmentos, granos pétreos o cualquier material duro e inerte formado por fragmentos clasificados en una amplia gama de tamaños, que se mezcla con un material cementante para formar concreto o un material similar y le dotan de características favorables relacionadas con el desarrollo de resistencias mecánicas, trabajabilidad, la adherencia con la pasta de cemento y la disminución de retracción plástica, entre otras.

Los agregados, también conocidos como áridos o inertes, son fragmentos o granos, cuya finalidad es abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica. Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad de la mezcla. (*M. Das, 2013*)

Clasificación de los agregados

La clasificación general de los agregados se puede realizar por:

Su origen

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

- Rocas ígneas
- Rocas sedimentarias
- Rocas metamórficas

Mientras que los agregados artificiales son todos aquellos que han sufrido un proceso de transformación en su forma y/o composición tales como escorias de alto horno, concreto reciclado o cualquier otro compuesto que puede ser agregado al concreto que aporte resistencia y que no sea perjudicial y/o reaccione químicamente con la mezcla. (M. Das, 2013)

El método de fragmentación

Los agregados por el modo de fragmentación se clasifican en:

- Naturales.
- Manufacturados.
- Mixtos

Agregados naturales

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

Agregados manufacturados

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

Agregados mixtos

Los agregados que se denominan mixtos son producto de la fragmentación inicial de la roca (origen natural, bloques, cantos rodados y gravas mayores) y una subsecuente fragmentación inducida por medios artificiales, es decir, el tamaño de la roca es reducido por medio de trituración mecánica. Este proceso se utiliza con el fin de aprovechar los fragmentos naturales de gran tamaño, los cuales, que, de no ser triturados, no podrían utilizarse como agregados en el concreto, y también para la corrección de la curva granulométrica y el aprovechamiento integral del material disponible entre otros. (M. Das, 2013)

El tamaño de sus partículas.

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

2.1.8.1.1. Agregado grueso

Son aquéllos que están formados por partículas de ¼ de pulgada (6.35 mm) de diámetro y mayores.

Grava

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación. (M. Das, 2013)

Tabla 2.2: Especificaciones – Materiales – Granulometría de la Grava

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

Fuente: Mecánica de suelos Braja M. Das

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

Tabla 2.3: Especificaciones – Materiales – Sustancia Perjudiciales en Grava

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

Fuente: Mecánica de suelos Braja M. Das

El agregado grueso, además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad, el desgaste los ángeles 35% máximo. Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados.

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

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

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

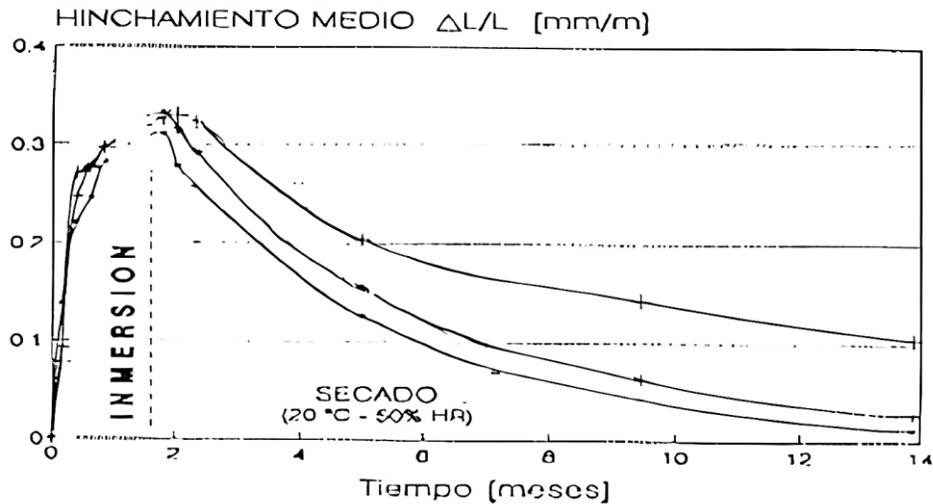
Visto el comportamiento de laboratorio, esta diferencia no cabe sino interpretarla como asociada a diferentes grados de humedad, lo que en último término puede ser representado como una diferencia térmica equivalente, pero de signo contrario.

Así, en el pavimento un secamiento representativo del paso del invierno al otoño equivale a aumentar la temperatura de bloqueo en unos 10° C. Por ello, un pavimento hormigonado

en tiempo frío compensa mejor los efectos adversos del secamiento por tener su sistema de juntas más cerradas desde su nacimiento. (M. Das, 2013)

2.1.9. Efectos de los cambios de humedad

Figura 2.9: Hinchamiento–Retracción por Inmersión Secado en vigas



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

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

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

En resumen, de todo lo visto hasta aquí se desprende que, por falta de mejores cuidados en la construcción, muy fáciles de implementar, los pavimentos de hormigón suelen ser entregados al tránsito con algunos importantes hándicaps que afectan su capacidad estructural una vez puestos en servicio. (A Edgardo, 2005)

2.1.9.1. El estado plástico del concreto

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

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

Durante el colado del concreto, muchas veces se presentan grietas cuando éste se encuentra en estado plástico, las cuales pueden ser evitadas conociendo las causas. La causa básica del agrietamiento es la restricción. Si todas las partes del concreto estuvieran libres para moverse cuando el concreto se expande o se contrae, no habría agrietamientos ocasionados por cambio de volumen, dado que estos agrietamientos son producidos por el desarrollo de deformaciones diferenciales que inducen esfuerzos por tensión. Generalmente estas fisuras son de dos tipos: Fisuras por Asentamiento Plástico y Fisuras por Contracción Plástica.

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

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

El tamaño del agregado es un factor determinante en la cantidad de agua que se utilizará. Entre mayor es la cantidad de los agregados finos en la mezcla, aumentara la demanda del agua, esto significa evitar la mezcla con demasiada arena y preferir la mezcla con mayor cantidad de grava, siempre y cuando se obtenga una mezcla que no presente problemas en la colocación, consolidación y acabado del mismo. Otros factores que intervienen en la

cantidad de agua a utilizar son el revenimiento, la relación agua-cemento, la forma del agregado, el contenido de aire y las condiciones ambientales. (A Edgardo, 2005)

2.1.10. Procesos constructivos

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

2.1.10.1. Trabajos preliminares

En los trabajos previos a la formación de la capa subrasante de cualquier obra vial, se realiza la limpieza, despalme, trazo y nivelación; en nuestro proyecto particular se nos facilita bastante llevar a cabo los conceptos de limpieza, despalme, trazo y nivelación; Con moto conformadora se retira la basura y material orgánico en toda la longitud y ancho de la avenida, después la brigada de topografía fija, los bancos de nivel y hace el trazo horizontal mediante la colocación de trompos o estacas de madera que determina el eje del proyecto. Para la construcción de la capa subrasante se fijan niveles en el tramo a construir en cada jornada de trabajo que normalmente es de 100 m. de longitud por 12.00 m. de ancho de cada cuerpo del bulevar; generando un área aproximada de 1,200 m².

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

Figura 2.10: Esquema del Corte Transversal de la Subrasante
CORTE TRANSVERSAL



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

Seguidamente la moto conformadora acamellona el material correspondiente al espesor de la capa subrasante, extendiéndolo para después aplicarle la humedad mediante riegos de agua con pipa y de esta manera obtener una humedad cercana a la óptima, con un $\pm 1\%$ por indicaciones dadas por el laboratorio de campo. Teniendo siempre presente que

cuando se compactan materiales susceptibles a la expansión, se deberá incrementar la humedad de 1 a 2% de la humedad óptima.

Cuando se ha concluido esta operación la moto conformadora homogeniza y extiende el material; una vez terminado, se procede a dar la compactación mediante el rodillo pata de cabra hasta alcanzar la compactación de proyecto, siendo ésta del 95% de su peso volumétrico seco máximo, con apoyo en las indicaciones del personal de laboratorio de campo. (ABC, 2007)

Figura 2.11: Compactación de la Subrasante con Rodillo Pata de cabra



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

El material de banco se deposita sobre la subrasante terminada, se acamellona y descapota para recibir el porcentaje del terreno natural, posteriormente la motoconformadora lo homogeniza, se aplica la humedad con valores cercanos a la óptima con $\pm 1\%$, se procede al tendido y compactado con rodillo liso hasta alcanzar el grado de compactación especificado del 100% de su peso volumétrico seco máximo. (Garza, 1996)

2.1.10.2. Subbase

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En cuanto al acabado superficial, este es el mismo que se sigue para las sub-bases de tipo granular. (Garza, 1996)

Figura 2.12: Acabado y Compactado de la Capa



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.1.10.3. Losa de concreto

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

El principal cuidado que debe tenerse al ejecutar la colocación es evitar la segregación de la mezcla, la magnitud de este efecto depende del método de manejo y colado del concreto, teniéndose que si una mezcla cae libremente de una altura mayor de 1 m pasa por canalones con pendiente y cambio de dirección fuertes o experimenta un continuo traspaleo, se tendrá un importante efecto de segregación en la mezcla. Para que se efectúe una correcta colocación del concreto, la descarga a la superficie deberá ser lo más directa y cercana posible. La operación del extendido está estrechamente ligada a las operaciones de colocación, compactación y enrasado. Se lleva a cabo con máquina extendedora o bien manualmente, cuando se utiliza el último de los métodos, la cuadrilla de coladores deberá

llevar a cabo el acomodo del material en la menor cantidad de movimiento y tiempo posible, este proceso deberá tener una continuidad tal que evite la formación de juntas frías del colado, buscando en todo momento que la consistencia del concreto sea lo más uniforme posible.

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

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

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

Concluida la operación de la regla vibratoria, se procede con la operación del acabado de la losa, tomando como apoyo las guarniciones y cimbras laterales, el personal especializado provisto de flotas con mango largo le dan el acabado a la superficie desde los extremos que al enrasar se provoca intencionalmente la flotación de una cierta cantidad de mortero de la propia mezcla, para contar con suficiente material para el acabado final de la losa. (*Garza, 1996*)

Figura 2.13: Operación de la Regla



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

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

La operación siguiente consiste en dar una textura superficial más adecuada al pavimento con objeto de que se permita una mejor adherencia a los vehículos a dicha superficie. Esta textura puede ser longitudinal o transversal, la textura fue longitudinal por el argumento de que este tipo de textura produce menos ruido al paso de las llantas de los vehículos, da una mejor calidad a la rodadura.

El procedimiento de texturizado final se ejecuta sobre el mismo puente descrito anteriormente y mediante cepillos con cerdas de plástico y mangos largos, se realiza la operación para darle a la superficie del concreto fresco la textura deseada, conforme se muestra en la siguiente figura. (Garza, 1996)

Figura 2.14: Operación de la Texturizado Final Mediante Cepillos



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.1.10.4. Curado del concreto

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

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

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

Por medio de Membranas.

Cuando se termina de darle los acabados necesarios al concreto se le aplica una membrana o pintura en la superficie del concreto para impermeabilizarla y evitar pérdidas por evaporación o desecamiento, y darle un curado conveniente a la masa de concreto. De

preferencia la pintura debe ser de color claro con el fin de reflejar los rayos del sol y evitar empeoramientos.

Por Aspersión.

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

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

La dotación de estos productos, es a base de resinas, debe ser tal que no permita la evaporación del agua, las dosificaciones normales son del orden de 200 a 300 gr/m². Es importante para poder controlar visualmente la distribución del mismo y asegurarse de la uniformidad de la aplicación, que el líquido sea coloreado, por lo que normalmente lleva un pigmento blanco, llamado dióxido de titanio, que además de ampliar el tiempo de corte de las juntas en épocas calurosas (de 2 a 3 horas más), permite comprobar si la superficie está curada. La aplicación del producto se realiza por medio de aspersores, que permitan curar toda la superficie extendida, caras verticales, así como los cortes efectuados durante la construcción de las juntas. (Garza, 1996)

Figura 2.15: Operación del Curado del Pavimento Rígido



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.1.10.5. Juntas

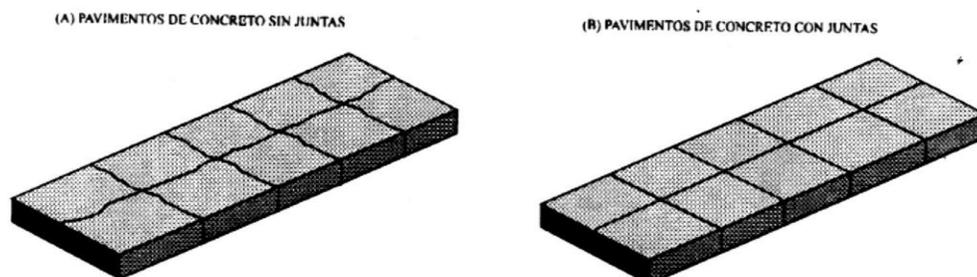
La última etapa en el proceso constructivo del pavimento de concreto es la construcción de juntas, este aspecto debe tomarse con sumo cuidado y no escatimar en gasto de equipo y personal calificado, para obtener los resultados deseados y un comportamiento adecuado del pavimento al paso de los vehículos.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

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

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

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

Figura 2.16: Procedimiento de Construcción de juntas



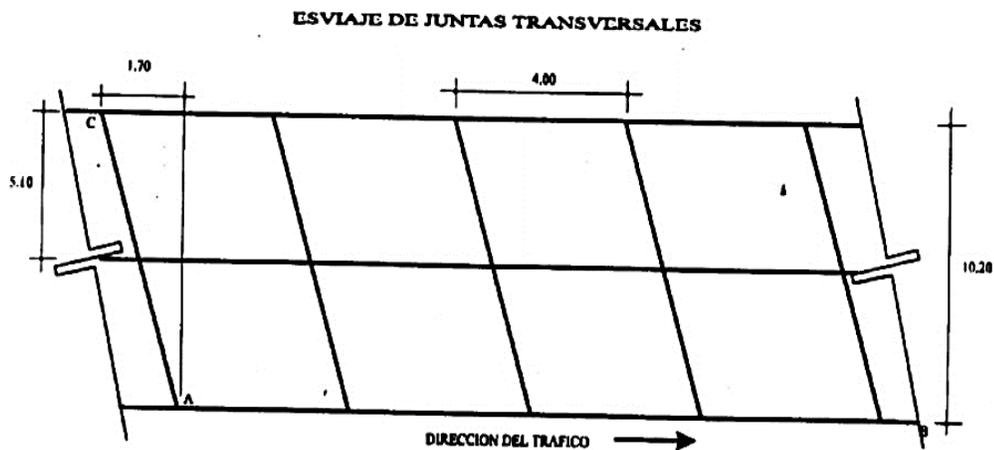
Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruíz

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

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

(Garza, 1996)

Figura 2.17: Esquema de Esviaje de Juntas Transversales



Fuente: "Pavimentos Rígidos" José Juan Garza Ruíz

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

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

Figura 2.19: Operación Sello de Juntas



Fuente: “Pavimentos Rígidos” José Juan Garza Ruíz

2.2. Marco normativo

Para la realización del presente trabajo de investigación se realizarán los ensayos preliminares de los agregados y el cemento, los cuales son:

- Muestreo mecánico **AASHTO T-248** o **ASTM C-702**
- Granulometría de los agregados **ASTM C-136**
- Método para determinar el material fino por el tamiz N°200 **ASTM C-117**
- Peso unitario de agregado grueso y fino. **ASTM C-29**
- Peso específico y absorción del agregado grueso **ASTM C-127**
- Peso específico y absorción del agregado fino **ASTM C-128**
- Peso específico del cemento **ASTM C-185**
- Determinación de la finura del cemento **ASTM C-150**
- Dosificación del concreto **ACI 211**

Se usará la “Guía de ensayos del laboratorio de hormigón de la U.A.J.M.S.”

2.2.1. Ensayos del concreto fresco

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada, para el uso que se desea darle.

Para cuantificar la trabajabilidad del hormigón se medirá el asentamiento del cono de Abrams (ASTM C-143).

- Trabajabilidad, Asentamiento “Cono de Abrams” **ASTM C-143**

2.2.2. Ensayos del concreto endurecido

Se consideró de interés el caracterizar los hormigones del presente estudio en cuanto a su resistencia a la flexotracción debido a que su aplicación es en pavimentos y en este caso el aumento de la resistencia a flexotracción por efecto de la relación agua cemento con aditivos fluidificantes sería muy beneficioso.

- Resistencia a flexotracción **ASTM C-78**

2.3. Marco referencial

Del artículo científico Publicado por Ricardo Bardasano Gonzales “La resistencia del hormigón para pavimentos rígidos” se obtuvo lo siguiente:

Un pavimento rígido, es la propia losa de hormigón la que asume el papel de elemento estructural; aunque la sección pueda disponer de una subbase entre la losa y la explanada, esta únicamente está encargada de proporcionar un apoyo estable al pavimento, y tan sólo marginalmente aporta su capacidad de distribución de tensiones (o al menos, así se considera en la mayoría de los métodos de diseño).

Cuando una carga actúa sobre el centro de la losa se produce una flexión de la misma, de forma que en el caso ideal los máximos esfuerzos se localizan en la cara inferior de la misma. De ahí que la propiedad que suele especificarse para los hormigones de pavimento sea su resistencia a la flexotracción. Y recalco lo de 'caso ideal', refiriéndome por tal a la carga sobre losa plana aplicada en una posición lo suficientemente alejada de sus bordes, porque con losas deformadas (cóncavas) o en las proximidades de las juntas la reacción de la losa es algo más compleja.

En España, los requisitos para los hormigones empleados en los pavimentos rígidos vienen fijados en el artículo 550 del PG-3. La designación para este material corresponde a las iniciales HF (Hormigón de Firme), seguidas del valor de la resistencia característica a flexotracción a veintiocho días (28 d), referida a probetas prismáticas normalizadas de sección cuadrada de 15 cm de lado y 60 cm de largo, y ensayadas con el procedimiento de dos puntos de carga (norma UNE-EN 12390-5), expresada en MPa.

Los tipos de hormigón empleados en España son, siguiendo esta nomenclatura:

- HF-5,0
- HF-4,5
- HF-4,0
- HF-3,5

Pero, sin embargo, tanto la tipificación habitual para hormigones como el control de calidad del hormigón en obra se basan en la resistencia característica a compresión, expresada en MPa, dado que su obtención es más sencilla y menos costosa. Se suele aceptar que las resistencias a flexotracción de 3,5, 4,0, 4,5 o 5,0 MPa a 28 días se corresponden de manera aproximada con hormigones de 25, 30, 35 y 40 MPa de resistencia característica a compresión, aunque la relación entre las resistencias es muy variable en función del tipo de árido y la dosificación empleada.

Esta simplificación es relativamente útil cuando se diseña mediante catálogos, pero no lo es tanto cuando se emplean métodos en los que la resistencia a flexotracción es un parámetro de diseño específico, y menos aun cuando la resistencia que debe emplearse es la correspondiente a su valor medio y no la característica o mínima especificada.

El primer problema que surge es que, en la tipificación tradicional en base a la resistencia a compresión característica, esta se obtiene a mediante ensayos sobre probetas cilíndricas de 15×30 cm (y no sobre probetas de sección cuadrada, como indica el PG-3). La norma EHE establece en su artículo 86.3.2 una relación entre la resistencia a compresión obtenida en probetas cilíndricas y cúbicas, que para hormigones de resistencia inferior a 60 MPa es:

$$f_{c, cilindrica} = 0,90 \cdot f_{c, cubica}$$

Otras guías establecen que la resistencia sobre probetas cilíndricas es del orden del 80% de la resistencia correspondiente obtenida sobre probetas cúbicas.

La resistencia media a flexotracción puede estimarse, en ausencia de otros ensayos, a partir de la resistencia a tracción (que a su vez se obtiene a partir de la resistencia a

compresión), según las fórmulas que incluye la instrucción en su apartado 39.1, a partir de la resistencia a tracción directa y en función del canto de la losa.

Sin embargo, para diseño de pavimentos, es más práctico emplear la relación que indica la guía del American Concrete Institute ACI 330 "Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots", para hormigones con áridos rugosos y angulosos:

$$f_{fl}[MPa] = 0,80 \cdot \sqrt{f_c}$$

O bien la relación más conservadora propuesta en la guía ACI 318 "*Building Code Requirements for Structural Concrete*":

$$f_{fl}[MPa] \simeq \frac{5}{8} \cdot \sqrt{f_c}$$

Otra propiedad habitualmente requerida es el módulo de elasticidad del hormigón, que puede obtenerse bien a partir de la resistencia a compresión (según, por ejemplo, la correlación propuesta por la guía ACI 318):

$$E[MPa] = 4.730 \cdot \sqrt{f_c}$$

Por otra parte, las resistencias mínimas a las que se refieren tanto la EHE como el PG-3 son resistencias características asociadas a un nivel de confianza del noventa y cinco por ciento (95%); es decir, dicho de otra forma, las resistencias que únicamente no serían alcanzadas en un 5% de las muestras.

Y a partir de ellas ¿cómo podemos obtener la resistencia media? La EHE indica en su artículo 31.3 que la resistencia media del hormigón a compresión, en MPa, puede estimarse a partir de la resistencia característica especificada a partir de la expresión, si las condiciones de ejecución son buenas:

$$f_{c, media} = f_{ck} + 8$$

Esta expresión es útil para aquellos casos en que sea conveniente trabajar con la resistencia media (y no con la resistencia especificada), por ejemplo, cuando en el método de diseño se incorpora la confiabilidad o la incertidumbre como parámetro específico de forma independiente. Basta con echar un número rápido para comprobar que existe cierta

discrepancia con lo que ofrecen estas fórmulas respecto a las correlaciones habitualmente aceptadas entre la resistencia a flexotracción y la resistencia a compresión.

2.4. Análisis del aporte teórico

Al determinar la resistencia a flexotracción del hormigón para pavimentos rígidos, modificándola relación agua cemento, cumpliendo con todo lo establecido en norma. El tipo de cemento que se usara es IP 30 por el ser el de mayor uso en nuestro medio.

Dicha investigación está encaminada a determinar la resistencia a la flexotracción de vigas de hormigón a la edad de 28 días de curado.

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

El diseño de mezcla se realizará para una resistencia a la flexotracción de 45 kg/ cm², utilizando agregados naturales, se pretende realizar una base de datos que nos permita efectuar un análisis comparativo y su influencia en el concreto fresco y endurecido. Además, se espera que con los resultados se pueda demostrar la variabilidad de la relación a/c en la resistencia del hormigón para pavimentos rígidos. (Ricardo, 2018)

CAPÍTULO III
CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Criterios del diseño metodológico

3.1.1. Unidad de estudio o muestra

- **Unidad de muestra:** La unidad de muestra se considera un ensayo de laboratorio de hormigón.
- **Población:** La población tomada en cuenta es de modo infinito, es decir que para la presente investigación se toma en cuenta todos los ensayos de laboratorio de hormigón.
- **Muestra:**

Tabla 3.1: Ensayos con 95% de confiabilidad

ETAPA	ENSAYOS	Ni
Exploratoria	De exploración	5
Caracterización	Cuarteo de las muestras	5
	Granulometría Ag. Fino	5
	Granulometría Ag. Grueso	5
	Peso específico Ag. Fino	5
	Peso específico Ag. Grueso	5
	Peso unitario Ag. Fino	5
	Peso unitario Ag. Grueso	5
	Peso específico del Cemento	5
	Finura del cemento	5
	Pruebas definitivas	Asentamiento
Rotura de vigas		100
	TOTAL	250

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Tamaño de muestra.

Se realiza de acuerdo a lo seleccionado en la unidad de muestra, asignado de manera directa el nivel de confianza del 95% considerando una población infinita, sin embargo, mediante la metodología estratificada se puede asignar números lógicos para hacer el correspondiente ajuste.

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

Se adoptará una varianza de ($\sigma^2 = 0,10 - 0,15$) debido a que el tiempo asignado para la realización del trabajo está comprendido entre 4 y 5 meses.

El error correspondiente está en ($\alpha = 4\%$)

$$NC = 96\% \longrightarrow Z = 2,05$$

$$fa = \frac{N_i \sigma^2}{\sum N_i \sigma^2} \longrightarrow ni = n * fa$$

Realizado la planilla de ajustes de números de ensayos, se obtuvo los valores para el cálculo de “n”.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma^2}{N}} = \frac{37,5}{250 \left(\frac{0,04}{2,05}\right)^2 + \frac{37,5}{250}} = 153 \text{ ensayos}$$

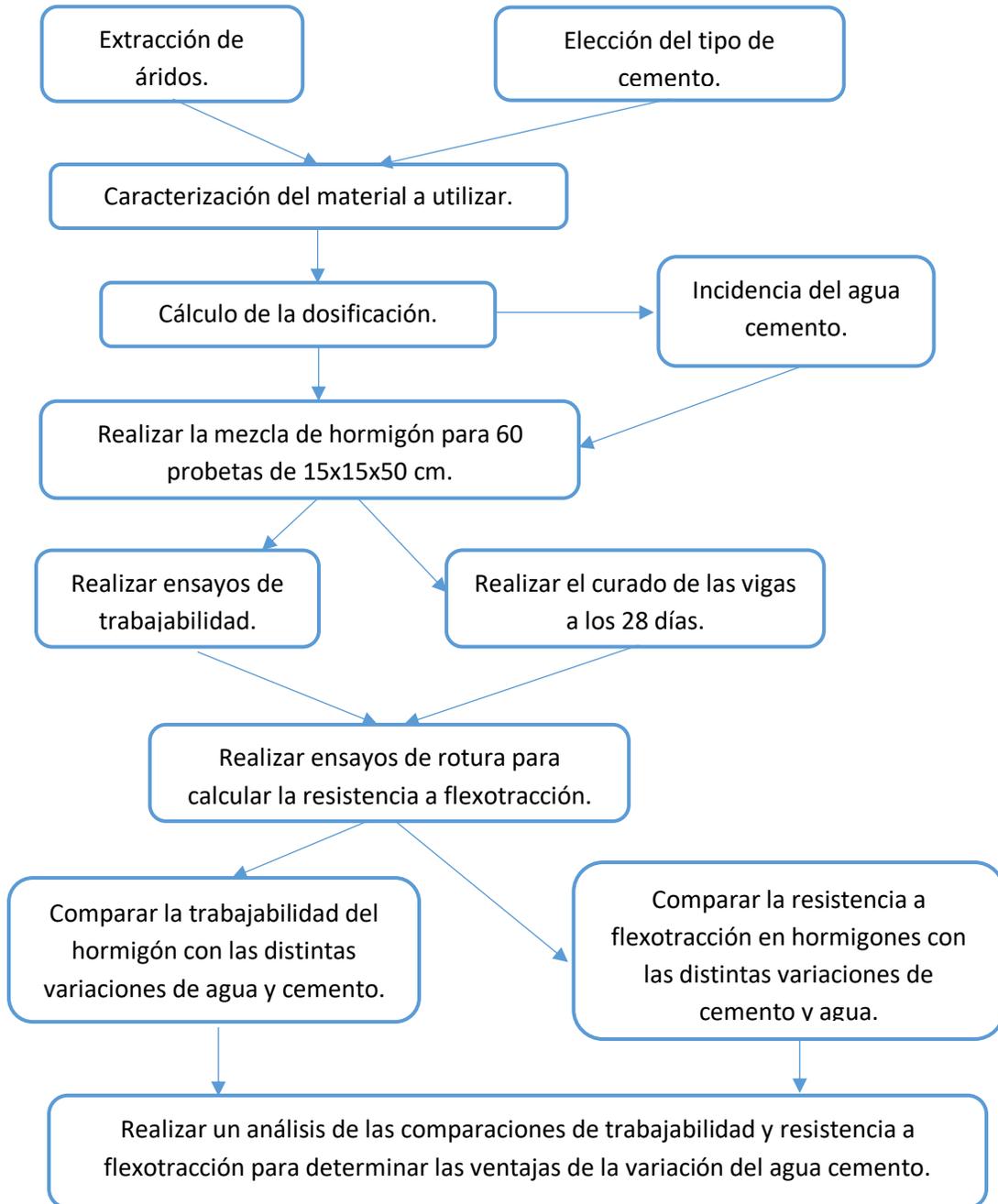
Tabla 3.1: Cantidad de ensayos con 95% de confiabilidad

ETAPA	ENSAYOS	Ni	σ^2	Ni* σ^2	fa	ni
Exploratoria	De exploración	5	0,15	0,75	0,02	3
Caracterización	Cuarteo de las muestras	5	0,15	0,75	0,02	3
	Granulometría Ag. Fino	5	0,15	0,75	0,02	3
	Granulometría Ag. Grueso	5	0,15	0,75	0,02	3
	Peso específico Ag. Fino	5	0,15	0,75	0,02	3
	Peso específico Ag. Grueso	5	0,15	0,75	0,02	3
	Peso unitario Ag. Fino	5	0,15	0,75	0,02	3
	Peso unitario Ag. Grueso	5	0,15	0,75	0,02	3
	Peso específico del Cemento	5	0,15	0,75	0,02	3
	Finura del cemento	5	0,15	0,75	0,02	3
	Pruebas definitivas	Asentamiento	100	0,15	15	0,40
Rotura de vigas		100	0,15	15	0,40	60
	TOTAL	250		37,5		150

Fuente: Elaboración Propia

El total de ensayos cubierto por la investigación en el periodo comprendido entre 4 a 5 meses con una confiabilidad del 96 % corresponde a 150 ensayos bien definidos en cada categoría, haciendo un énfasis en las pruebas definitivas con 60 ensayos.

Figura 3.1: Organigrama, lineamientos a seguir.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Localización de zona de extracción de agregados

3.2.1. Yacimientos de los agregados

Los factores más importantes que hay que tener en cuenta en la fabricación de hormigones, son los áridos, por estas circunstancias y tomando en cuenta el objetivo de la presente investigación, es que me permito describir en forma resumida la Cantera de Santa Ana de la siguiente manera:

- Ubicación.
- Tipo de cantera.
- Cantidad de material a explotarse.
- Calidad.

Fotografía.3.1: Ubicación de la Cantera “Santa Ana



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1.1. Cantera Santa Ana

La investigación de campo para la selección de los materiales de concreto, antes de la explotación de los mismos, está principalmente limitada a la prospección para la ubicación de agregado y la exploración y muestreo de depósitos disponibles, por lo tanto, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) **Ubicación.** - Los yacimientos o la cantera de “Santa Ana” se encuentra ubicada al Sur este de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 9 Km. de la ciudad.

- b) Tipo de cantera.-** En lo que sigue se proporciona el tipo de banco a explotarse, es de tipo aluvial, debido a que el agua a lo largo del curso tiene ocasión de erosionar materiales muy diferentes, es normal que los ríos arrastren materiales muy variados, dependiendo de la velocidad de la corriente y del caudal; esto condiciona un gran poder erosivo en las zonas altas del Río Guadalquivir, por lo que el agua arrastra materiales erosionados muy grandes del tamaño de la grava y la arena, aún fragmentos de roca, que van rodando cauce abajo. En el curso medio, como es la zona de “Santa Ana”, la pendiente del río disminuye y correspondientemente lo hace la velocidad, por lo que restringe la fuerza erosiva por este concepto; es muy común que por esta razón en el curso medio del río se depositen los materiales del tamaño de la grava y de la arena, siendo estas zonas muy apropiadas para la búsqueda de estos bancos.
- c) Cantidad de material a explotarse.** - Por ser de origen aluvial y arrastrado por la velocidad del agua y la tendencia erosionable del Valle central de Tarija, la cantidad de material de los agregados es prácticamente ilimitado. Su explotación actual (en forma rudimentaria), existiendo material en toda su longitud de aproximadamente 3 km con una superficie de 60 has., su cantidad en volumen es prácticamente ilimitado.
- d) Calidad y observaciones.** - En cuanto a la calidad del material del indicado yacimiento o cantera, cumple con todas las especificaciones de la ASTM, AASHTO y otras normas.

3.3. Control y validación interna

Durante el proceso de realización de los ensayos pueden ocurrir ciertas variables extrañas tales como la temperatura lo cual afecta a la forma en la que el investigador se desarrolle de manera óptima en el proceso de los ensayos de laboratorio para lo cual se revisara estados meteorológicos de los días de ensayo de tal manera que los ensayos se puedan realizar, otra manera de neutralizar esta variable es optar por ropa adecuada para la práctica.

También se puede dar el caso de tener elementos necesarios para los ensayos que no estén en condiciones para su uso, entonces el estado de los equipos y herramientas tienen que estar en óptimas condiciones y para ello se realizara consultas e inspecciones al encargado de laboratorio antes del día de ensayo y así prevenir retrasos o malos resultados en los ensayos.

Tamices de laboratorio: Son un utensilio fabricado por una malla metálica sujeta a un aro conocido como cedazo o tamiz, el cual separa las partes finas de las gruesas con una gran exactitud por lo cual las mallas tienen que ser perfectas ya que su aplicación es para pruebas de granulometría. Su uso es mediante un equipo agitador al cual se le colocan varios tamices de diferentes aberturas.

Equipo para peso específico: Es un equipo que necesita una ejecución precisa a la hora de manejar el equilibrio de la balanza, también la cantidad de agua en el equipo tiene que ser la adecuada y que la cesta este por debajo del nivel de agua. Para su aplicación se tiene que remojar el material, secar superficialmente y sumergirlo en el equipo para obtener el peso sumergido.

Equipo para peso unitario: Consiste de un molde cilíndrico y una varilla, en el cual se introduce el agregado para luego pesarlo suelto y compactado.

Balanza digital: equipo muy importante para pesar las muestras y que tiene una tolerancia de 0.01 gr.

Matraz: recipiente de vidrio calibrado y graduado muy importante para algunos ensayos y tiene una tolerancia de 100 ml

Mezcladora: equipo para realizar las probetas que tiene que estar en buenas condiciones en el momento de dosificar, su capacidad máxima es para 125 lt.

Para la validez interna de la investigación se buscos en normas ASTM, libros, guías y trabajos de investigación similares para obtener rangos de aceptación a la hora de caracterizar los agregados, en tal caso como referencia se utilizó el libro de “Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos”

3.5. Caracterización de los materiales

3.5.1. Caracterización de la grava

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

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

Tabla 3.2: Normas de calidad del agregado grueso.

Tabla 2.2 Normas de calidad (Granulometría)			
Denominación de la Malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo		
	2.5 cm (1")	1 1/2" (4 cm)	5 cm (2")
2 1/2"	-	-	100
2"	-	100	90 - 100
1 1/2"	100	90 - 100	-
1 "	90 - 100	-	35 - 70
3/4"	-	35 - 70	-
1/2"	25 - 60	-	10 - 30
3/8"	-	10 - 30	-
No 4	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No 8	0 - 5	-	-

Requisitos adicionales:

Desgaste Los Angeles: 40 % máximo

Materiales que pasa la malla No. 200 (0.074mm) 0.50 máximo

Carbón 1.0 % máximo

Otras sustancias y fragmentos blandos 5.0 % máximo

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos.

3.5.1.1. Granulometría de la grava

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

Desarrollo de la práctica

La muestra del agregado debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo que como lo realizaremos un total de 3 veces necesitaremos 15000 gr; esto para realizar cada ensayo con 5000 gr y obtener un promedio.

Fotografía 3.2: Cuarteador de Grava



Fuente: Elaboración propia

Se usa los tamices para disponer la parte final de material son: 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4. Nuestra muestra fue de 5000 gr. que se tamizó de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.

Fotografía 3.3: Juego de tamices



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Granulometría agregado grueso

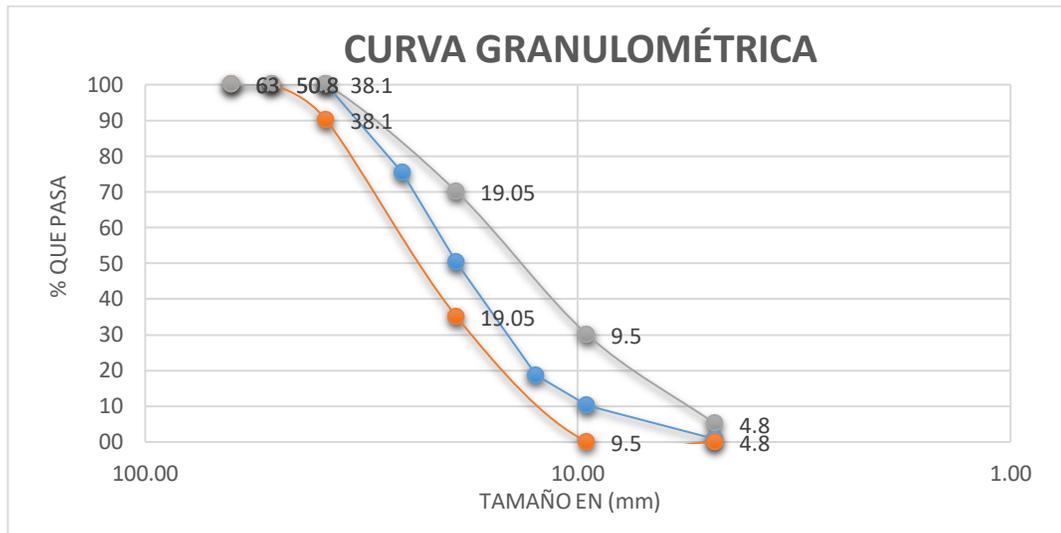
Proyecto: Analisis en la incidencia del agua-cemento en resistencias de flexotraccion para pavimentos rigidos	Fecha: 27/03/2023
Material: Santa Ana	Laboratorista: Beymar L. Quispe Huanca
Identificacion muestra: Grava chancada	

Peso Total (gr.) =			5000		% q. pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM	
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado				
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.0	95	100
1"	25.40	1235.62	1235.62	24.71	75.3	-	-
3/4"	19.05	1253.45	2489.07	49.78	50.2	35	70
1/2"	12.50	1578.23	4067.30	81.35	18.7	-	-
3/8"	9.50	425.35	4492.65	89.85	10.1	10	30
Nº4	4.80	468.70	4961.35	99.23	0.8	0	5
BASE	0	38.65	5000.00	100.00	0.0	-	-
SUMA =		5000.00			TAMAÑO MAX = 1 1/2"		
PÉRDIDAS =		0.00					
MF =		7.39					

HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	5300.00
Peso Muestra seca	5238.59
Peso Agua	61.41
% de Humedad	1.17

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1: Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2. Peso específico de la grava

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

Desarrollo de la práctica

Primero escogemos una muestra representativa de grava para posteriormente pesarla y registrarla, luego se lava el material con el fin de remover el polvo o cualquier impureza que tenga la muestra y se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

Una vez pasada las 24 horas se saca la muestra del agua y se procede a secar las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie.

Luego se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturada y nuevamente volvemos a sumergir la muestra después de ser pesada en el equipo de “peso específico” para determinar el peso de la muestra saturada sumergida.

Fotografía 3.4: Agregado grueso sumergido



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado este proceso para cada una de nuestras muestras, se lleva las muestras para que se sequen en el horno a temperatura constante (105°) durante 12 horas para posteriormente pesarlas nuevamente y registrar el peso seco de cada muestra.

Fotografía 3.5: Secado y sumergido de la Grava



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Peso Específico de la grava – Santa Ana

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SAT. DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO S.S.S. (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)	% DE ABS.
1	4942.10	5000.00	3074.00	2.57	2.60	2.65	1.17
2	4947.20	5000.00	3068.00	2.56	2.59	2.63	1.07
3	4974.05	5000.00	3079.00	2.59	2.60	2.62	0.52
PROMEDIO				2.56	2.59	2.64	1.12

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3. Peso unitario de la grava

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

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

Desarrollo de la práctica

Se toma una cantidad apropiada de agregado grueso (grava) la cual fue obtenida mediante cuarteo, luego se toma un molde cilíndrico, se lo pesa en la balanza y se registra el peso vacío.

Se realiza el ensayo de agregado grueso sin compactar, introduciendo la grava dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde para luego enrasarlo con la barra de hierro.

Luego se lleva el molde con la muestra a la balanza y se lo pesa tratando de ser lo más preciso posible.

Fotografía 3.6: Molde Cilíndrico de 10 Lts. de volumen



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el paso anterior se pasa al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde se llena el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero cada una.

Luego se enrasa la superficie del molde quitando el excedente de grava para posteriormente llevar el molde con la muestra compactada a nuestra balanza y registrar el peso compactado.

Fotografía 3.7: Molde cilíndrico con muestra compactada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Peso Unitario Suelto de la Grava – Santa Ana

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	5840.00	10071.07	21430.00	15590.00	1.548
2	5840.00	10071.07	21590.00	15750.00	1.564
3	5840.00	10071.07	21730.00	15890.00	1.578
PROMEDIO					1.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6: Peso Unitario Compactado de la Grava – Santa Ana

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO COMPACTADA (gr/cm3)
1	5840.00	10071.07	22720.00	16880.00	1.676
2	5840.00	10071.07	22780.00	16940.00	1.682
3	5840.00	10071.07	22777.00	16937.00	1.682
PROMEDIO					1.68

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Caracterización de la arena

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

Tabla 3.7: Normas de calidad del agregado fino

Tabla 2.3 Granulometría recomendada en la arena	
Denominación de la malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo
3/8 "	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	0 - 10

Requisitos adicionales:

Módulo de finura:	2.2 a 3.1
Materiales que pasan la malla No. 200 (0.074mm)	3 % máximo
Carbón:	1.0 %
Partículas deleznable:	3 % máximo
Impurezas orgánicas, referidas a color límite según patrón	amarillo claro

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

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

3.5.2.1. Granulometría de la arena

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

Desarrollo de la práctica

En primer lugar, la muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo. Los tamices para disponer la parte fina de material son: 3/8", N° 4", N° 8, N° 16, N° 30, N°50, N°100.

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

Este procedimiento se lo realiza 3 veces con diferentes muestras para observar la variabilidad de nuestra cantera.

Fotografía 3.8: Tamizado mecánico

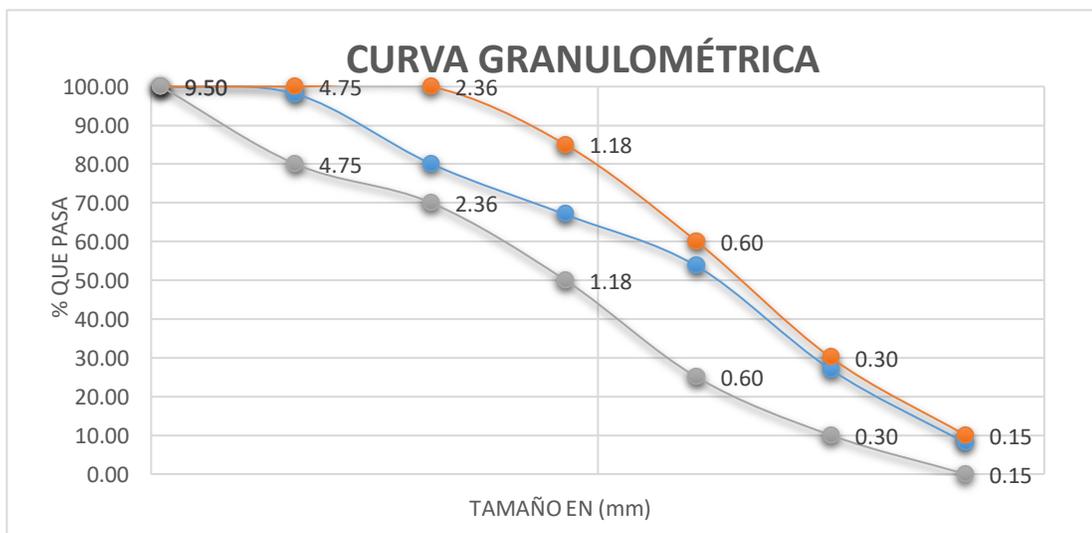


Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8: Granulometría agregado fino

Proyecto: Analisis en la incidencia del agua-cemento en resistencias de flexotraccion para pavimentos rigidos	
Material: Santa Ana	Fecha: 28/03/2023
Identificacion muestra: Arena	Laboratorista: Beymar L. Quispe Huanca

Peso Total (g)			1500.00				Especificacion ASTM C-33	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	Ret. Acum (g)	% Ret	% q. pasa del total			
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
Nº4	4.75	28.60	28.60	1.91	98.09	80	100	
Nº8	2.36	270.40	299.00	19.93	80.07	70	100	
Nº16	1.18	196.70	495.70	33.05	66.95	50	85	
Nº30	0.60	199.30	695.00	46.33	53.67	25	60	
Nº50	0.30	401.30	1096.30	73.09	26.91	10	30	
Nº100	0.15	283.60	1379.90	91.99	8.01	2	10	
BASE		81.40	1461.30	97.42	2.58			
SUMA		1461.30						
PÉRDIDAS		38.70						
MF =		2.66						



HUMEDAD	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	1600.00
Peso Muestra seca	1556.49
Peso Agua	43.51
% de Humedad	2.80

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2. Peso específico de la arena

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por el periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. Se trabajará con una muestra de 500 gr, que puede ser obtenida por cuarteo luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

Desarrollo de la práctica

Se saca la muestra en un recipiente y se seca de manera uniforme.

Para inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca el molde cónico, y luego se retira éste. Si la muestra tiene todavía humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se retire el cono. Se coloca 500gr. de muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se pesa el matraz lleno. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno a una temperatura constante de (105 °C) y se pesara.

Fotografía 3.9: Molde cónico y matraz con muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9: Peso Específico de la Arena procedencia Santa Ana.

MUESTRA	PESO MUESTRA	PESO MATRÁZ	MUESTRA + MATRÁZ + AGUA	AGUA AGREG. AL MATRÁZ "W"	PESO MUESTRA SECA "A"	VOL. DEL MATRÁZ "V"	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SAT. CON SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORC.
1	500	236.90	1035.70	298.80	489.5	500.00	2.43	2.49	2.57	2.10
2	500	231.50	1037.50	306.00	489.10	500.00	2.52	2.58	2.67	2.18
3	500	193.40	1000.10	306.70	490.20	500.00	2.54	2.59	2.67	1.96
PROMEDIO							2.50	2.55	2.64	2.08

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.3. Peso unitario de la arena

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

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

Desarrollo de la práctica

Se toma una cantidad apropiada de agregado fino (arena) la cual fue obtenida mediante cuarteo, posteriormente se toma el molde cilíndrico calibrado y se lo pesa en la balanza para registrar el peso del molde vacío.

Se realiza el ensayo de agregado fino sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde para luego enrasar con la barra de hierro desechando el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del molde. Luego se lleva el molde con la muestra a la balanza y se lo pesa tratando de ser lo más preciso posible.

Fotografía 3.10: Molde cilíndrico de 3Litros



Fuente: Elaboración propia

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

Fotografía 3.11: Enrazando molde cilíndrico con muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10: Peso Unitario Suelto de la Arena

PESO UNITARIO SUELTO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	2605.00	2994.06	7345.00	4740.00	1.583
2	2605.00	2994.06	7360.00	4755.00	1.588
3	2605.00	2994.06	7326.00	4721.00	1.577
PROMEDIO					1.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11: Peso Unitario Compactado de la Arena

PESO UNITARIO COMPACTADO

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	2605.00	2994.06	7885.00	5280.00	1.763
2	2605.00	2994.06	7850.00	5245.00	1.752
3	2605.00	2994.06	7875.00	5270.00	1.760
PROMEDIO					1.76

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Caracterización del cemento

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

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

3.5.3.1. Peso específico del cemento

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

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

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

V = Volumen desplazado (cm³)

P = Peso de la muestra (gr)

Tabla 3.12: Ensayo del peso específico del cemento.

DESCRIPCIÓN	P	Vi	Vf	V	PE	PE-MEDIA
	(gr)	(cm ³)	(cm ³)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
CEMENTO EL PUENTE	64.00	200	220.4	20.4	3.14	3.15
	64.00	200	220.2	20.2	3.17	
	64.00	200	220.4	20.4	3.14	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.2. Finura del cemento

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo.

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

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

Re 200 = Retenido en malla 200 (gr.)

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

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

Tabla 3.13: Ensayo de la finura del cemento

DESCRIPCIÓN	R (#200) (gr)	F %	Re 200 MEDIA
CEMENTO EL PUENTE	0.80	1.60	1.57
	0.77	1.54	
	0.79	1.58	

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Dosificación

El hormigón se preparará de acuerdo a las normas del Código Boliviano del Hormigón y cemento Portland o Puzolánico, empleando agregados graduados. La composición de la mezcla de hormigón será de manera que demuestre una buena consistencia plástica, de acuerdo a las exigencias del Código Boliviano del Hormigón Armado. Después del fraguado y endurecimiento, cumpla las exigencias de resistencia, durabilidad e impermeabilidad en las construcciones de hormigón. El contenido de agua de la mezcla de hormigón se determinará antes del inicio de los trabajos.

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

3.5.4.1. Dosificación teórica

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación. En esta investigación se tomó la dosificación ACI 211, dado que está basada en la investigación experimental, se empieza por valores dados en tablas, al dosificar se da un porcentaje más por pérdidas, sus tablas son fáciles de manejar y entender, su procedimiento es rápido, confiable.

Determinación de la razón Agua/Cemento

Tabla 3.14: Relación Agua / Cemento

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

Fuente: Norma ACI

Determinación de la fluidez

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

Tabla 3.15: Asentamientos

Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación				
Consistencia	Asentamiento mm.	Ejemplo de Tipo de construcción	Sistema De colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración

Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tabo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de agua

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

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

Tabla 3.16: Requerimiento de agua

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

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de cemento

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

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

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

Determinación de la dosis de grava

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

Tabla 3.17: Tamaño máximo del agregado

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

Fuente: Norma ACI

Determinación de la dosis de arena

Método Volumétrico

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

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

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

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

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

γ = peso específico del cemento

A_g = dosis de árido grueso o grava

a = dosis de aire (%)

C = dosis de cemento (kg/m³)

W = dosis de agua (kg/m³)

Tabla 3.18: Dosificación de hormigón diseño de mezclas **MÉTODO ACI-211**

Proyecto: Análisis en la incidencia del agua-cemento en resistencias de flexotracción para pavimentos rígidos	
Material: Santa Ana	Fecha: 15/04/2023
Identificación: Hormigón	Laboratorista: Beymar L. Quispe Huanca

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2.66
2.- Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1680
3.- Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2.50
4.- Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	2.56
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	2.08
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	1.1
7.- Humedad de la Arena (Ha)	%	2.80
8.- Humedad de la Grava (Hg)	%	1.17
9.- Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	1 1/2"
10.- Tamaño Máximo (TM)	pulg	1 1/2"
11.- Peso específico del cemento	gr/cm ³	3,15

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño (f_{ck})	280	kg/cm ²
Resistencia Característica (f_{ck}) (Tabla 11.12)	365	kg/cm ²
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	3	pulg
Relación Agua / Cemento (a/c) (Tabla 11,13)	0,40	s/u

DATOS DE TABLAS

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 11.15)	0,69	s/u
Requerimiento de Agua (A) (Tabla 11.6)	188	kg/m ³

CÁLCULOS

Peso Agregado Grueso (Pag)	= (b/bo)xPUC 1159,17 kg/m ³
Peso cemento (Pc)	= A / (a/c) 470,00 kg/m ³
Volumen de Agregado Grueso (Vag)	= Pag/γg 452,21 lt/m ³
Volumen del cemento (Vc)	= Pc/γc 149,21 lt/m ³
Volumen de Arena (Vaf)	= 1000 - Vc - A - Vag 210,58 lt/m ³
Peso del agregado fino (Paf)	= Vaf x γf 525,75 kg/m ³

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE CONCRETO

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Volumen Absoluto lt/m ³	Peso especifico gr/cm ³
<i>Cemento</i>	470,00	149,21	3,15
<i>Agua</i>	188,00	188,00	1,00
<i>Grava</i>	1159,17	452,21	2,56
<i>Arena</i>	525,75	210,58	2,50
TOTAL	2342,92	1000,00	

PESOS HÚMEDOS DE LOS MATERIALES

Peso Húmedo de la arena (Pha)	= Paf x (1 + Ha) 540,44 kg/m ³
Peso Húmedo de la Grava (Phg)	= Pag x (1 + Hg) 1172,76 kg/m ³

CORRECCIÓN DEL AGUA

Agua corregida a la grava (Acg)	= Pag x (Ag - Hg) -0,61 lt/m ³
Agua corregida a la Arena (Acf)	= Paf x (Aa - Ha) -3,76 lt/m ³
Total Agua Corregida (Atc)	= Acg + Acf -4,37 lt/m ³

PESOS HÚMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGON

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³
<i>Cemento</i>	470,00	470,00
<i>Agua</i>	188,00	183,63
<i>Grava</i>	1159,17	1172,76
<i>Arena</i>	525,75	540,44
<i>TOTAL</i>	2342,92	2366,83

PROPORCIONES DE MEZCLA

<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
1,0	1,12	2,47

Fuente: Elaboración propia

Como se estableció en los capítulos anteriores se realizará el mismo procedimiento para analizar la incidencia de la relación agua/cemento en la resistencia a flexotracción y para ello se repite el mismo procedimiento anterior para cada relación agua/cemento, desde 0,40 hasta 0,58 con un salto de 0,02, habiendo 10 diferentes relaciones de agua/cemento.

Tabla 3.19: Resumen de pesos húmedos de los ingredientes por “m³” de hormigón.

Para una relación agua cemento de 0,40

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	470.00	470.00
<i>Agua</i>	188.00	183.63
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	525.75	540.44
<i>TOTAL</i>	2342.92	2366.83

Para una relación agua cemento de 0,42

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	447.62	447.62
<i>Agua</i>	188.00	183.50
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	543.48	558.68
<i>TOTAL</i>	2338.28	2362.56

Para una relación agua cemento de 0,44

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	427.27	427.27
<i>Agua</i>	188.00	183.38
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	559.61	575.25
<i>TOTAL</i>	2334.06	2358.67

Para una relación agua cemento de 0,46

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	408.70	408.70
<i>Agua</i>	188.00	183.28
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	574.34	590.39
<i>TOTAL</i>	<i>2330.20</i>	<i>2355.13</i>

Para una relación agua cemento de 0,48

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	391.67	391.67
<i>Agua</i>	188.00	183.18
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	587.83	604.26
<i>TOTAL</i>	<i>2326.67</i>	<i>2351.87</i>

Para una relación agua cemento de 0,50

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	376.00	376.00
<i>Agua</i>	188.00	183.09
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	600.25	617.03
<i>TOTAL</i>	<i>2323.42</i>	<i>2348.88</i>

Para una relación agua cemento de 0,52

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	361.54	361.54
<i>Agua</i>	188.00	183.01
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	611.71	628.81
<i>TOTAL</i>	<i>2320.42</i>	<i>2346.12</i>

Para una relación agua cemento de 0,54

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	348.15	348.15
<i>Agua</i>	188.00	182.94
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	622.32	639.72
<i>TOTAL</i>	<i>2317.65</i>	<i>2343.57</i>

Para una relación agua cemento de 0,56

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	335.71	335.71
<i>Agua</i>	188.00	182.86
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	632.18	649.85
<i>TOTAL</i>	<i>2315.07</i>	<i>2341.19</i>

Para una relación agua cemento de 0,58

Ingrediente	Peso Seco kg/m³	Peso Húmedo kg/m³
<i>Cemento</i>	324.14	324.14
<i>Agua</i>	188.00	182.80
<i>Grava</i>	1159.17	1172.76
<i>Arena</i>	641.35	659.28
<i>TOTAL</i>	<i>2312.67</i>	<i>2338.98</i>

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla podemos observar el resumen de todas las dosificaciones desde 0,40 hasta 0,58.

Tabla 3.20: Planilla de resumen de dosificación

Relación a/c	Cemento	Arena	Grava
0,40	1	1,12	2,47
0,42	1	1,21	2,59
0,44	1	1,31	2,71
0,46	1	1,41	2,84
0,48	1	1,50	2,96
0,50	1	1,60	3,08
0,52	1	1,69	3,21
0,54	1	1,79	3,33
0,56	1	1,88	3,45
0,58	1	1,98	3,58

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Vaciado de probetas

Se fabricará vigas de hormigón tipo rectangulares de dimensiones de 15 cm x 15 cm x 50 cm, compuestas de los agregados fino, grueso y cemento que normalmente se usa en la construcción de un pavimento rígido.

Cono de Abrams

Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para manipularlo, con unas dimensiones interiores específicas, se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida e impermeable.

Se humedece el interior del molde y la superficie. Se introduce el hormigón y enrasa la superficie. Se desmolda inmediatamente, levantando el cono despacio y en dirección vertical sin sacudidas y se mide el punto más alto de la masa asentada.

Fotografía 3.12: Cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Una vez preparado el material, se procede al preparado de la mezcla en base a la dosificación calculada. Se debe hacer el ensayo del cono de Abrams, para verificar que la consistencia este dentro de los rangos establecidos. Ya realizado el cono de Abrams, y verificado el asiento que este en el rango de 2,5-7,5 cm. Se procede a llenar los moldes del material, debidamente compactando en tres capas de 25 golpes y a la vez sacando vacíos con el combo de goma golpeándolo y luego enrazándolo manera uniforme.

Fotografía 3.13: Medición del asentamiento del hormigón



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.14: Vaciado de probetas



Fuente: Elaboración propia

3.5.6. Curado de vigas

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

Tras transcurrir las 24 horas, hemos de desmoldar las probetas prismáticas e inmediatamente ponerlas a la intemperie, dejarlos a temperaturas ambiente extremas y poder encontrar así fisuras por el fenómeno de la contracción plástica que son grietas que aparecen al momento de dejarlas a temperatura ambiente, esto porque están sujetas a perder agua por medio de la evaporación, posteriormente procedemos a colocar cada muestra en la piscina para el proceso de curado durante 28 días y así alcance la resistencia máxima.

En la siguiente fotografía se puede observar el proceso de curado en el laboratorio.

Fotografía 3.15: Curado de probetas y vigas



Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Rotura de probetas

Después de dejar en curado los especímenes de vigas se procede a esperar los 28 días, para que los especímenes alcancen su mayor resistencia pasado los dichos días se procede a retirar las probetas del agua y dejar en temperatura ambiente para después proceder a realizar los ensayos a flexión, donde los especímenes serán sometidos a esfuerzos generados por la prensa y así obtener la resistencia a flexotracción de los especímenes.

Fotografía 3.16: Rotura de especímenes



Fuente: Elaboración propia

3.6. Resultados

3.6.1. Resumen de la caracterización de los agregados

A continuación se muestra el resumen de las características de los agregados necesarios para la dosificación

Tabla 3.21: Características físicas del Agregado grueso

GRAVA		
Procedencia	Santa Ana	
CARACTERISTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Tamaño Máximo	1 1/2	pulgada
T. Máximo Nominal	1 1/2	pulgada
Módulo de Finura	7.32	-
Peso Unitario Suelto	1.56	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.68	gr/cm ³
Peso Específico	2.64	gr/cm ³
Absorción	1.12	%
Humedad	1.17	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22: Características físicas del Agregado fino

ARENA		
Procedencia	Santa Ana	
CARACTERISTICAS		
Propiedad	Cantidad	Unidad
Módulo de Finura	2.66	-
Peso Unitario Suelto	1.58	gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.76	gr/cm ³
Peso Específico	2.64	gr/cm ³
Absorción	2.08	%
Humedad	2.80	%

Fuente: Elaboración propia

Rotura a flexión

Después de haber realizado los especímenes de hormigón y del proceso de curado a 28 días en la piscina del laboratorio se procedió a realizar los ensayos de rotura.

De esta manera en las siguientes tablas se mostrarán los resultados de los módulos de rotura obtenidos para cada una de las vigas elaboradas, con agregados naturales de la región. Se puede mencionar que se realizó 6 especímenes de cada una de las variaciones de relación agua cemento, siendo un total de 60 muestras ya que se usó 10 diferentes dosificaciones.

Los especímenes que fueron sometidos al ensayo de rotura, antes de realizar dicho ensayo fueron sumergidos en agua, hasta concluir un periodo de 28 días, entonces así se dio un curado completo donde se espera que los especímenes puedan mostrar su mayor resistencia.

3.6.1. Resultados de la resistencia a flexión

Tabla 3.23: Resistencia a flexotracción a 28 días

Relación a/c	Resistencia a Flexotracción 28 días (Kg/cm²)					
0,40	52,42	54,50	50,84	55,02	53,71	57,11
0,42	50,59	53,06	50,05	52,67	53,32	52,91
0,44	49,16	51,73	48,63	50,18	50,83	48,53
0,46	48,10	48,92	45,87	47,18	48,88	47,24
0,48	43,69	43,68	44,06	44,06	44,63	44,98
0,50	43,04	42,51	43,30	43,21	43,30	43,30
0,52	40,78	40,38	38,55	40,78	40,25	40,78
0,54	37,93	37,77	36,03	38,42	35,78	37,09
0,56	36,90	36,76	37,15	35,99	36,64	37,02
0,58	34,51	34,64	35,62	32,94	33,88	33,64

Fuente: Elaboración propia

Muestras extras elaboradas para el tratamiento estadístico.

Tabla 3.24: Resistencia a flexotracción a 28 días para análisis

Rel A/C 0,44	Rel A/C 0,46
49,1	46,3
48,6	48,0
49,3	48,5
50,4	47,6
51,2	47,4
49,6	46,9
50,9	46,8
51,8	48,1
48,0	47,1
49,0	47,7

Fuente: Elaboración propia

3.7. Comparación y cumplimiento de parámetros normativos de los resultados

3.7.1. Comparación de los ensayos de los materiales empleados.

De acuerdo a los materiales utilizados en los ensayos se llegó a las siguientes conclusiones:

- El tipo de cemento empleado fue cemento “El Puente” IP-30, el cual cumplió con todas las especificaciones, ya que no se presentó ninguna alteración o efecto negativo durante los ensayos de concreto fresco.
- El agregado fino proveniente de la Cantera “Santa Ana”, el agregado fino presentó un módulo de fineza de 2,66 encontrándose en el rango especificado por la norma ASTM de 2,2 a 3,1 garantizando que el material presenta una granulometría bien graduada, y el porcentaje que pasa el tamiz N°200 está por debajo del máximo de 3%.Las características del material empleado cumplieron con todas las especificaciones para elaborar un pavimento rígido.

Tabla 3.25: Porcentaje en peso que pasa del agregado fino.

Nº de malla	% que pasa	Especificación tabla 3.3 intervalos	
Nº4	98,09	95	100
Nº8	80,07	80	100
Nº16	66,95	50	85
Nº30	53,67	25	60
Nº50	26,91	10	30
Nº100	8,01	0	10
BASE	2,58		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26: Normas de calidad del agregado fino

Tabla 2.3 Granulometría recomendada en la arena	
Denominación de la malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo
3/8 "	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	0 - 10

Requisitos adicionales:

Módulo de finura: 2.2 a 3.1

Materiales que pasan la malla No. 200 (0.074mm) 3 % máximo

Carbón: 1.0 %

Partículas deleznales: 3 % máximo

Impurezas orgánicas, referidas a color límite según patrón amarillo claro

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

- El agregado grueso proveniente de la Cantera “Santa Ana” presentó una granulometría muy bien graduada, con un tamaño máximo de 1 1/2”. Las características del material empleado cumplieron con todas las especificaciones para elaborar un pavimento rígido.

Tabla 3.27: Porcentaje en peso que pasa del agregado grueso.

Nº de malla	% que pasa	Especificación tabla 3.2 intervalos para 1 1/2"	
1 1/2"	100.00	90	100
1"	83,00	-	-
3/4"	58,80	35	70
1/2"	24,40	-	-
3/8"	12,11	10	30
Nº4	0,42	0	5
BASE	0		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28: Normas de calidad del agregado grueso

Tabla 2.2 Normas de calidad (Granulometría)			
Denominación de la Malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo		
	2.5 cm (1")	1 1/2" (4 cm)	5 cm (2")
2 1/2"	-	-	100
2"	-	100	90 - 100
1 1/2"	100	90 - 100	-
1 "	90 - 100	-	35 - 70
3/4"	-	35 - 70	-
1/2"	25 - 60	-	10 - 30
3/8"	-	10 - 30	-
No 4	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No 8	0 - 5	-	-

Requisitos adicionales:

Desgaste Los Angeles:	40 % máximo
Materiales que pasa la malla No. 200 (0.074mm)	0.50 máximo
Carbón	1.0 % máximo
Otras sustancias y fragmentos blandos	5.0 % máximo

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos.

- Para el presente trabajo de investigación se utilizó agua potable para el mezclado y curado del hormigón.

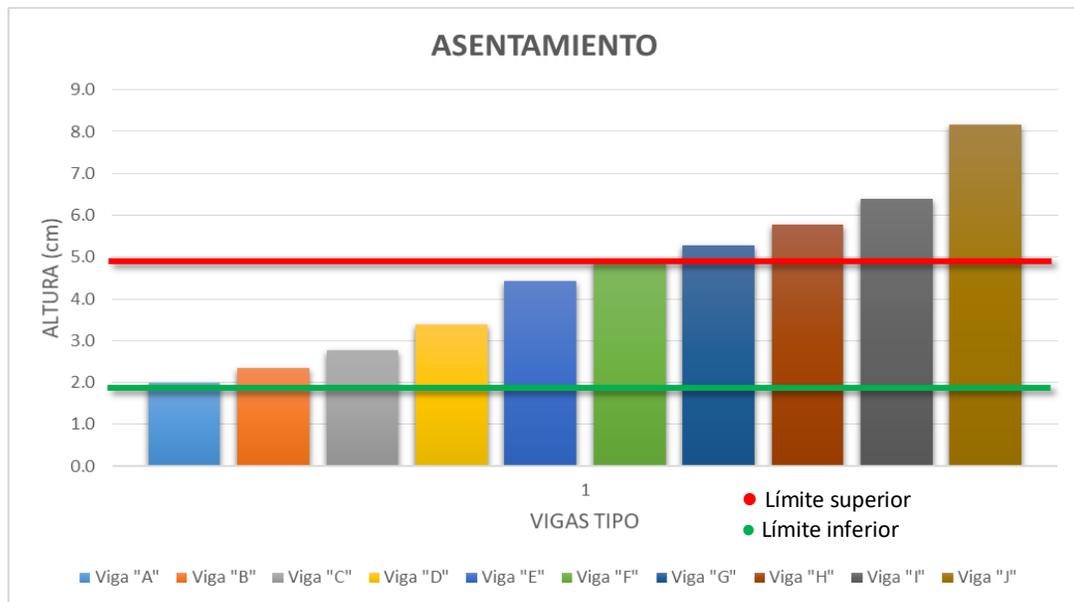
3.7.2. Comparación de los ensayos de trabajabilidad

Tabla 3.29: Asentamiento (cono de Abrams)

VIGA TIPO	ASENTAMIENTO (cm)						PROMEDIO
A	2	1,8	2,1	2	2,2	1,9	2,0
B	2,4	2,3	2,2	2,2	2,5	2,4	2,3
C	2,9	2,8	2,6	2,7	2,7	2,9	2,8
D	3,5	3,2	3,4	3,4	3,3	3,5	3,4
E	4,2	4,5	4,7	4,3	4,4	4,5	4,4
F	4,7	5,1	4,9	4,8	5	4,9	4,9
G	5	5,4	5,2	5,1	5,5	5,4	5,3
H	5,8	5,6	5,7	5,9	5,8	5,9	5,8
I	6,3	6,5	6,5	6,2	6,4	6,5	6,4
J	7,9	8,1	8,4	8	8,2	8,4	8,2

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.1: Asentamiento (cono de Abrams)x



TIPOS DE VIGA

A	B	C	D	F	G	H	I	J	K
R. a/c = 0.40	R. a/c = 0.42	R. a/c = 0.44	R. a/c = 0.46	R. a/c = 0.48	R. a/c = 0.50	R. a/c = 0.52	R. a/c = 0.54	R. a/c = 0.56	R. a/c = 0.58

Fuente: Elaboración propia

Con el ensayo de trabajabilidad o Cono de Abrams se logra apreciar una clara diferencia de alturas en el hormigón fresco, donde se observa que a menor relación agua cemento la trabajabilidad también disminuye, aunque se mantiene dentro del rango de consistencia.

3.7.3. Comparación de variabilidad de resistencia a distintas relaciones de a/c

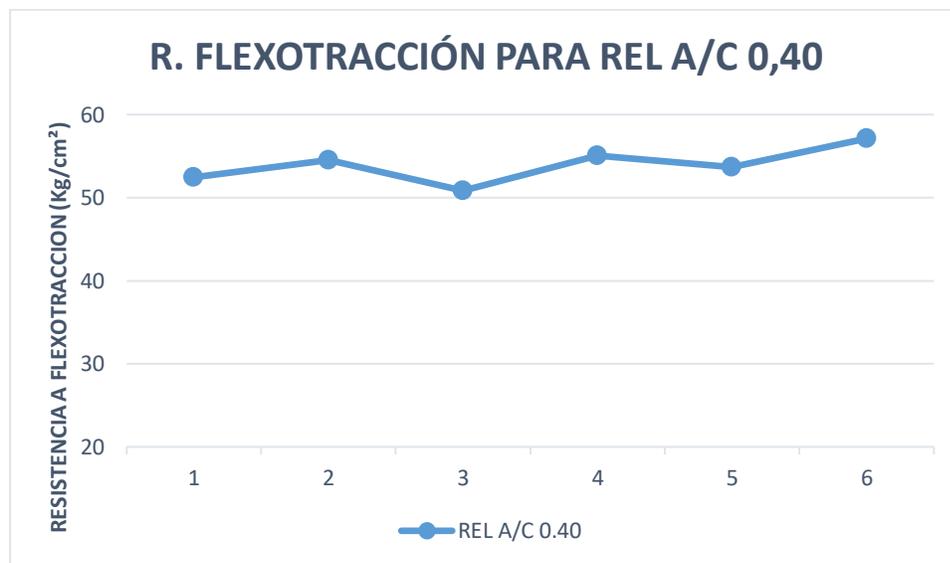
Tabla 3.30: R. a flexotracción a 28 días para distintas relaciones de a/c.

Relación a/c	Resistencia a Flexotracción 28 días (Kg/cm ²)					
	1	2	3	4	5	6
0,40	52,42	54,50	50,84	55,02	53,71	57,11
0,42	50,59	53,06	50,05	52,67	53,32	52,91
0,44	49,16	51,73	48,63	50,18	50,83	48,53
0,46	48,10	48,92	45,87	47,18	48,88	47,24
0,48	43,69	43,68	44,06	44,06	44,63	44,98
0,50	43,04	42,51	43,30	43,21	43,30	43,30
0,52	40,78	40,38	38,55	40,78	40,25	40,78
0,54	37,93	37,77	36,03	38,42	35,78	37,09
0,56	36,90	36,76	37,15	35,99	36,64	37,02
0,58	34,51	34,64	35,62	32,94	33,88	33,64

Fuente: Elaboración propia

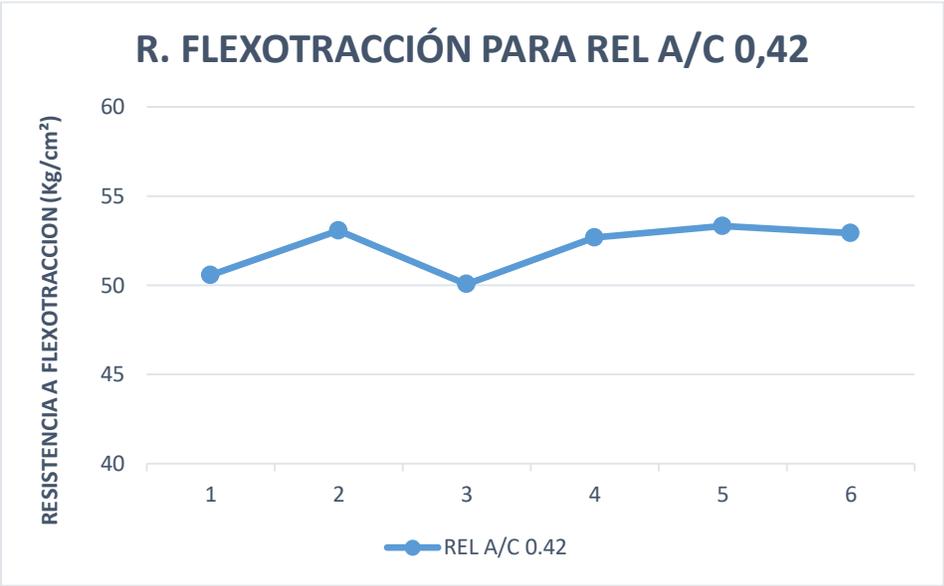
En la tabla podemos observar que los resultados de resistencia a flexotracción que tienen poca variación en cada relación de agua cemento y que también es proporcional, mientras mayor sea la relación agua cemento la resistencia disminuye y esto lo podemos observar en los siguientes gráficos que representan a cada variación de relación agua cemento.

Gráfico 3.2: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,40



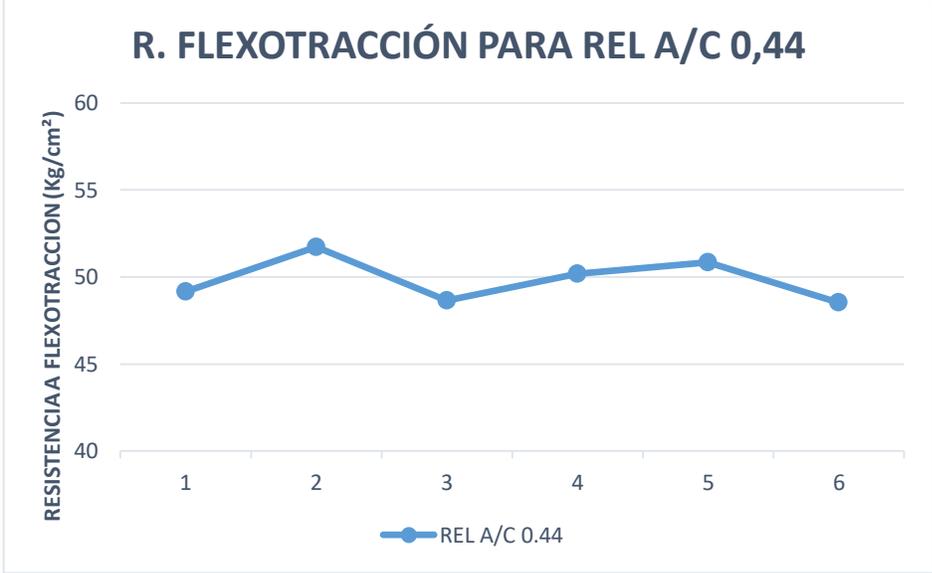
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,42



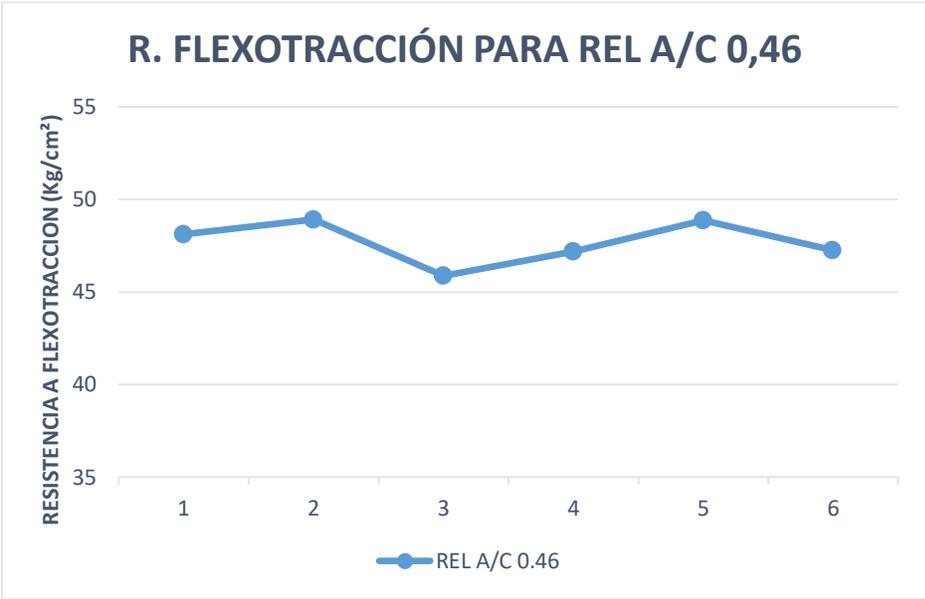
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.4: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,44



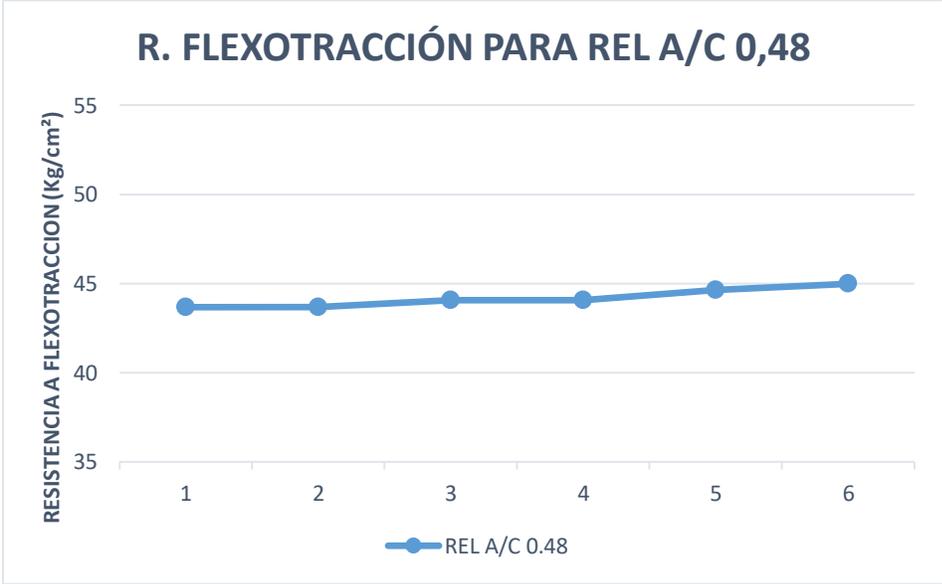
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.5: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,46



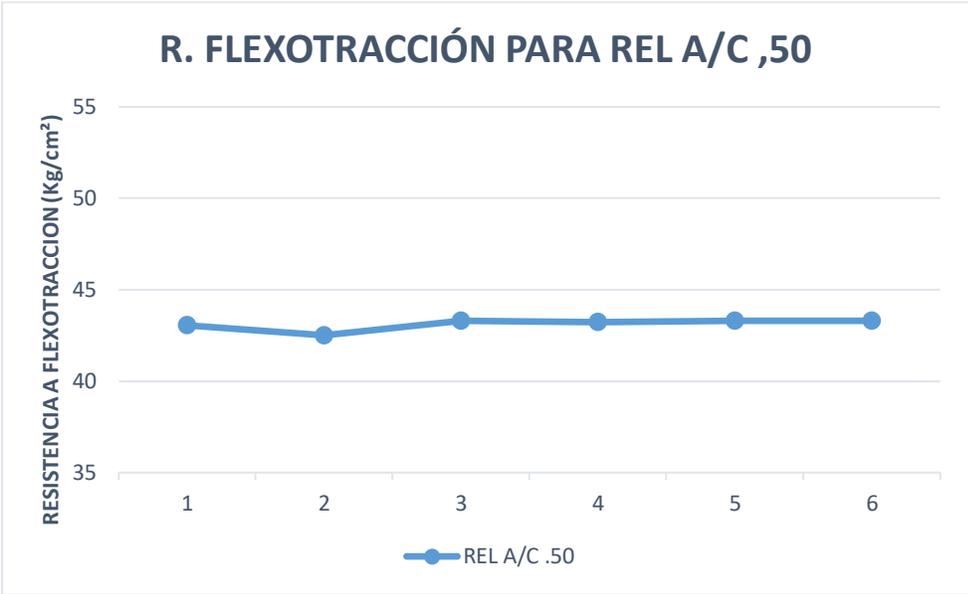
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,48



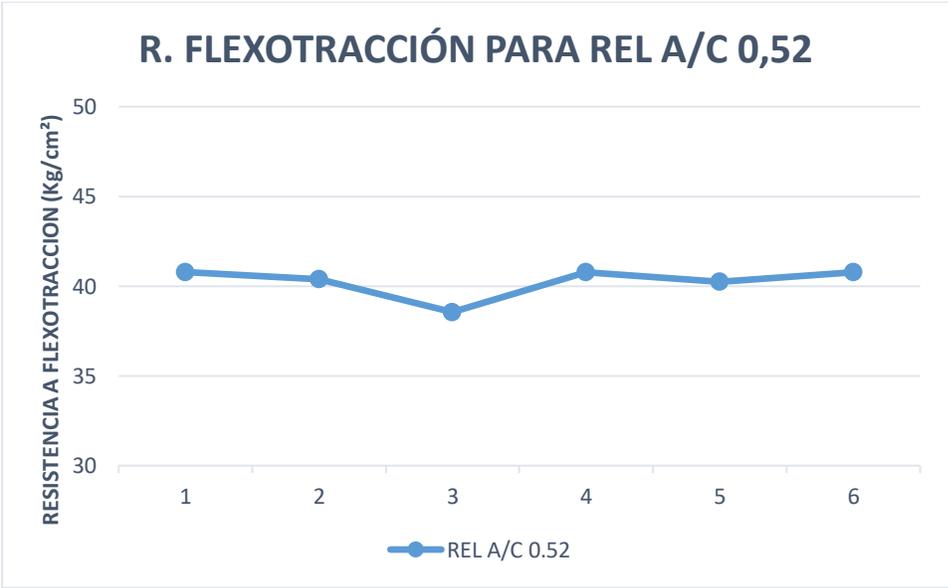
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,50



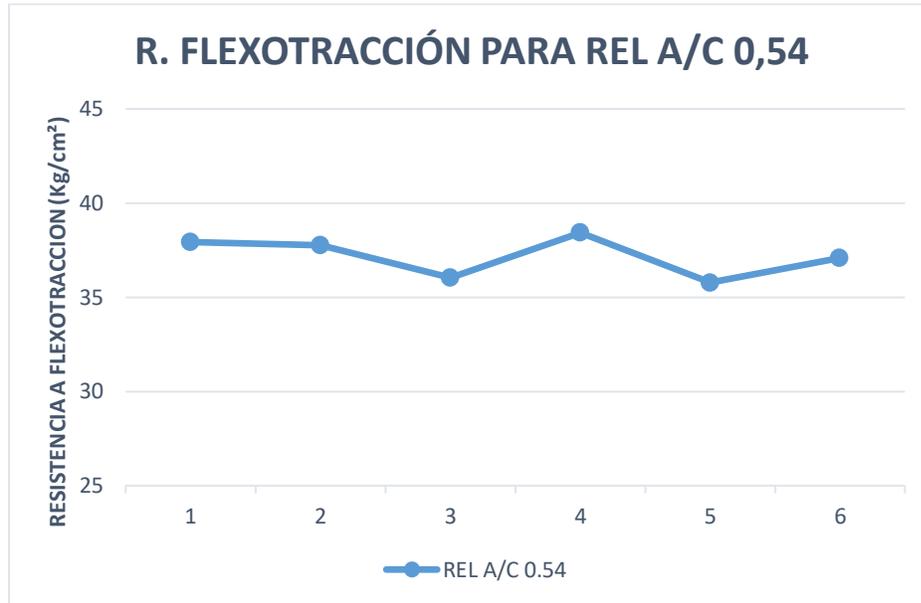
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,52



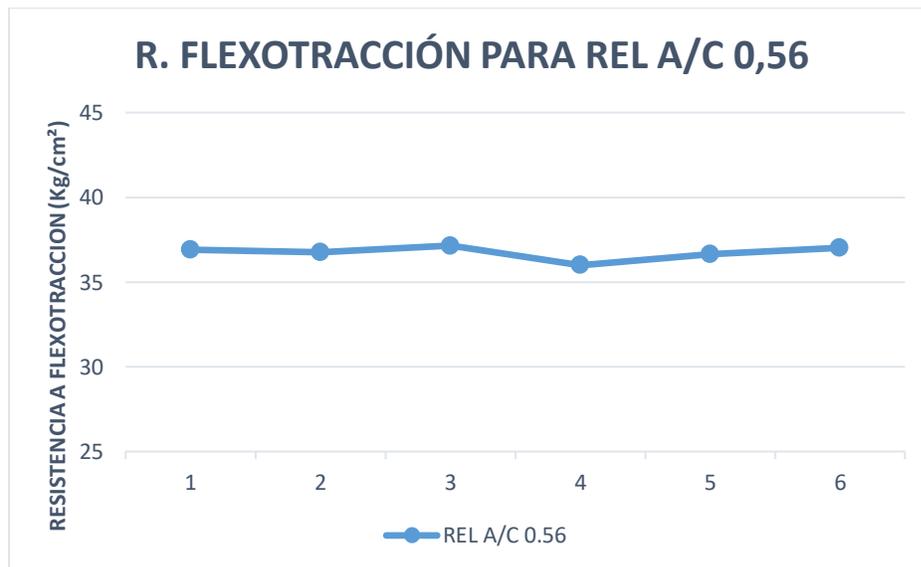
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.9: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,54



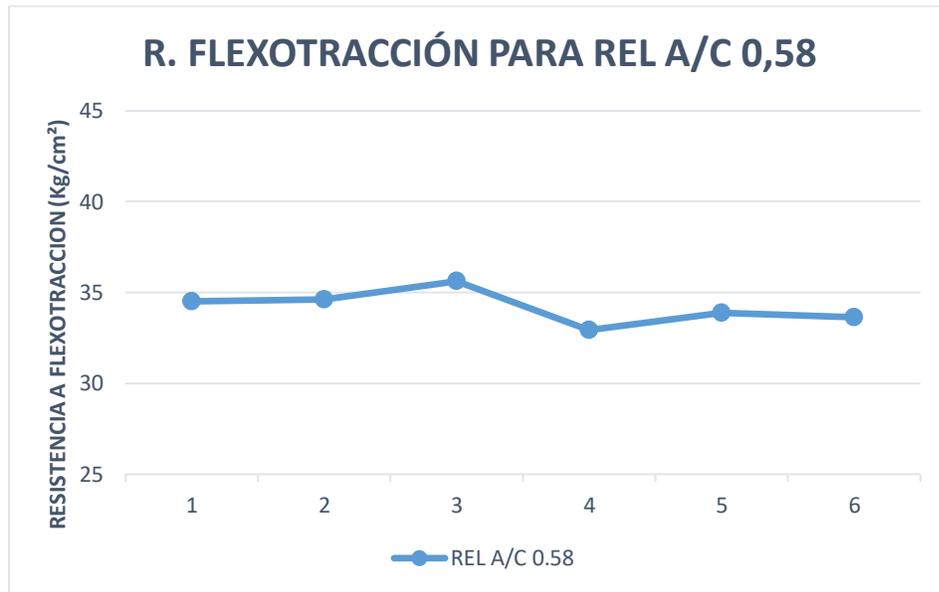
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.10: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,56



Fuente: Elaboración propia

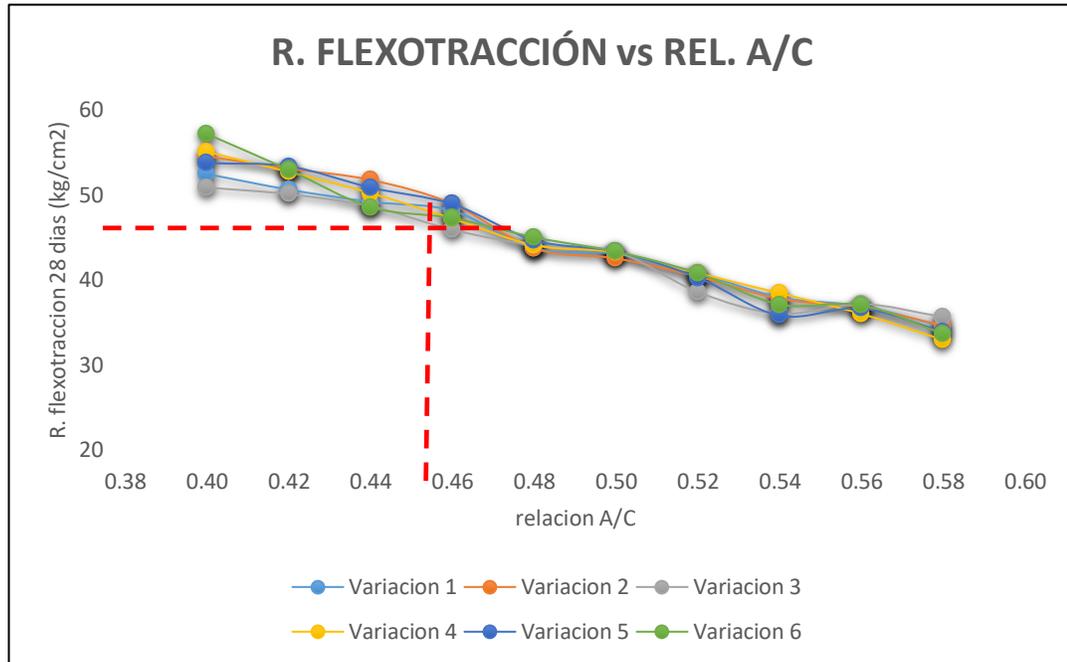
Gráfico 3.11: Resistencia a Flexotracción a una relación de 0,58



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en los gráficos, los resultados de los ensayos de resistencia no se dispersan lo cual nos dice que existe una buena correlación y que se realizó los ensayos de manera correcta para un buen análisis, también podemos observar que existe una gran diferencia de resistencia a flexotracción entre la primera variación de relación agua/cemento de 0,40 y la última de 0,58, esto nos dice que a mayor relación agua/cemento la resistencia a flexotracción disminuye.

Gráfico 3.12: Resistencia a Flexotracción vs Relación a/c



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica podemos observar los resultados de resistencia a flexotracción de las 6 muestras que se realizaron para cada relación agua/cemento y como esta varia y se comporta de forma descendiente lo cual nos dice que la resistencia del hormigón es proporcional a la relación agua/cemento, la cual tiene un comportamiento decreciente y podemos decir que a mayor relación agua/cemento, menor resistencia a flexotracción.

Estos resultados son los que comprueban la hipótesis de la investigación, pero para validarlo lo someteremos a un análisis estadístico e inferencial en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV
PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADOS

4.1. Ordenamiento de la información

Para tener una mejor visión de los resultados obtenidos es fundamental el ordenamiento de la información, para ello se ordenó de manera descendente los valores obtenidos en los ensayos finales.

Tabla 4.1: Resultados de resistencia a flexotracción.

Nº	Resistencia a Flexotracción (Kg/cm ²)		
		24	45,87
		25	44,63
1	57,11	26	44,63
2	55,02	27	44,06
3	54,50	28	44,06
4	54,24	29	43,69
5	53,71	30	43,68
6	53,32	31	43,30
7	53,06	32	43,30
8	52,67	33	43,30
9	52,42	34	43,21
10	51,73	35	43,04
11	50,84	36	42,51
12	50,83	37	40,78
13	50,59	38	40,78
14	50,18	39	40,78
15	50,05	40	40,38
16	50,05	41	40,25
17	49,16	42	38,55
18	48,88	43	38,42
19	48,63	44	37,93
20	48,53	45	37,77
21	48,10	46	37,15
22	47,24	47	37,09
23	47,18	48	37,02

51	36,64
52	36,03
53	35,99
54	35,78
55	35,62
56	34,64
57	34,51
58	33,88
59	33,64
60	32,94

Fuente: Elaboración propia

4.2. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva nos describe las características de nuestros resultados, para ello se realiza la planilla de frecuencias que nos describirá si tiene un comportamiento adecuado y si los datos son confiables.

4.2.1. Cálculo de curva de frecuencias, relativa y acumulada

Para poder realizar la tabla de frecuencias mediante la regla de Sturges, es necesario obtener algunos datos previos de la tabla de resultados.

Tabla 4.2: Resistencias a flexotracción según las diferentes relaciones a/c.

VIGA	Resistencia a Flexotracción 28 días (Kg/cm ²)					
	A	52,42	54,50	50,84	55,02	53,71
B	50,59	53,06	50,05	52,67	53,32	52,91
C	49,16	51,73	48,63	50,18	50,83	48,53
D	48,10	48,92	45,87	47,18	48,88	47,24
E	43,69	43,68	44,06	44,06	44,63	44,98
F	43,04	42,51	43,30	43,21	43,30	43,30
G	40,78	40,38	38,55	40,78	40,25	40,78
H	37,93	37,77	36,03	38,42	35,78	37,09
I	36,90	36,76	37,15	35,99	36,64	37,02
J	34,51	34,64	35,62	32,94	33,88	33,64

Datos de valores observados.

Máximo	57,11
Mínimo	32,94
Rango	24,18
n	60
Nº clase	7
Amplitud	4

Donde:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
R. a/c = 0.40	R. a/c = 0.42	R. a/c = 0.44	R. a/c = 0.46	R. a/c = 0.48	R. a/c = 0.50	R. a/c = 0.52	R. a/c = 0.54	R. a/c = 0.56	R. a/c = 0.58

Fuente: Elaboración propia

Se utiliza la tabla de resistencias para obtener las medidas de tendencia central y de dispersión. Con los datos obtenidos anteriormente procedemos a realizar la planilla de frecuencias.

4.2.1.1. Elaboración de las planillas y graficas de histograma, polígono y curva de frecuencias.

Tabla 4.3: Planilla de frecuencias

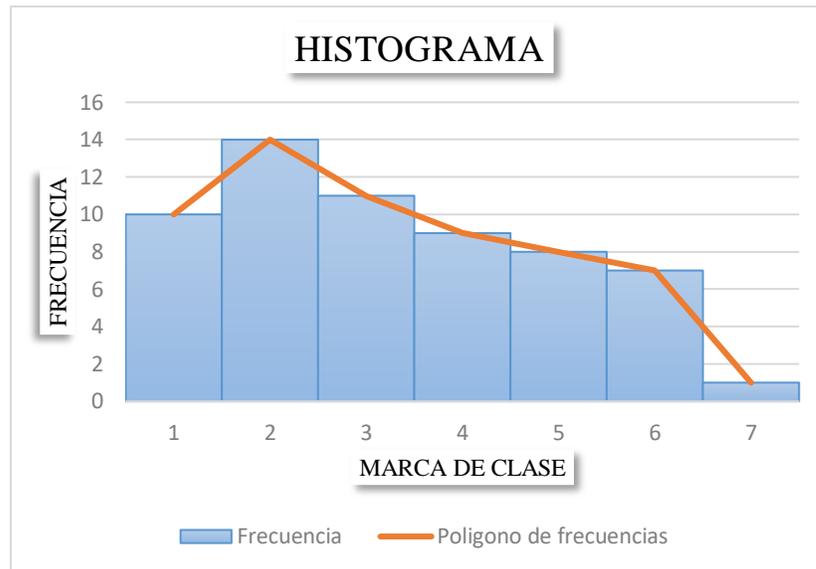
N de clase	L. Inf.	L. Sup.	Marca de Clase	Frecuencia Simple		Frecuencia acumulada	
				f _i	f _i	FI	FI
					(%)		(%)
1	32,94	36,94	34,94	10	16,7	10	16,7
2	36,94	40,94	38,94	14	23,3	24	40
3	40,94	44,94	42,94	11	18,3	35	58,3
4	44,94	48,94	46,94	9	15	44	73,3
5	48,94	52,94	50,94	8	13,3	52	86,7
6	52,94	56,94	54,94	7	11,7	59	98,3
7	56,94	60,94	58,94	1	1,7	60	100
				60	100		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de esta planilla de frecuencias se pueden representar en el siguiente gráfico de histograma, el cual nos muestra el comportamiento de los resultados obtenidos, si este presenta forma de campana nos dice que los datos obtenidos presentan

un comportamiento razonable y que son datos confiables, en el caso de que esté presente otro tipo de forma nos dice que esos datos presentan un comportamiento atípico lo cual da resultados no confiables.

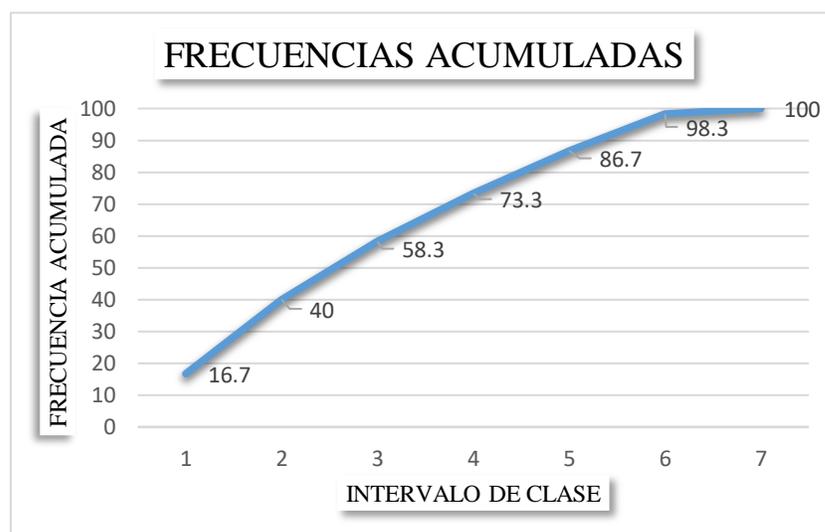
Gráfico 4.1: Histograma de Frecuencia absoluta



Fuente: Elaboración propia

En el caso del histograma, este nos muestra un comportamiento razonable de casi campana lo cual nos dice que los resultados son confiables.

Gráfico 4.2: Frecuencias acumulada



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Cálculos de medidas de tendencia central

Media o promedio (X): Es el valor promedio del grupo de datos.

Moda (Mo): Es el valor que más se repite en la serie de datos.

Mediana (Me): Es el valor que separa la serie de datos ya ordenados en 2 partes iguales.

4.2.3. Cálculos de medidas de dispersión

Varianza (S^2) y desviación estándar (S)

La varianza y la desviación estándar indican si los valores se encuentran más o menos próximos a las medidas de posición.

A continuación, se presenta un resumen de las medidas de tendencia central y de dispersión, para este cálculo se utilizó la herramienta informática Excel.

Tabla 4.4: Resumen del análisis descriptivo.

Estadística descriptiva	
Media	43,92
Error típico	0,86
Mediana	43,49
Moda	43,30
Desviación estándar	6,64
Varianza de la muestra	44,03
Rango	24,18
Mínimo	32,94
Máximo	57,11
Suma	2635,47
Cuenta	60

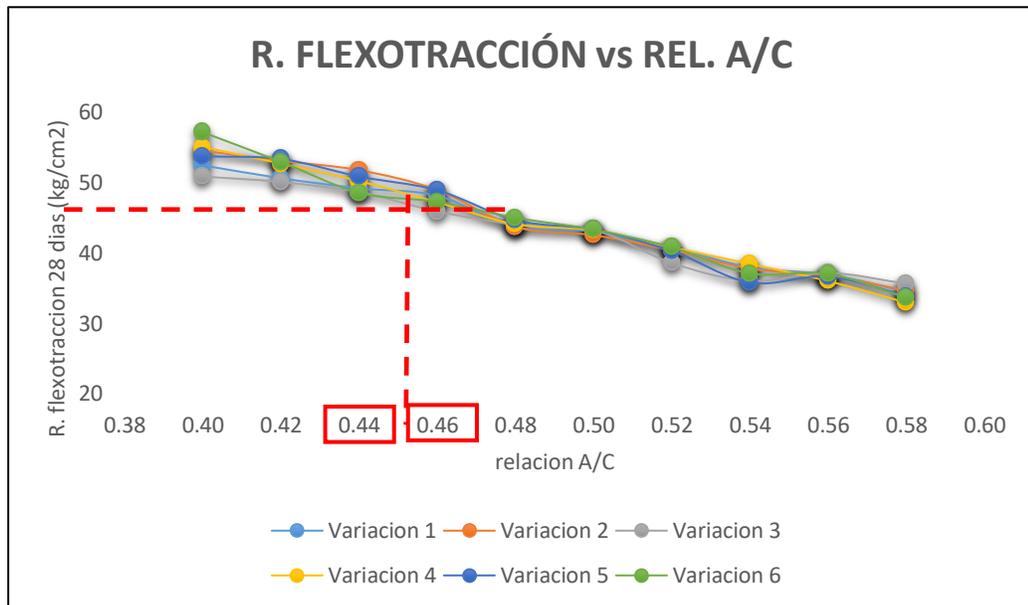
Fuente: Elaboración propia

4.3. Estadística inferencial

4.3.1. Prueba de hipótesis “t de student”

Para realizar la prueba de hipótesis de nuestra investigación, hacemos uso de la siguiente gráfica.

Gráfico 4.4: Relación agua cemento óptima



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica se observa cual sería la relación agua cemento óptima y esta se encuentra entre 0,44 y 0,46 para que se cumpla la resistencia mínima que nos exige la norma

Hago énfasis en este punto para realizar la prueba “t” de Student y demostrar la hipótesis de la investigación.

Para realizar la prueba “t de student” se elaboraron 10 muestras extras para cada tipo de relación agua cemento (0,44 y 0,46) y así tener mayor número de datos para que la prueba sea confiable.

Tabla 4.5: Cálculo de diferencia

Rel A/C 0.44	Rel A/C 0.46
49.1	46.3
48.6	48.0
49.3	48.5
50.4	47.6
51.2	47.4
49.6	46.9
50.9	46.8
51.8	48.1
48.0	47.1
49.0	47.7

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la siguiente tabla se realizará la prueba “t” de Student para muestras pareadas.

➤ **Hipótesis de la investigación**

“La incidencia de la relación agua cemento aumenta la resistencia a flexotracción del hormigón para pavimento rígido.”

X: son las resistencias obtenidas con una relación $a/c = 0,44$

Y: son las resistencias obtenidas con una relación $a/c = 0,46$

- Hipótesis nula “ H_0 ” = 0 (nos dice que no hay una diferencia significativa)
- Hipótesis alternativa “ H_1 ” $\neq 0$ (existe una diferencia significativa)

Entonces:

- Si $t > t(\alpha/2; n-1)$;
- Si $t \leq t(\alpha/2; n-1)$;

Se calcula la media de diferencias.

Tabla 4.6: Cálculo de media de diferencias

Nº de Muestras	X	Y	Diferencia
	R A/C = 0.44	R A/C = 0.46	
V-1	48,0	45,9	2,2
V-2	48,5	46,3	2,2
V-3	48,6	46,8	1,8
V-4	48,6	46,9	1,7
V-5	49,0	47,1	1,9
V-6	49,1	47,2	1,9
V-7	49,2	47,2	1,9
V-8	49,3	47,4	1,9
V-9	49,3	47,6	1,7
V-10	50,2	47,7	2,5
V-11	50,4	48,0	2,3
V-12	50,8	48,1	2,8
V-13	50,9	48,1	2,8
V-14	51,2	48,5	2,7
V-15	51,7	48,9	2,9
V-16	51,8	48,9	2,9

Fuente: Elaboración propia

Promedio de diferencias.

$$d = 2,251$$

Número de muestras.

$$n = 16$$

Desviación estándar de las diferencias.

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - d)^2}{n - 1}}$$

$$S_d = 0,437476$$

Valor crítico.

$$G.L. = (n-1)$$

G.L. = 15

A continuación se calcula el error estándar de las diferencias de resistencias. El cálculo es el siguiente:

$$\text{Error estandar} = \frac{S_d}{\sqrt{n}} = \frac{0,44}{\sqrt{16}} = 0,11$$

Se procede a calcular el estadístico de prueba “t” que es la diferencia media dividida entre el error estándar.

$$t = \frac{\text{Diferencia media}}{\text{Error estandar}} = \frac{2,251}{0,11} = 20,58$$

Una vez calculado el estadístico de prueba “t” se procede a calcular el “t” crítico.

Se calcula el valor de la distribución “t”

Para hallar este valor, se utiliza el nivel de significación ($\alpha = 0,05$) y los grados de libertad. Los grados de libertad (gl) se basan en el tamaño muestral.

Para los datos de puntuación, sería: G.L. = $n - 1 = 16 - 1 = 15$

Cálculo de “t”

Cálculo de t ($\alpha/2$: n-1)

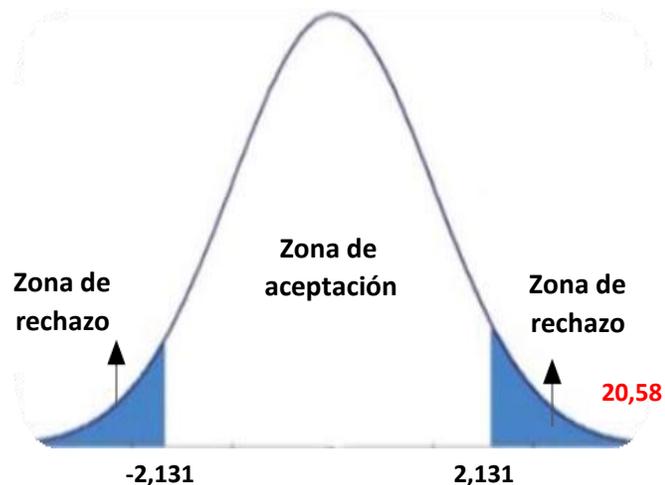
Nivel de significancia $\alpha = 0,05 = 5 \%$

De acuerdo a la tabla de valores críticos de la distribución t de Student (Anexo N 4º) resulta que $t(\alpha/2; n-1) = 2,131$

Resultados de la prueba “t”

Después de obtener el estadístico de prueba t y el t de student, se realiza la comparación de estas para verificar si la hipótesis se rechaza o se acepta y como se puede observar en los resultados el estadístico de prueba t es mayor al t de student ($20,58 > 2,131$) por lo cual se puede concluir que existe una diferencia significativa entre las 2 resistencias que se está comparando, entonces se rechaza que la hipótesis es nula.

Gráfico 4.5: Zonas de aceptación y rechazos



Fuente: Elaboración propia

**Como $t > t_{(\alpha/2; n-1)}$
Se rechaza H_0**

Conclusión de la prueba de hipótesis.

Después de comparar el valor de nuestra estadística (20,58) al valor t. se concluye:

La hipótesis de la investigación es nula, puesto que $20,58 > 2,131$ se puede rechazar la idea de que no hay una diferencia significativa de las resistencias y se llega a la conclusión práctica de que las resistencias obtenidas con relación agua cemento de 0,44 son mayores a las obtenidas con 0,46 por lo cual se cumple la hipótesis de que la incidencia de la relación agua cemento aumenta la resistencia a flexotracción en pavimentos rígidos.

4.4. Especificaciones técnicas.

Diseño del estudio.

Esta investigación tiene un diseño cuasi experimental, para la selección de los agregados que se usaron en la investigación, se visitó varios bancos de préstamo de los cuales se extrajo una muestra para llevarla al laboratorio y ver si cumplían las especificaciones de

la norma para su uso, también se revisó trabajos anteriores para tener más datos sobre las características del agregado usado en dicho trabajo. Este trabajo duro un par de semanas.

Luego se procede a realizar los ensayos de la siguiente manera y en las fechas indicadas.

Febrero del 2023	Exploración de bancos de material	Se busca diferentes bancos de la ciudad de Tarija para ver si cumplen las especificaciones técnicas
Marzo del 2023	se inicia con la extracción de materiales del banco	llevando el material de trabajo a laboratorio
Marzo del 2023	se planifica todos los ensayos a realizar	se plantea un horario de laboratorio para realizar los ensayos
Marzo del 2023	Se da inicio a los ensayos	Presentando folder de documentos al encargado de laboratorio
Agosto del 2023	Se termina con los ensayos	Firmado de planillas por el encargado de laboratorio de hormigones

Instrumentos.

En cuanto a los instrumentos que se usaron, son los siguientes:

Tamices: Las mallas o tamices se pueden utilizar en las pilas, para dividir los granos en varias fracciones de tamaño y por lo tanto determinar las distribuciones de tamaño de partícula.

Equipo de peso específico: se utiliza para saber el peso sumergido de la muestra en condiciones saturadas.

Moldes cilíndricos: se utiliza para calibrar y pesar las muestras en estado suelto y compactado.

Balanza digital: Se usa para pesar las muestras, tiene un margen de error de 0,01 gr

Mezcladora: Tiene como función mezclar los componentes del concreto, tales como el cemento, la arena, la piedra y el agua. La ventaja de usar una mezcladora en vez de hacer el batido a mano, es que la mezcla de concreto queda uniforme y homogénea.

Equipo de cono de Abrams: es un ensayo muy sencillo de realizar y permite medir la consistencia de un hormigón fresco.

Moldes o probetas prismáticas: son moldes para introducir el hormigón y darle la forma y tamaño que queremos para la investigación, en este caso 15 x 15 x 45 (cm).

Metro: se usa para medir las dimensiones de las vigas o probetas prismáticas.

Prensa hidráulica: es una herramienta utilizada para aplicar una gran cantidad de presión para comprimir o moldear materiales. Funciona a través del uso de un fluido que se transfiere a través de un sistema de tuberías y pistones, lo que le permite generar una fuerza significativa.

Muestra.

Los elementos de estudio son vigas de hormigón, para ello se realizaron un total de 80 muestras de las cuales se desechan todas las vigas que no cumplan con la resistencia mínima que nos exige la norma (45 Kg/cm²).

Para medir la resistencia se utilizó la prensa hidráulica la cual se usó con ayuda del técnico de laboratorio para su validez y confiabilidad.

Procedimiento.

Las vigas de hormigón fueron sometidas a pruebas de resistencia hasta su rotura utilizando una prensa hidráulica, se registraron los resultados para su posterior evaluación estadística.

Análisis de datos.

Se utilizó métodos estadísticos como la estadística descriptiva donde se calcula la curva de frecuencias, relativa y acumulada, determinación del histograma, cálculos de medidas de tendencia central, cálculos de medidas de dispersión. También se aplica la estadística inferencial en donde se utilizó la prueba “t” de Student para muestras pareadas.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El presente trabajo tiene como uno de los objetivos estudiar las características de los agregados que influyen directamente a la resistencia del pavimento ya que a medida que disminuye el tamaño máximo también lo hace la resistencia, se realizó una caracterización de ambos agregados grueso y fino del banco de Santa Ana. Dentro de la caracterización los agregados ambos cumplían con las especificaciones de la norma ASTM obteniendo un tamaño máximo de 1 ½” para la grava.
- Tomando en cuenta las diferentes relaciones agua/cemento se obtuvo distintas dosificaciones de las cuales no todas cumplen con la resistencia mínima requerida de 4.5 MPa, los especímenes preparados con 0,40 a 0,46 de relación a/c si obtuvieron una resistencia mayor, esto se debe al incremento de agua ya que a mayor relación agua/cemento aumenta el volumen de espacios creados por el agua libre y esto provoca formación de panales, fisuras, porosidad, etc. Solo 40 % de los especímenes que cumplieron con la resistencia mínima.
- De la trabajabilidad se obtuvo asentamientos variados desde 2 a 8 cm, esto debido a las diferentes dosificaciones que se utilizó, y se concluye que aunque la resistencia aumenta cuando la relación agua/cemento es menor, su trabajabilidad disminuye, lo cual dificulta su colocación.
- Del presente estudio habiendo realizado la prueba de hipótesis se concluye que:
La hipótesis nula se rechaza.
Por lo tanto, la hipótesis de la investigación es verdadera, lo que quiere decir que la relación agua cemento aumenta la resistencia a flexotracción de los pavimentos rígidos.
- Se puede apreciar que las muestras elaboradas obtienen una resistencia óptima para nuestro medio cuando se utiliza una relación agua cemento de 0,46 ya que esta cumple con la resistencia mínima requerida y la trabajabilidad está dentro del rango de consistencia, cumpliendo así el objetivo principal de la investigación.

4.2. Recomendaciones

Las recomendaciones son las siguientes:

- Se recomienda escoger un buen banco de materiales ya que no todos cumplen la caracterización que se requiere para el trabajo, para esto se recomienda revisar tesis o proyectos pasados donde ya trabajaron con agregados de la región, lo cual ahorra tiempo en la ejecución de la parte práctica de la investigación.
- Se recomienda realizar un cálculo adecuado en la dosificación para que se pueda notar la variabilidad de cada muestra y descartar las dosificaciones elaboradas con relación agua cemento mayor a 0,47 ya que estas no cumplen con la resistencia mínima que nos exige la norma.
- Se debe tener en cuenta el buen funcionamiento de las prensas al momento de realizar los ensayos de rotura ya existen variables que se colocan en el programa antes de realizar las roturas y que si estos datos no son los adecuados los resultados de rotura son erróneos, para esto siempre debemos pedir la ayuda del encargado del laboratorio que es el que sabe operar cada uno de los equipos; esta es la parte más importante de la investigación para obtener la resistencia a flexotracción de los especímenes elaborados.
- A pesar de que los ensayos de dosificación son fáciles de realizar para elaborar las probetas prismáticas, es necesario planificar de manera adecuada el día y el tiempo ya que los agregados aumentan o disminuyen su humedad y esto provoca cambios en los cálculos previos y en el asentamiento y posteriormente en la resistencia de las muestras.
- Se recomienda que los resultados obtenidos en esta investigación se puedan aplicar en cualquier lugar o región cuyos agregados naturales y tipo de cemento tengan las mismas características o propiedades que las de nuestra región (Cercado, Tarija).