

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A lo largo de los años, el concepto de construcción sostenible ha ido tomando fuerza frente a una necesidad imperante de aprovechar los materiales de construcción de manera adecuada. Si bien, en muchos países considerados de primer mundo existen estudios de gran significancia y, por lo tanto, normativas sobre el uso del concreto reciclado; lamentablemente en Bolivia aún no se cuenta con un avance significativo al respecto. El concreto es de gran importancia para las diferentes edificaciones, por ello está en constante innovación en cuanto a funciones, normas y técnicas; teniendo como objetivo primordial un diseño de mezcla de concreto eficiente, que brinde seguridad en cuanto a su resistencia. La incorporación de diferentes materiales reciclados al diseño de mezcla del concreto se utilizó desde hace varios años, ya que la tecnología del reciclaje puede ser direccionada para mejorar las propiedades del concreto, incrementando así la calidad de las construcciones y generando al mismo tiempo la reducción considerable de la contaminación ambiental. El concreto de desecho origina tanto agregados finos como gruesos, cuyo potencial de uso es de gran diversidad en diferentes obras. Para la elaboración del concreto reciclado se debe contar con maquinaria especial que triture los desechos de demolición y genere un nuevo agregado con una variedad de granulometría adecuada para cada uso específico al que vaya a ser destinado.

Es importante impulsar el concepto de ingeniería sostenible en el sector de construcción del país, mediante la propuesta de prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones. Estas prácticas se enfocan en introducir el concreto reciclado en elementos estructurales de una construcción para el beneficio del costo de producción.

1.2. Situación problemática

En los últimos años, la gran magnitud de obras en restauración, demolición y actividades asociadas a la construcción ha generado un incremento masivo en el consumo del concreto, siendo el sector de la construcción de mayor envergadura en la adquisición de los recursos naturales, generando residuos de escombros de construcción de gran

volumen, sin medir el impacto generado en la sociedad, además sin dar importancia a la construcción sostenible que a lo largo de los años la contaminación en el mundo asciende de manera rotunda.

Por esta razón se quiere dar un segundo uso a los escombros de concreto, triturándolos hasta obtener agregados finos y gruesos. Para ser sustituidos por los agregados de cantera y poder incorporar estos agregados reciclados en la mezcla del concreto para la elaboración de adoquines que son elementos estructurales del pavimento articulado cuya función es transportar cargas debido al tránsito peatonal.

Lamentablemente el uso del concreto reciclado en nuestro país no cuenta con un avance significativo, pero en investigaciones y estudios realizados en otros países aseguran que con el aporte de los desechos de construcción en mezclas de concreto se puede obtener resultados satisfactorios.

Al añadir un porcentaje adecuado de concreto reciclado en los adoquines de hormigón el efecto en su resistencia y durabilidad deberá ser positivo por eso es recomendable analizar cada detalle y encontrar el porcentaje de sustitución adecuado.

1.2.1. Problema

¿Cómo afecta el concreto reciclado en los adoquines de hormigón al remplazar por un porcentaje de agregado grueso para pavimentos articulados de uso peatonal?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

Este trabajo se realiza por una necesidad imperante de aprovechar los desechos de concreto de manera adecuada, los cuales pueden ser aprovechados en gran diversidad actividades de ingeniería civil y al mismo tiempo reducir de manera considerable la contaminación ambiental.

Los volúmenes de escombros de construcción encontrados en los botaderos locales han llegado al punto que perjudican al medio ambiente y a la sociedad, por lo que estos residuos podrían recolectarse para darle un mejor uso y así también evitar la explotación a canteras naturales ya que según investigaciones estos pueden aportar de manera positiva en las propiedades de una mezcla de concreto como ser la resistencia a la compresión. Por

otro lado, se observa que a nivel departamental y nacional hay una falta de pavimentación de calles que no han podido ser ejecutadas por los costos muy elevados.

Por lo cual el análisis de la elaboración de adoquines para pavimento articulado usando concreto reciclado reemplazando un porcentaje de agregados es buena alternativa, por lo que se obtendrá una opción más para el correcto uso de los desechos de construcción y a su vez un material que, mediante su incorporación obtendrá aportes positivos a las propiedades mecánicas.

El proyecto es factible puesto que en los laboratorios de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho se tiene todos los equipos necesarios para realizar los diferentes ensayos a los materiales y posterior determinación de resistencias con diferentes porcentajes de concreto reciclado aplicados a adoquines de hormigón.

El material que incorporamos en sustitución al agregado grueso es de fácil recolección tanto en domicilios con refacciones como demoliciones de grandes construcciones donde se adquiere grandes cantidades de este material

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

El presente proyecto será válido hasta encontrar el porcentaje más óptimo de concreto reciclado que pueda mantener las características del hormigón, para esta investigación, se toma como característica principal la resistencia a compresión la absorción de agua , debido a que los adoquines elaborados serán para uso de pavimentos articulados de uso peatonal.

1.3. Justificación

Este proyecto pretende dar un segundo uso a los escombros de construcción para la mezcla del diseño del adoquín evaluando el comportamiento de sus propiedades físico- mecánicas ya que se orienta en evitar un uso excesivo de los recursos naturales existentes y que tienen impacto medioambiental. Por tal motivo, utilizar concreto reciclado como agregado en la elaboración de los adoquines permitirá manipular los desechos de concreto que por sus características son aptos para el reúso y de esta manera se contribuirá a disminuir diversas obras de construcción, en especial aquellas donde se hacen demoliciones. Se resalta también la obtención de adoquines resistentes garantizando su durabilidad.

Es vital esta labor también para la ecología debido a que se liberan zonas donde se tiene acumulado los desechos de concreto para recuperar espacios inertes, siendo un aporte valioso a la sociedad y un insumo recuperado de los escombros para fines constructivos. Es evidente que el uso de este material ajusta costos en la fabricación de adoquines ya que es un material que está disponible y no tiene un costo de venta.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento físico-mecánico de adoquines de hormigón elaborados con diferentes porcentajes de concreto reciclado como sustituto del agregado grueso, con el fin de determinar el porcentaje óptimo para su aplicación en pavimentos de uso peatonal.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los agregados naturales y reciclados utilizados en las mezclas de hormigón.
- Evaluar las propiedades físicas del concreto reciclado para determinar su idoneidad como agregado grueso.
- Diseñar mezclas de concreto con sustitución de agregado grueso por concreto reciclado en proporciones de 0%, 15%, 25% y 35%.
- Medir la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado para cada tipo de mezcla.
- Comparar los resultados obtenidos para identificar el porcentaje de concreto reciclado que mantiene o mejora las propiedades mecánicas del hormigón.
- Analizar técnica y económicamente los resultados obtenidos de los adoquines para su aplicación en pavimentos articulados de uso peatonal.
- Proponer un porcentaje de sustitución viable para la elaboración de adoquines de uso peatonal, considerando desempeño mecánico y sostenibilidad.

1.5. Hipótesis

La utilización de concreto reciclado en la elaboración de mezclas de hormigón para adoquines, se pueden obtener niveles de resistencia a compresión que cumplen con las exigencias mínimas para pavimentos peatonales, siempre que el porcentaje de sustitución se encuentre dentro de un rango técnicamente aceptable.

1.6. Operacionalización de las variables

1.6.1. Variable Independiente

La variable independiente es: cantidad de concreto reciclado

Tabla 1.1. Conceptualización y operación de la variable independiente

Variable dependiente	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Acción
Cantidad de concreto reciclado	El material reciclado que se generen mediante actividades de construcción ya sea de tipo de demolición, renovación, entre otros y que se obtenga por procesos especializados, para que estos vuelvan a ser reaprovechados para un nuevo material	Elaboración de adoquines	0%, 15%, 25% y 35% de material reciclado	Determinación de resistencia a compresión

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Variable Dependiente

La variable dependiente es: la resistencia a la compresión

Tabla 1.2. Conceptualización y operación de la variable dependiente

Variable dependiente	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Acción
Resistencia a la Compresión	La resistencia a la carga que tiene el material reciclado que se generen mediante actividades de construcción ya sea de tipo de demolición, renovación, entre otros.	Dosificación	Contenido de material reciclado	0% 15% 25% 35%
		Curado	Datos de expansión por días	Las muestras se sumergirán en agua durante 7, 14 y 28 días
		Resistencia a la Compresión	KN	Ejecutar la prueba a compresión en equipo calibrado

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Identificación del tipo de investigación

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

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1. Unidad de estudio

Para el presente proyecto se definió una unidad de estudio a compresión en función de los porcentajes de concreto de reciclado

1.8.2. Población

En la presente investigación se considera el concreto reciclado que se obtiene en las áreas donde se observan residuos de demoliciones o restauraciones almacenados

1.8.3. Muestra

Según la norma NTP 399.611–NTP 339.604 las pruebas realizadas en ensayos no deben ser menores a tres unidades por lo tanto se tomarán 6 muestras de cada combinación (3 en probeta cilíndrica y 3 en moldes con formas) con distintos porcentajes de 0%,15%,25% y 35%

Tabla 1.3. Tamaño de muestra para ensayos en laboratorio

Ensayo Resistencia a la Compresión				
Muestra	Días de curado	7 días	14 días	28 días
M-01	Patrón (0%)	6 Unid	6 Unid	6 Unid
M-02	15% de Agregado Reciclado	6 Unid	6 Unid	6 Unid
M-03	25% de Agregado Reciclado	6 Unid	6 Unid	6 Unid
M-04	35% de Agregado Reciclado	6 Unid	6 Unid	6 Unid
TOTAL		72 Adoquines		

Fuente: Elaboración propia

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

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

1.9. Métodos y técnicas de muestreo

Se presentan los siguientes métodos y técnicas continuación:

1.9.1. Métodos

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

1.9.1.1. Experimental

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

1.9.2. Técnicas

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

1.9.2.1. Recolección de datos

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

1.9.2.2. Ensayos

Se realizó ensayos de caracterización de los materiales para la elaboración de los adoquines modelo, con adición de concreto reciclado, posteriormente determinar los ensayos de resistencia a compresión.

1.9.2.3. Procesamiento de la Información

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

1.9.2.4. Tabulación

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

1.9.2.5. Análisis de resultados

Se realizará un análisis entre los datos obtenidos de las diferentes dosificaciones de hormigón, de esta forma establecer un porcentaje óptimo de adicción de concreto reciclado.

1.10. Procesamiento de la información

Se realizaron los siguientes pasos:

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

1.11. Aporte académico

El presente proyecto representa un aporte significativo al campo académico de la Ingeniería Civil, al integrar los principios fundamentales de diseño de materiales, tecnología del concreto y sostenibilidad en la construcción, con un enfoque aplicado al contexto local. A través del estudio experimental de adoquines fabricados con sustitución parcial del agregado grueso por concreto reciclado, se genera conocimiento relevante sobre el comportamiento físico-mecánico de elementos prefabricados elaborados con materiales alternativos, lo cual enriquece las bases técnicas de la carrera y promueve una visión innovadora frente a los desafíos actuales de la industria de la construcción.

En términos académicos, este trabajo permite al estudiante de Ingeniería Civil fortalecer competencias clave como: la capacidad de formular y validar hipótesis técnicas, aplicar normativas internacionales (ASTM, ACI, NTP), interpretar resultados de laboratorio, y evaluar el desempeño estructural de elementos constructivos bajo parámetros reales. La experiencia obtenida a través del diseño de mezclas, elaboración de probetas y análisis de resultados ofrece un valioso ejercicio de integración entre la teoría y la práctica, fomentando el pensamiento crítico, la toma de decisiones técnicas fundamentadas, y el compromiso con la calidad constructiva.

Desde una perspectiva formativa, el proyecto promueve una comprensión más profunda del concreto como material estructural, particularmente en lo que respecta a su comportamiento frente a la modificación de su composición tradicional. Asimismo, permite reflexionar sobre el impacto de los residuos de construcción y demolición, y cómo su correcta valorización puede transformarse en una solución técnica y ambiental, reduciendo la explotación de recursos naturales, minimizando los volúmenes de desechos y contribuyendo al desarrollo de ciudades más sostenibles.

Además, esta investigación amplía el campo de acción de la carrera, al introducir temáticas emergentes como la economía circular, la ingeniería de materiales reciclados, y la innovación tecnológica en prefabricados, lo que la convierte en una base para futuros trabajos de grado, proyectos de investigación institucional y propuestas de actualización curricular. También sirve como insumo técnico y metodológico para normativas locales o

investigaciones que busquen estandarizar el uso del concreto reciclado en elementos estructurales o no estructurales.

En definitiva, el trabajo no solo demuestra la viabilidad técnica de una solución constructiva alternativa, sino que también refuerza el rol del ingeniero civil como un profesional con responsabilidad técnica, ambiental y social, capaz de diseñar soluciones sostenibles, innovadoras y contextualizadas a las necesidades actuales del entorno.

1.12. Alcance de la investigación

En el presente proyecto se utilizó agregados recolectado de la chancadora ubicada en la ciudad de Tarija. De esta manera se recolecto agregado grueso y agregado fino.

Se trabajó con cemento Portland IP30 queriendo obtener una resistencia a compresión de 320 kg/cm^2 .

Se realiza un análisis de los efectos que produce el concreto reciclado sustituyendo una cantidad de agregado grueso en 4 porcentajes diferentes (0%; 15%; 25%; 35%), con la finalidad de encontrar el mejor porcentaje para obtener una resistencia óptima.

Se toma los porcentajes de (15%; 25% y 35 %) con la finalidad de lograr una mezcla de hormigón para una resistencia óptima, queriendo lograr de esta manera en la mezcla de hormigón una resistencia a compresión y compararlo con un hormigón patrón, para obtener sus características físicas, mecánicas y técnicas con el fin de identificar las diferencias, ventajas y desventajas que causa el concreto reciclado en la resistencia y trabajabilidad.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO ARTICULADO

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO ARTICULADO

2.1. Antecedentes de la pavimentación

La historia de los pavimentos de adoquines se confunde con la historia del primer pavimento que se construyó, con superficie limpia y duradera, hace unos 25 siglos; el empedrado. Su aparición se debió a la necesidad sentida por el hombre de tener vías durables, que permitieran el desplazamiento rápido y seguro por ellas en cualquier época del año.

A medida que se fueron refinando los carros de tracción animal se buscó una superficie de rodadura más continua que permitiera un tránsito más cómodo. Para lograr ésto se abandonó la práctica de colocar las piedras en estado natural y se comenzó a tallarlas en forma de bloques para obtener un mejor ajuste entre ellas.

Puede decirse que con esto aparece el primer pavimento de adoquines. La palabra española adoquín proviene del árabe “ad-dukkân” que quiere decir “piedra cuadrada”. Los pavimentos de piedra se siguieron construyendo hasta comienzos del siglo XX . Y, el hecho de que gran cantidad de ellos aún se encuentran en servicio y en buen estado, atestigua su durabilidad y buen comportamiento.

Debido al proceso acelerado de urbanización en el siglo XIX y a la aparición del automóvil con motor de combustión interna a finales del mismo, no resultaba económico ni práctico tallar la gran cantidad de piedras que requería el ritmo de pavimentación acorde con las necesidades de esa época. Por esto, el pavimento de adoquines de piedra comenzó a ser reemplazado por pavimentos de adoquines de arcilla cocida, de bloques de madera y se desarrollaron las técnicas de pavimentación con concreto y con asfalto; éstas últimas de uso corriente y predominante en la actualidad.

2.2. Pavimentos articulados

Es una conexión estructural de elementos que son puestos en un área la cual tenga el propósito de ser una calle más segura, haciéndola más resistente al desgaste que es producido por vehículos y brindando así mismo, ventajas para las personas que transitan por el lugar y los que viven en lugares aledaños.

Existen diferentes pavimentos, de concreto, de asfalto, de adoquín etc. Este proyecto se encuentra enfocado en la elaboración de adoquines, el cual utiliza concreto reciclado en porcentajes.

Figura 2.1. Pavimento articulado



Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

2.3. Referencia histórica de los adoquines

La historia de los adoquines ha estado estrechamente ligada a la evolución de las vías urbanas. En la época medieval, las calles servían tanto para permitir el acceso de peatones, carros o animales, como lugar de vertido de aguas negras. Estos vertidos obligaban a pavimentarlas con elementos que facilitaran un rápido drenaje y permitiera el movimiento de personas y vehículos de tracción animal. Para realizar las obras de pavimentación se crearon gremios de especialistas, estableciéndose escuelas de oficios con una clara jerarquía de maestros, oficiales y aprendices. En esta época, la mayoría de estos gremios se preocupaba solamente de las características superficiales de la vía, cuando se

incrementó el número de vehículos y su peso, empezó a considerarse el comportamiento de la subestructura del firme (base, subbase y explanada).

2.4. La subestructura: base, subbase y explanada

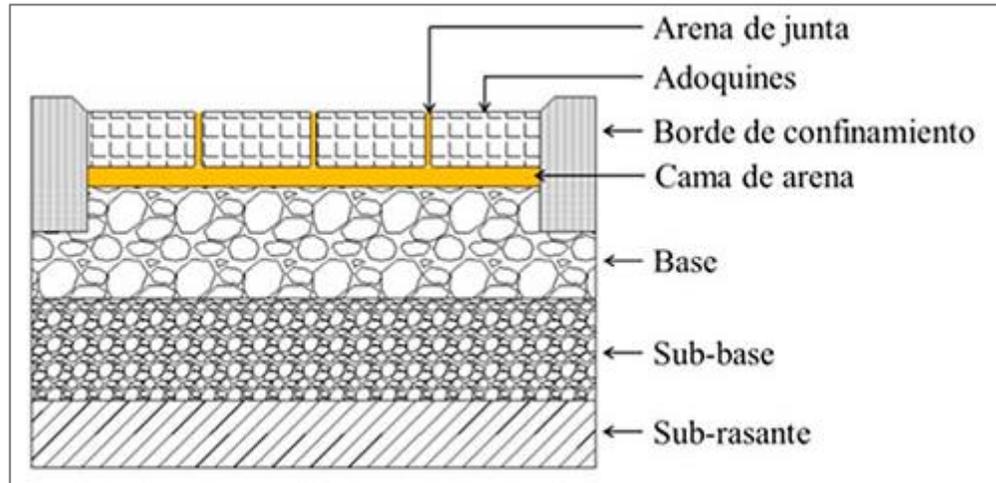
Desde principios de siglo ya existían detalles específicos sobre pavimentos de adoquines, y salvo casos muy puntuales se prestaba muy poca atención a las distintas capas de la subestructura. Tradicionalmente, los adoquines se han colocado sobre una capa de arena y ésta apoyada directamente sobre la explanada, siendo su finalidad corregir las irregularidades de la capa inmediatamente inferior, y las posibles variaciones en los espesores de los adoquines. Esta capa solía tener unos 5 cm de espesor tras la compactación de los adoquines, y desde un principio, se especificó que la arena no tuviera más de un 8% de finos.

Normalmente, esta arena era la misma que se usaba para sellar las juntas entre los adoquines, aunque actualmente se usa otro tipo de arena para el sellado. Por otro lado, aunque en la India se han encontrado bases y subbases de grava y piedra machacada realizadas 500 años A.C., no ha sido hasta el siglo XIX, cuando se han usado más repetidamente. En estos casos, se usaba también greda mezclada con grava, para estabilizar el terreno cuando éste era malo. De todos modos, pocos progresos se han hecho en el uso de bases y subbases hasta la década de los 70, donde con la ayuda de estudios específicos, se pudo analizar fielmente su importancia, así como los espesores recomendados para las distintas situaciones de carga y tipos de explanada.

Los adoquines presentan una amplia variedad de formas, dimensiones y colores, siendo los espesores nominales de 6 a 12 cm.

Los adoquines se colocan sobre una capa de arena de 3 a 5 cm de espesor final, es decir, después del proceso de compactación. Los pavimentos con adoquines se distinguen de los pavimentos flexibles convencionales en la existencia de varias capas, constituidas además de los adoquines por una base de materia granular sobre explanada compactada.

Figura 2.2. Estructura del pavimento articulado de adoquines



Fuente: Sena. (1990).

En ocasiones, los adoquines están separados entre sí mediante distanciadores o separadores, cuya misión consiste en facilitar la penetración de la arena de sellado en las juntas, que tienen un espesor comprendido entre los 2 mm. y los 4 mm. La arena de sellado es un elemento crucial para que el comportamiento de los adoquines bajo tráfico sea satisfactorio. Su presencia facilita la transmisión de esfuerzos horizontales entre los adoquines, permitiendo que estos trabajen solidariamente unos con otros y soporten bien las cargas de tráfico, sea cual sea su naturaleza. En conjunto, los adoquines presentan una significativa capacidad resistente inmediatamente después de ser instalados, siendo muy adecuados cuando los valores de carga se incrementan, ofreciendo más beneficios operativos y ventajas económicas que otros pavimentos.

2.5. Adoquín

La palabra adoquín proviene de la palabra árabe addukkân, que significa “piedra escuadrada” o “piedra labrada”. Los adoquines son piedras o bloques labrados en forma de prisma rectangular. La importancia del adoquín se destaca de la siguiente manera: La superficie es

conformada por piezas independientes que se acomodan a los movimientos del terreno y no presentan problemas de dilatación. Los adoquines hacen que las ciudades sean más

humanas para el peatón, los espacios públicos se vuelven más habitables, un material que puede integrar a los ciudadanos con los espacios y cambiarle la cara a cualquier sector.

Dan vida a los espacios, hacen de las ciudades espacios sostenibles, solo la instalación hace que los ciudadanos recuperen la confianza de volver a habitar lugares que quizás estaban olvidados y vuelvan a caminar o utilizar medios de transporte alternativos como la bicicleta; indirectamente se mejora el estado de ánimo y hasta la contaminación.

Los adoquines se pueden utilizar en andenes, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal; en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, plataformas de aeropuertos y zonas donde se tienen cargas muy altas e inclusive tráfico de vehículos montados sobre orugas.

Figura 2.3. Estructura del pavimento articulado de adoquines



Fuente: Maguina Padilla, Dany Stalin. (2021).

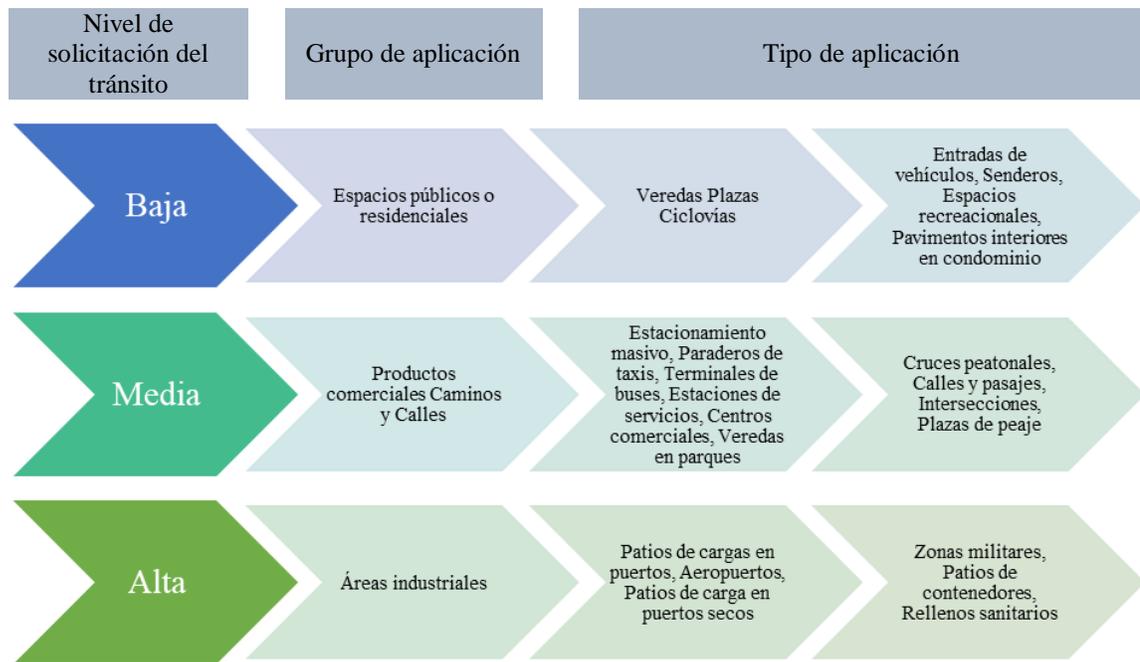
Para la fabricación del adoquín de concreto, con propiedades adecuadas para su utilización, se debe definir la dosificación óptima de los diferentes componentes del concreto, los cuales pueden mezclarse de forma manual o mecánicamente.

Los insumos utilizados en la elaboración del concreto son los siguientes: agua, cemento, agregado fino y agregado grueso.

El grado de resistencia de estos adoquines depende del uso que vayan a tener, por ejemplo, si se va a usar en la construcción de pavimentos se debe conocer la carga del tráfico vehicular o peatonal que va a soportar.

2.6. Aplicación de los pavimentos de adoquines

Figura 2.4. Tipos de aplicación de los pavimentos en adoquines



Fuente: Maguina Padilla, Dany Stalin. (2021).

2.7. Tipos de adoquines

De acuerdo a la NTP 399.611 los adoquines de concreto se pueden clasificar en 3 tipos: adoquín de tipo I, utilizado en pavimentos para uso peatonal, adoquín de tipo II, utilizado en pavimentos para tránsito vehicular ligero, y adoquín de tipo III, utilizado en pavimentos para tránsito vehicular pesado.

Tipo I: Adoquines para pavimentos de uso peatonal.

Tipo II: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.

Tipo III: Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

2.8. Propiedades mecánicas

2.8.1. Resistencia a la compresión

Tabla 2.1. Resistencias a la compresión de adoquines

Tipo de Adoquín	Espesor nominal en (mm)	Resistencia a la compresión mínima	
		Promedio de 3 unidades	Unidad
I (peatonal)	40	320 kg/cm ²	290 kg/cm ²
	60	320 kg/cm ²	290 kg/cm ²
II (Vehicular ligero)	60	420 kg/cm ²	380 kg/cm ²
	80	380 kg/cm ²	340 kg/cm ²
	100	380 kg/cm ²	325 kg/cm ²
III (Vehicular pesado)	>= 80	561 kg/cm ²	510 kg/cm ²

Fuente: Sena. (1990).

En los ensayos de resistencia a compresión del adoquín de concreto se va determinar mediante la aplicación de una fuerza perpendicular sobre la muestra examinada que posteriormente trabajará en el pavimentado, el procedimiento del ensayo a compresión se medirá en un laboratorio, sobre una máquina de pistón hidráulico, así podremos tener la garantía y seguridad que la fuerza a la cual está sometida estará distribuida uniformemente en el adoquín de concreto.

La máquina de pruebas de compresión, deberá tener la fuerza suficiente, para así puedan ser ensayada el adoquín de concreto, esta podrá ser digital, en otros casos mecánica, las cuales debe estar entre una base de acero y una plancha de acero, en las cuales estará el adoquín de concreto, así podrá tener contacto con la máquina de compresión (NTP 399.604, p.9)

El procedimiento del ensayo a compresión, es el siguiente:

- Los adoquines que se someter al ensayo de compresión deben estar dentro de un estado de humedad, a medida con el medio ambiente.
- Antes de ser sometidas al ensayo se tendrá que determinar el área neta de la muestra, y ponerlo en su cara mayor sobre la máquina de ensayo y así el técnico encargado del laboratorio pueda realizar el ensayo de compresión.

- La carga se aplicará de manera constante e uniforme, hasta el punto que no la pueda sostener, lo cual se tener su última lectura registrada. Los cuales se podrá analizar mediante;

$$f_c = P/A \quad \text{Ec. (1)}$$

Fc: Resistencia a compresión del adoquín del concreto

P: Carga que será aplicada en la muestra, se medirá según las unidades Kg o KN

A: Área neta del adoquín de concreto en cm².

2.9. Propiedades físicas

2.9.1. Dimensiones

En nuestra investigación se tomará con regla de acero, con divisiones de 1 mm, en el caso de los espesores de las aprendes y las tabiquerías se tomarán medida con un Vernier que se encuentre graduado, con divisiones de 0,6 mm, en el caso del adoquín de uso peatonal debe tener las siguientes características según los ensayos indicados por norma.

2.9.2. Absorción

El ensayo a realizar de absorción se va medir mediante el peso del agua, referido en el porcentaje del peso seco de la muestra, es una característica que se va relacionar con la resistencia y con la permeabilidad de la muestra examinada. El ensayo de absorción se va determinar mediante el siguiente procedimiento, se pesa la muestra en seco, primero se le lleva al horno a una temperatura de 110 °C, después se va poner dentro de agua por 24 horas y así obtendrá el peso saturado. En el caso que no se tenga las facilidades de la muestra examinada, se tendrá que ser fraccionada en partes mínimas, tal que su peso no pueda ser menor al 10% de la muestra total. (NTP 399.604,2014, p.7).

Los adoquines de concreto usados en pavimentos tienen que estar sujetos a una calidad alta de durabilidad en el caso de los sulfatos o los ciclos de deshielo y hielo, estas deberán cumplir con los siguientes requerimientos. (NTP 399.611, 2017, p. 7)

Los procedimientos del ensayo de absorción, es el siguiente:

- Los adoquines de concreto se van a sumergir dentro de agua, que contengan una temperatura ambiente, por un tiempo de 24 horas.
- Después se procederá a drenar el agua durante el tiempo de 1 min; luego a ponerlo a secar todas sus superficies.
- Se tendrá que pesar la muestra, obteniendo así el peso saturado. (G1)
- Luego se procederá a colocar el adoquín de concreto dentro de un horno a una temperatura de 100°C a 105°C, por el tiempo respectivo de 24 horas, para así se pueda poder obtener el peso en su estado seco (G2), así se podrá obtener el porcentaje de absorción mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{G1 - G2}{G2} * 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

G1: Muestra en su estado saturado, en gr.

G2: Muestra en su estado seco, en gr.

A: Contenido de humedad en porcentaje

2.10. Requisitos complementarios del adoquín según NTP 339.611

- En los adoquines de concreto tipo III que se usan según la norma para el tránsito vehicular pesado, estos deberán cumplir las especificaciones indicadas, el requerimiento a la resistencia de abrasión.
- En este caso estas unidades son ensayadas a conformidad según la NTP 399.604 (Unidades de albañilería, Método de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto), exceptos los ensayos de resistencia de deshielo y congelamiento, y la resistencia de abrasión.
- Si en nuestra muestra una vez ensayada con una falla conforme se da los requisitos específicos, el fabricante debe separar las unidades de muestra, y una vez obtenida las nuevas muestras, la persona debe seleccionarla según la NTP 399.604, en el caso que la segunda muestra cumpla con todos los requerimientos y al momento

de someterlos a ensayo no cumpla con las especificaciones dadas, el lote de la segunda muestra no debería ser comprada.

2.11. Composición del adoquín de concreto

2.11.1. Cemento

El material del cemento, deberá cumplir la NTP 334.009 (Cementos Portland Requisitos), la NTP 334.082 (Cemento Portland Especificaciones) y la NTP 334.090 (Cemento Portland adicionados, Requisitos), estas tienen propiedades cohesivas y adhesivas, estas propiedades permiten que tenga la capacidad de adherir para así formar el producto llamado concreto. Estos hechos con cemento portland normalmente llegan a su máxima resistencia a los 28 días. Actualmente tenemos diferentes tipos de cementos portland, esto se da por el proceso que se da mientras ocurre el fraguado del bloque de adoquín.

2.11.2. Clasificación de cementos Portland

Debemos tener en cuenta que American Society For Testing And Materials (ASTM), clasifica en cinco tipos de cementos portland:

- Tipo I: Este tipo de cemento es de uso general, el mayor utilizado en las construcciones.
- Tipo II: Este cemento cuenta con una menor hidratación, ir a diferencia del tipo I, así como puede resistir a la exposición de sulfatos.
- Tipo III: Este cemento a diferencia de los demás, su fraguado es rápido, que se produce en las primeras horas llegando a una resistencia doble que el de tipo I, también produce hidrataciones muy altas producidas por el calor.
- Tipo IV: Este cemento es de tipo de calor bajo, este tipo de cemento normalmente se usa en estructuras de tamaño grande.
- Tipo V: Este cemento son para estructuras de concreto que están expuestos a altas concentraciones expuestas a grandes cantidades de sulfatos.

2.11.3. Agua para el concreto

El agua tiene un rol muy importante dentro de la elaboración del concreto, este tiene relación con la trabajabilidad y con las propiedades del concreto en sus diferentes etapas. Nos indican ciertas condiciones que debe tener el agua para hacer una mezcla de concreto. El agua si esta adecuada para ser bebida, ese tipo de agua se considera libre de materias orgánicas y de algunas otras impurezas. (NTP 339.088, 2016, p. 6).

2.11.4. Agregado fino

Se define al material artificial de rocas o también material natural, se encuentra comprendido en las mallas 3/8” así también las pasantes a la malla N°200, para que luego sea utilizada en la elaboración y proporción adecuada del concreto así cumplan con los requisitos adecuados para que cumplan con la calidad adecuada. (NTP 400.37, 2015, p. 8) pues en la presente investigación debe cumplir las exigencias de la Norma Técnica Peruana 400.037 denominada “Especificaciones normalizadas para agregados en concreto”.

- **Peso unitario del agregado fino**

Se define peso unitario o también peso volumétrico del agregado, al peso que va alcanzar un volumen determinado, teniendo en cuenta que tiene vacíos en el interior, comúnmente se va expresar kg/m^3 .

Al medir el peso unitario, tendrán condiciones propias del material, dependerá de tamaño, forma y granulometría, también como del contenido de humedad, asimismo estará sujeto a los indicadores externos, como el nivel compactado, el máximo tamaño del agregado fino reciclado en la relación directa con el volumen de la vasija. (NTP 400.017, 2015, p. 6)

- **Contenido de humedad del agregado fino**

El contenido de humedad nos indicara el porcentaje de cantidad de agua que tiene el material, esto se va determinar teniendo la muestra del agregado seco en el horno al 110^a C, el peso de su estado natural y de este cociente se multiplicara por 100.

El agregado comúnmente es considerado dentro de un estado superficialmente seco y saturado, esto significa que se encuentra con sus poros abiertos, estos están llenos de agua y libres de humedad superficial, teniendo su mejor condición y así pueda ser con fines prácticos y también con el diseño de la dosificación (NTP 400.022,2015, p.8)

- **Granulometría del agregado fino**

En este caso se va definir a la granulometría por la distribución de partículas de los agregados según su tamaño, este proceso se logra separando el material. En práctica aún no existe proceso alguno que nos permita llegar a una ideal granulometría para los agregados, a pesar de esto se ha podido desarrollar una granulometría en las cuales se permiten obtener indicadores satisfactorios a partir del material que se pueda obtener en esa área.

Este tipo de propiedad tiene la consistencia de diferentes tamaños de cada partícula que la conforman, todo esto se analizara su separación en diferentes fracciones, pasándolas a través de mallas, lo importante es que estas propiedades estarán repartidas en diferentes tamaños intervendrán de una forma directa en las características del concreto endurecido y fresco. (NTP 400.012, 2014, p. 4).

En la curva granulométrica sería de gran ayuda pues nos indicaría a ver la granulometría de los agregados tanto individuales como los combinados, en la elaboración de las curvas va ser de manera conveniente, dado que sería bajo las aberturas de los tamices, los puntos hechos en el cuadro resultaran del análisis hecho, estos al juntarlos formarían la curva granulométrica del tipo de agregado a estudiar. (NTP 400.037, 2015, p. 8)

Tabla 2.2. Rango granulométrico de hormigón reciclado.

Malla	% que pasa
3/8"	100
N°4	95 - 100
N°8	80 - 100
N°16	50 - 100
N°30	25 - 60
N°50	10 - 30
N°100	2 - 10

Fuente: Fernández Salazar, Joselito. (2021).

2.11.5. Agregado Grueso

El agregado reciclado grueso se va definir como el agregado que se queda retenido en el tamiz N°4 que proviene que desintegración mecánica de las rocas existentes, la cual debe cumplir con la NTP 400.037 denominada “Especificaciones normalizadas para agregados en concreto”.

Este material estará compuesto por una fracción de roca tipo partida, también de grava triturada, en el este caso el agregado será de manera semiangular, compactados, de textura rugosa, resistente, así como que se encuentre libre de polvo, partículas blandas, etc. (NTP 400.037, 2015, p. 12)

- **Peso unitario del agregado grueso**

Se define peso unitario o también peso volumétrico del agregado, al peso que va alcanzar un volumen determinado, teniendo en cuenta que tiene vacíos en el interior, comúnmente se va expresar kg/m^3

Para establecer el peso unitario del agregado, va ser el peso de un volumen de una muestra establecida, que por norma indica que varíen de $1500 kg/m^3$ a $1700 kg/m^3$. Se irán a determinar dos pesos unitarios, el primero será el peso unitario suelto y el peso unitario compactado. (NTP 400.017, 2015, p. 9)

- **Contenido de humedad del agregado grueso**

El contenido de humedad, es la cantidad de agua que tiene el material en este caso el agregado grueso, esta propiedad se trata de ver la cantidad de agua que ira a variar en el concreto, esto se media a través de un porcentaje. (NTP 400.022, 2015, p.8)

- **Granulometría del agregado grueso**

La granulometría indica a la repartición de las partículas de diferentes tamaños de agregados, esta deberá ser continua y también tendrá que conseguir una densidad máxima del concreto trabajándolo con un adecuado proceso en funcionabilidad a las diferentes condiciones de mezcla. (NTP 400.037, 2015, p. 13)

- **Tamaño Máximo del agregado grueso**

En este caso va a corresponder al tamiz menor por el cual va a pasar la muestra del agregado grueso.

- **Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso**

En este caso va a corresponder al tamiz menor de la serie, el cual material se va producir a la primera malla retenida.

2.12. Diseño de mezcla

Se le denomina como la selección de materiales en este caso los agregados en una unidad cubica de concreto, conocido como diseño de mezcla, esta es definida como la selección de los materiales adecuados para su combinación según sea su tipo de uso, con el objetivo de tener un producto adecuado, en el cual no se encuentre endurecido, y tenga propiedades de trabajabilidad y consistencia pertinente.

2.12.1. Método de diseño de mezcla

En nuestro país, no tenemos un diseño de mezcla oficial, esto es difícil debido a la variedad de agregados y sus diferentes propiedades. En las construcciones se utilizan diferentes métodos de diseños de mezcla de concreto basados en el ACI, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, en la presente investigación se utilizará el método del ACI.

El ACI 211, tiene procedimientos de diseño las cuales se basan según los distintos agregados que contienen 1 m³ concreto, este procedimiento se basa en las proporciones de los materiales a utilizar, esta puede utilizarse en métodos de diseño de concreto pesado.

2.13. Concreto reciclado

Figura 2.5. Concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Es el material reciclado ya sean finos o gruesos, que se generan mediante actividades de construcción ya sea de tipo demolición, renovación, entre otros, y que se obtenga por procesos especializados para que estos puedan ser reaprovechados como agregado. En este caso es viable su uso considerándolo en diversos procesos constructivos. Por lo tanto, se busca dar uso a los depósitos de este material existente con fines de reducir su aglomeración en el medio ambiente.

Precisan el rehúso de este material.

- Se considera que en el ámbito mundial la producción de concreto supera los 25 billones de toneladas.
- También en este ámbito este material en uso representa casi dos veces el uso de otros en procesos constructivos.
- En los países del nivel de rehúso de este material es significativo no habiendo mayor detalle al respecto en otros.
- El concreto tiene un mayor uso en el ámbito vial.

- También se considera para el rehúso el excedente de un proceso constructivo.

Destacamos beneficios del rehúso de este material:

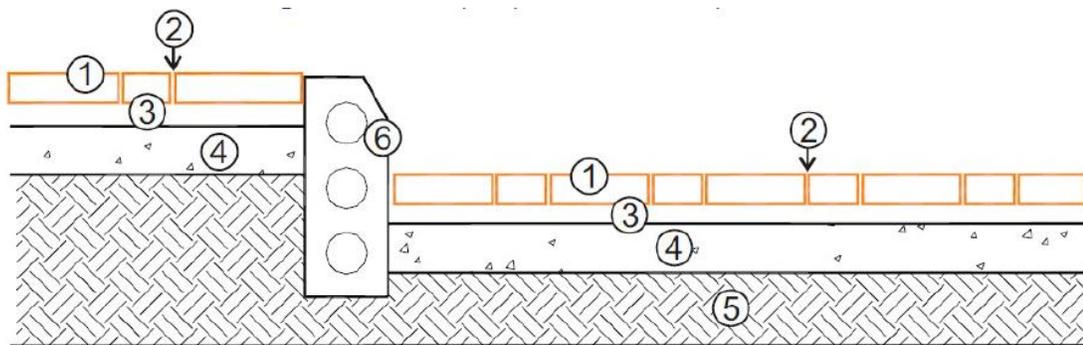
- Menos desechos de este material
- Uso de este material permite abaratar los costos que genera el impacto de su uso.
- Menor costo de transporte en la medida que se encuentre cerca del lugar de la obra.
- Menos impuesto por los desechos existentes
- Buen comportamiento del material en obras viales
- También su aporte es valioso en el aspecto del reciclaje.

Concreto reciclado como agregado: La calidad del agregado reciclado dependerá del uso que se le dio y su grado resistencia original. Teniendo en cuenta el proceso de separación, los agregados más refinados pueden proporcionar un producto de más valor, la producción del concreto reciclado como agregado aportara sobre la protección del medio ambiente. El concreto reciclado y generalmente es comparado con los agregados naturales y sus probabilidades de uso son menores, teniendo en consideración que en los países europeos representan un 6% y 8% como agregados utilizados.

2.14. Proceso constructivo

Tanto el uso de adoquines para vehículos, como para peatones, las capas que componen su estructura están definidas de la siguiente manera:

Figura 2.6. Instalación de pisos de adoquín



Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

Referencias de la imagen:

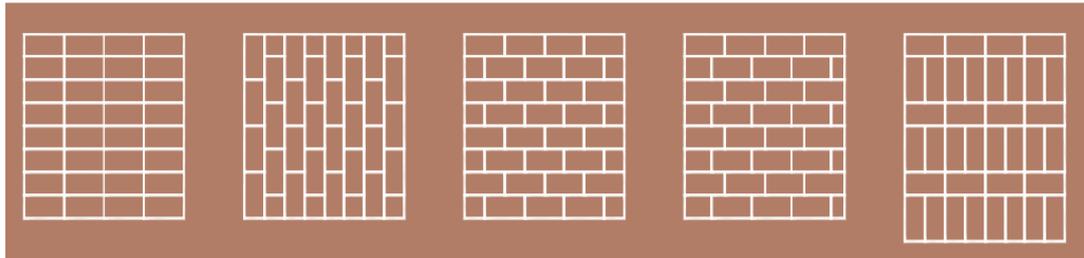
1 Adoquín	4 Base: recebo, suelo cemento, concreto, asfalto.
2 Sello arena	5 Subrasante
3 Capa de arena	6 Sardinel

Estos procesos constructivos se deben ejecutar de acuerdo a especificaciones técnicas, de acuerdo a la capa que se esté trabajando. Para el proceso constructivo se deben de tener en cuenta los siguientes factores:

- **Diseño del adoquinado:** Es el primer paso en el proceso de adoquinado, el diseño debe considerar un estudio de suelos que indique la calidad de la subrasante para determinar los espesores de las capas que componen el pavimento.
- **Drenajes y pendientes:** Es importante un buen manejo de las aguas para evitar el deterioro del pavimento. Lo que se debe buscar es mantener la superficie seca y evitar la introducción de agua por las juntas.
- **Niveles:** Es de vital importancia que el adoquinado se diseñe con las pendientes recomendadas.
- **Confinamiento:** Básicamente los adoquines están sometidos a dos esfuerzos, el primero es una carga vertical, la cual es transmitida a través del adoquín, por las capas inferiores hacia el terreno y la segunda es un esfuerzo horizontal que se va transmitiendo entre los adoquines y hace posible el reparto de las cargas entre las unidades vecinas; por esto es necesario un confinamiento a lo largo de todo su perímetro para evitar que el tránsito desplace las piezas y desbarate la capa de rodadura. La construcción de bordes de confinamiento evita los desplazamientos de las piezas, aperturas de las juntas y pérdida de trabazón entre los adoquines. Se deben tener en cuenta los tipos de confinamiento externos e internos.
- **Tipos de Aparejos**
El aparejo, constituye la forma en que se distribuyen los adoquines en el sentido predominante del tránsito.

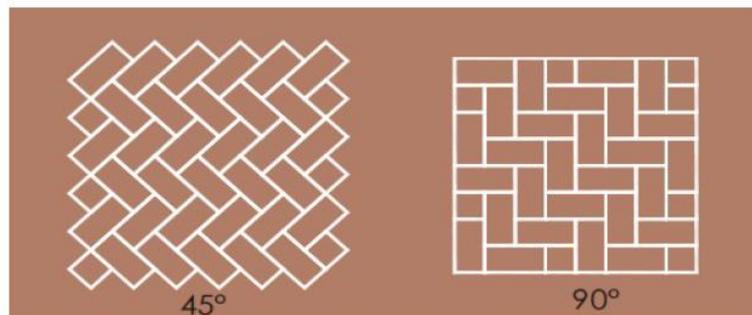
Shackel y Lim (2003) fundamentan este hecho en los resultados experimentales de Shackel (1980), quien midió las deformaciones verticales para distintos aparejos y obtuvo las menores en tramas espina de pescado a 45° y las mayores con la trama de corredor.

Figura 2.7. Aparejo en formación de hilera



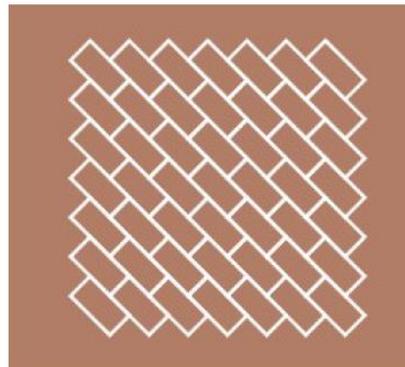
Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

Figura 2.8. Aparejo en formación de espina de pescado



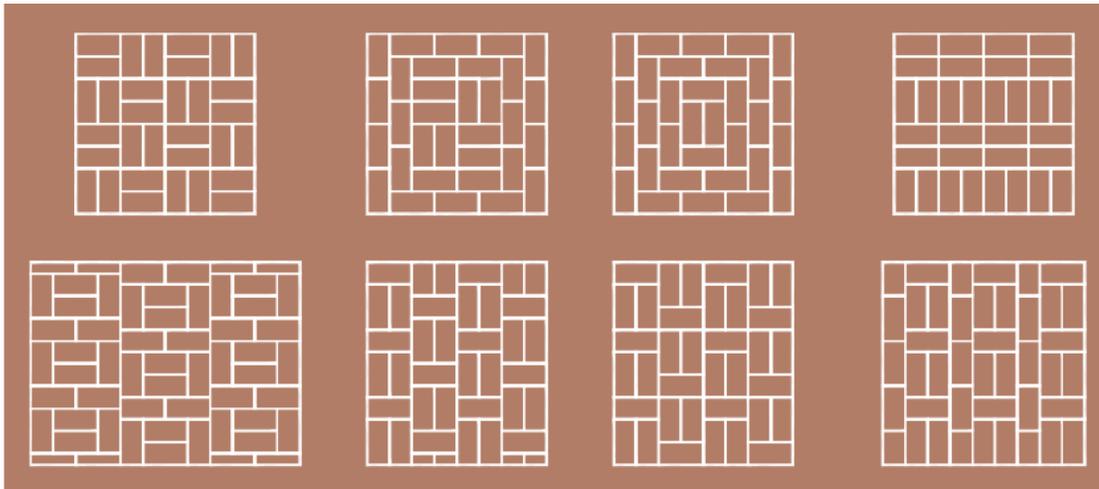
Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

Figura 2.9. Aparejo en formación diagonal



Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

Figura 2.10. Aparejo en formación de bloque o parque



Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

2.15. Adoquines de hormigón

Los adoquines de hormigón se utilizan para construir caminos, aceras, patios, plazas, y más. Son ideales para áreas de alto tráfico, proporcionando una superficie duradera y antideslizante. Funcionan creando una superficie uniforme pero flexible. La flexibilidad es clave, ya que permite que la pavimentación se adapte a los cambios de temperatura y presión sin agrietarse, a diferencia de losas de hormigón masivas.

se utilizan para construir caminos, aceras, patios, plazas, y más. Son ideales para áreas de alto tráfico, proporcionando una superficie duradera y antideslizante.

Los adoquines de hormigón son mucho más que simples piezas para pavimentar; son elementos esenciales en la arquitectura urbana y el diseño paisajístico. La próxima vez que camines sobre un hermoso camino adoquinado, recuerda la ingeniería, el diseño y la funcionalidad que cada uno de estos adoquines lleva consigo.

2.15.1. Partes del adoquín

El adoquín cuenta con las siguientes partes:

Figura 2.11. Partes de un adoquín tipo



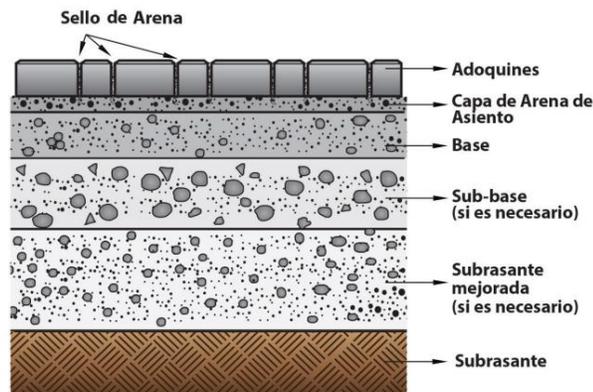
Fuente: Benitez, Alejandra, Bertone, Juan y Civitillo, Pablo. (2009).

2.15.2. Pavimento de adoquín de concreto

Los pavimentos de adoquín, como prácticamente todos los pavimentos, son estructuras compuestas de varias capas de diferentes materiales que se construyen sobre el terreno natural. Los materiales de cada capa se seleccionan generalmente considerando su disponibilidad y costo.

El espesor de cada capa del pavimento depende del tránsito que soportará el pavimento durante el período de diseño, de la capacidad soporte del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas; que deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito durante un tiempo determinado sin deformarse ni deteriorarse.

Figura 2.12. Sección típica de pavimento en adoquín de concreto



Fuente: Echaveguren Navarro, Tomás. (2013).

El proceso de colocación de los adoquines de hormigón, al igual que los adoquines cerámicos, estos están diseñados para poder ser colocados en obra, manualmente, de manera sencilla y con herramienta menor.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

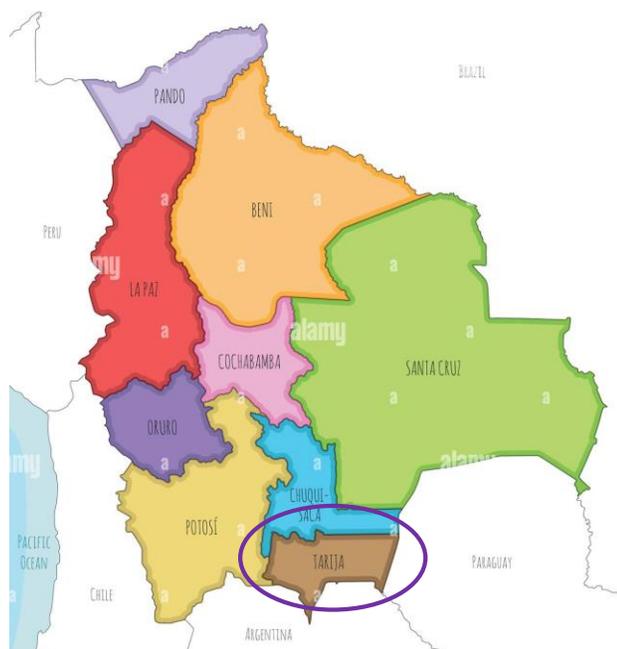
APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación en el ámbito nacional

El Departamento se encuentra situado al sureste del país, limita al oeste con el Departamento de Potosí, al norte con el departamento de Chuquisaca, al este con la república de Paraguay y al sur con la República de Argentina.

Figura 3.1. Ubicación en el ámbito nacional



Fuente: www.mapadeboliviaconsusdepartamentos.html

3.1.2. Ubicación en el ámbito departamental

Tarija se encuentra en la latitud -21.53549 y longitud -64.72956. Hace parte del continente de América del Sur y está ubicado en el hemisferio sur.

Figura 3.2. Ubicación en el ámbito departamental

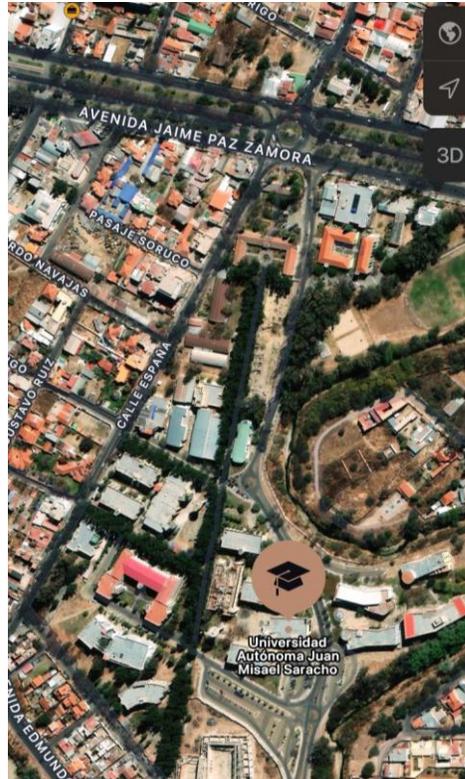


Fuente: www.mibolivia.net.html

3.1.3. Ubicación en el ámbito regional

El proyecto en estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija en el laboratorio de hormigón y resistencia de materiales del campus de la universidad Juan Misael Saracho.

Figura 3.3. Ubicación en el ámbito regional



Fuente: <https://earth.google.com>

3.1.4. Ubicación del banco de materiales

Los agregados gruesos y finos fueron adquiridos de la chancadora San Blass que se encuentra ubicada en la avenida Felipe Palazón.

Figura 3.4. Ubicación del banco de materiales



Fuente: <https://earth.google.com>

3.2 Materiales usados

3.2.1. Muestreo de agregados

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

La muestra se fue recolectando en bolsas de nailon para ser posteriormente trasladadas en el laboratorio de la universidad autónoma Juan Misael Saracho.

Figura 3.5. Extracción del agregado grueso (izq.) y fino (der.)



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Lavado de material

Una vez obtenido el material se procede a la limpieza del mismo esto se realiza en el laboratorio de hormigón y resistencia, sacando todas las impurezas que pueda tener el mismo Una vez realizado el lavado el material fue colocado sobre bandejas planas para su secado.

Figura 3.6. Lavado de agregados



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Concreto reciclado

El concreto reciclado como materia prima del proyecto fue recolectado en la Avenida Los Sauces esquina Pasaje Gran Chaco, de la demolición de una vivienda privada. La trituración fue realizada de forma manual de (2 mm a 2.5mm) para los ensayos de granulometría.

Figura 3.7. Ubicación de recolección de concreto reciclado



Fuente: <https://earth.google.com>

Figura 3.8. Recojo de escombros fuera de la vivienda



Fuente: *Elaboración propia.*

3.3. Ensayos de Laboratorio

3.3.1. Ensayo de granulometría agregado grueso, fino y reciclado

3.3.1.1. Granulometría agregado grueso

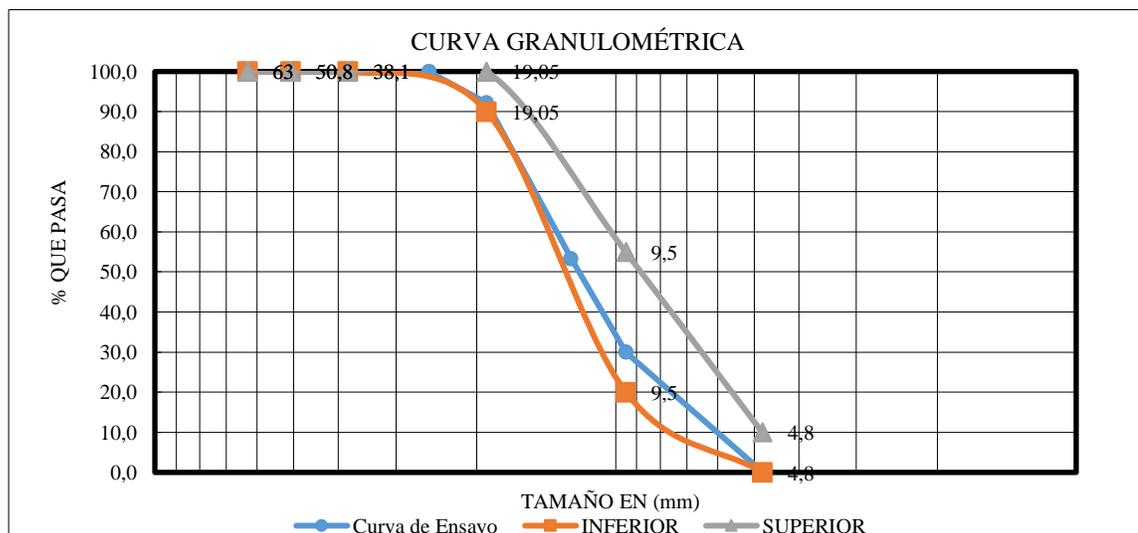
Tabla 3.1. Análisis granulométrico del agregado grueso

Peso Total (gr.) =		5000					
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% q. pasa del total	% Que pasa s/g Especifico. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.0		
3/4"	19.05	390.80	390.80	7.82	92.2	90	100
1/2"	12.50	1941.00	2331.80	46.64	53.4		
3/8"	9.50	1169.60	3501.40	70.03	30.0	20	55
N°4	4.80	1487.90	4989.30	99.79	0.2	0	10
BASE	0	9.10	4998.40	99.97	0.0		

SUMA =	4998.40		
PÉRDIDAS =	1.60	TAMAÑO MAX = 1"	
MF =	6.78		

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 3.1. Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Agregado grueso listo para empezar el tamizado



Fuente: Elaboración propia

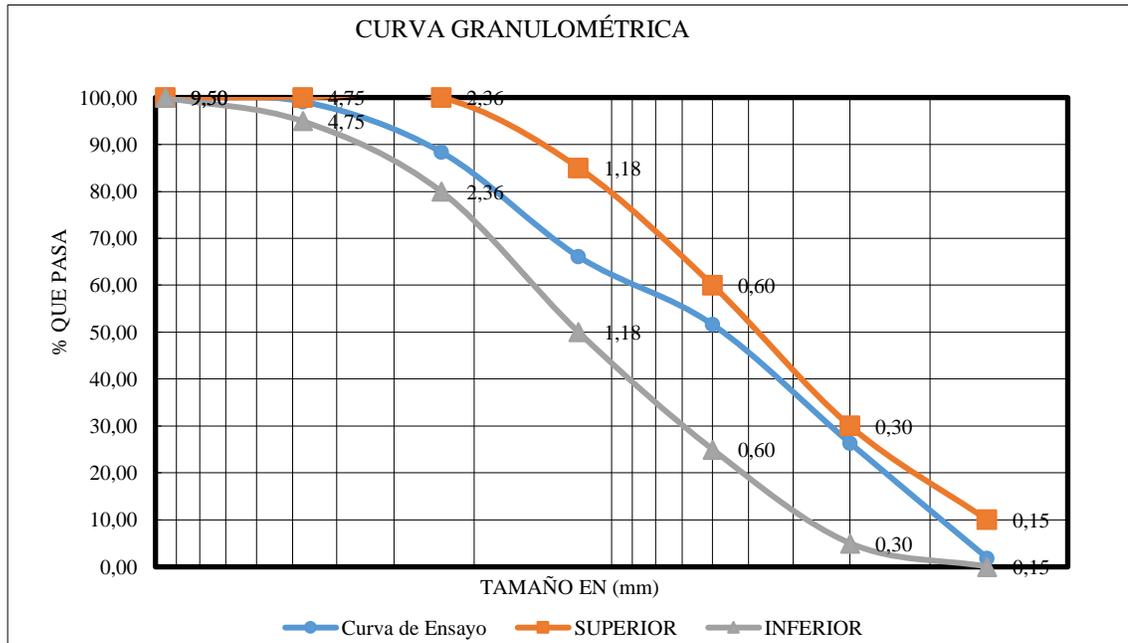
3.3.1.2 Granulometría agregado fino

Tabla 3.2. Granulometría del agregado fino

Peso Total (g)		1000.00						
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	Ret. Acum (g)	% Ret	% q. pasa del total	Especificación ASTM C-33		
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
Nº4	4.75	8.50	8.50	0.85	99.15	95	100	
Nº8	2.36	107.70	116.20	11.62	88.38	80	100	
Nº16	1.18	222.80	339.00	33.90	66.10	50	85	
Nº30	0.60	144.90	483.90	48.39	51.61	25	60	
Nº50	0.30	252.40	736.30	73.63	26.37	5	30	
Nº100	0.15	245.40	981.70	98.17	1.83	0	10	
BASE		15.50	997.20	99.72	0.28			
	SUMA	997.20						
	PÉRDIDAS	2.80						
	MF =	2.67						

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 3.2. Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10. Tamizado de agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3. Granulometría del Concreto Reciclado

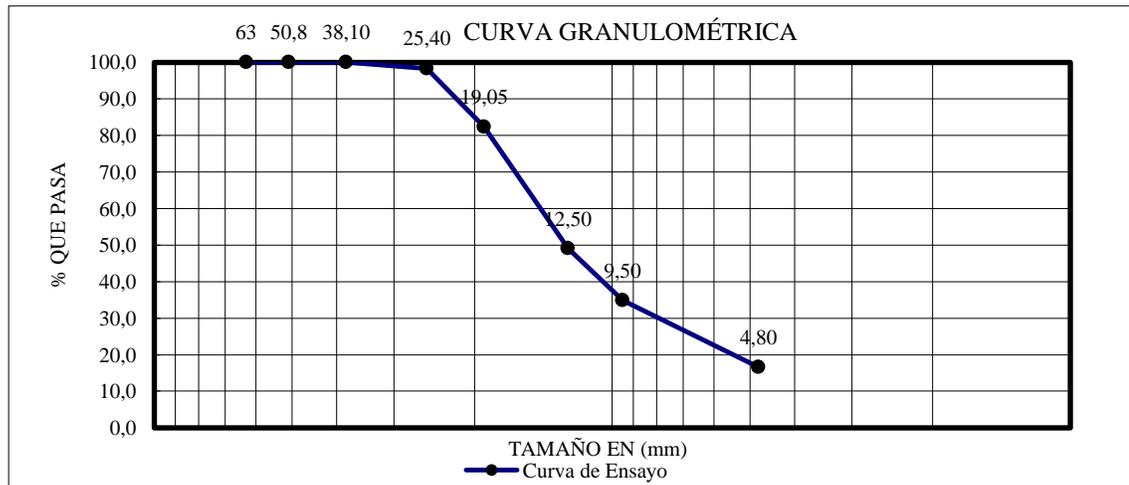
Tabla 3.3. Análisis granulométrico del concreto reciclado

Peso Total (gr.) =		5000			
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% q. pasa del total
			(gr)	(%)	
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.0
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.0
1"	25.40	84.20	84.20	1.68	98.3
3/4"	19.05	800.10	884.30	17.69	82.3
1/2"	12.50	1663.70	2548.00	50.96	49.0
3/8"	9.50	708.60	3256.60	65.13	34.9
Nº4	4.80	911.00	4167.60	83.35	16.6
BASE	0	829.30	4996.90	99.94	0.0

SUMA =	4996.90	TAMAÑO MAX = 1 1/2"
PÉRDIDAS =	3.10	
MF =	6.66	

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 3.3. Curva granulométrica del concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11. Tamizado del concreto reciclado triturado



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Ensayo peso específico

3.3.2.1. Peso específico del agregado grueso

Tabla 3.4. Datos y resultados del peso específico del agregado grueso

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/cm ³)	Peso Específico S.S.S. (gr/cm ³)	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	% de Absorción.
1	4931.90	5000.00	3081.00	2.57	2.61	2.66	1.38
2	4933.20	5000.00	3079.00	2.57	2.60	2.66	1.35
3	4921.20	5000.00	3076.00	2.56	2.60	2.67	1.60
Promedio				2.57	2.60	2.66	1.37

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Ensayo de peso específico del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2. Peso específico del agregado fino

Tabla 3.5. Datos y resultados del peso específico del agregado fino

Muestra N°	Peso Muestra (gr)	Peso Matraz (gr)	Muestra + Matraz + Agua (gr)	Agua Agreg. Al Matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso Muestra Seca "A" (gr)	Vol. Del Matraz "V" (ml)	P. E. A granel (gr/cm ³)	P. E. Sat. Con Sup. Seca (gr/cm ³)	P. E. Aparente (gr/cm ³)	% De Absorción
1	500	179.30	992.40	313.10	494.7	500.00	2.65	2.68	2.72	1.06
2	500	195.90	988.40	292.50	493.80	500.00	2.38	2.41	2.45	1.24
3	500	188.10	990.90	302.80	494.80	500.00	2.51	2.54	2.58	1.04
Promedio							2.51	2.54	2.58	1.11

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13. Ensayo de peso específico del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.3. Peso específico del concreto reciclado

Figura 3.14. Ensayo de peso específico del concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Ensayo peso unitario del agregado

3.3.3.1 Peso unitario agregado grueso

Tabla 3.6. Cálculo del peso unitario suelto

Muestra N°	Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	5830.00	9919.00	19745.00	13915.00	1.403
2	5830.00	9919.00	19805.00	13975.00	1.409
3	5830.00	9919.00	19905.00	14075.00	1.419
PROMEDIO					1.410

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7. Cálculo del peso unitario compactado

Muestra N°	Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	5830.00	9919.00	20785.00	14955.00	1.508
2	5830.00	9919.00	20940.00	15110.00	1.523
3	5830.00	9919.00	20705.00	14875.00	1.500
PROMEDIO					1.510

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.15. Ensayo de peso unitario del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.2 Peso unitario agregado fino

Tabla 3.8. Cálculo del peso unitario suelto de agregado fino

Muestra N°	Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Suelta (gr)	Peso Muestra Suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	2605.00	2994.06	7065.00	4460.00	1.490
2	2605.00	2994.06	7110.00	4505.00	1.505
3	2605.00	2994.06	7090.00	4485.00	1.498
PROMEDIO					1.497

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9. Cálculo del peso unitario compactado de agregado fino

Muestra N°	Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra Compactada (gr)	Peso Muestra Suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	2605.00	2994.06	7535.00	4930.00	1.647
2	2605.00	2994.06	7525.00	4920.00	1.643
3	2605.00	2994.06	7535.00	4930.00	1.647
PROMEDIO					1.645

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16. Ensayo de peso unitario del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.3 Peso unitario del concreto reciclado

Tabla 3.10. Cálculo del peso unitario compactado de agregado fino

MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO MUESTRA COMPACTADA (gr)	PESO UNITARIO COMPACTADA (gr/cm ³)
1	5830.00	9919.00	17220.00	11390.00	1.148
2	5830.00	9919.00	17420.00	11590.00	1.168
3	5830.00	9919.00	17350.00	11520.00	1.161
PROMEDIO					1.159

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.17. Ensayo de peso unitario del concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Ensayo contenido de humedad

3.3.4.1 Contenido de humedad agregado grueso

Tabla 3.11. Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso

Humedad	
Dato	gr
Peso Muestra Húmeda	1000.00
Peso Muestra seca	996.25
Peso Agua	3.75
% de Humedad	0.38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino

Dato	gr
Peso Muestra Húmeda	1000.00
Peso Muestra seca	994.65
Peso Agua	5.35
% de Humedad	0.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino

Humedad	
Dato	gr
Peso Muestra Húmeda	1000.00
Peso Muestra seca	995.50
Peso Agua	4.50
% de Humedad	0.45

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Dosificación de la mezcla del hormigón

3.4.1. Dosificación de hormigón método ACI

Tabla 3.14. Proporciones de mezcla para dosificación

Cemento	Arena	Grava	Agua
1.0	1.15	1.84	0.42

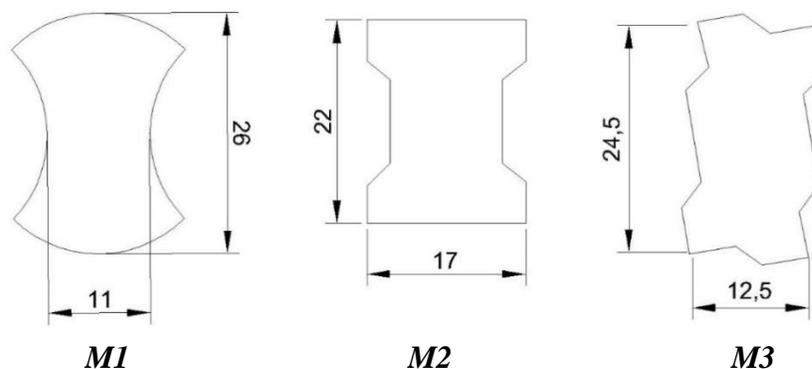
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Dimensiones de los moldes a utilizar

Molde cilíndrico				
Probeta	Diámetro(cm)	Alto(cm)	Área (cm ²)	Volumen(cm ³)
1	15	30	176.72	5301.450
Molde con formas				
Molde	Ancho(cm)	Alto (cm)	Área irregular (cm ²)	Volumen(cm ³)
1	12	6	328.96	1973.760
2	12	6	325.4	1952.400
3	11.5	6	324.5	1947.000

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18. Dimensiones de los moldes de adoquín



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Ensayos con porcentajes de concreto reciclado

3.5.1. Ensayo del asentamiento del cono de Abrams

- Asentamiento en muestras cilíndricas y moldes de hormigón

Tabla 3.16. Resultados del asentamiento del hormigón patrón

Cant. De probetas	Código	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (Pulg)
3	MARIA Patrón 0% H.R.	7	18/10/2023	1	21	3
3	MARIA Patrón 0% H.R.	7	18/10/2023	2	21	2.8
3	MARIA Patrón 0% H.R.	14	26/10/2023	3	23	2.7
3	MARIA Patrón 0% H.R.	14	26/10/2023	4	23	3
3	MARIA Patrón 0% H.R.	28	27/10/2023	5	20	2.5
3	MARIA Patrón 0% H.R.	28	27/10/2023	6	20	3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.19. Ensayo del cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas y en los moldes de hormigón sustituyendo 15% de concreto reciclado

Tabla 3.17. Resultados de asentamiento del hormigón sustituyendo 15% de concreto reciclados

Cant. De probetas	Código	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (pulg)
3	MARIA 15% H.R.	7	19/10/2023	7	21	3.2
3	MARIA 15% H.R.	7	19/10/2023	8	21	3
3	MARIA 15% H.R.	14	30/10/2023	9	19.5	2.5
3	MARIA 15% H.R.	14	30/10/2023	10	19.5	2.6
3	MARIA 15% H.R.	28	31/10/2023	11	20	2.8
3	MARIA 15% H.R.	28	31/10/2023	12	20	2.4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.20. Introducción de la mezcla al cono



Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas y en los moldes de hormigón sustituyendo 25% de concreto reciclado

Tabla 3.18. Resultados de asentamiento del hormigón sustituyendo 25% de concreto reciclado

Cant. De probetas	Código	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (pulg)
3	MARIA 25% H.R.	7	23/10/2023	13	22	2.8
3	MARIA 25% H.R.	7	23/10/2023	14	22	2.5
3	MARIA 25% H.R.	14	02/11/2023	15	23	2.8
3	MARIA 25% H.R.	14	02/11/2023	16	23	3.1
3	MARIA 25% H.R.	28	06/11/2013	17	20	3
3	MARIA 25% H.R.	28	06/11/2013	18	20	3.2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.21. Retiro del cono para medir el asentamiento



Fuente: Elaboración propia.

- Asentamiento en muestras cilíndricas y en los moldes de hormigón sustituyendo 35% de concreto reciclado.

Tabla 3.19. Resultados de asentamiento del hormigón sustituyendo 35% de concreto reciclados

Cant. De probetas	Código	Edad (Días)	Fecha de vaciado	Mezcla N°	Temperatura Ambiente °C	Asentamiento (pulg)
3	MARIA 35% H.R.	7	24/10/2023	19	21	2.5
3	MARIA 35% H.R.	7	24/10/2023	20	21	2.9
3	MARIA 35% H.R.	14	07/11/2023	21	20	3
3	MARIA 35% H.R.	14	07/11/2023	22	20	3.2
3	MARIA 35% H.R.	28	08/11/2023	23	21	2.8
3	MARIA 35% H.R.	28	08/11/2023	24	21	2.9

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.22. Medición del asentamiento del hormigón



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas y moldes

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 7 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.20. Resistencia a compresión en los moldes cilíndricos (Patrón)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	18/10/2023	25/10/2023	7	176.72	414.7	42299.40	239.37	332.28
2	MARIA PATRÓN (M2)	18/10/2023	25/10/2023	7	176.72	424.6	43309.20	245.08	340.21
3	MARIA PATRÓN (M3)	18/10/2023	25/10/2023	7	176.72	400.5	40851.00	231.17	320.90
4	MARIA PATRÓN (M4)	18/10/2023	25/10/2023	7	176.72	429.9	43849.80	248.14	344.46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Resistencia a compresión en los moldes con forma (Patrón)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	18/10/2023	25/10/2023	7	318.37	530.6	54121.20	169.99	235.98
2	MARIA PATRÓN (M2)	18/10/2023	25/10/2023	7	323.30	521.5	53193.00	164.53	228.40
3	MARIA PATRÓN (M3)	18/10/2023	25/10/2023	7	331.70	508.4	51856.80	156.34	217.02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23. Rotura de probetas patrón



Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 7 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.22. Resistencia a compresión en los moldes cilíndricos (15%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	19/10/2023	26/10/2023	7	176.72	400.0	40800.00	230.88	320.50
2	MARIA 15% H.R. (M2)	19/10/2023	26/10/2023	7	176.72	410.4	41860.80	236.88	328.84
4	MARIA 15% H.R. (M3)	19/10/2023	26/10/2023	7	176.72	390.8	39861.60	225.57	313.13
5	MARIA 15% H.R. (M4)	19/10/2023	26/10/2023	7	176.72	408.2	41636.40	235.61	327.07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23. Resistencia a compresión en los moldes con forma (15%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	19/10/2023	26/10/2023	7	318.37	502.3	51234.60	160.93	223.40
2	MARIA 15% H.R. (M1)	19/10/2023	26/10/2023	7	323.30	493.4	50326.80	155.67	216.09
4	MARIA 15% H.R. (M1)	19/10/2023	26/10/2023	7	331.70	486.9	49663.80	149.73	207.84

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 7 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.24. Resistencia a compresión en los moldes cilíndricos (25%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	23/10/2023	30/10/2023	7	176.72	379.7	38729.40	219.16	304.24
2	MARIA 25% H.R. (M2)	23/10/2023	30/10/2023	7	176.72	368.9	37627.80	212.93	295.58
3	MARIA 25% H.R. (M3)	23/10/2023	30/10/2023	7	176.72	373.3	38076.60	215.47	299.11
4	MARIA 25% H.R. (M4)	23/10/2023	30/10/2023	7	176.72	380.8	38841.60	219.80	305.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25. Resistencia a compresión en los moldes con forma (25%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	23/10/2023	30/10/2023	7	318.37	470.8	48021.60	150.84	209.39
2	MARIA 25% H.R. (M1)	23/10/2023	30/10/2023	7	323.30	465.7	47501.40	146.93	203.96
4	MARIA 25% H.R. (M1)	23/10/2023	30/10/2023	7	331.70	469.9	47929.80	144.50	200.59

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 7 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.26. Resistencia a compresión en los moldes cilíndricos (35%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	24/10/2023	31/10/2023	7	176.72	362.2	36944.40	209.06	290.21
2	MARIA 35% H.R. (M2)	24/10/2023	31/10/2023	7	176.72	358.9	36607.80	207.16	287.57
3	MARIA 35% H.R. (M3)	24/10/2023	31/10/2023	7	176.72	360.8	36801.60	208.25	289.09
4	MARIA 35% H.R. (M4)	24/10/2023	31/10/2023	7	176.72	355.5	36261.00	205.19	284.85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.27. Resistencia a compresión en los moldes con forma (35%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	24/10/2023	31/10/2023	7	318.37	430.1	43870.20	137.80	191.29
2	MARIA 35% H.R. (M1)	24/10/2023	31/10/2023	7	323.30	423.4	43186.80	133.58	185.43
3	MARIA 35% H.R. (M1)	24/10/2023	31/10/2023	7	331.70	409.5	41769.00	125.92	174.80

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.28. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (0%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	26/10/2023	09/11/2023	14	176.72	544.8	55569.60	314.46	369.95
2	MARIA PATRÓN (M2)	26/10/2023	09/11/2023	14	176.72	556.4	56752.80	321.15	377.83
3	MARIA PATRÓN (M3)	26/10/2023	09/11/2023	14	176.72	548.9	55987.80	316.83	372.74
4	MARIA PATRÓN (M4)	26/10/2023	09/11/2023	14	176.72	429.9	43849.80	248.14	291.93

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.29. Resistencia a compresión en los moldes con formas (0%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	26/10/2023	09/11/2023	14	318.37	680.9	69451.80	218.15	256.64
2	MARIA PATRÓN (M2)	26/10/2023	09/11/2023	14	323.30	667.5	68085.00	210.59	247.76
3	MARIA PATRÓN (M3)	26/10/2023	09/11/2023	14	331.70	663.4	67666.80	204.00	240.00

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.30. Resistencia a compresión en los moldes cilíndricos (15%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	471.5	48093.00	272.15	320.18
2	MARIA 15% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	482.4	49204.80	278.44	327.58
3	MARIA 15% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	473.9	48337.80	273.54	321.81
4	MARIA 15% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	478.5	48807.00	276.19	324.93

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.31. Resistencia a compresión en los moldes con formas (15%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Area (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	318.37	596.7	60863.40	191.17	224.91
2	MARIA 15% H.R. (M2)	30/10/2023	13/11/2023	14	323.30	589.2	60098.40	185.89	218.69
3	MARIA 15% H.R. (M3)	30/10/2023	13/11/2023	14	331.70	583.9	59557.80	179.55	211.24

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.32. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (25%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	424.4	43288.80	244.96	288.19
2	MARIA 25% H.R. (M2)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	435.6	44431.20	251.43	295.80
3	MARIA 25% H.R. (M3)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	440.8	44961.60	254.43	299.33
4	MARIA 25% H.R. (M4)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	425.7	43421.40	245.71	289.08

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.33. Resistencia a compresión en los moldes con forma (25%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	318.37	576.9	58843.80	184.83	217.45
2	MARIA 25% H.R. (M2)	30/10/2023	13/11/2023	14	323.30	566.9	57823.80	178.85	210.42
3	MARIA 25% H.R. (M3)	30/10/2023	13/11/2023	14	331.70	555.0	56610.00	170.67	200.78

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.34. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (35%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	426.4	43492.80	246.12	289.55
2	MARIA 35% H.R. (M2)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	428.9	43747.80	247.56	291.25
3	MARIA 35% H.R. (M3)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	421.4	42982.80	243.23	286.16
4	MARIA 35% H.R. (M4)	30/10/2023	13/11/2023	14	176.72	414.5	42279.00	239.25	281.47

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 14 días proyectado a 28 días.

Tabla 3.35. Resistencia a compresión en los moldes con forma (35%)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)	Proyección 28d (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	30/10/2023	13/11/2023	14	318.37	556.9	56803.80	178.42	209.91
2	MARIA 35% H.R. (M2)	30/10/2023	13/11/2023	14	323.30	546.9	55783.80	172.55	202.99
3	MARIA 35% H.R. (M3)	30/10/2023	13/11/2023	14	331.70	543.5	55437.00	167.13	196.62

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días

Tabla 3.36. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (0 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	28/10/2023	25/11/2023	28	176.72	634.3	64698.60	366.12
2	MARIA PATRÓN (M2)	28/10/2023	25/11/2023	28	176.72	627.9	64045.80	362.42
3	MARIA PATRÓN (M3)	28/10/2023	25/11/2023	28	176.72	630.0	64260.00	363.64
4	MARIA PATRÓN (M4)	28/10/2023	25/11/2023	28	176.72	625.8	63831.60	361.21

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.37. Resistencia a compresión en los moldes con forma (0 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA PATRÓN (M1)	28/10/2023	25/11/2023	28	318.37	782.8	79845.60	250.79
2	MARIA PATRÓN (M2)	28/10/2023	25/11/2023	28	323.30	776.9	79243.80	245.11
3	MARIA PATRÓN (M3)	28/10/2023	25/11/2023	28	331.70	773.4	78886.80	237.83

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días

Tabla 3.38. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (15 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	564.7	57599.40	325.95
2	MARIA 15% H.R. (M1)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	570.1	58150.20	329.06
3	MARIA 15% H.R. (M1)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	563.8	57507.60	325.43
4	MARIA 15% H.R. (M2)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	569.1	58048.20	328.48

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.39. Resistencia a compresión en los moldes con forma (15 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 15% H.R. (M1)	31/10/2023	28/11/2023	28	318.37	663.2	67646.40	212.48
2	MARIA 15% H.R. (M2)	31/10/2023	28/11/2023	28	323.30	660.8	67401.60	208.48
3	MARIA 15% H.R. (M2)	31/10/2023	28/11/2023	28	331.70	657.9	67105.80	202.31

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días

Tabla 3.40. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (25 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	06/11/2023	04/12/2023	28	176.72	545.7	55661.40	314.98
2	MARIA 25% H.R. (M2)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	541.4	55222.80	312.50
3	MARIA 25% H.R. (M3)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	546.9	55783.80	315.67
4	MARIA 25% H.R. (M4)	31/10/2023	28/11/2023	28	176.72	550.2	56120.40	317.58

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.41. Resistencia a compresión en los moldes con forma (25 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 25% H.R. (M1)	31/10/2023	28/11/2023	28	318.37	563.2	57446.40	180.44
2	MARIA 25% H.R. (M2)	31/10/2023	28/11/2023	28	323.30	561.8	57303.60	177.25
3	MARIA 25% H.R. (M3)	31/10/2023	28/11/2023	28	331.70	558.9	57007.80	171.87

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días

Tabla 3.42. Resistencia a compresión en las probetas cilíndricas (35 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	08/11/2023	06/12/2023	28	176.72	490.7	50051.40	283.23
2	MARIA 35% H.R. (M2)	08/11/2023	06/12/2023	28	176.72	484.1	49378.20	279.42
3	MARIA 35% H.R. (M3)	08/11/2023	06/12/2023	28	176.72	483.8	49347.60	279.25
4	MARIA 35% H.R. (M4)	08/11/2023	06/12/2023	28	176.72	491.8	50163.60	283.87

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.43. Resistencia a compresión en los moldes con forma (25 %)

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm ²)
1	MARIA 35% H.R. (M1)	08/11/2023	06/12/2023	28	318.37	510.3	52050.60	163.49
2	MARIA 35% H.R. (M2)	08/11/2023	06/12/2023	28	323.30	508.2	51836.40	160.34
3	MARIA 35% H.R. (M3)	08/11/2023	06/12/2023	28	331.70	505.3	51540.60	155.38

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas y moldes

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.44. Absorción en las probetas cilíndricas (Patrón)

Nº de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	12975	12550	3.39
2	12965	12530	3.47
3	12945	12485	3.68
4	12954	12540	3.30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.45. Absorción en moldes con formas (Patrón)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	5740	5490	4.55
2	5760	5505	4.63
3	5790	5547	4.38

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.46. Absorción en las probetas cilíndricas (15 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	12935	12515	3.36
2	12950	12540	3.27
3	12950	12565	3.06
4	13000	12665	2.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.47. Absorción en moldes con formas (15 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	5745	5500	4.45
2	5690	5495	3.55
3	5990	5755	4.08

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.48. Absorción en las probetas cilíndricas (25 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	12700	12099	4.97
2	12665	12035	5.23
3	12680	12120	4.62
4	12595	11920	5.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.49. Absorción en moldes con formas (25 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	5690	5340	6.55
2	5630	5335	5.53
3	5900	5550	6.31

Fuente: Elaboración propia.

- Probetas cilíndricas y moldes con hormigón, a la edad de 28 días.

Tabla 3.50. Absorción en las probetas cilíndricas (35 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	12610	11975	5.30
2	12585	11970	5.14
3	12650	12020	5.24
4	12580	11970	5.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.51. Absorción en moldes con formas (35 % H.R.)

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	ABSORCIÓN %
1	5645	5300	6.51
2	5665	5325	6.38
3	5925	5550	6.76

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de resistencias según tiempo de rotura

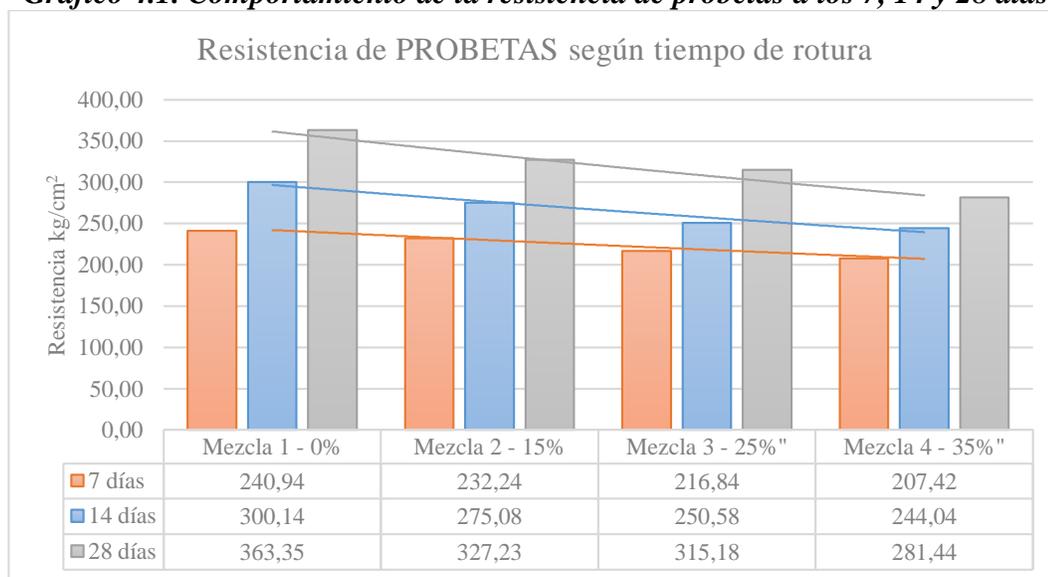
Para conocer el comportamiento del hormigón tanto en probetas, como en los adoquines, es necesario, analizar los resultados de las resistencias a compresión, como se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 4.1. Resistencia de probetas a los 7, 14 y 28 días

Clasificación de la mezcla	Resistencias de probetas según tiempo de rotura (Kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Mezcla 1 - 0%	240,94	300,14	363,35
Mezcla 2 - 15%	232,24	275,08	327,23
Mezcla 3 - 25% "	216,84	250,58	315,18
Mezcla 4 - 35% "	207,42	244,04	281,44

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.1. Comportamiento de la resistencia de probetas a los 7, 14 y 28 días



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico 4.1., que las resistencias son aumentan a medida que aumenta en tiempo de rotura, es decir las resistencias a 7 días es menor y la resistencia a 28 días es mayor para todos los tipos de mezclas.

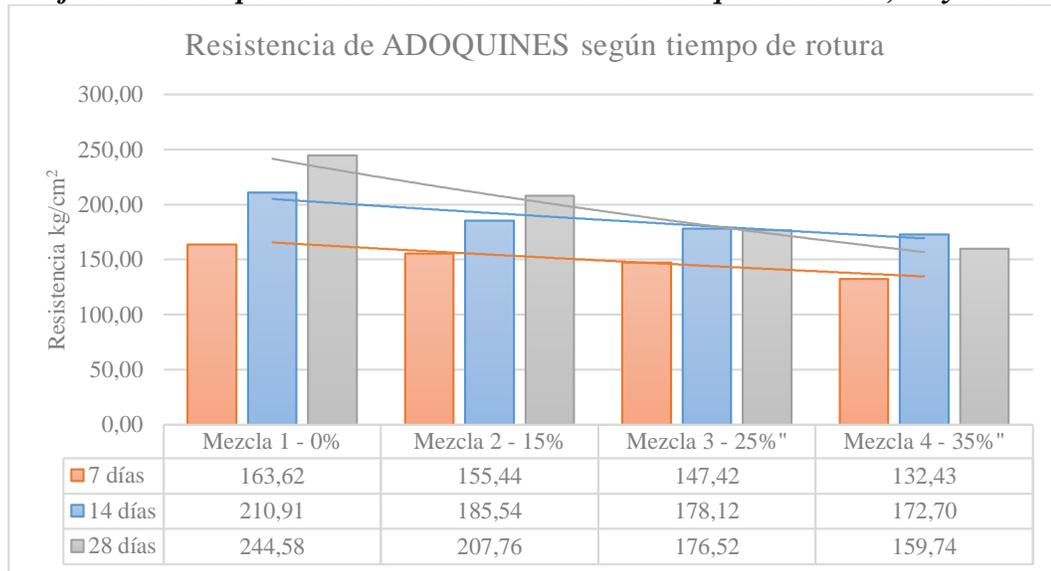
Así mismo analizando cada tipo de mezcla con diferentes porcentajes de concreto reciclado, se observan las tendencias que va en forma descendiente, es decir que la resistencia reduce a medida que aumenta el contenido de concreto reciclado.

Tabla 4.2. Resistencia de Adoquines a los 7, 14 y 28 días

Clasificación de la mezcla	Resistencias de adoquines según tiempo de rotura (Kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Mezcla 1 - 0%	163,62	210,91	244,58
Mezcla 2 - 15%	155,44	185,54	207,76
Mezcla 3 - 25%"	147,42	178,12	176,52
Mezcla 4 - 35%"	132,43	172,70	159,74

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2. Comportamiento de la resistencia de adoquines a los 7, 14 y 28 días



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los adoquines, proporcionan valores más bajos de resistencia respecto a una probeta tipo de ensayo, sin embargo, el comportamiento según el tiempo de rotura es similar, porque tiene la tendencia de que, a mayor tiempo de rotura, mayor es la resistencia.

Luego observando las líneas de tendencia respecto al porcentaje de concreto reciclado, se observan que tienen un comportamiento decreciente, es decir que a medida que aumenta el contenido de concreto reciclado, disminuye la resistencia a compresión.

4.2. Análisis de resultados de resistencias proyectadas a los 28 días

Tabla 4.3. Resistencias de probetas proyectadas a 28 días

Clasificación de la mezcla	Resistencias finales de probetas proyectadas a los 28 días (Kg/cm ²)			Promedio (Kg/cm ²)
	R-7d	R-14d	R-28d	
Mezcla 1 - 0%	334,46	353,11	363,35	350,31
Mezcla 2 - 15%	322,39	323,62	327,23	324,41
Mezcla 3 - 25% "	301,01	294,80	315,18	303,66
Mezcla 4 - 35% "	287,93	287,11	281,44	285,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Resistencias de adoquines proyectadas a 28 días

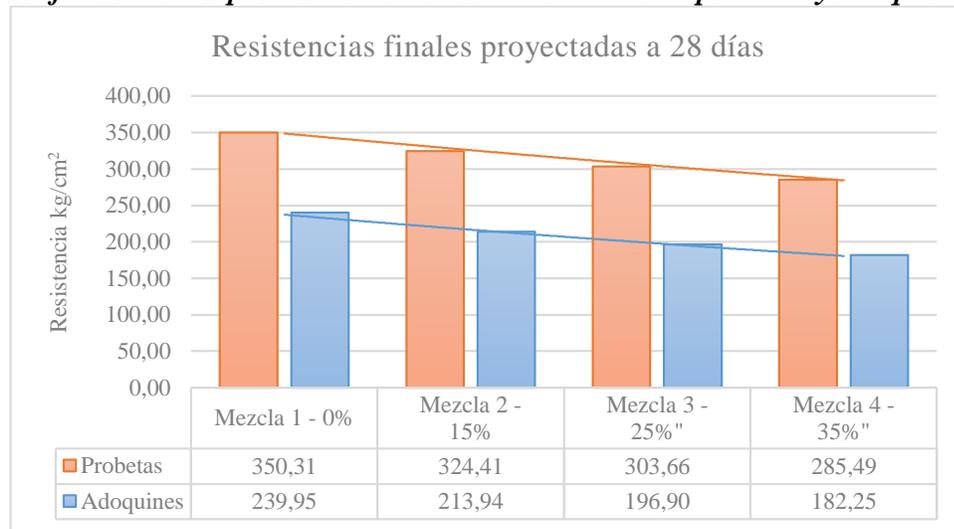
Clasificación de la mezcla	Resistencias finales de adoquines proyectadas a los 28 días (Kg/cm ²)			Promedio (Kg/cm ²)
	7 días	14 días	28 días	
Mezcla 1 - 0%	227,13	248,13	244,58	239,95
Mezcla 2 - 15%	215,78	218,28	207,76	213,94
Mezcla 3 - 25% "	204,64	209,55	176,52	196,90
Mezcla 4 - 35% "	183,84	203,17	159,74	182,25

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 4.3., se observa el comportamiento de las resistencias de las probetas y de los adoquines, donde se observa claramente que los valores de las probetas son superiores a los valores de los adoquines, estos son inferiores con casi el 25% del valor de la resistencia de las probetas.

Sin embargo, analizando el comportamiento de las resistencias de los diferentes porcentajes de concreto reciclado, se observa que los mismos tienen una tendencia decreciente, es decir, a medida que aumenta el contenido de concreto reciclado, es menor la resistencia a la compresión, tanto para los adoquines como para las probetas.

Gráfico 4.3. Comportamiento de la resistencia de las probetas y adoquines



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis de los resultados de asentamiento

Se realizó el ensayo de slump según la NTP 339.035 - Métodos de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con cemento Portland, la cual se utilizó para determinar el asentamiento del concreto fresco.

Los ensayos de slump se realizaron en el Laboratorio de Hormigones de la Universidad Juan Misael Saracho cuando el concreto aún se encontraba en estado fresco. Para ello se utilizó el instrumento conocido como Cono de Abrams, una varilla de acero liso de 5/8" y una cinta métrica, con el objetivo de medir el asentamiento de la mezcla.

Se realizaron 3 ensayos de slump para cada una de las mezclas, la Mezcla 1 (Mezcla patrón) que no contenía concreto reciclado, mientras que la Mezcla 2, 3 y 4 contenían concreto reciclado en un 15%, 25% y 35% respectivamente.

Tabla 4.5. Composición de las mezclas

Clasificación de la mezcla	Composición	
	Material base	Concreto Reciclado
Mezcla 1	Concreto ($f'c=350$ kg/cm ²)	0%
Mezcla 2	Concreto ($f'c=350$ kg/cm ²)	15%
Mezcla 3	Concreto ($f'c=350$ kg/cm ²)	25%
Mezcla 4	Concreto ($f'c=350$ kg/cm ²)	35%

Fuente: Elaboración propia.

- Resultados del asentamiento promedio para la mezcla de 7 días.

Tabla 4.6. Cuadro resumen del asentamiento de la mezcla 7 días

Clasificación de la mezcla	Asentamiento (Pulg.)		Promedio
	Ensayo 1	Ensayo 2	
Mezcla 1 - 0%	3	2.8	2.9
Mezcla 2 - 15%	2.5	2.7	2.6
Mezcla 3 - 25% "	2.6	2.4	2.5
Mezcla 4 - 35% "	2.8	2.7	2.75

Fuente: Elaboración propia.

- Resultados del asentamiento promedio para la mezcla de 14 días.

Tabla 4.7. Cuadro resumen del asentamiento de la mezcla 14 días

Clasificación de la mezcla	Asentamiento (Pulg.)		Promedio
	Ensayo 1	Ensayo 2	
Mezcla 1 - 0%	2.7	2.8	2.75
Mezcla 2 - 15%	2.5	2.6	2.55
Mezcla 3 - 25% "	2.8	2.5	2.65
Mezcla 4 - 35% "	2.6	2.4	2.5

Fuente: Elaboración propia.

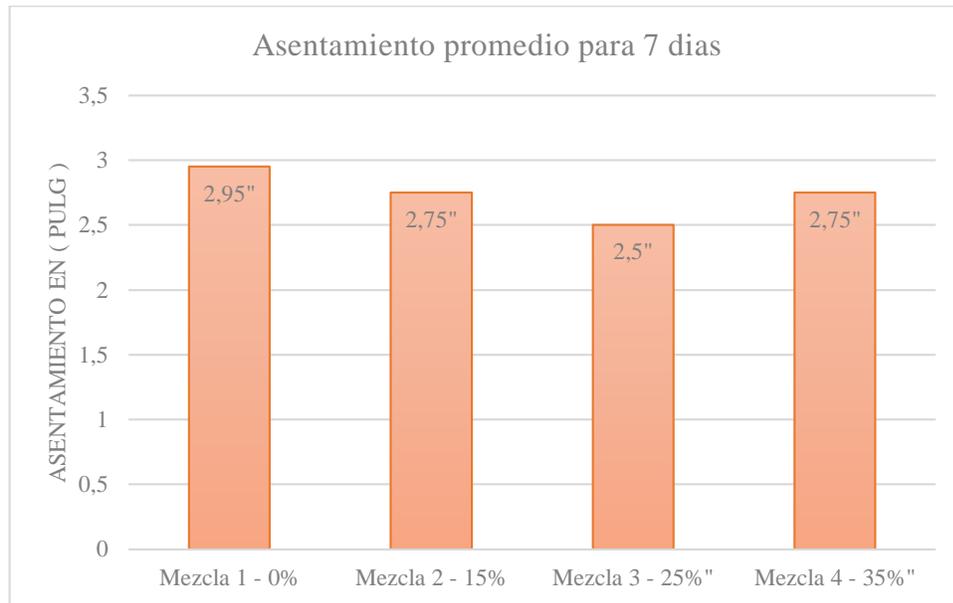
- Resultados del asentamiento promedio para la mezcla de 28 días.

Tabla 4.8. Cuadro resumen del asentamiento de la mezcla 28 días

Clasificación de la mezcla	Asentamiento (Pulg.)		Promedio
	Ensayo 1	Ensayo 2	
Mezcla 1 - 0%	2.5	3	2.75
Mezcla 2 - 15%	2.8	2.4	2.6
Mezcla 3 - 25% "	3	3.2	3.1
Mezcla 4 - 35% "	2.8	2.9	2.85

Fuente: Elaboración propia.

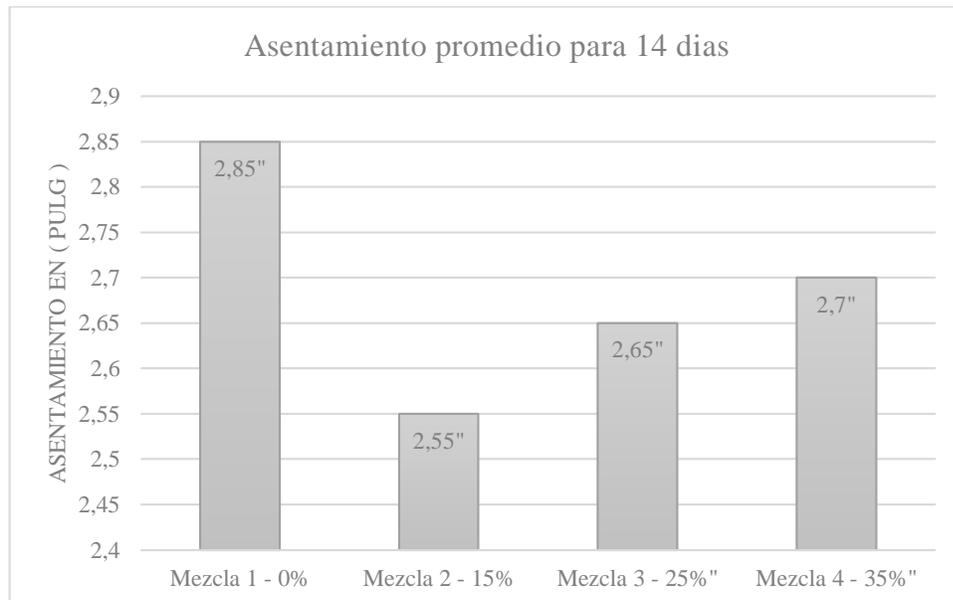
Gráfico 4.4. Asentamiento promedio 7 días



Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento en 7 días que menor valor adquirió es de la mezcla 3 con el 25% de concreto reciclado con 2,50", y la mezcla 1 con 0% de material reciclado, obtiene el mayor valor de asentamiento con 2,95".

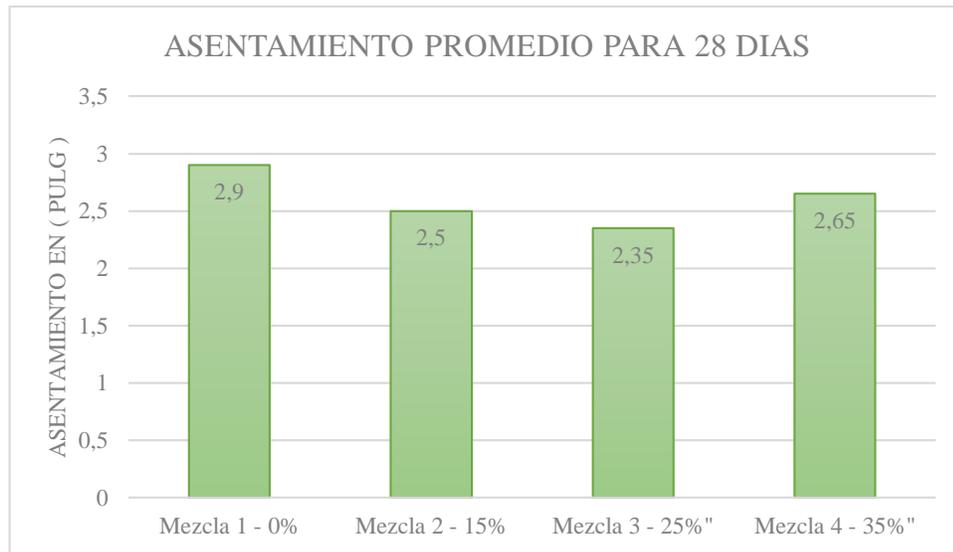
Gráfico 4.5. Asentamiento promedio 14 días



Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento en 14 días con mayor valor, adquirió la mezcla 1 con el 0% de concreto reciclado con 2,85", y la mezcla 2 con 15% de material reciclado, obtiene el menor valor de asentamiento con 2,55".

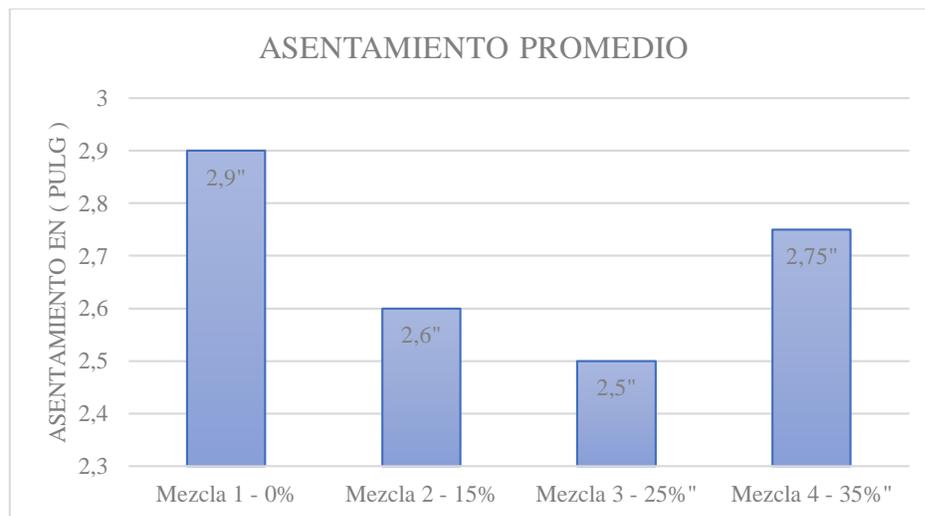
Grafico 4.6. Asentamiento promedio 28 días



Fuente: Elaboración propia.

El asentamiento en 28 días con mayor valor, adquirió la mezcla 1 con el 0% de concreto reciclado con 2,90", y la mezcla 2 con 25% de material reciclado, obtiene el menor valor de asentamiento con 2,35".

Grafico 4.7. Asentamiento promedio final



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 4.7., se puede observar que en promedio la mezcla 1 patrón con 0% de concreto reciclado, presentó un asentamiento de 2.9'', la mezcla 2 con 15% de concreto reciclado presentó un asentamiento de 2.6'', la mezcla 3 con 25% de concreto reciclado presentó un asentamiento de 2.5'' y la mezcla 4 con 35% de concreto reciclado presentó un asentamiento de 2.75'', es decir, las mezclas con adición de concreto reciclado experimentaron un menor asentamiento que la mezcla convencional.

Por lo tanto, la trabajabilidad de las mezclas con incorporación de concreto reciclado en 15%, 25% y 35% disminuye en 11%, 13% y 15% respectivamente, respecto a la trabajabilidad del concreto convencional. Se resalta que la trabajabilidad del concreto se reduce considerablemente al incorporar concreto reciclado 35%

4.4. Análisis de los resultados de Absorción

- **Absorción con 0% de concreto reciclado**

Tabla 4.9. Absorción de probetas con 0% de concreto reciclado

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
1	12975	12550	3,39
2	12965	12530	3,47
3	12945	12485	3,68
4	12954	12540	3,30
Promedio			3,46

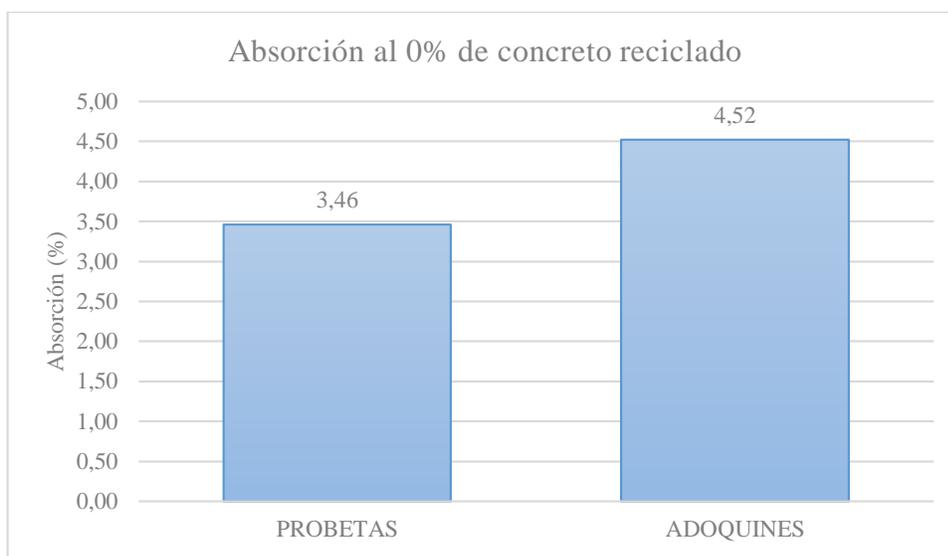
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10. Absorción de adoquines con 0% de concreto reciclado

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
M1	5740	5490	4,55
M2	5760	5505	4,63
M3	5790	5547	4,38
Promedio			4,52

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4.8. Absorción al 0% de concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico 4.8., respecto al 0% de concreto reciclado, que la absorción de agua de los adoquines (4,52%) es superior a la absorción de agua de las probetas (3,46%).

- **Absorción con 15% de concreto reciclado**

Tabla 4.11. Absorción de probetas con 15% de concreto reciclado

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
1	12935	12515	3,36
2	12950	12540	3,27
3	12950	12565	3,06
4	13000	12665	2,65
Promedio			3,08

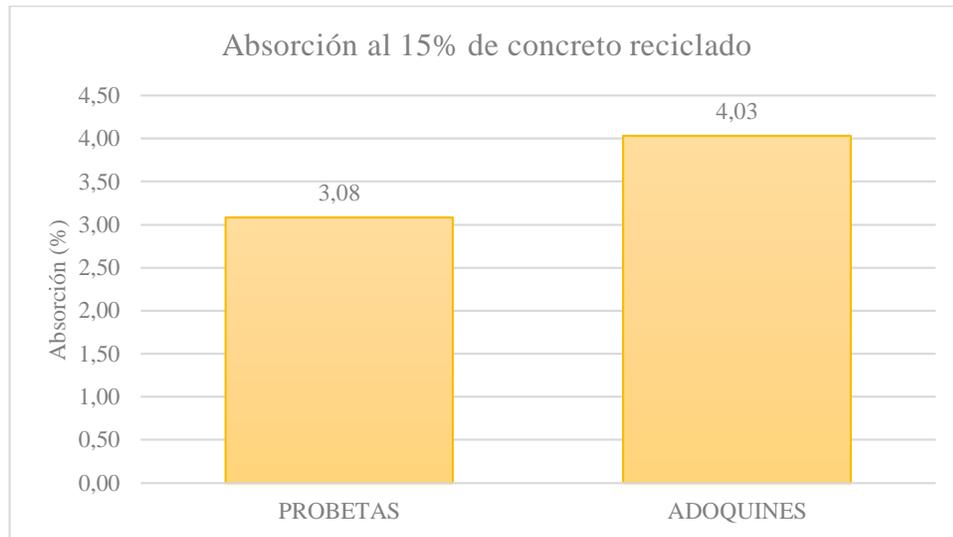
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Absorción de adoquines con 15% de concreto reciclado

N° de molde	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
M1	5745	5500	4,45
M2	5690	5495	3,55
M3	5990	5755	4,08
Promedio			4,03

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4.9. Absorción al 15% de concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico 4.9., respecto al 15% de concreto reciclado, que la absorción de agua de los adoquines (4,03%) es superior a la absorción de agua de las probetas (3,08%).

- **Absorción con 25% de concreto reciclado**

Tabla 4.13. Absorción de probetas con 25% de concreto reciclado

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
1	12700	12099	4,97
2	12665	12035	5,23
3	12680	12120	4,62
4	12595	11920	5,66
Promedio			5,12

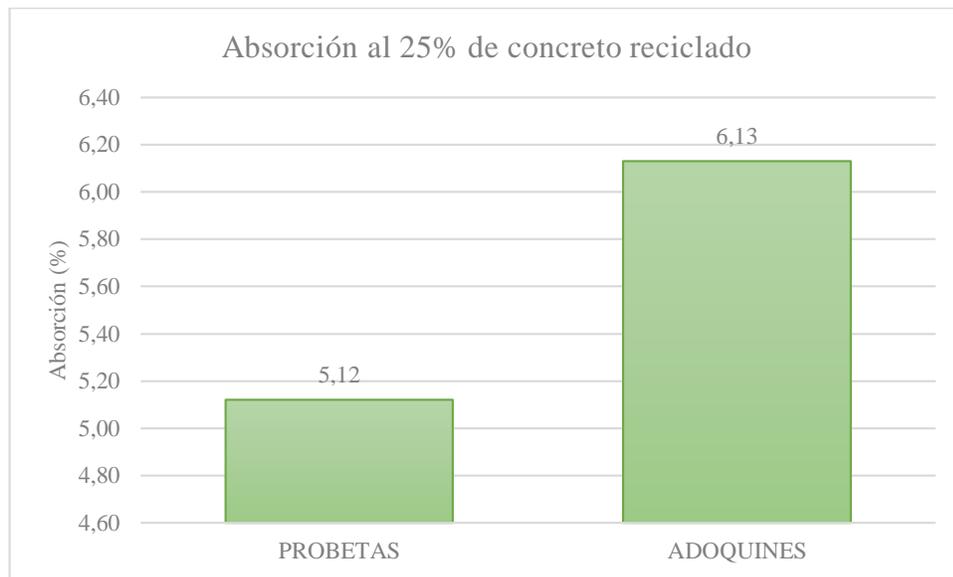
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14. Absorción de adoquines con 25% de concreto reciclado

N° de molde	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
M1	5690	5340	6,55
M2	5630	5335	5,53
M3	5900	5550	6,31
Promedio			6,13

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4.10. Absorción al 25% de concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico 4.10., respecto al 25% de concreto reciclado, que la absorción de agua de los adoquines (6,13%) es superior a la absorción de agua de las probetas (5,12%).

- **Absorción con 35% de concreto reciclado**

Tabla 4.15. Absorción de probetas con 35% de concreto reciclado

N° de muestra	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
1	12610	11975	5,30
2	12585	11970	5,14
3	12650	12020	5,24
4	12580	11970	5,10
Promedio			5,19

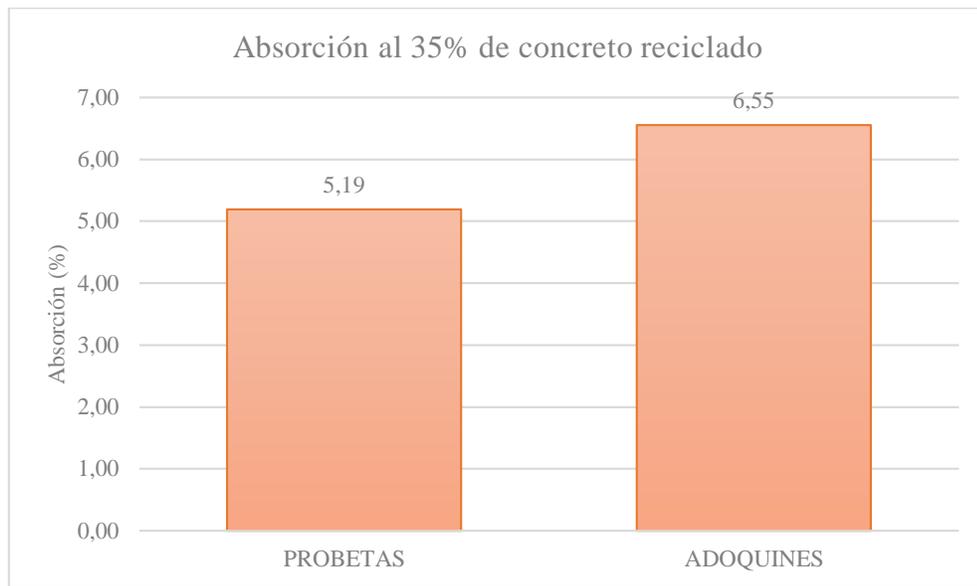
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16. Absorción de adoquines con 35% de concreto reciclado

N° de molde	Peso húmedo (sumergido por 24 horas)	Peso Seco	Absorción %
M1	5645	5300	6,51
M2	5665	5325	6,38
M3	5925	5550	6,76
Promedio			6,55

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4.11. Absorción al 35% de concreto reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico 4.11., respecto al 35% de concreto reciclado, que la absorción de agua de los adoquines (6,55%) es superior a la absorción de agua de las probetas (5,19%).

Así mismo analizando las absorciones de manera general, el concreto que menor absorción presenta es con el 15% de concreto reciclado, y el concreto que mayor absorción presenta es con el 35% de concreto reciclado.

4.5. Análisis del comportamiento de la resistencia según tipo de adoquín

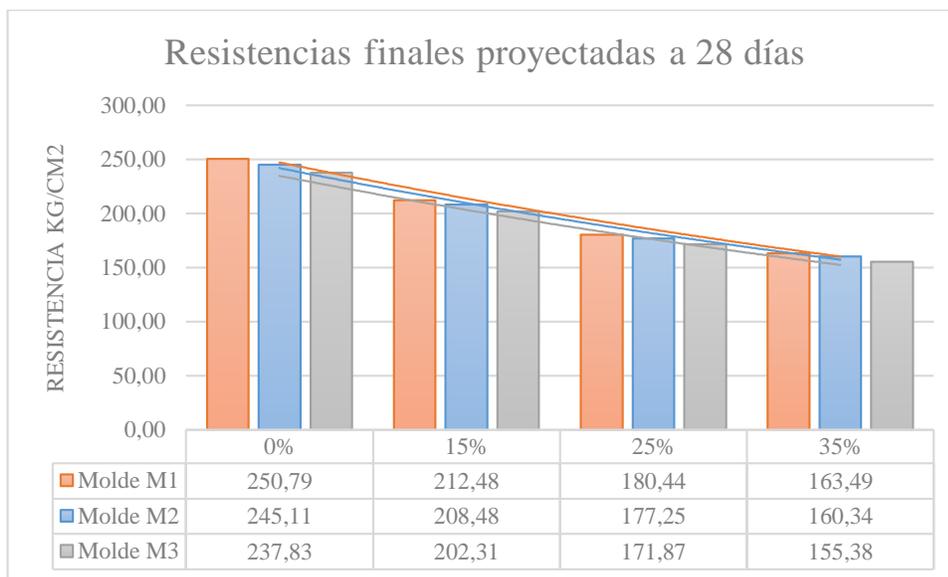
Según el tipo de adoquín se hicieron las roturas a los 28 días con las siguientes resistencias a compresión:

Tabla 4.17. Resistencias de adoquines según tipo de molde

Tipo de Adoquín	Resistencia a compresión a 28 días (Kg/cm ²)			
	0%	15%	25%	35%
Molde M1	250,79	212,48	180,44	163,49
Molde M2	245,11	208,48	177,25	160,34
Molde M3	237,83	202,31	171,87	155,38

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4.12. Resistencias según tipos de adoquín



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el gráfico 4.12, las resistencias de los adoquines bajan a medida que aumenta el porcentaje de concreto reciclado, sin embargo, se observa que el adoquín que proporciona mejores resistencias, es el adoquín M1, posteriormente le sigue el adoquín M2 y finalmente el adoquín M3.

Según la resistencia y el uso o tráfico de afluencia peatonal, se recomienda usar hasta el 25% de concreto reciclado para el adoquín M1, y se recomienda usar hasta el 15 % de concreto reciclado para los adoquines M2 y M3.

4.6. Especificaciones técnicas para la elaboración de adoquines de hormigón

4.6.1. Objetivo

Evaluar el comportamiento físico-mecánico de adoquines de hormigón fabricados con sustitución parcial del agregado grueso por concreto reciclado, proponiendo un diseño técnico viable y sostenible para su uso en pavimentos peatonales.

4.6.2. Materiales utilizados

- **Cemento:** Portland IP30
- **Agregado fino:** Arena natural lavada

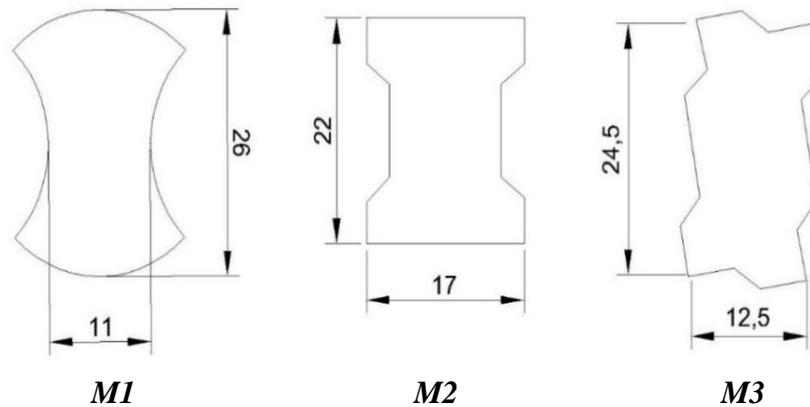
- **Agregado grueso natural:** Grava chancada (tamaño entre 3/8” y 1”)
- **Agregado reciclado:** Concreto de demolición (triturado, tamizado, lavado)
- **Agua:** Potable y limpia
- **Porcentajes de sustitución:** 0%, 15%, 25%, 35% del agregado grueso

4.6.3. Equipos y herramientas

- Mezcladora de laboratorio
- Balanza digital de precisión
- Varilla metálica para compactación manual
- Moldes de **polietileno rígido** (M1, M2, M3)
- Tanques plásticos para curado
- Herramientas manuales de laboratorio

4.6.4. Dimensiones de los moldes de Polietileno

Figura 4.1. Dimensiones de los moldes de adoquín



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.18. Dimensiones de los moldes

Molde	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)
M1	11	26	8
M2	17	22	8
M3	12,5	24,5	8

Fuente: Elaboración propia.

4.6.5. Procedimiento de elaboración

4.6.5.1. Preparación de materiales

- Recolección de materiales: grava y arena natural de chancadora local; concreto reciclado proveniente de demolición.
- Trituración manual del concreto reciclado.
- Tamizado, lavado y secado de los agregados.
- Almacenamiento en condiciones limpias y secas.

4.6.5.2. Dosificación y mezclado

- Proporciones según método ACI.
- Mezclas elaboradas con 0%, 15%, 25% y 35% de concreto reciclado.
- Mezcla en seco por 1 minuto, seguido de mezcla húmeda por 3 minutos tras agregar agua.

4.6.5.3. Moldeo y compactación

- Moldes previamente limpios.
- Llenado en 3 capas, cada una compactada manualmente con varilla metálica.
- No se utilizó mesa vibradora ni cobertura plástica durante el fraguado inicial.
- Tiempo de fraguado al aire: 24 horas

4.6.5.4. Curado

- Adoquines desmoldados tras 24 h.
- Curado por inmersión

4.6.6. Ensayos realizados

4.6.6.1. Ensayos a los materiales

- **Granulometría**
 - Norma: ASTM C136
 - Aplicado a arena, grava y concreto reciclado.
- **Peso específico**
 - Norma: ASTM C127 (agregado grueso) y C128 (agregado fino)

- Determinó la densidad real de los materiales secos.
- **Peso unitario (suelto y compactado)**
 - Norma: ASTM C29
 - Para grava, arena y concreto reciclado.
- **Absorción de agua de los agregados**
 - Determinó la porosidad y necesidad de ajuste en la relación agua/cemento.

4.6.6.2. Ensayos a los adoquines

- **Resistencia a la compresión**
 - Norma: ASTM C140
 - Evaluación a los 7, 14 y 28 días.
- **Absorción de agua**
 - Norma: ASTM C642
 - Ensayo a los 28 días de curado.
- **Asentamiento (trabajabilidad)**
 - Norma: ASTM C143 (cono de Abrams)
 - Determinación del asentamiento del concreto fresco.

4.6.7. Resultados técnicos relevantes

- **Resistencia a compresión a los 28 días:**
 - 0% reciclado: 310 kg/cm²
 - 15% reciclado: 304 kg/cm²
 - 25% reciclado: 287 kg/cm²
 - 35% reciclado: 260 kg/cm²
- **Absorción de agua:** Aumentó progresivamente, hasta 9% con 35% reciclado
- **Asentamiento:** Entre 2.8” y 3.3”, aumentó con el porcentaje de reciclado

4.6.8. Observaciones finales

- El método de compactación manual fue eficaz, aunque requiere atención para garantizar uniformidad.

- El 15% de agregado reciclado demostró ser el porcentaje óptimo, manteniendo resistencia y trabajabilidad adecuadas.
- El empleo de moldes de polietileno resultó práctico y funcional para la escala del experimento.

4.6.9. Información sobre moldes de Polietileno

- **Material del molde:** Polietileno de alta densidad (HDPE)
- **Durabilidad estimada:** Entre **40 y 60 usos por molde**, dependiendo del cuidado, limpieza y manipulación
- **Desgaste progresivo:** Con el uso, el molde puede perder rigidez o precisión en esquinas y bordes, afectando ligeramente la geometría de los adoquines
- **Mantenimiento recomendado:** Limpieza inmediata después del desmoldeo y almacenamiento en ambiente seco y protegido del sol directo
- **Producción estimada por molde (en condiciones de laboratorio):**
 - 1 adoquín por ciclo de 24 horas de fraguado
 - Si se trabaja con 1 molde al día durante 30 días, se pueden fabricar 30 adoquines por molde sin comprometer la calidad
 - En condiciones controladas y con turnos rotativos (más moldes), se puede escalar la producción

Nota: En este proyecto, se utilizaron moldes de polietileno reutilizados varias veces, con buena conservación de forma y sin deformaciones significativas hasta la finalización de los ensayos.

4.7. Análisis económico de precios unitarios

Para poder realizar un análisis económico completo de acuerdo al trabajo realizado, se evaluaron 5 alternativas de diseño:

- A. Mezcla de hormigón simple normal (sin concreto reciclado)
- B. Mezcla de hormigón con 100% de reciclado reemplazado en el agregado grueso.

C. Mezcla de hormigón con 35% de reciclado reemplazado en el agregado grueso.

D. Mezcla de hormigón con 25% de reciclado reemplazado en el agregado grueso.

E. Mezcla de hormigón con 15% de reciclado reemplazado en el agregado grueso.

Para ello primero se procede a calcular los rendimientos según las dosificaciones obtenidas:

A. Rendimiento de Mezcla de Hormigón Simple Normal

Componente	Dosificación	Peso Unitario Suelto	Rendimiento
Cemento	518,99 (Kg/m ³)	50,00 kg/bolsa	10,38 Bolsas
Grava	955,98 (Kg/m ³)	1.410,00 (Kg/m ³)	0,68 m ³
Arena	598,16 (Kg/m ³)	1.497,00 (Kg/m ³)	0,40 m ³
Agua	205,00 (lt/m ³)	1.000,00 (lt/m ³)	0,21 m ³

Fuente: Elaboración propia.

B. Rendimiento de Mezcla de Hormigón Simple con Concreto Reciclado 100% en agregado grueso

Componente	Dosificación	Peso Unitario Suelto	Rendimiento
Cemento	410,00 (Kg/m ³)	50,00 kg/bolsa	8,20 Bolsas
Concreto Reciclado	733,89 (Kg/m ³)	1.098,00 (Kg/m ³)	0,67 m ³
Arena	895,27 (Kg/m ³)	1.497,00 (Kg/m ³)	0,60 m ³
Agua	205,00 (lt/m ³)	1.000,00 (lt/m ³)	0,21 m ³

Fuente: Elaboración propia.

C. Rendimiento de Mezcla de Hormigón Simple con Concreto Reciclado 35% en agregado grueso

Componente	Dosificación	Peso Unitario Suelto	Rendimiento
Cemento	480,84 (Kg/m ³)	50,00 kg/bolsa	9,62 Bolsas
Grava	621,39 (Kg/m ³)	1.410,00 (Kg/m ³)	0,44 m ³
Concreto Reciclado	256,86 (Kg/m ³)	1.098,00 (Kg/m ³)	0,23 m ³
Arena	702,15 (Kg/m ³)	1.497,00 (Kg/m ³)	0,47 m ³
Agua	205,00 (Kg/m ³)	1.000,00 (lt/m ³)	0,21 m ³

Fuente: Elaboración propia.

D. Rendimiento de Mezcla de Hormigón Simple con Concreto Reciclado 25% en agregado grueso

Componente	Dosificación	Peso Unitario Suelto	Rendimiento
Cemento	491,74 (Kg/m ³)	50,00 kg/bolsa	9,83 Bolsas
Grava	716,99 (Kg/m ³)	1.410,00 (Kg/m ³)	0,51 m ³
Concreto Reciclado	183,47 (Kg/m ³)	1.098,00 (Kg/m ³)	0,17 m ³
Arena	672,44 (Kg/m ³)	1.497,00 (Kg/m ³)	0,45 m ³
Agua	205,00 (Kg/m ³)	1.000,00 (lt/m ³)	0,21 m ³

Fuente: Elaboración propia.

E. Rendimiento de Mezcla de Hormigón Simple con Concreto Reciclado 15% en agregado grueso

Componente	Dosificación	Peso Unitario Suelto	Rendimiento
Cemento	502,64 (lt/m ³)	50,00 kg/bolsa	10,05 Bolsas
Grava	812,58 (Kg/m ³)	1.410,00 (Kg/m ³)	0,58 m ³
Concreto Reciclado	110,08 (Kg/m ³)	1.098,00 (Kg/m ³)	0,10 m ³
Arena	642,73 (Kg/m ³)	1.497,00 (Kg/m ³)	0,43 m ³
Agua	205,00 (Kg/m ³)	1.000,00 (lt/m ³)	0,21 m ³

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los rendimientos se procede a introducir los resultados en las tablas de cálculo de precios unitarios:

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. HORMIGÓN SIMPLE NORMAL

Actividad: Elaboración de adoquines de Hormigón Simple Normal

Unidad: m³

Cantidad: 1

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento Portland IP-30	bolsas	10,38	65,00	674,69
-	Grava	m ³	0,68	140,00	94,92
-	Arena	m ³	0,40	160,00	63,93
-	Agua	m ³	0,21	12,00	2,46
D	TOTAL MATERIALES			(A)	836,00
B	MANO DE OBRA				
-	Técnico	Hr	0,050	22,00	1,10
-	Ayudante 1	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Ayudante 2	Hr	0,085	15,00	1,28
E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	3,65
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,60
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,93
G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	7,18
C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
-	Mezcladora	Hr	0,65	250,00	162,50
-	Moldes	Hr	1,25	60,00	75,00
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,36
I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	237,86
J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1081,04
L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	167,56
M	PARCIAL			(J+L)	1.248,60
N	UTILIDAD		5,00%	(M)	62,43
Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	1.311,03
	PRECIO FINAL				1.311,03

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

B. HORMIGÓN SIMPLE CON 100% DE CONCRETO RECICLADO EN AGREGADO GRUESO

Actividad: Elaboración de adoquines de Hormigón Simple con 100% de Concreto Reciclado

Unidad: m³

Cantidad: 1

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento Portland IP-30	bolsas	8,20	65,00	533,00
-	Concreto Reciclado	m ³	0,67	0,00	0,00
-	Arena	m ³	0,60	160,00	95,69
-	Agua	m ³	0,21	12,00	2,46
D	TOTAL MATERIALES			(A)	631,15
B	MANO DE OBRA				
-	Técnico	Hr	0,050	22,00	1,10
-	Ayudante 1	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Ayudante 2	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Chofer	Hr	0,050	18,00	0,90
-	Peón	Hr	0,050	15,00	0,75
E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	3,65
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,60
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,93
G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	7,18
C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
-	Volqueta	Hr	0,05	200,00	10,00
-	Planta Chancadora	Hr	0,090	120,00	10,80
-	Mezcladora	Hr	0,65	250,00	162,50
-	Moldes	Hr	1,25	60,00	75,00
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,36
I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	237,86
J	SUB TOTAL			(D+G+I)	876,19
L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	135,81
M	PARCIAL			(J+L)	1.012,00
N	UTILIDAD		5,00%	(M)	50,60
Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	1.062,60
	PRECIO FINAL				1.062,60

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

C. HORMIGÓN SIMPLE CON 35% DE CONCRETO RECICLADO EN AGREGADO GRUESO

Actividad: Elaboración de adoquines de Hormigón Simple con 35% de Concreto Reciclado

Unidad: m³

Cantidad: 1

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento Portland IP-30	bolsas	9,62	65,00	625,10
-	Grava	m ³	0,44	140,00	61,70
-	Concreto Reciclado	m ³	0,23	0,00	0,00
-	Arena	m ³	0,47	160,00	75,05
-	Agua	m ³	0,21	12,00	2,46
D	TOTAL MATERIALES			(A)	764,30
B	MANO DE OBRA				
-	Técnico	Hr	0,050	22,00	1,10
-	Ayudante 1	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Ayudante 2	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Chofer	Hr	0,050	18,00	0,90
-	Peón	Hr	0,050	15,00	0,75
E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	3,65
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,60
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,93
G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	7,18
C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
-	Volqueta	Hr	0,020	200,00	4,00
-	Planta Chancadora	Hr	0,030	120,00	3,60
-	Mezcladora	Hr	0,65	250,00	162,50
-	Moldes	Hr	1,25	60,00	75,00
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,36
I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	237,86
J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1009,34
L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	156,45
M	PARCIAL			(J+L)	1.165,79
N	UTILIDAD		10,00%	(M)	58,29
Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	1.224,08
	PRECIO FINAL				1.224,08

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

D. HORMIGÓN SIMPLE CON 25% DE CONCRETO RECICLADO EN AGREGADO GRUESO

Actividad: Elaboración de adoquines de Hormigón Simple con 25% de Concreto Reciclado

Unidad: m³

Cantidad: 1

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento Portland IP-30	bolsas	9,83	65,00	639,27
-	Grava	m ³	0,51	140,00	71,19
-	Concreto Reciclado	m ³	0,17	0,00	0,00
-	Arena	m ³	0,45	160,00	71,87
-	Agua	m ³	0,21	12,00	2,46
D	TOTAL MATERIALES			(A)	784,79
B	MANO DE OBRA				
-	Técnico	Hr	0,050	22,00	1,10
-	Ayudante 1	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Ayudante 2	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Chofer	Hr	0,050	18,00	0,90
-	Peón	Hr	0,050	15,00	0,75
E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	3,65
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,60
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,93
G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	7,18
C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
-	Volqueta	Hr	0,015	200,00	3,00
-	Planta Chancadora	Hr	0,025	120,00	3,00
-	Mezcladora	Hr	0,65	250,00	162,50
-	Moldes	Hr	1,25	60,00	75,00
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,36
I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	237,86
J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1029,83
L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	159,62
M	PARCIAL			(J+L)	1.189,45
N	UTILIDAD		10,00%	(M)	59,47
Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	1.248,92
	PRECIO FINAL				1.248,92

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

E. HORMIGÓN SIMPLE CON 15% DE CONCRETO RECICLADO EN AGREGADO GRUESO

Actividad: Elaboración de adoquines de Hormigón Simple con 15% de Concreto Reciclado

Unidad: m³

Cantidad: 1

A	MATERIALES	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
-	Cemento Portland IP-30	bolsas	10,05	65,00	653,43
-	Grava	m ³	0,58	140,00	80,68
-	Concreto Reciclado	m ³	0,10	0,00	0,00
-	Arena	m ³	0,43	160,00	68,69
-	Agua	m ³	0,21	12,00	2,46
D	TOTAL MATERIALES			(A)	805,27
B	MANO DE OBRA				
-	Técnico	Hr	0,050	22,00	1,10
-	Ayudante 1	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Ayudante 2	Hr	0,085	15,00	1,28
-	Chofer	Hr	0,050	18,00	0,90
-	Peón	Hr	0,050	15,00	0,75
E	SUBTOTAL MANO DE OBRA			(B)	3,65
F	Cargas sociales	71,18%		(E)=	2,60
O	Impuestos al valor agregado	14,94%		(E+F)=	0,93
G	TOTAL MANO DE OBRA			(E+F+O)=	7,18
C	EQUIPO MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
-	Volqueta	Hr	0,010	200,00	2,00
-	Planta Chancadora	Hr	0,020	120,00	2,40
-	Mezcladora	Hr	0,65	250,00	162,50
-	Moldes	Hr	1,25	60,00	75,00
	Herramientas menores		5,00%	(G)	0,36
I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS			(C+H)	237,86
J	SUB TOTAL			(D+G+I)	1050,31
L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		15,50%	(J)	162,80
M	PARCIAL			(J+L)	1.213,11
N	UTILIDAD		10,00%	(M)	60,66
Q	TOTAL PRECIO UNITARIO			(M+N)	1.273,77
	PRECIO FINAL				1.273,77

Fuente: Elaboración propia.

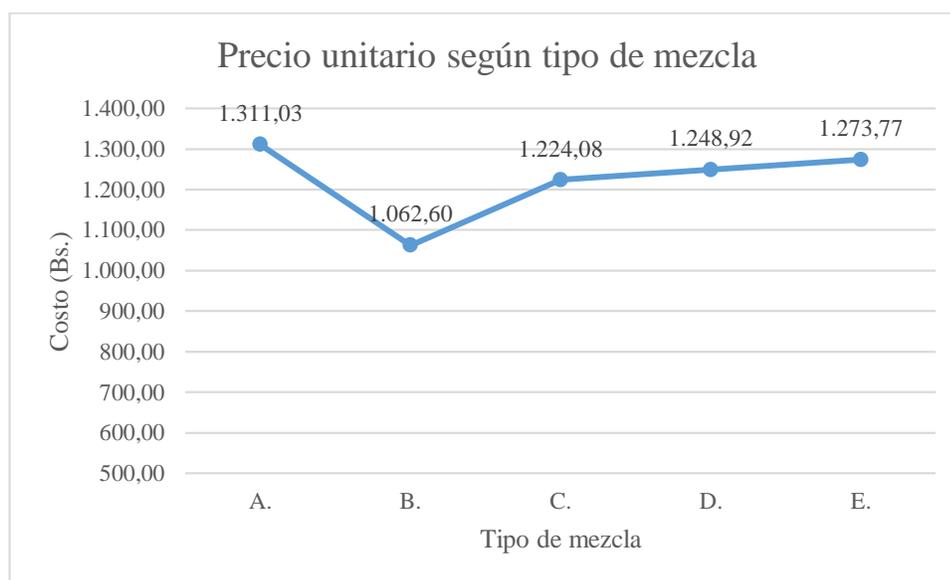
Según la planilla de precios unitarios, se obtiene el siguiente cuadro resumen:

Tabla 4.19. Cuadro comparativo de precios unitarios

Mezcla	Descripción	Precio por m ³ (Bs.)	Variación del costo (Bs.)	Variación del costo (%)
A.	Hormigón simple	1.311,03	0,00	0,00
B.	Hormigón simple con 100% de concreto reciclado en agregado grueso	1.062,60	-248,43	-18,95%
C.	Hormigón simple con 35% de concreto reciclado en agregado grueso	1.224,08	-86,95	-6,63%
D.	Hormigón simple con 25% de concreto reciclado en agregado grueso	1.248,92	-62,11	-4,74%
E.	Hormigón simple con 15% de concreto reciclado en agregado grueso	1.273,77	-37,27	-2,84%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.19. Variación de precios unitarios



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el concreto reciclado reduce el precio significativamente, respecto a un hormigón simple normal, para el 35% de concreto reciclado reduce el costo con el 6,63%, para el 25% de concreto reciclado reduce el 4,74% y para el 15% de concreto reciclado reduce el 2,84%.

CAPÍTULO V

CONCUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se demostró que el concreto reciclado presenta características físicas distintas a los agregados naturales. Tiene una textura más rugosa, mayor porosidad y menor densidad, con un peso específico promedio de 2.34 g/cm^3 frente a los 2.60 g/cm^3 del agregado natural. Además, su capacidad de absorción de agua fue considerablemente mayor, lo cual influye en la trabajabilidad y en el comportamiento mecánico del hormigón.
- Se elaboraron mezclas con cuatro proporciones distintas de sustitución de agregado grueso por concreto reciclado: 0%, 15%, 25% y 35%. Esta variedad permitió observar con claridad cómo las propiedades del hormigón se modifican progresivamente a medida que se incrementa la cantidad de material reciclado.
- Los ensayos realizados mediante el cono de Abrams reflejaron que todas las mezclas fueron trabajables, incluso sin la adición de aditivos. A medida que se incrementaba el porcentaje de reciclado, se evidenció un ligero aumento en el asentamiento, siendo la mezcla con 35% la que presentó mayor fluidez. Sin embargo, este comportamiento también puede comprometer la cohesión de la mezcla si no se controla adecuadamente.
- Los adoquines elaborados con 0% de agregado reciclado alcanzaron la mayor resistencia, superando los 320 kg/cm^2 . Las mezclas con 15% y 25% de reciclado también lograron resistencias mayores a 300 kg/cm^2 , lo cual confirma su viabilidad estructural para su uso en pavimentos peatonales. En cambio, la mezcla con 35% de reciclado mostró una disminución significativa en su resistencia, posicionándose por debajo de los límites recomendados por la normativa para elementos sometidos a cargas.
- El aumento de concreto reciclado incrementó significativamente la absorción de agua de los adoquines, debido a su mayor porosidad. Este comportamiento puede afectar la durabilidad del material en ambientes húmedos o sometidos a ciclos de

congelamiento y descongelamiento, por lo que es recomendable limitar su uso en esas condiciones sin tratamiento adicional.

- La evaluación general de los resultados permitió identificar que el porcentaje óptimo de concreto reciclado como sustituto del agregado grueso en la fabricación de adoquines es del 15%. Esta proporción garantiza un buen equilibrio entre resistencia, trabajabilidad, y sostenibilidad ambiental, sin comprometer la calidad del producto final.
- Los pavimentos articulados diseñados para uso peatonal, fueron dosificados por el método de ACI, con tres moldes diferentes, pero que tienen unos resultados casi iguales de resistencias, por lo tanto, la forma del adoquín no influye en la resistencia de los mismo, el tamaño sí.
- Se determinaron con pruebas de resistencia a compresión que, a medida que aumenta el contenido de concreto reciclado, reduce la resistencia, es decir que, para las probetas, el valor máximo de resistencia obtenido para una mezcla patrón fue de 350,31 Kg/cm² y para la mezcla al 35% de concreto reciclado redujo hasta 285,49 Kg/cm². En el caso de los adoquines el valor máximo de resistencia obtenido para una mezcla patrón fue de 239,95 Kg/cm² y para la mezcla al 35% redujo hasta 182,25 Kg/cm².
- Según resultados de resistencia, asentamiento y absorción de agua del hormigón reciclado, la mezcla con mejores propiedades físico mecánicas es con el 25% de concreto reciclado en el molde de adoquín M3.
- La resistencia de diseño fue de 350 Kg/cm² para pavimento rígido, es decir para altos tráfico, sin embargo, las resistencias obtenidas con los diferentes porcentajes de reciclado en los adoquines fueron reducido por la mitad, lo cual denota que es viable para el uso peatonal, no vehicular.
- Finalmente se concluye que, al utilizar adoquines con un porcentaje de concreto reciclado, disminuyen sus costos y el impacto negativo sobre el medio ambiente.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar hasta un 15% de concreto reciclado como agregado grueso en la elaboración de adoquines para pavimentos peatonales. Este porcentaje demostró un comportamiento físico-mecánico adecuado y representa una opción viable tanto técnica como ambientalmente, además es más económica que la mezcla de hormigón normal.
- Se recomienda el uso del adoquín M1, porque proporciona mejor resistencia y durabilidad garantizando una vida útil más duradera.
- Antes de su uso, el concreto reciclado debe ser sometido a una limpieza manual, trituración uniforme y clasificación granulométrica. Esto permitirá mejorar la homogeneidad del material y asegurar que cumpla con los requerimientos de dosificación y resistencia.
- Debido a la alta porosidad del concreto reciclado, se recomienda ajustar cuidadosamente la relación agua-cemento para evitar mezclas con exceso de fluidez o deficiencias en la resistencia. En mezclas con porcentajes superiores al 15%, puede ser necesario el uso de aditivos plastificantes o reductores de agua.
- Para optimizar el rendimiento final de los adoquines, especialmente aquellos con porcentajes altos de reciclado, se sugiere implementar métodos de compactación más eficientes y asegurar un proceso de curado constante y controlado. Esto contribuirá a reducir la porosidad y mejorar la resistencia final del producto.
- El uso de concreto reciclado se alienta en obras de urbanismo, como veredas, plazas, ciclovías o mobiliario urbano, donde las exigencias estructurales son moderadas. De esta manera, se promueve una construcción más ecológica y se da un segundo uso a materiales que de otro modo se convertirían en residuos.
- Se recomienda impulsar la incorporación del concreto reciclado en normativas técnicas locales y nacionales, así como fomentar su estudio y aplicación dentro del ámbito académico y profesional. Esto permitirá ampliar su uso responsable en la industria de la construcción y generar mayor conciencia ambiental.
- Para su aplicación en proyectos de reciclado, se recomienda hacer triturar el concreto reciclado en grandes cantidades, para reducir costos.