



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MÉTODOS DE CURADO PARA HORMIGONES EN
PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: CÁRDENAS PERALTA JOSÉ LUIS

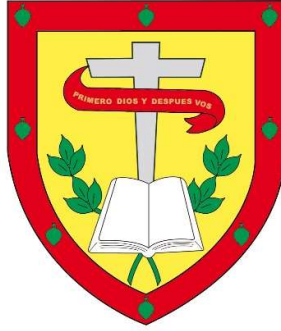
GUANUCHE ANGAMARCA ANDERSON GEOVANNY

DIRECTOR: MSC. ING. MALDONADO NOBOA CESAR HUMBERTO

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MÉTODOS DE CURADO PARA HORMIGONES EN PAVIMENTOS
RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA
PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: CÁRDENAS PERALTA JOSÉ LUIS

GUANUCHE ANGAMARCA ANDERSON GEOVANNY

DIRECTOR: MSC. ING. MALDONADO NOBOA CESAR HUMBERTO

CUENCA - ECUADOR

2024

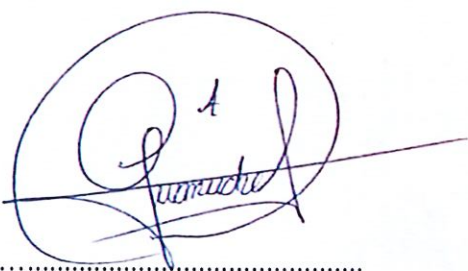
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

José Luis Cárdenas Peralta y Anderson Geovanny Guanuche Angamarca portadores de las cédulas de ciudadanía N° 0105480461 y 1900771237. Declaramos ser autores de la obra: “Métodos de curado para hormigones en pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 09 de septiembre de 2024

F: 
José Luis Cárdenas Peralta
C.I.:0105480461

F: 
Anderson Geovanny Guanuche Angamarca
C.I.: 1900771237

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. M.s.C. Cesar Humberto Maldonado Noboa, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por el Sr. José Luis Cárdenas Peralta y el Sr. Anderson Geovanny Guanuche Angamarca, egresado de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema **“MÉTODOS DE CURADO PARA HORMIGONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA”**.

Atentamente,
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

F:
Ing. M.s.C. Cesar Humberto Maldonado Noboa

C.I. 0102260916

DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación dedico a mi familia, en primer lugar, a mis padres Carlos y Dolores, por ser el pilar fundamental y darme su apoyo para poder llegar a cumplir otra meta. A mi abuelita, Laura por llenar mi camino de consejos y sabiduría. A mi mejor amigo y hermano, Juan Carlos por ser mi ejemplo en cada paso que doy. A mis hermanas, Paulina y Carla por las risas, el cariño y apoyo incondicional. Por último, a mi sobrino Juan Sebastián, su carisma y ocurrencias han hecho que este camino sea mejor. ¡Por esto y por lo que viene, Gracias Familia!

En honor a todos ustedes,

Nunca será suficiente para terminar de agradecerles.

Att. José Luis Cárdenas Peralta

DEDICATORIA

A mis padres, Giovani y Aura, por su incondicional acompañamiento, por ser mi fuente constante de inspiración y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino. Su amor y apoyo han sido fundamentales en mi crecimiento personal y en la consecución de este logro.

A mi hermana Rocibel, quien con su sabiduría y generosos consejos me ha guiado a lo largo de este camino. Siempre he visto en ella un modelo a seguir, un ejemplo de fortaleza y dedicación que me ha inspirado en cada paso.

A esa persona especial, cuya comprensión y apoyo han iluminado los días más difíciles, haciéndolos más llevaderos y significativos.

A mi querida abuelita Rosario, que desde el cielo me ha acompañado y protegido en cada paso que he dado. Su amor y sabiduría siguen siendo una fuente inagotable de inspiración para convertirme en una mejor persona. A ella le debo la fortaleza para enfrentar los obstáculos sin rendirme, siempre guiado por su ejemplo y con el corazón lleno de gratitud y amor eterno.

Att. Anderson Geovanny Guanuche Angamarca

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a mi más grande motor, Dios. Este camino ha sido lleno de obstáculos, sin embargo, Él me ha dado la sabiduría y fortaleza para llegar hasta aquí.

Extiendo mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis Ing. M.s.C. Cesar Humberto Maldonado Noboa por orientarme en este trabajo, su paciencia y perseverancia han hecho de esta, una experiencia de aprendizaje profesional y personal. Quedo eternamente agradecido por su dedicación y compromiso.

Agradezco a mis profesores, han sido fundamentales en el desarrollo de mi vida universitaria, en especial al Ing, Juan Monge por su apoyo durante los ensayos de laboratorio que me encaminaron para culminar este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis amigos y compañeros por el apoyo y motivación en especial a mi compañero de tesis y pronto colega Anderson Guanuche, por el apoyo mutuo para culminar este logro.

*Gracias infinitas por su contribución a todas estas personas,
estaré eternamente agradecido.*

Atte. José Luis Cárdenas Peralta

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme brindado las bendiciones necesarias para culminar este trabajo. Su guía ha sido el motor que impulsa mi vida y mi hogar, y con humildad y respeto he aceptado cada una de Sus decisiones.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a César Humberto Maldonado Noboa, quien, como tutor de este trabajo de investigación, ha sabido guiarme con sabiduría y ha sido un apoyo constante durante todo el proceso hasta su culminación.

A mis docentes, que han trabajado arduamente para fomentar nuestro crecimiento personal y académico a lo largo de nuestra formación profesional. Hago un paréntesis para agradecer de manera muy especial al Ing. Juan Monge, quien siempre ha estado presente, brindando su apoyo y amistad, y favoreciendo el buen desarrollo de esta tesis.

Finalmente, agradezco de manera significativa a mi compañero y futuro colega, José Cárdenas, por su apoyo incondicional y su amistad. Estoy muy complacido de haber contado con él a lo largo de este camino y le deseo un éxito constante en su futuro.

Atte. Anderson Geovanny Guanuche Angamarca

RESUMEN

El proceso de curado es esencial dentro la construcción de pavimentos rígidos, ya que consiste en mantener las condiciones óptimas de humedad y temperatura del hormigón, para el desarrollo completo de sus propiedades. Gracias a la investigación de tecnologías avanzadas, los métodos de curado han alcanzado un alto nivel de sofisticación, beneficiando el éxito en la construcción actual.

El objetivo de esta investigación es analizar y evaluar los resultados luego de la fabricación de muestras en laboratorio, con la finalidad de mejorar las prácticas en la construcción de pavimentos rígidos, empleando diversos métodos y herramientas disponibles.

Dentro de la construcción es sumamente importante el correcto y constante curado que favorezca la integridad de las estructuras de concreto. Por ello, es necesario sensibilizar a la comunidad constructiva sobre las consecuencias de no implementar un curado adecuado o de realizar uno ineficiente que no proporcione al hormigón las características idóneas de fraguado.

Para materializar la investigación, se utilizó tres métodos de curado, se elaboraron especímenes tipo viga y cilindro para verificar si la carga de diseño cumple la especificación requerida.

El análisis de resultados se basa en la comparación de los módulos de rotura (M_r) de cada una de las muestras ensayadas, de acuerdo con los resultados, el método de curado que alcanzó la resistencia según el M_r fue el de inmersión, llegando a 4.68 MPa y alcanzando 105% de la resistencia. En contraste, los métodos de curado con aditivo y película plástica alcanzaron el 82% y el 93% de la resistencia.

Palabras clave: curado, compresión, flexotracción, métodos, dosificación.

ABSTRACT

The curing process is essential in the construction of rigid pavements, as it involves maintaining optimal moisture and temperature conditions for concrete to fully develop its properties. Thanks to technological advancements, curing methods have become highly sophisticated, contributing to the success of modern construction projects.

This research aims to analyze and evaluate the results after manufacturing laboratory specimens to improve practices in rigid pavement construction by employing various available methods and tools.

In construction, proper and continuous curing is crucial for ensuring the integrity of concrete structures. Therefore, it is necessary to raise awareness within the construction community about the consequences of not implementing adequate curing practices or performing inefficient curing that fails to provide the concrete with the ideal setting characteristics.

Three curing methods were used to conduct the research, and beam and cylinder specimens were produced to verify whether the design load met the required specifications.

The results analysis compares the modulus of rupture (MOR) for each tested sample. According to the findings, the curing method that achieved the required strength, as per the MOR, was the immersion method, reaching 4.68 MPa and achieving 105% of the target strength. In contrast, the curing methods using an additive and a plastic film reached 82% and 93% of the strength, respectively.

Keywords: curing, compression, flexotraction, methods, dosage.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	16
1.1.	Introducción	16
1.2.	Antecedentes	16
1.2.1.	Antecedentes Internacionales.....	16
1.2.2.	Antecedentes Nacionales	17
1.3.	Ubicación	18
1.4.	Descripción de la problemática.....	19
1.5.	El problema.....	21
1.5.1.	Formulación del problema	21
1.5.2.	Justificación del problema	23
1.6.	Objetivos de la investigación	25
1.6.1.	Objetivo General	25
1.6.2.	Objetivos Específicos.....	25
1.7.	Población y muestra de investigación.....	25
1.7.1.	Población.....	25
1.7.2.	Muestra	26
1.8.	Justificación e importancia de la investigación	26
1.8.1.	Justificación	26
1.8.2.	Importancia	26
2.	CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (METODOLOGÍA) Y ANÁLISIS DE CASOS	28

	11
2.1. Marco teórico	28
2.1.1. Pavimentos rígidos.....	28
2.1.2. Hormigón	29
2.1.3. Diseño de hormigones.....	30
2.1.4. Aditivos.....	31
2.1.5. Curado.....	32
2.2. Métodos de curado para hormigón y pavimentos rígidos.....	33
2.2.1. Clasificación de los métodos de curado para pavimentos rígidos	33
2.2.2. Consideraciones generales	34
2.2.3. Metodología	34
3. CAPITULO III: CURADO DEL HORMIGON	52
3.1. Introducción	52
3.2. Curado de las muestras	52
3.2.1. Curado con agua o inmersión	52
3.2.2. Curado con aditivo químico.....	53
3.2.3. Curado con películas plásticas	54
3.3. Obtención de resultados	55
3.3.1. Granulometría gruesos	55
3.3.2. Granulometría finos	56
3.3.3. Gravedad específica grueso	58
3.3.4. Gravedad específica fino.....	59
3.3.5. Pesos Volumétricos.....	59

	12
3.3.6. Ensayo de abrasión o máquina de los ángeles	61
3.3.7. Ensayo de los Cuatro puntos.....	62
3.3.8. Ensayo de compresión.	67
4. CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
4.1. Interpretación y evaluación de los resultados.	72
4.2. Análisis comparativo de métodos de curado.	72
4.3. Comparación e Interpretación de resultados.....	74
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
7. ANEXOS	88
Anexo 1. Cuarteo de agregado grueso.....	88
Anexo 2. Cuarteo de agregado fino.....	88
Anexo 3. Granulometría agregado grueso.....	89
Anexo 4. Granulometría agregado fino.....	89
Anexo 5. Pesos específicos.....	90
Anexo 5. Pesos volumétricos.	90
Anexo 6. Elaboración de especímenes.	91
Anexo 7. Curado de especímenes.....	91
Anexo 8. Rotura de vigas.	92
Anexo 9. Rotura de cilindros.....	92
Anexo 10. Resultados Inmersión.....	93
Anexo 11. Resultados Aditivo.....	93
Anexo 12. Resultados Película plástica.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADO GRUESO.....	36
Tabla 2.	REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADO FINO.	38
Tabla 3.	GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.....	41
Tabla 4.	DISEÑO DE HORMIGÓN $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$	44
Tabla 5.	REVENIMIENTOS DE ACUERDO AL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.....	47
Tabla 6.	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO.	55
Tabla 7.	GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.....	57
Tabla 8.	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO.	58
Tabla 9.	GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO.....	59
Tabla 10.	PESOS VOLUMETRICOS GRAVA SUELTA.....	60
Tabla 11.	PESOS VOLUMETRICOS GRAVA COMPACTADA.....	60
Tabla 12.	PESOS VOLUMETRICOS ARENA SUELTA.....	61
Tabla 13.	ENSAYO DE ABRASION.....	62
Tabla 14.	ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON INMERSION.63	
Tabla 15.	ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON ADITIVO. 64	
Tabla 16.	ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON PELICULA PLASTICA.....	66
Tabla 17.	ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON INMERSION.67	
Tabla 18.	ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON ADITIVO.....	69
Tabla 19.	ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON PELICULA PLASTICA. 70	
Tabla 20.	DATOS ESTADÍSTICOS DE RESISTENCIAS A COMPRESION A LOS 14 DÍAS. 75	
Tabla 21.	DATOS ESTADÍSTICOS DE RESISTENCIAS A COMPRESION A LOS 28 DÍAS. 75	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del cantón Cuenca.....	19
Figura 2.	Clasificación de vías según la capa de rodadura.....	20
Figura 3.	Porcentaje de resistencia del concreto de acuerdo a los días de curado.	22
Figura 4.	Cilindros y vigas para realizar los ensayos.	47
Figura 5.	Comprobación de revenimiento en la dosificación.....	48
Figura 6.	Maquina CONCRETO 2000X para ensayos a compresión y cuatro puntos.	49
Figura 7.	Ensayo de cuatro puntos en vigas.	50
Figura 8.	Ensayo a compresión en cilindros.....	51
Figura 9.	Curado de las muestras método de inmersión.....	53
Figura 10.	Curado de las muestras método de aditivo.	54
Figura 11.	Curado de las muestras método de película plástica.....	54
Figura 12.	Fajas granulométricas agregado grueso.	56
Figura 13.	Fajas granulométricas agregado fino.	58
Figura 14.	Módulos de rotura método de curado con inmersión.....	63
Figura 15.	Módulos de rotura promedios método de curado con inmersión.....	64
Figura 16.	Módulos de rotura método de curado con aditivo.	65
Figura 17.	Módulos de rotura promedios método de curado con aditivo.....	65
Figura 18.	Módulos de rotura método de curado con película plástica.....	66
Figura 19.	Módulos de rotura promedios método de curado con película plástica.....	67
Figura 20.	Curva esfuerzo – deformación, método de curado con inmersión.....	68
Figura 21.	Curva esfuerzo – deformación, método de curado con aditivo.	69
Figura 22.	Curva esfuerzo – deformación, método de curado con película plástica.....	71
Figura 23.	Curva probabilística de ocurrencia.	76
Figura 24.	Módulos de rotura promedios de los diferentes métodos de curado.....	78

Figura 25. Curvas de módulos de rotura a los 28 días, respecto a la resistencia de diseño $f^c=350\text{kgf/cm}^2$79

Figura 26. Curvas de módulos de rotura a los 28 días, respecto a la resistencia critica de diseño $f^c=435\text{kgf/cm}^2$80

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. Introducción

En los países desarrollados, se ha optado por el uso del hormigón en proyectos de infraestructura civil debido a su relevancia en el desarrollo económico y social. Este material constructivo ha sido ampliamente utilizado en la construcción de vías, no solo por sus cualidades mecánicas, como su durabilidad y resistencia, sino también porque está compuesto por materiales abundantes y su proceso constructivo ha sido objeto de investigación durante muchas décadas (Latorre Aizaga, 2024).

A pesar de sus ventajas, uno de los principales desafíos del hormigón es asegurar que el material alcance su resistencia de diseño en el sitio. Desde el siglo XIX, el incremento demográfico y los nuevos requerimientos de transporte en caminos y rutas transitables han llevado a una mayor atención en los procesos que influyen en la resistencia de las capas de rodadura. Es fundamental garantizar la calidad del hormigón mediante un correcto proceso de diseño, construcción y curado para asegurar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras viales (Maiguashca, 2022).

Actualmente, en Ecuador los pavimentos flexibles son más comunes que los rígidos. Sin embargo, en la ciudad de Cuenca, particularmente en las zonas urbanas, hay un número significativo de vías de pavimento rígido y se proyecta que su desarrollo continúe en aumento (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Esta investigación se centrará en evaluar los métodos de curado convencionales utilizados en la ciudad de Cuenca y analizar la calidad de cada uno en términos de resultados.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

(Huamani Choque, 2022), en su investigación titulada "Análisis a flexión en concretos de alta resistencia para pavimentos rígidos empleando curado acelerado, Av. Universitaria,

Ica, 2021'' manifiesta que: la utilización de aditivo garantiza un curado acelerado, además que favorece los resultados en un plazo mucho menor al del curado convencional.

(Villafuerte Salas, 2019), según su investigación indica que la variabilidad de la temperatura ambiental repercute directamente en el proceso de curado de concreto fresco y recomienda no escatimar en mezclas, curado y control. Manifiesta que la resistencia del concreto dependerá mayoritariamente de la etapa de curado y se plantea por objetivo identificar los materiales de protección más eficientes para un curado adecuado.

De acuerdo a un análisis experimental realizado en la ciudad de Montevideo (Garin et al., 2012), establece una comparación de la influencia del curado de hormigones en la resistencia de las probetas realizadas. Estas muestras estuvieron sometidas a condiciones controladas de temperatura y humedad, este análisis arrojó como resultado que las muestras con menores relaciones agua-cemento (a/c) no solo identificaban disminuciones en su resistencia, si no que efectuaban micro fisuraciones por acción de la pérdida de humedad posterior al fraguado.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Desde hace algunos años, en el territorio nacional se han evidenciado antecedentes investigativos sobre el curado de hormigones y sus beneficios en obras de infraestructura vial. La etapa de curado, posterior a la fabricación y colocación del hormigón, repercute directamente en su resistencia. Sistemas de curado ineficaces provocan daños prematuros, fisuras y agrietamientos que ponen en riesgo las construcciones. Por lo tanto, se identificó la necesidad de estudiar y analizar diferentes métodos, con el fin de determinar las ventajas y desventajas de estos procesos.

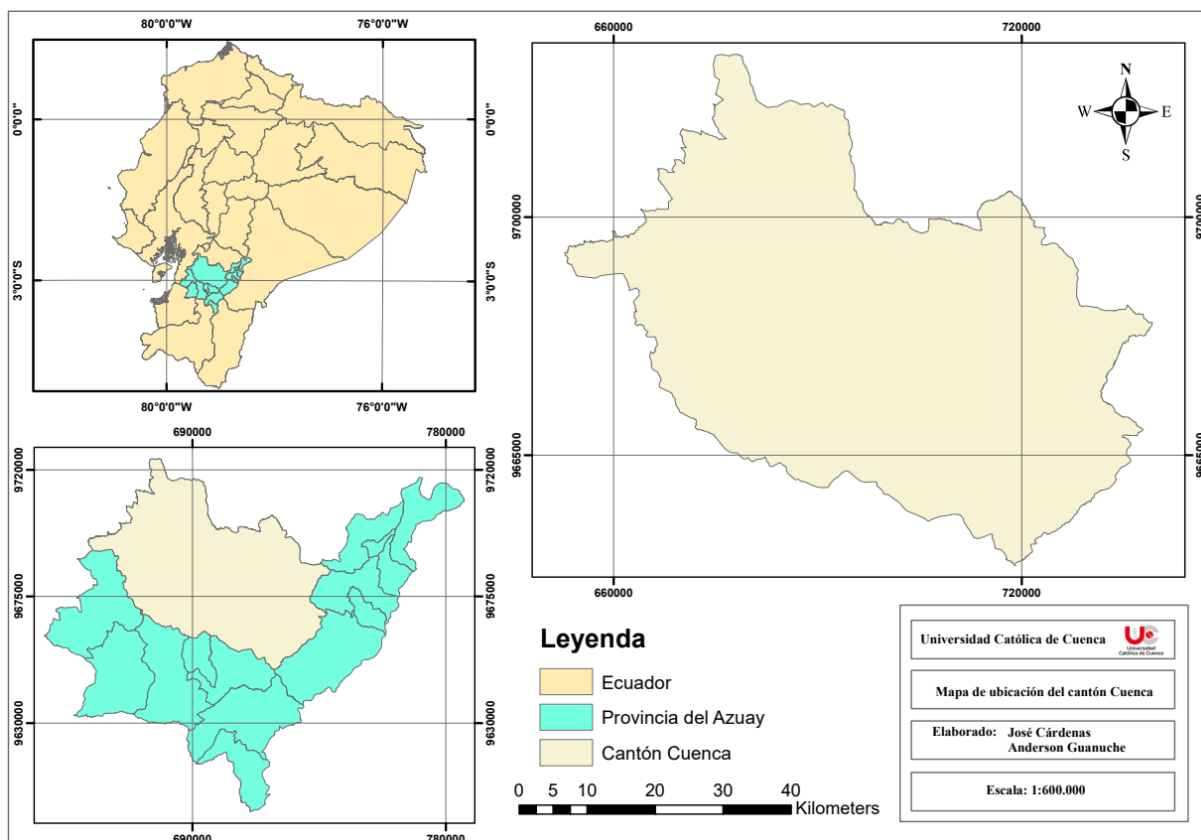
De acuerdo al análisis de los diferentes métodos de curado del hormigón realizado en la ciudad de Manabí, el autor (Zambrano Navarrete et al., 2022a) indica, que el curado si influye en la resistencia del hormigón, ya que un buen curado aumenta la resistencia de

diseño significativamente. Indica que todos los métodos de curado son factibles, pero el que mayor resistencia presenta de acuerdo a los ensayos a compresión es de las cubiertas húmedas, ya que se mantiene mayormente hidratado.

Según el análisis de resultados obtenidos por el autor (Manobanda, 2013), explica las bondades del curado y como estas identificaran su resistencia final, además, manifiesta que el desconocimiento de esta actividad y su mal uso induce a problemas futuros en su correcto endurecimiento. Las muestras que no tuvieron ningún tipo de curado sugieren una resistencia del 63,49% dejando en evidencia las consecuencias de no elaborar un curado en el hormigón.

1.3. Ubicación

Para efectos del proyecto de investigación, se definió como zona de estudio al cantón Cuenca como se observa en la figura 1, uno de los 17 cantones de la provincia de Azuay. Este cantón es considerado el tercero más poblado del Ecuador, cuenta con un área urbana y rural de 6771 Ha y 312880 Ha respectivamente; geográficamente, es representativo de la región interandina centro-sur del territorio ecuatoriano, con una elevación promedio de 2300 m.s.n.m (GAD Municipal de Cuenca, 2023).

Figura 1.*Mapa de ubicación del cantón Cuenca.*

Nota: Elaborado por el autor.

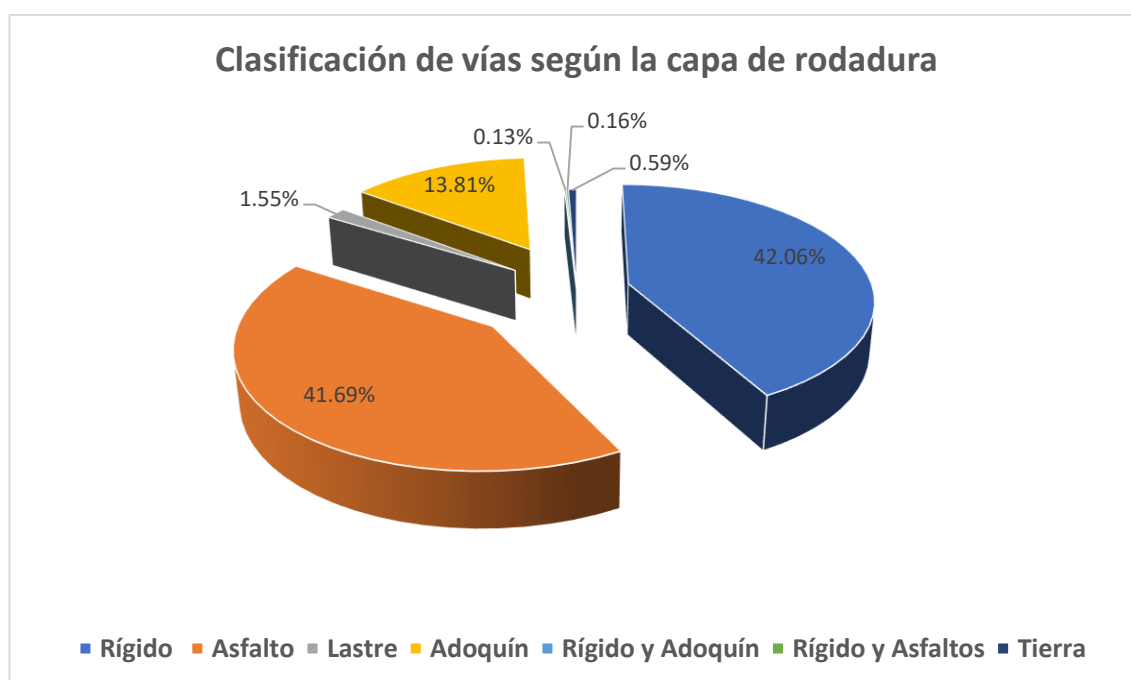
1.4. Descripción de la problemática

En el cantón Cuenca, la construcción de pavimentos rígidos es una práctica común, en la construcción de vías, especialmente en la parte urbana. Estos pavimentos, aunque duraderos, requieren un mantenimiento constante para conservar su funcionalidad. La evaluación estructural de estos pavimentos ha mostrado que, en ciertas secciones, como el tramo Sayausí-Tres Cruces de la vía Cuenca-Molleturo, la capacidad de soporte puede variar significativamente. Específicamente, algunas áreas presentan un soporte bajo, lo que puede derivar en mayores problemas de desgaste y la necesidad de una renovación inmediata (Prado, 2018).

En cuanto a la clasificación de las vías según la capa de rodadura en Cuenca, se observa una diversidad considerable. Las categorías principales incluyen pavimentos rígidos, asfaltos, lastre, adoquín, y combinaciones de rígido con adoquín o asfalto, además de caminos de tierra. En la figura 2, el pavimento rígido representa el 42.06% de las vías, seguido por el asfalto con un 41.69%, mientras que el adoquín y otras combinaciones tienen participaciones menores (Municipalidad de Cuenca, 2015). Considerando el elevado porcentaje de pavimentos rígidos en la ciudad, es prioritario mejorar los procesos desde su conformación hasta que alcancen propiedades de durabilidad y resistencia, para que cumplan la vida útil para la que son diseñados.

Figura 2.

Clasificación de vías según la capa de rodadura.



Nota: Tomado de (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Los agregados característicos de la zona definen las propiedades que va a tomar la mezcla de hormigón y es por ello indiscutiblemente necesaria una caracterización adecuada de los mismos, considerando los ensayos que determinen las peculiaridades de los materiales

y agregados a ser utilizados en el proceso de diseño, dosificación y comprobaciones de resistencia de acuerdo a los procesos de ensayo en las muestras elaboradas.

El correcto diseño, dosificación, mezclado, elaboración, fraguado y desencofrado son de vital importancia para lograr estos objetivos. En esta investigación, se destaca el fraguado, un proceso que ha sido poco considerado en el diseño de pavimentos. La finalidad es buscar mecanismos y medios que, interactuando con los agregados de las mezclas de hormigón, puedan ser la solución para un adecuado proceso de curado.

El proceso de curado de pavimentos rígidos se inicia inmediatamente después del vertido del hormigón, desempeñando una función crucial. Una de las actividades principales será prevenir que el concreto seque sin haber alcanzado sus propiedades mecánicas óptimas de resistencia, especialmente dentro de los 28 días posteriores a su fabricación, tiempo en el cual el hormigón alcanza su resistencia máxima (Zambrano Navarrete et al., 2022b).

Los métodos de curado ineficaces no garantizan el mantenimiento de condiciones ideales de temperatura y humedad, esenciales para la correcta solidificación del concreto y el desarrollo de propiedades fundamentales como la resistencia a la abrasión, la compresión y la congelación (Zambrano Navarrete et al., 2022b).

1.5. El problema

1.5.1. Formulación del problema

Los pavimentos rígidos se han visto perjudicados por el desconocimiento de los métodos de curado que son actividades a desarrollarse inmediatamente cuando el hormigón ha fraguado. Este proceso se evidencia cuando el hormigón comienza a perder humedad rápidamente por diferentes factores que afectan las propiedades mecánicas del hormigón tales como: la temperatura, exposición al sol y velocidad del viento. Esos factores promueven la pérdida de humedad, provocando una retracción plástica producto de un curado ineficiente y

la falta de control que induce en agrietamientos en la superficie del hormigón, si esto ocurre perderá su resistencia y su vida útil (Puga Alvarez, 2018).

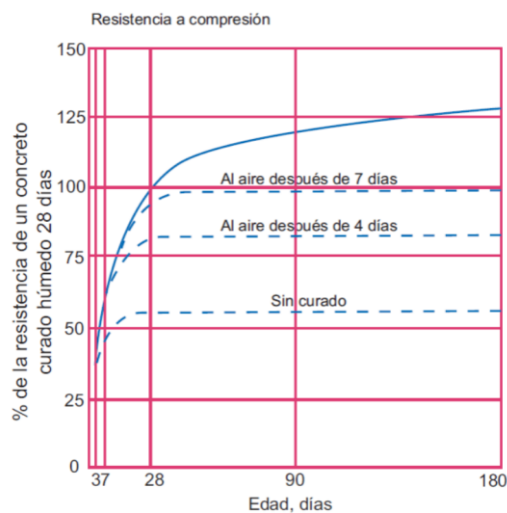
Actualmente, existen varios métodos de curado del concreto, los cuales varían según el tipo de obra que se realice en nuestra zona de estudio, los métodos de curado tradicionales son los de humedecimiento, membranas impermeables y emulsiones de parafina.

Sin embargo, el desconocimiento y falta de control con dichos procedimientos repercuten inmediatamente en las infraestructuras diseñadas, las cuales no alcanzan resultados favorables y que a su vez implicarían trabajos de reparación y mantenimiento a edad temprana (Puga Alvarez, 2018).

La falta de un curado adecuado del hormigón puede producir fisuras prematuras a lo largo de la calzada, lo que genera una pérdida de resistencia del material e interfiere en las propiedades mecánicas y funcionales de la estructura vía. Como se observa en la figura 3, la resistencia del concreto aumenta significativamente a medida que transcurren los días de curado. Por ende, hay que asumir un método de curado efectivo, para evitar que estos problemas se evidencien en el campo laboral y que la relación del curado en el lapso de tiempo se vea perjudicada (Cárdenas, 2014; Zárata, 2019).

Figura 3.

Porcentaje de resistencia del concreto de acuerdo a los días de curado.



Nota: Tomado de (Morales, 2017).

1.5.2. Justificación del problema

Para un correcto colado y fraguado del hormigón se requiere mantener el hormigón en un estado hidratado de tal manera que el cemento en interacción con el agua o a su vez la relación agua cemento (a/c), mantengan las reacciones químicas que faciliten un tiempo apropiado para que la solidificación del concreto sea oportuna y su aglutinante sea aprovechado.

(Crespo Crespo, 2018) Interpreta en su investigación realizada en la ciudad de Cuenca la utilización de un curado correcto que establezca parámetros de temperatura y tiempo idóneos para una manipulación de sus probetas de forma adecuada; Además, establece que los hormigones deberán manifestar condiciones lo más parecidas posibles a las de obra, evaluando procedimientos de fabricación, curado y rotura de testigos.

De acuerdo al trabajo de titulación de (Zárate Falconí, 2019) realizado en la universidad de Cuenca se trataron de identificar las patologías inherentes de la red estatal, específicamente del tramo Zhud-Biblián, en donde se lograron identificar deterioros superficiales anticipados del pavimento rígido, de acuerdo a cada una de las fallas manifestadas se analizaron parámetros de las posibles causas como lo son: funcionales, estructurales o ambas.

Los defectos a lo largo de la superficie de la losa, como las fisuras por retracción son evidentes y se identifican como grietas capilares orientadas en sentido longitudinal interconectadas entre fisuraciones más finas distribuidas aleatoriamente, una de las posibles causas y denominada la más evidente es el curado inadecuado o inapropiado del hormigón. La capacidad resistente del pavimento está ligada a las propiedades del suelo natural, pero en determinados escenarios solo se usa como capa de rodadura. La resistencia de las capas del pavimento está relacionada con las propiedades del material que lo conforma. En virtud de

ello, se torna imperativo implementar procedimientos de compactación y curado efectivos para prevenir el deterioro a corto plazo originado por las cargas aplicadas sobre la estructura pavimentada (Puga Alvarez, 2018).

En la provincia del Azuay, la rehabilitación del pavimento en la vía Cumbe - La Jarata con concreto hidráulico en el año 2010, contempló un contrato que abarcaba un período de mantenimiento de cuatro años. No obstante, se evidencia una ejecución deficiente del mantenimiento, lo cual se refleja en las fallas presentadas en la infraestructura. Cabe destacar que el pavimento rígido está diseñado para proporcionar al menos 20 años de servicio. La aparición de fisuras en el pavimento constituye el primer indicio de problemas en la carretera. Estas fisuras son manifestaciones de esfuerzos, derivados de condiciones climáticas adversas o cargas de tráfico que han superado los límites de resistencia del pavimento. También pueden ser resultado de fenómenos como el alabeo térmico o el alabeo por humedad (Fiallos Iglesias, 2027).

(Manobanda, 2013), en su investigación, realizó una encuesta en el sector de la construcción sobre el curado del hormigón, en donde constató que el 97.14% conoce el beneficio de realizar un buen curado en el hormigón, pero solo el 2.86% lo realiza de manera técnica y adecuada. Además, realizó y analizó probetas que no tuvieron ningún tipo de curado, alcanzando un 63 % de la resistencia deseada, evidenciando la importancia del curado.

Los pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca, generalmente, son curados mediante métodos de inmersión, aditivos químicos y mediante películas plásticas; al comparar estos métodos mecánica y analíticamente, permitirá al sector de la construcción tener claro cuál es el método que más aporta a las condiciones socio climáticas de la Ciudad.

Según los precedentes expuestos, este trabajo pretende evaluar los diferentes métodos de curado del hormigón para pavimentos rígidos y determinar el más idóneo para su

aplicación en campo, con el fin de evitar agrietamientos e imperfecciones en tramos de vía donde se evidencian fisuras provocadas por la contracción acelerada del hormigón o problemas de fraguado.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo General

- Establecer un método de curado idóneo, para ser empleado en proyectos de vías y carreteras con pavimentos rígidos.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de métodos de curado usados en pavimentos rígidos y según las condiciones climáticas presentes, que permitan determinar la mejor calidad en los procesos de curado.
- Aplicar en laboratorio los métodos de curado para mezclas de acuerdo al diseño establecido.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos.

1.7. Población y muestra de investigación

1.7.1. Población

Las principales fuentes de agregados pétreos y cementos en el cantón Cuenca, como las canteras Roka Azul, Vipesas, Hormicroto y Trelles, y las marcas Guapan, Atenas y Holcim, respectivamente; las cuales representan una muestra significativa de la variedad de materiales disponibles en la región y con estándares de calidad aceptables. El alcance de esta investigación será a través de los materiales de la mina Roka Azul, tanto para agregado grueso y agregado fino. A través del análisis de estos materiales, se busca obtener una visión integral de la calidad y variedad de los productos disponibles, facilitando un análisis comparativo y exhaustivo de sus propiedades y rendimiento.

1.7.2. Muestra

El total de muestras a diseñar, elaborar y analizar serán 36, correspondientes a 6 de cada tipo de método de curado, siendo 3 los métodos que se van a emplear para el presente tema de investigación. Además, se estiman otras 6 muestras por cada método que serán puestas en cilindros para el segundo ensayo de comparación.

1.8. Justificación e importancia de la investigación

1.8.1. Justificación

Considerando los requerimientos de los hormigones para pavimentos rígidos y las significativas aportaciones que este análisis traerá al sector constructivo se puede referir que un buen curado bajo condiciones controladas y siguiendo especificaciones propias de cada método ayudan de manera significativa a evitar la pérdida de agua dentro de nuestro hormigón. Específicamente el Cantón Cuenca mantiene condiciones de temperaturas bastante variables respecto a periodos de tiempo relativamente cortos, con el fin de garantizar que los proyectos de pavimentación que se realicen en la ciudad y zonas de mismas características climáticas es evidente contar con un método de curado que efectivice de mejor manera la combinación química que es producto entre el agua, agregados y aglutinante. Considerando cada una de las posibles opciones a ser analizadas se identificaron aquellas que se mantengan dentro de los parámetros de viabilidad económica, técnica y operativa que son factores de gran relevancia al momento de realizar este tipo de proyectos.

1.8.2. Importancia

La ineficiente aplicación de un método de curado, o el uso de uno no adecuado para la zona en la que se emplaza un proyecto vial, puede generar comportamientos inesperados en la capa de rodadura, ya que no se garantiza que su estructura haya alcanzado la capacidad mecánica óptima para la cual fue diseñada (Zambrano Navarrete et al., 2022a).

El objetivo de un proyecto vial es asegurar que su estructura sea funcional (soportando el TPDA) y económicamente viable, evitando inversiones posteriores debido a un mal control del fraguado y una incorrecta aplicación del método de curado, o a la elección inadecuada del mismo para una zona específica (Zambrano Navarrete et al., 2022a).

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (METODOLOGÍA) Y ANÁLISIS DE CASOS

2.1. Marco teórico

2.1.1. Pavimentos rígidos

Están formados por una losa de hormigón hidráulico simple o armado y está asentada sobre una estructura definida por capas de base o subbase y sobre la subrasante preparada y compactada que garantiza características estructurales y funcionales para la correcta circulación vehicular (NEVI-12, 2012).

- ***Capa de rodadura del pavimento rígido***

Corresponde a una capa de hormigón portland, considerando un aporte de resistencia elevado para la transmisión de las cargas concentradas que son aplicadas principalmente por los neumáticos de vehículos automotores, otorgándole propiedades de agarre, visibilidad y seguridad (NEVI-12, 2012).

- ***Capa de Subbase del pavimento rígido***

Porción de la estructura del pavimento ubicada entre la capa de rodadura y la subrasante, proporciona características uniformes para la colocación de la capa de rodadura y previene el bombeo de los suelos de granos finos (MOP, 2002).

- ***Capa de base del pavimento rígido***

Consta de una combinación de materiales granulares como lo son las gravas o piedras trituradas, arena y agregados estabilizados. Su funcionalidad recae en la prevención del bombeo, controlar los cambios volumétricos y facilitar la colocación de la capa rígida teniendo propiedades de uniformidad al estar colocada y compactada (MOP, 2002).

- ***Métodos de diseño / variables de diseño***

(González & Vanegas Emiro, 2016) hace mención que para los pavimentos rígidos se encuentran una variedad de factores que influyen en su comportamiento y vida útil, sin

embargo, la gran mayoría de los diseñadores se basan solamente en los requeridos por la metodología adoptada.

Existen varios métodos para el diseño de pavimentos, y estos a su vez, se basan en distintas variables de diseño en pavimentos rígidos, entre estas podemos identificar las siguientes:

- ***Método Portland Cement association (PCA):***

Módulo de rotura del concreto

Resistencia de la subrasante

Cargas de tránsito

Periodo de diseño (Portland Cement Association, 1984)

- ***Método American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Serviciabilidad***

Tráfico

Transferencia de carga

Módulo de rotura del concreto

Modulo elástico del concreto

Resistencia de la subrasante

Drenaje

Confiabilidad (AASHTO 93, 1993)

2.1.2. Hormigón

(Burgos, 2014) y (Suca Pampa, 2017) manifiesta que el hormigón es la mezcla de una pasta de cemento y agregados que inicialmente expone una estructura plástica y manejable y con el pasar de las horas adquiere una consistencia rígida, adicionalmente se le puede complementar con aire o aditivos que dependen del diseño y de las propiedades que esperamos concebir de la combinación. Según (Apaza, 2022) y (Pastrana-Ayala et al., 2019)

esta composición manifiesta características de bajo costo y versatilidad que favorecen al progreso constructivo.

- ***Cemento***

Conocido por su alta capacidad aglomerante y por su composición de silicatos pulverizados es el material que al momento de ser adicionado con agua genera una pasta(mortero) y esta a su vez manifiesta una reacción(hidrolisis) que promueve su solidificación (Apaza, 2022), (Suca Pampa, 2017).

- ***Agregados (Gravas / Arenas)***

Se los puede definir como arena, grava, piedra o escoria que son componentes del concreto hidráulico (Alatorre Gonzáles & Uribe Afif, n.d.). Representan el principal componente del hormigón e influyen en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido representando el 70% y 80% del volumen del total que se considera relleno económico. ((American Concrete Institute (ACI) Committee 221, 2001)

- ***Agua***

Elemento que facilita la trabajabilidad al estar en contacto con el cemento, lo hidrata de tal modo que garantiza una mezcla homogénea y controlada, es necesario que dicho elemento se mantenga en un estado sin contaminantes o con materiales orgánicos, al igual que mantenga una temperatura regulada entre $23\text{ C} \pm 2\text{ C}$ aproximadamente (Chillón Chillón, 2019).

2.1.3. Diseño de hormigones

Según (Apaza, 2022) y (Chillón Chillón, 2019) el diseño de mezclas de hormigón consiste en la obtención de una dosificación tal que esta evidencie un balance entre el aspecto económico y de calidad con respecto a los agregados, cemento, agua y aditivos de ser el caso. (Suca Pampa, 2017) menciona que existen varios métodos de diseño de mezclas que caracterizan su complejidad a las variables de las que se desea partir para realizarlo.

Uno de los métodos de diseño mayormente empleados para el ámbito constructivo de proyectos viales corresponde al método ACI 211 que considera el módulo de finura de la arena y tamaño máximo del agregado (León & Ramírez, 2010).

2.1.4. Aditivos

Los aditivos son compuestos químicos que se incorporan al hormigón, durante su estado fresco, en las etapas de fraguado o endurecimiento, con la finalidad de mejorar las propiedades de la mezcla hormigón (ASTM, 2005)..

- **Clasificación**

La clasificación de los aditivos es de acuerdo a la función principal de uso, a continuación, se presenta la clasificación de los aditivos: (ASTM, 2005).

- 1. Tipo A: Reductores de agua.**

Este tipo de aditivo se usa cuando la relación agua/cemento es baja, y en situaciones donde los asentamientos son mínimos. Se ve reflejado en la mejor trabajabilidad del hormigón y en la menor adición de agua en su fabricación.

- 2. Tipo B: Retardador de fraguado.**

Este aditivo se usa en climas calurosos, la función principal de este aditivo es retrasar el tiempo de fraguado de la mezcla de hormigón y tener mejor trabajabilidad.

- 3. Tipo C: Acelerador de fraguado.**

Se utiliza cuando se busca un incremento de hidratación y resistencia del hormigón a poco tiempo del fundido, los más usados son acelerantes a base de cloruro de calcio ya que aumenta la contracción por secado y descasamiento.

- 4. Tipo D: Reductor de agua y retardador de fraguado.**

Este aditivo, ayuda al hormigón en dos funciones principales, permite la buena trabajabilidad y aumenta la resistencia final del hormigón a los 28 días, generalmente este aditivo lo usan las plantas mezcladoras.

5. Tipo E: Reductor de agua y acelerador de fraguado y resistencia a edad temprana.

Las funciones que busca este aditivo son de plastificar el hormigón, para facilitar el vaciado, manejabilidad y compactación del mismo, además, de incrementar la resistencia a edades tempranas.

6. Tipo F: Reductor de agua de alto rango (plastificantes).

No modifica tiempos de fraguado ni contenidos de aire del hormigón, se lo puede usar en dosificaciones de hasta 5 veces, no presenta problemas de agrietamientos, ni contracción por excesos de cemento.

7. Tipo G: Reductor de agua de alto rango y retardador

Ayuda a disminuir el volumen de agua ocupado para la mezcla hasta en un 12% y retarda el fraguado del hormigón, su uso se emplea cuando los hormigones premezclados, es decir, cuando necesita tiempos considerables de transporte para el vaciado (ASTM, 2005).

2.1.5. Curado

El curado tiene como objetivo mantener al hormigón con contenidos de humedad y temperaturas óptimos, para que el mismo, no pierda propiedades mecánicas de resistencia y durabilidad. El curado, es necesario para el hormigón, pero, hay veces en que las condiciones climáticas lo favorecen y no requieren acciones adicionales para tener el hormigón deseado (Mahecha & Ramos, 2020). En la mayoría de casos se necesita un buen curado de hormigón, ya que el clima no es del todo o nada favorable para tener un alcanzar la resistencia de diseño del hormigón, por lo cual se necesita de métodos de curado que ayuden a llegar a la firmeza y durabilidad requerida (ACI Committee 308, 2002).

El proceso de curado en losas de hormigón para pavimentos rígidos puede presentar desafíos durante su aplicación, especialmente debido a la naturaleza lineal de las obras. Es crucial contar con la suficiente mano de obra y equipo para garantizar un curado continuo y uniforme en toda la superficie del pavimento.

2.2. Métodos de curado para hormigón y pavimentos rígidos

2.2.1. Clasificación de los métodos de curado para pavimentos rígidos

1. Curado con agua o inmersión

Es el método de curado más íntegro o completo, se realiza con la sumersión de la pieza de concreto en agua, pero, el agua tiene que tener un espesor sobre la superficie de concreto de 5 centímetros, además, debe ser lo más limpia posible y no debe tener menos de 11° C que el hormigón que se lo está curando, para evitar agrietamientos provocados por esfuerzos de temperatura. Este uso se emplea en hormigones donde se pueda realizar un encharcamiento, como lo son las losas, pavimentos, puentes y más estructuras de este tipo. Este método se recomienda realizarlo por lo menos 7 días, para tener resultados favorables (Suca, 2017).

2. Curado con aditivo químico

Mayoritariamente en proyectos de pavimentos rígidos se han empleado aditivos semejantes a una película plástica que evita la pérdida de agua de la dosificación, realizando una consideración diferente se optó por la aplicación de un aditivo de control de fraguado tipo retardante que, a diferencia de ser usado, posterior a la dosificación este será integrado dentro de ella siendo considerado un porcentaje del peso del cemento que se utilice para la dosificación. Existen varias marcas de aditivos para el curado, sin embargo, para satisfacer las necesidades del constructor, se recomienda tener en cuenta las especificaciones de cada una, para elegir el adecuado (Contreras & Velazco, 2018).

3. Curado con películas plásticas

Este método de curado mantiene la humedad en superficies horizontales y verticales, consiste en tender una película plástica sobre la superficie mojada de hormigón que se desea curar, se cubre todas las partes expuestas para que sea efectivo, el espesor mínimo de la película debe de ser de 1 mm, las películas pueden ser de color blanco, negro o transparente,

sin embargo, en climas cálidos no se recomienda el color negro, por la absorción de calor, pero, en climas fríos tiene ventajas por la misma propiedad (ACI Committee 308, 2002).

2.2.2. Consideraciones generales

- ***Recomendaciones del curado del hormigón.***

Para hormigones de resistencias normales el curado se lo aplica por lo menos 7 días, mientras que para hormigones de alta resistencia se recomienda 15 días, estos parámetros son como mínimo pues es bien sabido que el hormigón adquiere su capacidad máxima de resistencia a los 28 días si el método de curado es óptimo (Zambrano Navarrete et al., 2022a).

Se debe tener en consideración, el tipo de clima, al igual que la estructura de hormigón que se desee curar para aplicar un método que resulte efectivo y contar con las herramientas, accesorios y elementos que faciliten la aplicación en el proyecto (ACI Committee 308, 2002).

El curado de hormigón se realiza en toda la superficie donde se desee hidratar o evitar la pérdida de agua. Cuando se realiza un método de curado que implique adicionar agua o mantenerla hidratada de forma constante, se recomienda que el líquido este lo más limpio posible, para no alterar propiedades mecánicas del hormigón (ACI Committee 308, 2002).

Así mismo es indispensable que al momento de la dosificación no se emplee líquido con influencia de sales y materia orgánica (ACI Committee 308, 2002).

2.2.3. Metodología

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica que abarcará los distintos tipos de curado del concreto, complementada con ensayos de laboratorio destinados a precisar los resultados obtenidos. A través de esta investigación, se emplearán técnicas para determinar el método de curado más idóneo, evidenciando características eficientes en resistencia, nivel de humedad y temperatura en condiciones controladas para todas las muestras analizadas.

Los materiales que fueron utilizados corresponden a los conocidos para el diseño de hormigones en pavimentos rígidos, como lo son: agregado grueso, agregado fino, cemento y agua; además, se prevé la utilización de plástico y aditivo de acuerdo al método empleado. Los agregados que se van a emplear en el proyecto de investigación fueron adquiridos de la compañía minera Rookaazul, que son los principales proveedores de la empresa Holcim encargada del servicio comercial de hormigón hidráulico de los proyectos de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca.

La geología de estos materiales tiene sus orígenes en la cuenca del río Jubones en el sector Huascachaca del Cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay, de acuerdo a las características propias de los agregados del sitio, cuentan con porcentajes de cuarzo que mejoran las propiedades de los hormigones en las proporciones adecuadas.

Como punto inicial de las actividades consideradas, se realizará la recopilación de datos bibliográficos y, a su vez, la revisión de los antecedentes sobre el presente tema de investigación. Seguido a ello, se realizarán los ensayos para el diseño y elaboración de la dosificación inicial que se empleará para todos los métodos de curado, posterior a ello la elaboración de muestras en vigas y cilindros. Finalmente, los ensayos de comparación y rotura de acuerdo a cada uno de los métodos de curado.

El trabajo de investigación se regirá por las normativas establecidas para garantizar la validez y precisión de nuestras comparaciones. En primer lugar, se adoptarán las pautas establecidas en la norma ASTM-7264 y ASTM C78-02 para determinar la resistencia a la flexión del hormigón, utilizando una viga simple con carga en los tercios. Además, nos basaremos en las especificaciones detalladas en la ASTM C-136; ASTM D422; ASTM C-33 para los áridos utilizados en el hormigón, asegurando así su calidad y compatibilidad con el material. Para el proceso de muestreo, se seguirán las directrices establecidas en la ASTM D75, asegurando una representación adecuada y aleatoria de las muestras para obtener

conclusiones significativas. Para la elaboración y curado de los especímenes destinados a ensayo, se ajustarán a lo dispuesto en la ASTM C-33, garantizando condiciones óptimas que no comprometan los resultados.

Finalmente, se evidenció cada uno de los resultados con la ayuda de un diagnóstico exhaustivo, realizando el análisis y comparación de cada una de las muestras y constatando los objetivos e hipótesis planteadas.

Ensayos a realizar en agregados

Granulometría de agregados.

Requerimientos y normas del agregado grueso.

La norma ASTM C-136 y ASTM D75 identifica respectivamente cada uno de los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y establecen la metodología correcta para el muestreo, basándose en el tamizado de la muestra y haciendo uso de una serie de mallas que disminuyen su tamaño de forma progresiva (ASTM C136-01, 2001); (ASTM D75/D75M-14, 2014). Se identifica como agregado grueso a toda aquella muestra de material retenido en el tamiz #4 como se indica en la norma ASTM C33-03 referente a las especificaciones estándar de agregado grueso para concreto (ASTM C33/C33M-18, 2018).

Particularmente para los agregados gruesos no se necesita secar la muestra, los resultados son levemente afectados y para cuestiones de resultados rápidos se considera un secado prudente del material en la cocina del laboratorio. La tabla obtenida de la norma ASTM C33-03 estima las fajas granulométricas de acuerdo al tamaño nominal de los agregados los cuales tendrán porcentajes que irán disminuyendo según las aperturas de los tamices, y se puede identificar de mejor manera en la tabla 1 (ASTM C33/C33M-18, 2018).

Tabla 1.

REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADO GRUESO.

Material que pasa uno de los siguientes tamices (% en masa)

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18mm (No. 16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (n.º4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
457	37,5 mm a 4,75 mm (n.º4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25mm a 4,75mm (n.º4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19 mm a 4,75 mm (n.º4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (n.º4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (n.º8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Nota: Tomado de (ASTM C33/C33M-18, 2018).

Equipo utilizado:

- Balanzas
- Tamizadora mecánica
- Tamices
- Horno
- Agregado grueso

Requerimientos y normas del agregado fino.

La norma ASTM C33-03 establece las especificaciones estándar de los tamaños de agregados para mezclas de hormigón como se observa en la tabla 2, estipula que el agregado fino es aquel porcentaje de muestra que pasa el tamiz #4 dicho material puede ser natural, arena manufacturada o una combinación de ambas (ASTM C33/C33M-18, 2018).

Para el proceso de tamizado se tomaron en cuenta las consideraciones de la norma ASTM C-136 que establece el procedimiento y cálculos correspondientes. Es indispensable el secado en el horno a 110 ± 5 C por un lapso de 24 horas, esto por la adherencia que suele tener el material fino a los tamices y accesorios que se utilicen (ASTM C136-01, 2001). La norma establece un mínimo de 300g para realizar el ensayo y un tiempo de ejecución de

acuerdo a la cantidad de muestra o hasta que sus partículas sean retenidas de acuerdo al tamaño nominal.

Tabla 2.

REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADO FINO.

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Nota: Tomado de (ASTM C33/C33M-18, 2018).

Equipo utilizado:

- Balanzas de precisión
- Tamizadora mecánica pequeña
- Tamices
- Horno
- Agregado fino

Gravedad específica y porcentaje de absorción.

La Gravedad específica (densidad relativa) se manifiesta como una proporción de densidad de partículas de agregados a la densidad del agua. Los valores resultantes de este ensayo son usados para la determinación del cálculo de volumen que ocupa un agregado para la mezcla que lo contienen, además de la obtención del cálculo de vacíos que se forman entre partículas.

Los parámetros obtenidos en el ensayo corresponden a:

- Gravedad Específica seca al horno
- Gravedad específica saturada superficialmente seca

- Gravedad específica aparente
- Porcentaje de absorción

Gravedad específica del agregado grueso.

Denominada también densidad específica, este parámetro identifica la proporción de masa de un agregado y masa de volumen igual de agua. Para su determinación nos basamos en la norma ASTM C127-15 que describe el ensayo para la obtención de la gravedad específica y del porcentaje de absorción que mantiene el agregado grueso al estar inmerso dentro de agua por 24 ± 4 horas según lo especifica la norma (ASTM C127-15, 2015).

Equipo utilizado:

- Balanza
- Cesta con malla de alambre
- Depósito de agua
- Tamices
- Horno

Gravedad específica del agregado fino.

Este método describe la norma ASTM C128-15 que manifiesta la obtención de la gravedad específica de los agregados de menor proporción que los especificados en la norma ASTM C127-15 ya que se trata de obtener los parámetros con equipos propios para este tipo de agregados (ASTM C128-15, 2015); (ASTM C127-15, 2015). El acondicionamiento requerido será de 24 horas y pasado este lapso se procede con la intervención del ensayo como lo especifica la norma, de igual manera se debe tener precaución en el número de golpes para la compactación y obtención del parámetro Saturado Superficialmente Seco (SSS).

Equipo utilizado:

- Balanza de precisión

- Picnómetro
- Molde y pisón
- Horno

Pesos Volumétricos

También denominada densidad aparente o peso específico de los materiales es un parámetro utilizado en las mezclas de concreto y mortero para la determinación de material, almacenamiento y alcanzar densidades optimas. La norma ASTM C29 considera los parámetros y elementos necesarios para la elaboración de este ensayo, siguiendo estrictas características como el número de varilladas y altura desde la cual se pretende colocar la muestra al molde (ASTM C29/C29M-97, 1997).

Algunos métodos de referencia utilizados por la norma antes mencionada es la AASHTO T19 que determina el peso unitario y los huecos existentes en los áridos (AASHTO T19M/T19-14, 2014).

De acuerdo a la especificación este parámetro se lo puede determinar en cada uno de los agregados que se estén empleando en una dosificación, estos áridos suelen estar en su condición compactada o suelta.

- Pesos Volumétricos de la grava suelta.
- Pesos Volumétricos de la grava compactada.
- Pesos Volumétricos de la arena suelta.

Equipo utilizado:

- Balanza
- Pisón
- Molde
- Horno
- Pala

Ensayo de abrasión o máquina de los ángeles

La identificación relativa de las fuentes de agregados pétreos garantiza una comparación de las composiciones mineralógicas de agregados para mezclas de hormigones. Para este ensayo se consideró la normativa ASTM C-131 y se tomaron consideraciones referentes al método de prueba ASTM C-535 (ASTM C131/C131M-14, 2014; ASTM C535-16, 2016).

Los agregados que se consideran serán tamaños máximos nominales de 1 1/2'' (37.5mm) y los tamaños de 3/4'' (19mm). El procedimiento del ensayo caracteriza la granulometría y de acuerdo al porcentaje y pesos retenidos en los tamices, seleccionamos una muestra para ser analizada. En la tabla 3 y en la presente norma se detalla el número de esferas y las revoluciones que estarán de acuerdo al tamaño de la muestra y su distribución granulométrica (ASTM C136-01, 2001).

Tabla 3.

GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	c	D	1	2	3
3"	2 1/2"					2500±50		
2 1/2"	2"					2500±50		
2"	1 1/2"					5000±50	5000±50	
1 1/2"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	3/4"	1250±25						5000±50
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10					
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	1/4"			2500±10				
1/4"	Nº4			2500±10				
Nº4	Nº8				5000±10			
TOTAL PESO (g)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±75	10000±50
Nº DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500			1000			

Nota: Tomado de (ASTM C131/C131M-14, 2014; ASTM C535-16, 2016).

Equipo utilizado:

- Máquina de desgaste de Los Ángeles
- Balanza
- Tamices
- Horno
- Esferas metálicas

Diseño de dosificación base

Las vías y calzadas con pavimentos rígidos suelen soportar un alto flujo de TPDA, lo que hace imprescindible seleccionar un $f'c$ que garantice una adecuada distribución de esfuerzos y la funcionalidad de la estructura, teniendo en consideración que el diseño de hormigón a realizar será un diseño convencional con una resistencia previamente estimada y sin utilizar agregados adicionales se empleará el método de diseño de hormigones ACI (American Concrete Institute, 2001). Además, la norma especifica las resistencias requeridas según el tipo de estructura a realizar. Siendo 350 kg/cm^2 la resistencia de diseño considerada para el análisis de las muestras de laboratorio, el principal enfoque de este apartado es alcanzar dicha resistencia con los lineamientos y especificaciones establecidos por el Comité del ACI 211 (ACI Committee 211.1-91, 1991). El método ACI dosifica la cantidad de agregados y aglutinantes para un hormigón, es usado cuando los agregados a utilizarse cumplen ciertos requerimientos y especificaciones tales como la calidad de los agregados, tamaño nominal y requerimientos específicos de granulometría, siendo un método satisfactorio para la mayoría de concretos en obras civiles, variando de acuerdo a la región o tipo de infraestructura.

Para garantizar la seguridad de resistencia de nuestras probetas, se realizó un análisis detallado de las propiedades del concreto. Considerando el $f'c$ de diseño, se estableció una resistencia de diseño crítica $f'cr$ de 435 kg/cm^2 , según los parámetros del comité ACI 318

para hormigones en el rango de 210 a 350 kg/cm² se estableció una desviación estándar de 85 kg/cm² a modo de mayorar nuestra resistencia f'_c (ACI 318, 2014).

Pese a que la selección de las proporciones del hormigón considera un equilibrio entre economía y los requisitos de ubicación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia; nuestro diseño de hormigón está exento de contener aditivos que favorezcan la resistencia de la dosificación base de todas las muestras. Tomando en consideración que el parámetro de investigación será el método de curado, se establece una selección de proporciones adecuadas tanto de agregados, conglomerante y agua.

Con base en los valores obtenidos de los ensayos de agregados ejecutados en laboratorio, se calcularon los volúmenes y pesos de cada componente para obtener 1 m³ de hormigón. Para asegurar la precisión del diseño del hormigón, se realizaron correcciones por humedad natural de los agregados y finalmente se estableció la proporción de agregados gruesos (ripio), finos, agua y conglomerante cementante. En tabla 4 se establece los datos, parámetros y dosificaciones del diseño de dosificación base.

Los principales procedimientos considerados por el comité ACI contemplan: (ACI Committee 211.1-91, 1991)

1. **Estimación del contenido de aire:** Basado en el tamaño del agregado y el tipo de exposición.
2. **Selección de la relación A/C:** Según los requerimientos de resistencia y durabilidad.
3. **Determinación del contenido de agua:** Basado en la trabajabilidad deseada y el tamaño del agregado.
4. **Cálculo del contenido de cemento:** A partir del contenido de agua y la relación A/C.
5. **Proporción de agregados:** Determinada mediante pruebas de laboratorio y ajustada para lograr la densidad deseada.
6. **Corrección por Humedad de los Agregados.**

- **Corrección del agregado grueso:** Basada en la absorción y humedad natural.
- **Corrección del agregado fino:** Similar al agregado grueso, ajustando por absorción y humedad.

Tabla 4.

DISEÑO DE HORMIGÓN $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE HORMIGON				
HORMIGON $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$				
DISEÑO EN BASE AL COMITÉ DEL ACI 211				
DATOS DE LABORATORIO				
AGREGADO GRUESO				
PVS	PVV	DEAP	Abs.	Procedencia
kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	%	
1374.8	1520	2720	1.59	Piedra Triturada Mina Río Jubones
AGREGADO FINO				
PVS	DEAP	Abs.	M.F.	Procedencia
kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		
1394.3	2660	3.85	2.66	Arena Cribada Río Jubones
CALCULO DE LA DOSIFICACION				
Tamaño Máximo del Agregado	=	19.1	mm	
Edad de la Resistencia	=	28	días	
Revenimiento	=	5	cm.	
Relación A/C	=	0.38		
Agua	=	187.30	lt/m ³	
Cantidad de Cemento	=	187.30 / 0.38	=	487.97 kg/cm ²
Volumen del Agregado Grueso	=	0.63 * 1520 / 2.72	=	354.29 dm ³
<p>Conocemos las cantidades de agua, cemento y grava por metro cúbico de hormigón, solo nos falta la cantidad de arena, que se obtiene sumando los valores y restando de 1 m³</p>				
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON				
AGUA	=	187.30 / 1.00	=	187.30 dm ³

CEMENTO HIDRAÚLICO ATENAS TIPO GU.	=	487.97	/	2.9	=	168.27	dm ³
PIEDRA	=				=	354.29	dm ³
AIRE	=	2%			=	20.00	dm ³
VOLUMEN PARCIAL	=				=	729.86	dm³
ARENA	=	1,000	-	729.86	=	270.14	dm ³
					TOTAL	=	1000.00 dm ³

Ahora ya tenemos los materiales en volumen real y podemos calcular los pesos de los materiales para 1 m³ de hormigón, multiplicamos el volumen por la densidad real y se obtiene el peso:

PESOS PARA 1 m³ DE HORMIGON

AGUA	=	187.30	*	1.00	=	187.3	kg.
CEMENTO SELVA ALEGRE TIPO IP20	=	168.27	*	2.90	=	487.98	kg.
PIEDRA	=	354.29	*	2.72	=	963.7	kg.
ARENA	=	270.14	*	2.66	=	718.6	kg.
					PESO TOTAL	=	2357.5 kg.

RELACION DE MEZCLA POR PESO:	Cemento	Arena	Piedra
	1.0	1.5	2.0

PESOS CORREGIDOS PARA 1 m³ DE HORMIGON

Corrección por Humedad

	Humedad natural	Peso seco	Peso húmedo
Agregado Grueso	1.06 %	948.59 kg	5.07 kg
Agregado Fino	6.93 %	691.93 kg	-21.29 kg

		Pesos secos	Pesos corregidos
AGUA	=	187.30	171.08 kg.
CEMENTO HIDRAÚLICO ATENAS TIPO GU.	=	487.98	487.98 kg.
PIEDRA	=	963.67	958.60 kg.
ARENA	=	718.57	739.86 kg.
		PESO TOTAL	2357.5 kg.

RELACION DE MEZCLA POR PESO:	Cemento	Arena	Piedra
	1.0	1.5	2.0

Nota: Elaborado por el autor.

Fabricación de muestras en laboratorio.

Basado en el diseño de hormigón del comité ACI 211 y con la dosificación establecida, se elaboraron encofrados de vigas y seleccionaron los moldes de las probetas necesarias para las muestras como se muestra en la figura 4, dichos moldes fueron seleccionados según la norma ASTM C31 que caracteriza y estipula parámetros y dimensiones de los encofrados y cilindros para el moldeado de especímenes, esta norma a su vez está relacionada con la ASTM C470 que prioriza las especificaciones normalizadas para la fabricación de moldes para ensayos de hormigón (ASTM C31/C31M-08a, 2008; ASTM C470/C470M-02, 2002).

Como condiciones generales se caracteriza la fabricación de muestras en un lugar libre de vibraciones, moldes que no presenten pérdidas de agua y además considerar recubrimientos para evitar fugas, infiltraciones y un desencofrado idóneo una vez que la mezcla haya fraguado.

Para la fabricación de nuestras muestras, se emplearon según las normas antes dispuestas; cilindros de [100 mm de diámetro x 200 mm de altura] y vigas de [150 mm de ancho x 150 mm de altura] en su área transversal, y una longitud de 500 mm, el número de cilindros y encofrados fue especificado en el apartado de metodología (ASTM C470/C470M-02, 2002).

Figura 4.

Cilindros y vigas para realizar los ensayos.



Nota: Elaborado por el autor.

Para el muestreo del concreto se lo determinó, siguiendo la practica ASTM C172, para procesos de pruebas y ajustes de mezclas se consideraron las normas ACI 211, ASTM C143 y ASTM C138 que estipulan el revenimiento para asegurar que la mezcla se coloque y consolide de forma idónea (ACI Committee 211.1-91, 1991; ASTM C138/C138M-17a, 2017; ASTM C143/C143M-10, 2010; ASTM C172/C172M-17, 2017).

El revenimiento estimado para nuestro diseño se determinó en función del tipo de construcción, que incluye pavimentos y losas, como se indica en la tabla 5. Este diseño establece un rango de revenimiento de entre 25 mm y 75 mm. Tras realizar el diseño y la dosificación correspondientes, se procedió a la verificación, obteniendo un revenimiento promedio de 3 mm, como se muestra en la figura 5.

Tabla 5.

REVENIMIENTOS DE ACUERDO AL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.

Tipos de construcción	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75	25
Muros y vigas reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Nota: Tomado de (ACI Committee 211.1-91).

Figura 5.

Comprobación de revenimiento en la dosificación.



Nota: Elaborado por el autor.

Ensayos de las muestras

El ensayo considerado para evaluar e identificar las diferencias entre cada uno de los métodos de curado empleados en las muestras será el de la resistencia a flexión o también denominado cuatro puntos, caracterizado principalmente por colocar puntos de apoyo en las terceras partes de la sección para aplicar una fuerza homogénea que evidencie la rotura, fisuras y grietas deseadas. Así mismo, como segundo ensayo comparativo se elaboró el ensayo de Comprensión que representa la resistencia de los cilindros de hormigón al estar influenciados por una carga vertical en la parte superior e inferior de su área cilíndrica. Para garantizar los resultados los apoyos y posiciones de los elementos deben estar de forma correcta conforme lo indique las normas de los ensayos a realizar, además la maquina “CONCRETO 2000X” de la marca SHIMADZU, como se ilustra en la figura 6, tiene que ser calibrada y se tienen que introducir datos de las vigas y cilindros como: diámetro, longitud, ancho, largo, etc.

Figura 6.

Maquina CONCRETO 2000X para ensayos a compresión y cuatro puntos.



Nota: Elaborado por el autor.

Ensayo de los Cuatro puntos

La norma ASTM C78 – 02, describe el método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón usando una viga simple de (150x150x500) mm con carga aplicada, mediante el uso de la máquina de compresión CONCRETO 2000X en los tercios de su lado longitudinal (ASTM C78/C78M-18, 2018).

El proceso de ensayo se realiza una vez concluido el periodo de espera programado, que en nuestro caso fue de 14 y 28 días a partir del momento de fabricación del hormigón. La obtención de las dimensiones previas de cada una de las secciones de las vigas y el marcado de los tercios de las vigas es imprescindible para colocarlas en los accesorios que facilitarán la aplicación de la carga.

Figura 7.

Ensayo de cuatro puntos en vigas.



Nota: Elaborado por el autor.

Ensayo de compresión.

El ensayo de resistencia a la compresión se realiza con el objetivo de verificar que la mezcla de concreto satisfaga los requisitos de diseño establecidos, siguiendo los parámetros del comité ACI 211 (ACI Committee 211.1-91, 1991). Los ensayos se realizarán a cabo de los 14 y 28 días, respectivamente, contados a partir del momento en que se inició la fundición de los especímenes. El proceso comienza con la obtención de las dimensiones y el pesaje de los especímenes, manipulándolos con cuidado para evitar daños. Cada espécimen se ensayará junto con su respectiva viga, según lo especificado en el apartado anterior, y se tomará en cuenta el método de curado aplicado.

Figura 8.

Ensayo a compresión en cilindros.



Nota: Elaborado por el autor.

CAPITULO III: CURADO DEL HORMIGON

3.1. Introducción

El método de curado óptimo no solo asegura que los pavimentos rígidos alcancen los factores mecánicos requeridos en concordancia con los aspectos económicos, sino que también garantiza a la población proyectos de vialidad funcionales y duraderos. Un adecuado proceso de curado no solo es crucial para cumplir con los estándares mecánicos necesarios, sino que también contribuye significativamente a prolongar la vida útil de la infraestructura, evitando así intervenciones tempranas y asegurando un servicio eficiente para los usuarios (Puga Alvarez, 2018).

Este capítulo se centrará en los diferentes aspectos del curado del hormigón, incluyendo los ensayos realizados en agregados, el diseño de la dosificación base, la fabricación de muestras en laboratorio, y los métodos de curado empleados. Se discutirán también los resultados obtenidos a partir de los ensayos de resistencia y otras propiedades mecánicas, proporcionando una visión completa y detallada de la importancia y los métodos del curado del hormigón.

3.2. Curado de las muestras

3.2.1. Curado con agua o inmersión

El método de curado por inmersión es habitual en proyectos viales, consiste en el encharcamiento de la superficie en los límites perimetrales de la calzada. Para términos de análisis y para garantizar sus particularidades en laboratorio, se utilizó una piscina que ayude a mantener parámetros controlados del nivel de agua y temperatura como se muestra en la figura 9.

Figura 9.

Curado de las muestras método de inmersión.



Nota: Elaborado por el autor.

El agua empleada será libre de contaminantes químicos y biológicos. Esto implica que el agua habrá pasado por procesos de tratamiento como filtración, cloración y desinfección, eliminando impurezas y microorganismos patógenos. El uso estricto de un agua sin contaminantes se rige a la norma ASTM C-31 que estipulan el curado libre de impurezas y manifiesta su repercusión en las resistencias finales del hormigón (ASTM C31/C31M-08a, 2008).

3.2.2. Curado con aditivo químico

A diferencia del curado convencional con aditivo químico en donde es aplicado superficialmente una vez el hormigón ha fraguado, el método empleado en esta investigación plantea una dosificación y mezclado homogéneo del aditivo con los agregados y el material cementante.

El aditivo Sikaplast 2005-R es un reductor de agua y controlador de fraguado tipo retardante, dentro de sus características principales y por la cuales se optó por este producto fueron la trabajabilidad y altas resistencias finales de las mezclas a las cuales se les proporcione el aditivo como se observa en la figura 10 (Sika Ecuatoriana S.A, 2016).

Figura 10.

Curado de las muestras método de aditivo.



Nota: Elaborado por el autor.

3.2.3. Curado con películas plásticas

En el mercado existen películas plásticas con diversas características, dependiendo del uso que se les vaya a dar. La película plástica empleada será del tipo STRETCH FILM de tonalidad transparente. Teniendo en cuenta el espesor mínimo requerido para el método de curado, se envolvieron los especímenes de vigas y cilindros hasta alcanzar el espesor adecuado, evitando que existan superficies en contacto con el ambiente exterior.

Figura 11.

Curado de las muestras método de película plástica.



Nota: Elaborado por el autor.

3.3. Obtención de resultados

3.3.1. Granulometría gruesos

Los requerimientos y especificaciones de la norma ASTM C33-03 se puede evidenciar según la tabla 6 un tamaño máximo de los agregados de 1'' o 25.4 mm en lo que respecta a la abertura del tamiz. Se puede evidenciar en la figura 12 de las fajas granulométricas que cada uno de los tamices descendentes mantiene porcentajes de material que pasa de acuerdo a los límites de las fajas anteriormente establecidas.

Tabla 6.

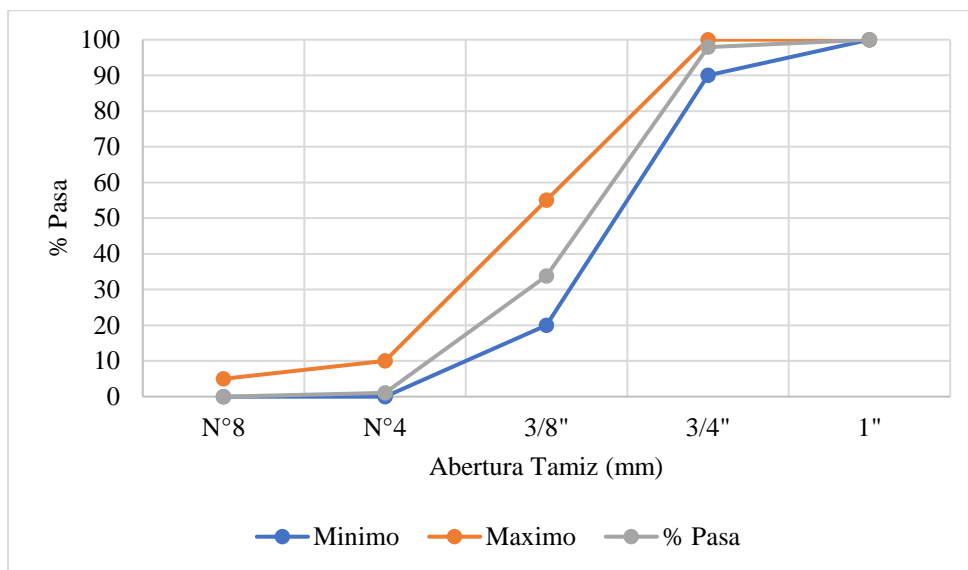
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO.

TAM IZ N°	ABERT URA (mm)	PESO RETEN IDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA			
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR		
3''	76.2	0	0	0.00	100.00				
2									
1/2''	63.5	0	0	0.00	100.00				
2''	50.8	0	0	0.00	100.00				
1									
1/2''	38.1	0	0	0.00	100.00				
1''	25.4	0	0	0.00	100.00	100			
3/4''	19.1	192.5	192.5	2.14	97.86	100	90		
1/2''	12.7	3883.5	4076	43.15	54.71		
3/8''	9.52	1880.5	5956.5	20.90	33.81	55	20		
N°4	4.76	2951.5	8908	32.80	1.02	10	0		
Fondo		91.5	-----						
Peso antes del ensayo (gramos)=			9012.5	Peso después del ensayo (gramos) =			8999.5		

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 12.

Fajas granulométricas agregado grueso.



Nota: Elaborado por el autor.

3.3.2. Granulometría finos

En la figura 13 y los valores de la tabla 7, se observa que todos los porcentajes de material que pasan a través de los tamices cumplen con la norma ASTM C33-03. Los porcentajes se encuentran dentro de los límites establecidos, lo que indica que las proporciones son adecuadas para diversos usos en la construcción.

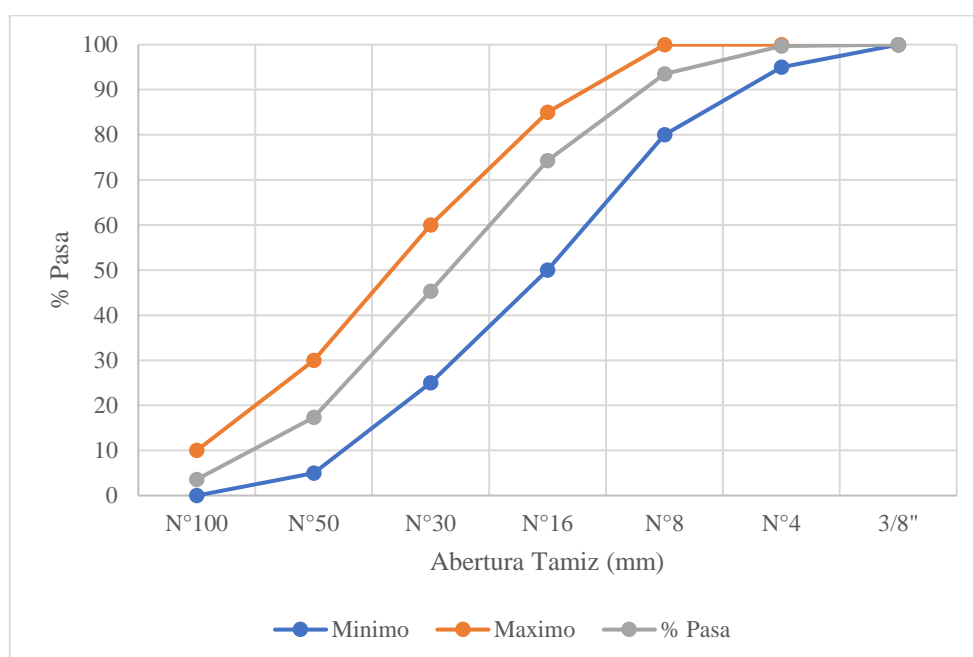
Además, el valor resultante del módulo de finura fue de 2.66 que evalúa la adecuación del agregado para cierto tipo de concreto, en términos generales y según los especificado en las normas deberá estar en un rango entre 2.3 y 3.1, por lo tanto, cumple.

Tabla 7.

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.

TAMI Z N°	ABERTUR A (mm)	PESO RETENID O (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULAD O (gramos)	% RETENID O	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA		% RETENIDO ACUMULAD O	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR		
1"	25.4	0	0	0.00	100.00			0.00	
3/4"	19.1	0	0	0.00	100.00			0.00	
1/2"	12.7	0	0	0.00	100.00			0.00	
3/8"	9.52	0	0	0.00	100.00	100	100	0.00	
N°4	4.76	2.5	2.5	0.31	99.69	100	95	0.31	
N°8	2.38	49.6	52.1	6.20	93.49	100	80	6.51	
N°16	1.19	153.9	206	19.24	74.24	85	50	25.76	
N°30	0.58	231.3	437.3	28.92	45.32	60	25	54.68	
N°50	0.3	223.7	661	27.97	17.35	30	5	82.65	
N°100	0.15	110.2	771.2	13.78	3.58	10	0	96.42	
N°200	0.075	21	792.2	2.63	0.95			99.05	
FONDO		7.6	-----						
TOTAL		799.8	-----						
Peso antes del ensayo (gramos) =			800	Módulo de finura		2.66			
Peso después del ensayo (gramos) =			799.8						

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 13.*Fajas granulométricas agregado fino.*

Nota: Elaborado por el autor.

3.3.3. Gravedad específica grueso

Los valores de gravedad específica mostrados en la tabla 8, representan resultados que facilitaron el diseño del hormigón pues están dentro de los rangos típicos correspondientes de 2.5 a 3 gr/cm³ según lo establecido a las normas. El porcentaje de absorción obtenido sugiere que el agregado grueso empleado en la dosificación no mantiene un alto contenido de saturación lo cual garantiza un control de humedad eficiente.

Tabla 8.

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO.

D A T O S	E N S A Y O S		
Masa de la muestra seca al horno	A	gr	1179.2
Masa en aire de la muestra SSS	B	gr	1198
Masa aparente en agua de la muestra saturada	C	gr	746

Gravedad específica seca al horno

2.61

Grav esp saturada superficialmente seca.	2.65
Gravedad específica aparente	2.72
% de Absorción	1.59

Nota: Elaborado por el autor.

3.3.4. *Gravedad específica fino*

Los valores de gravedad específica (2.45 seco, 2.53 SSS, y 2.67 aparente) indican que el material tiene una densidad moderada. La diferencia entre la gravedad específica seca y la saturada superficialmente seca (SSS) muestra la cantidad de agua absorbida por el material.

El porcentaje de absorción de 3.34% para el agregado fino(arena), es relativamente alto. Esto sugiere, que el material absorberá una cantidad significativa de agua durante la mezcla de hormigón, por lo tanto, será crucial un control riguroso de la humedad para mantener las características de trabajabilidad y resistencia del hormigón.

Tabla 9.

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO.

D A T O S	ENSAYOS		
Masa de la muestra seca al horno	A	gr	290.3
Picnómetro + agua	B	gr	666.2
Picnómetro + Agua+ Muestra SSS	C	gr	847.6
Masa de la muestra SSS	S	gr	300
Gravedad específica seca al horno	2.45		
Grav esp saturada superficialmente seca.	2.53		
Gravedad específica aparente	2.67		
% de Absorción	3.34		

3.3.5. *Pesos Volumétricos*

De acuerdo a la tabla 10 el peso volumétrico promedio de la grava suelta es de 1.37 gr/cm³, lo que indica una densidad baja debido a la gran cantidad de espacios vacíos en la

muestra. En la tabla 11, el peso volumétrico promedio de la grava compactada es de 1.52 gr/cm³, lo cual es superior gracias a la compactación, que reduce los espacios vacíos y aumenta la densidad aparente al reacomodar las partículas del agregado.

Para la arena suelta, en la tabla 12 se representa que el peso volumétrico promedio es de 1.39 gr/cm³. Este valor refleja una densidad aparente típica para este tipo de agregado, aunque todavía presenta espacios vacíos relativamente grandes entre las partículas. A pesar de esto, el valor es adecuado para sus aplicaciones en el diseño y dosificación de hormigón.

3.3.5.1. Pesos Volumétricos de la grava suelta.

Tabla 10.

PESOS VOLUMETRICOS GRAVA SUELTA.

DATOS	ENSAYOS		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	5766.5	5766.5	5766.5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³)	9237	9237	9237
RECIPIENTE + MATERIAL	18601	18558	18240
PESO DEL MATERIAL	12834.5	12791.5	12473.5
PESO VOLUMÉTRICO	1.39	1.38	1.35
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm ³)	1.37		

Nota: Elaborado por el autor.

3.3.5.2. Pesos Volumétricos de la grava compactada.

Tabla 11.

PESOS VOLUMETRICOS GRAVA COMPACTADA.

DATOS	ENSAYOS		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
PESO DEL RECIPIENTE	5766.5	5766.5	5766.5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	9237	9237	9237

RECIPIENTE + MATERIAL	19675	19822	19891.5
PESO DEL MATERIAL	13908.5	14055.5	14125
PESO VOLUMÉTRICO	1.51	1.52	1.53
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm3)	1.52		

Nota: Elaborado por el autor.

3.3.5.3. Pesos Volumétricos de la arena suelta.

Tabla 12.

PESOS VOLUMETRICOS ARENA SUELTA.

DATOS	ENSAYOS		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
PESO DEL RECIPIENTE	4741	4741	4741
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2962.5	2962.5	2962.5
RECIPIENTE + MATERIAL	8906.5	8851.5	8857.5
PESO DEL MATERIAL	4165.5	4110.5	4116.5
PESO VOLUMÉTRICO	1.41	1.39	1.39
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm3)	1.39		

Nota: Elaborado por el autor.

3.3.6. Ensayo de abrasión o máquina de los ángeles

La tabla 13 muestra la cantidad de materiales de acuerdo con el mayor tamaño de agregado disponible. Según los parámetros y especificaciones técnicas, se establece un número de esferas y un peso en gramos de material para realizar el ensayo, tal como se indica en la norma.

Se seleccionó la gradación tipo B, y los resultados del ensayo mostraron un porcentaje de desgaste de 15.31%. Este valor cumple plenamente con los requisitos establecidos por la norma ASTM C131 para la validación de agregados.

Tabla 13.

ENSAYO DE ABRASION.

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
Pasante	Retenido		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
37.5	25		1250±25	-----	-----	-----
					-	-
25	19		1250±25	-----	-----	-----
					-	-
19	12.5		1250±10	2500±10	-----	-----
					-	-
12.5	9.5		1250±10	2500±10	-----	-----
					-	-
9.5	6.3		-----	-----	2500±10	-----
					-	-
6.3	4.75		-----	-----	2500±10	-----
					-	-
4.75	2.36		-----	-----	-----	5000±10
					-	-
TOTAL			5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12					4234.5	
(gramos)						
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN					5000	
(gramos)						
Método utilizado	B	Norma	ASTM C131-03			
ABRASIÓN %	=	$\frac{B-A}{B} * 100$			15.31	CUMPLE

3.3.7. *Ensayo de los Cuatro puntos*

Los resultados obtenidos en este ensayo reflejan el módulo de rotura obtenido de acuerdo a una carga aplicada en la parte central del elemento y calculado con las dimensiones, conjuntamente con la identificación de la zona en donde surgió la falla.

La tabla 14 muestra los resultados del método de curado por inmersión empleado en la investigación, detallando los porcentajes de resistencia obtenida respecto a la resistencia de

diseño $f'c=350 \text{ kgf/cm}^2$, que oscilan entre el 76% y el 105%. Las tres primeras muestras evaluadas a los 14 días desde su elaboración, presentaron valores de módulo de rotura de 3.81, 3.4 y 3.54 MPa, respectivamente.

A los 28 días, los valores obtenidos fueron 4.69, 4.54 y 4.56 MPa, los cuales se ilustran de manera más clara en la figura 14.

Tabla 14.

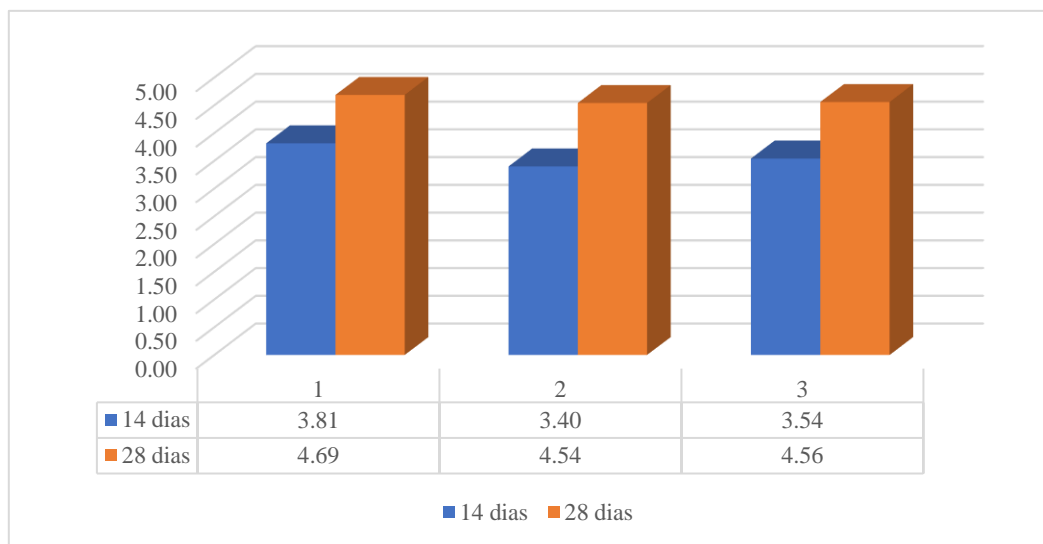
ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON INMERSION.

RESISTENCIA DE DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA	MUESTRA No.	FECHA		EDAD DIAS	LONGITUD (cm)			MR	CARGA Kg f	MR FLEXION	FLEXION %	% RESIS OBTENIDA
			TOMA	ROTURA		l	b	d					
350	307.17	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	15.07	15.25	4.46	2970	3.81	11.11	85.48
350	243.47	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	15.00	15.15	4.46	2600	3.40	9.90	76.16
350	268.10	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	15.15	15.05	4.46	2700	3.54	10.32	79.35
350	357.35	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.10	15.27	4.46	3665	4.69	13.65	105.03
350	357.88	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.15	15.27	4.46	3564	4.54	13.23	101.78
350	354.04	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.12	14.98	4.46	3438	4.56	13.28	102.17

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 14.

Módulos de rotura método de curado con inmersión.



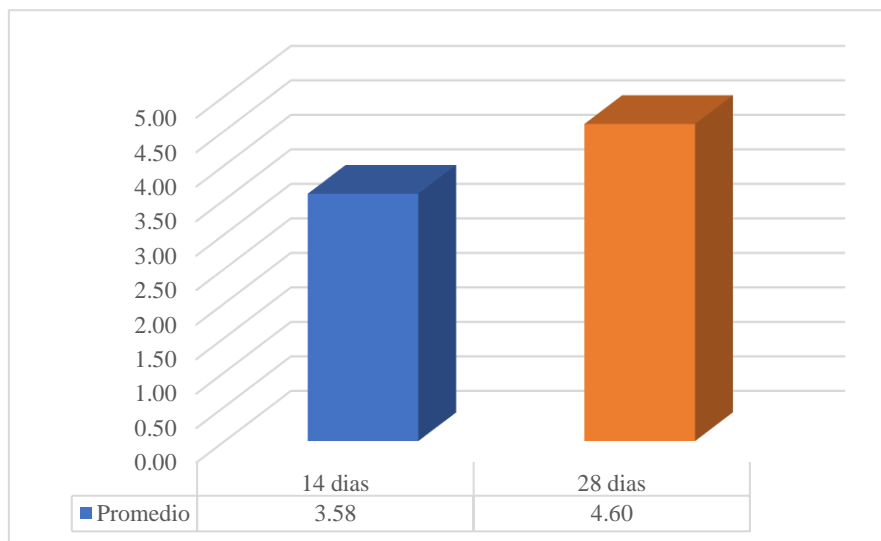
Nota: Elaborado por el autor.

La figura 15 muestra los promedios de módulo de rotura de 3.58 MPa a los 14 días y 4.6 MPa a los 28 días para cada una de las tres muestras ensayadas, de acuerdo al método de

curado por inmersión. Los resultados proponen que dicho método de curado garantiza la resistencia del hormigón.

Figura 15.

Módulos de rotura promedios método de curado con inmersión.



Nota: Elaborado por el autor.

El método de curado con utilización de aditivo, basado en los datos de la tabla 15 y la figura 16, revela un rango de resistencia entre el 25% y el 82%, en relación a la resistencia de diseño $f^c=350 \text{ kgf/cm}^2$. La figura 17 identifica que las tres muestras evaluadas a los 14 y 28 días mostraron un comportamiento similar, con un aumento considerable en el módulo de rotura promedio al pasar de 1.85 MPa a 3.40 MPa, respectivamente. Sin embargo, los resultados indican que la resistencia obtenida no llega a la resistencia de diseño.

Tabla 15.

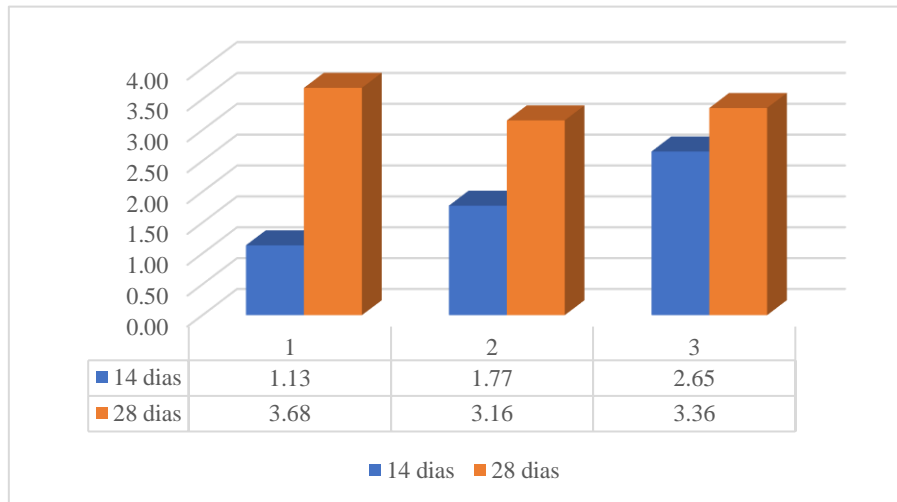
ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON ADITIVO.

RESISTENCIA DE DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA	MUESTRA No.	FECHA		EDAD DIAS	LONGITUD (cm)			MR	CARGA Kg f	MR FLEXION	FLEXION %	% RESIS OBTENIDA
			TOMA	ROTURA		l	b	d					
350	244.22	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	14.87	15.04	4.46	846	1.13	3.30	25.37
350	258.08	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	14.97	14.95	4.46	1320	1.77	5.17	39.78
350	218.43	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	15.07	14.93	4.46	1980	2.65	7.73	59.43
350	258.84	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.07	15.05	4.46	2794	3.68	10.73	82.56
350	248.57	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	14.85	14.93	4.46	2322	3.16	9.19	70.72
350	264.02	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	14.87	14.95	4.46	2479	3.36	9.78	75.24

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 16.

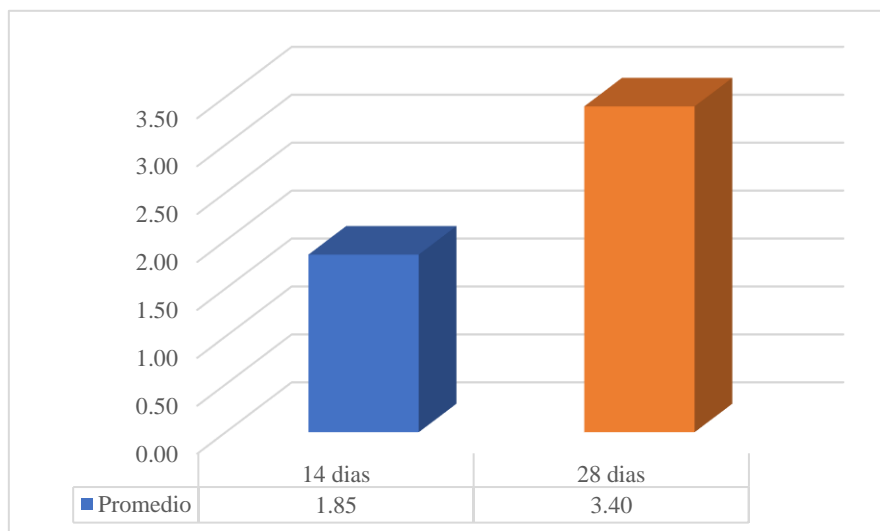
Módulos de rotura método de curado con aditivo.



Nota: Elaborado por el autor.

Figura 17.

Módulos de rotura promedios método de curado con aditivo.



Nota: Elaborado por el autor.

El análisis de los datos de la tabla 16 y la figura 18, correspondientes al método de curado con película plástica, revela un rango de resistencia relativamente amplio con porcentajes que oscilan entre el 57% y el 93%, respecto a la resistencia de diseño $f'_c=350$

kgf/cm². De acuerdo a la figura 19, las tres muestras evaluadas a los 14 y 28 días mostraron un comportamiento similar, con un aumento notable en el módulo de rotura al pasar de 2.78 MPa a 3.71 MPa, respectivamente. Estos resultados manifiestan que las resistencias no alcanzaron los resultados estimados para dicho análisis.

Tabla 16.

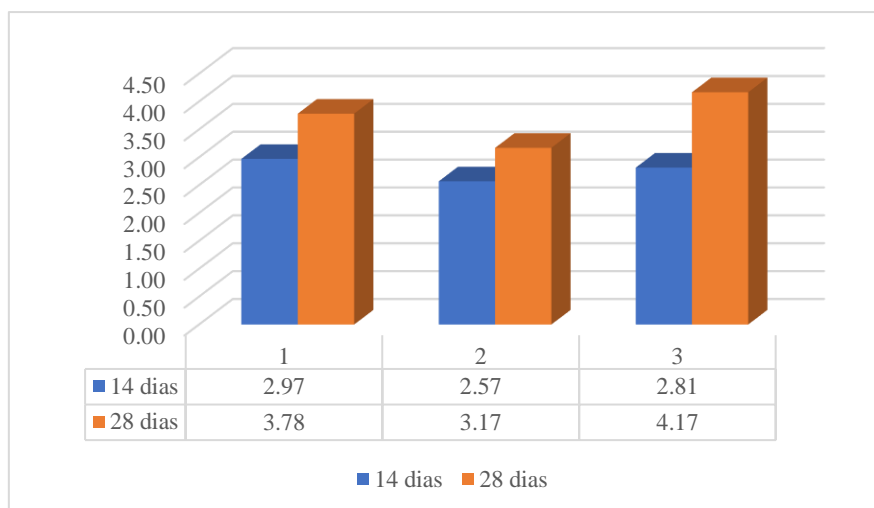
ROTURA DE VIGAS A FLEXOTRACCION, METODO DE CURADO CON PELICULA PLASTICA.

RESISTENCIA DE DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA	MUESTRA No.	FECHA		EDAD DIAS	LONGITUD (cm)			MR	CARGA Kg f	MR FLEXION	FLEXION %	% RESIS OBTENIDA
			TOMA	ROTURA		l	b	d					
350	226.17	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	15.25	14.98	4.46	2260	2.97	8.65	66.57
350	223.96	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	14.98	14.87	4.46	1890	2.57	7.48	57.56
350	218.16	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	45.00	14.92	14.93	4.46	2080	2.81	8.20	63.06
350	234.82	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.05	15.00	4.46	2846	3.78	11.02	84.76
350	258.34	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.00	15.02	4.46	2382	3.17	9.23	71.03
350	231.21	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	45.00	15.03	14.95	4.46	3111	4.17	12.14	93.36

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 18.

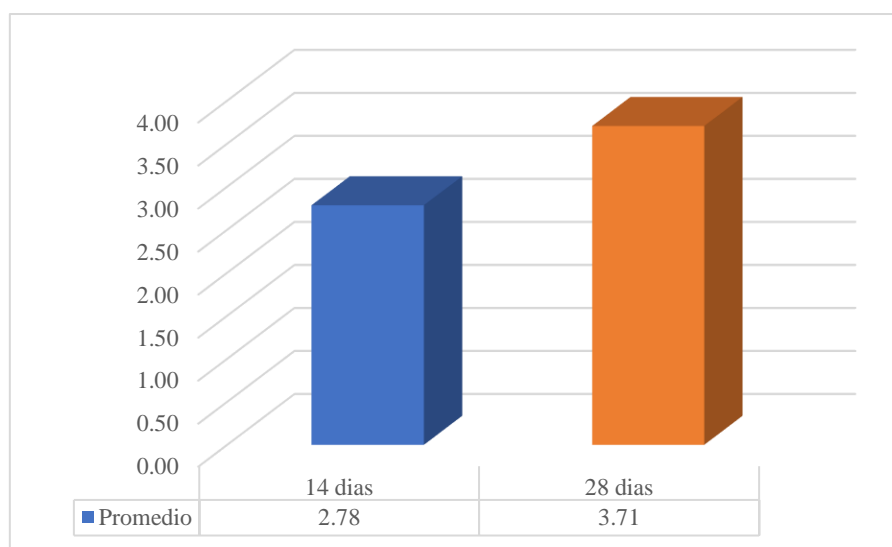
Módulos de rotura método de curado con película plástica.



Nota: Elaborado por el autor.

Figura 19.

Módulos de rotura promedios método de curado con película plástica.



Nota: Elaborado por el autor.

3.3.8. *Ensayo de compresión.*

Los resultados representados en la tabla 17, muestran las resistencias a la compresión por el método de curado por inmersión. Al ensayar las muestras a los 14 días desde su elaboración, se observó que los porcentajes de resistencia variaron entre el 76% y el 87% de su resistencia final. A los 28 días, se alcanzaron las resistencias de diseño al 100%, e incluso en algunos casos se superaron. Los valores promedio de estos porcentajes corresponden a 272.9 Kgf/cm² a los 14 días y 356.4 Kgf/cm² a los 28 días.

La figura 20 muestra una curva de esfuerzo-deformación donde se evidencia la resistencia máxima alcanzada, correspondiente a un esfuerzo de 357.99 Kgf/cm² con una deformación unitaria máxima de 0.0149.

Tabla 17.

ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON INMERSION.

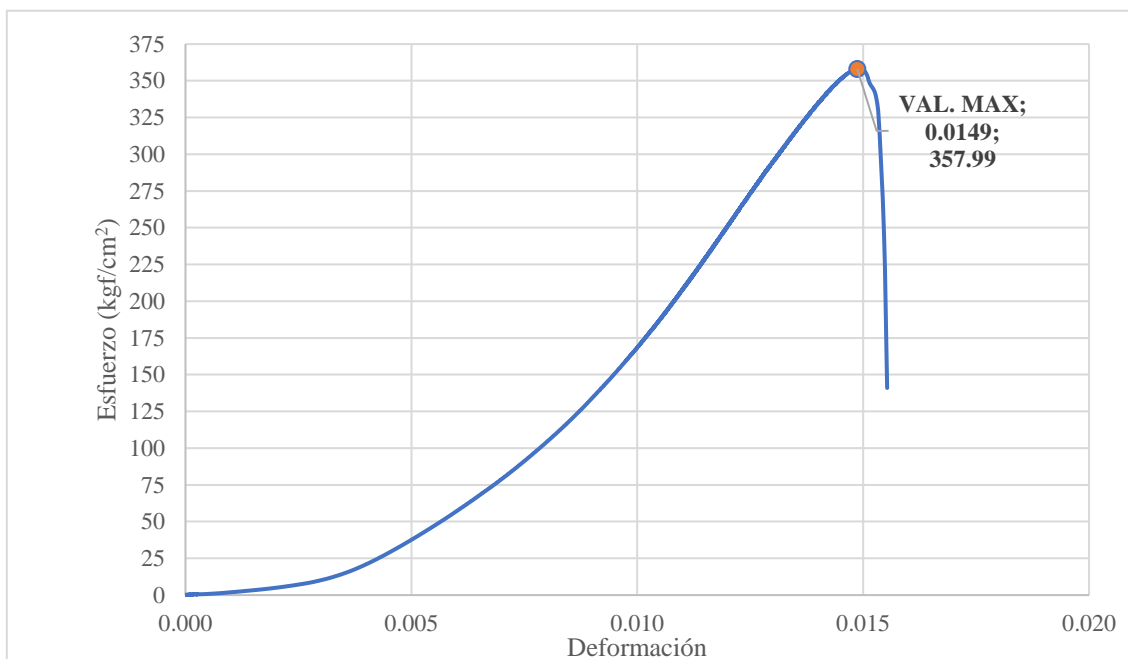
RESISTENCIA DE DISEÑO	CILINDRO No.	FECHA TOMA	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	DIAMETRO cm.	ALTURA cm.	AREA cm ²	PESO gr.	DENSIDAD gr/m ³	CARGA kg.	RESISTENCIA Kg/cm ²	PORCENTAJE %	PROM RESIS Kg/cm ²
350	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.20	20.2	81.71	3829.5	2.320	25100	307.2	87.8	272.9
350	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.15	20.2	80.91	3813.5	2.339	19700	243.5	69.6	

350	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.18	20.2	81.31	3801.5	2.314	21800	268.1	76.6	
350	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.20	20.2	81.71	3824.5	2.314	29200	357.3	102.1	
350	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.18	20.2	81.31	3843.5	2.337	29100	357.9	102.3	356.4
350	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.30	20.1	83.32	3853	2.298	29500	354.0	101.2	

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 20.

Curva esfuerzo – deformación, método de curado con inmersión.



Nota: Elaborado por el autor.

Los datos obtenidos mediante el método de curado por aditivo muestran una variabilidad en la resistencia a compresión de las muestras, oscilando entre el 62% y el 73% a los 14 días, y entre el 71% y el 75% a los 28 días. A pesar de esta mínima variación, se observaron valores promedio de resistencia de 240,2 Kgf/cm² y 257,1 Kgf/cm², respectivamente, para cada período de curado.

La curva esfuerzo-deformación, por su parte, ilustra la capacidad del material para soportar esfuerzos de 264.91 Kgf/cm² con una deformación unitaria máxima de 0.015.

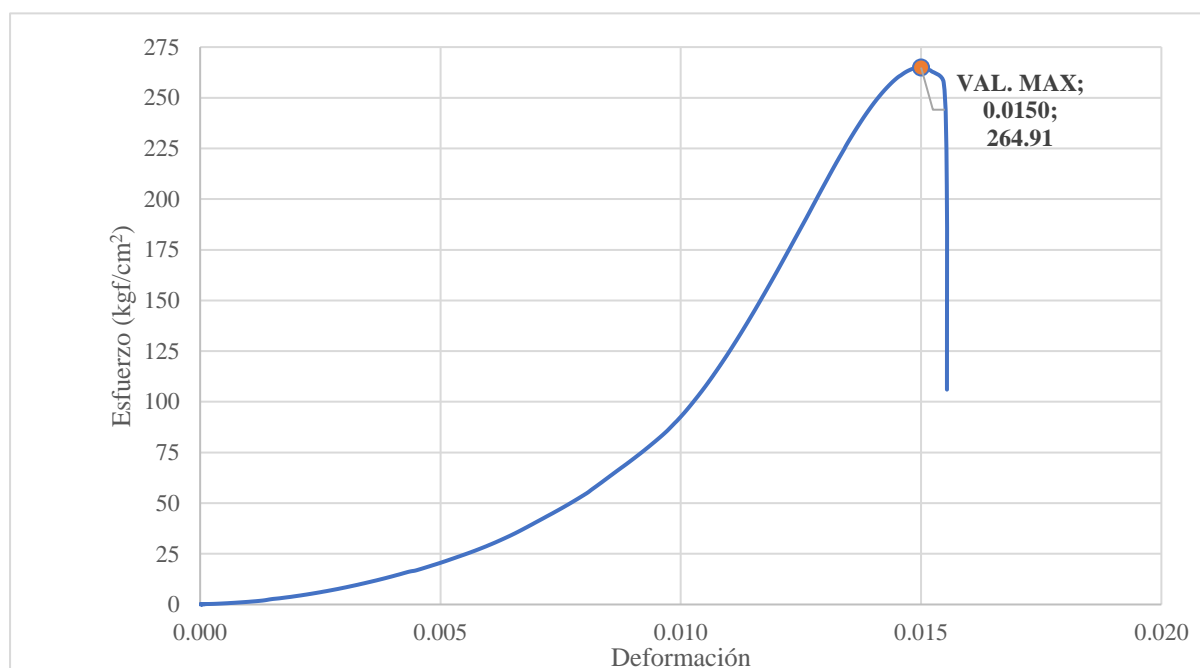
Tabla 18.**ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON ADITIVO.**

RESISTENCIA DE DISEÑO	CILINDRO No.	FECHA TOMA	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	DIAMETRO cm.	ALTURA cm.	AREA cm ²	PESO gr.	DENSIDAD gr/m ³	CARGA kg.	RESISTENCIA Kg/cm ²	PORCENTAJE %	PROM RESIS Kg/cm ²
350	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	15.30	30.3	183.85	12666.5	2.274	44900	244.2	69.8	
350	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.28	20.2	82.92	3772	2.252	21400	258.1	73.7	240.2
350	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.10	20.2	80.12	3676	2.271	17500	218.4	62.4	
350	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	15.35	30.2	185.06	12635	2.263	47900	258.8	74.0	
350	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	15.30	30.1	183.85	12581.5	2.272	45700	248.6	71.0	257.1
350	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	15.33	30.2	184.46	12570.5	2.257	48700	264.0	75.4	

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 21.

Curva esfuerzo – deformación, método de curado con aditivo.



Nota: Elaborado por el autor.

Los cilindros ensayados por el método de curado con película plástica a los 14 días muestran resistencias que oscilan entre 218.2 kg/cm² y 226.2 kg/cm², con un promedio de 222.8 kg/cm². Esto representa un 62.3% a 64.6% de la resistencia de diseño, lo que indica que el hormigón ha alcanzado una parte significativa de su resistencia final en esta etapa temprana de curado.

A los 28 días, las resistencias registradas varían entre 231.2 kg/cm² y 258.3 kg/cm², con un promedio de 241.5 kg/cm². Esto corresponde a un 66.1% a 73.8% de la resistencia de diseño, lo cual es un incremento notable respecto a los valores a los 14 días, aunque todavía por debajo de la resistencia de diseño de 350 kg/cm².

La grafica esfuerzo- deformación de los cilindros con el método de curado con película plástica cuentan con un valor máximo de esfuerzo 258.11 Kgf/cm² y una deformación unitaria máxima de 0.0144.

Tabla 19.

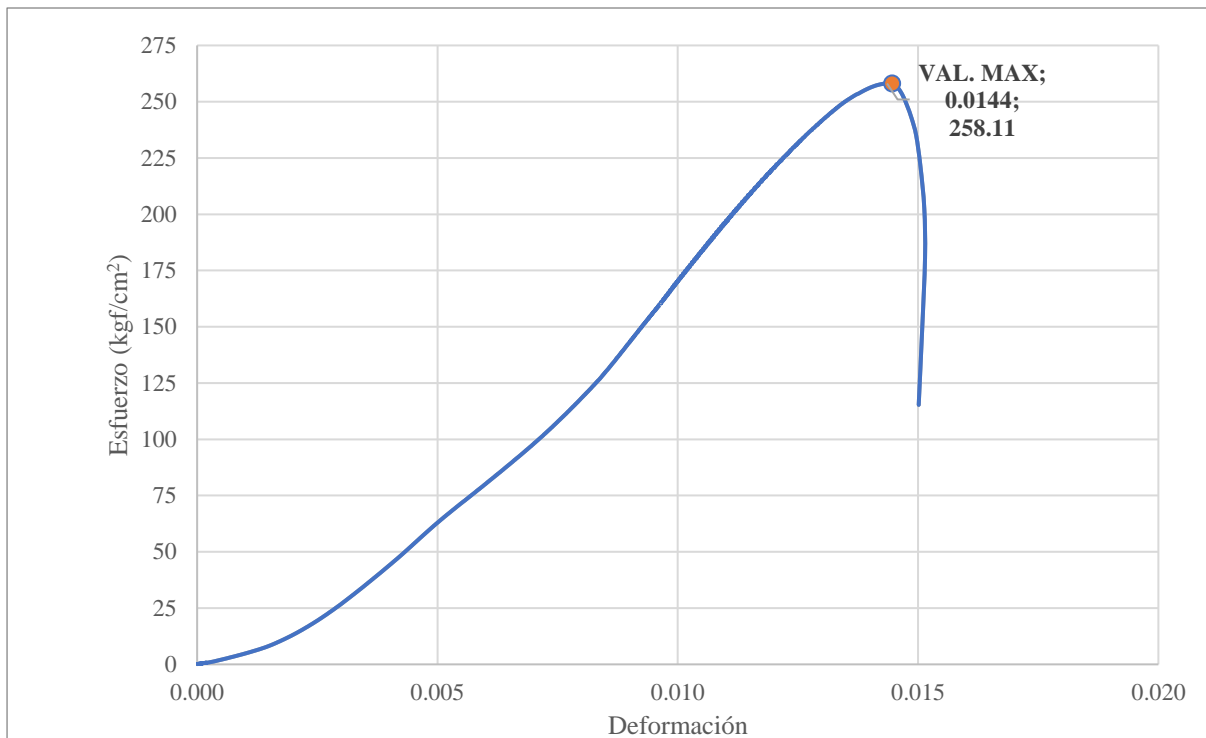
ROTURA DE CILINDROS, METODO DE CURADO CON PELICULA PLASTICA.

RESISTENCIA DE DISEÑO	CILINDRO No.	FECHA TOMA	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	DIAMETRO cm.	ALTURA cm.	AREA cm ²	PESO gr.	DENSIDAD gr/m ³	CARGA kg.	RESISTENCIA Kg/cm ²	PORCENTAJE %	PROM RESIS Kg/cm ²
350	1	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.15	20.2	80.91	3796.5	2.323	18300	226.2	64.6	
350	2	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.20	20.3	81.71	3775.5	2.282	18300	224.0	64.0	222.8
350	3	22-may.-24	5-jun.-24	14	10.14	20.2	80.67	3687	2.268	17600	218.2	62.3	
350	1	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.15	20.3	80.91	3672	2.239	19000	234.8	67.1	
350	2	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.13	20.3	80.52	3753.5	2.297	20800	258.3	73.8	241.5
350	3	22-may.-24	19-jun.-24	28	10.18	20.2	81.31	3695	2.250	18800	231.2	66.1	

Nota: Elaborado por el autor.

Figura 22.

Curva esfuerzo – deformación, método de curado con película plástica.



Nota: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Interpretación y evaluación de los resultados.

Inicialmente, se toman las dimensiones, pesos y cargas de cada una de las muestras cilíndricas ensayadas. Con estos datos, se obtuvieron resultados que corresponden a la resistencia a la compresión, los cuales serán útiles para representar los porcentajes de resistencia alcanzados con respecto a la resistencia de diseño.

El análisis de resultados de este proyecto de investigación incluye los valores resultantes de los módulos de rotura a los 14 y 28 días de los elementos ensayados a flexotracción. Estos valores se calcularon, utilizando la fórmula estipulada de acuerdo con la sección donde se produjo la falla, así como con la carga última aplicada y las dimensiones de la sección donde ocurrió la hendidura de falla.

Estos valores se compararon con los módulos de rotura a los 28 días, donde se alcanza la carga final de diseño, así como con los módulos a los 14 días, que sugieren una carga del 90% de la carga final. Se evaluaron los incrementos de resistencia en esos períodos de tiempo y se verificó si los valores resultantes de la investigación están dentro del rango estipulado por la normativa y la bibliografía confiable.

4.2. Análisis comparativo de métodos de curado.

Cada uno de los métodos empleados en esta investigación presenta características y necesidades específicas, desde la planificación para su correcta ejecución hasta el control y la evaluación de resultados. Es necesario considerar las diferencias entre estos procesos y tener en cuenta las necesidades inherentes desde su inicio hasta la finalización de cada uno de ellos.

El método por inmersión requiere una cantidad considerable de agua o una fuente que permita hidratar los especímenes. Es crucial que el suministro de agua sea continuo o que se mantenga dentro de los niveles y estándares de calidad adecuados.

En contraste, en el proceso de curado con aditivo, y para los fines de esta investigación, se consideró el uso de agua únicamente en la dosificación, además de añadir el aditivo. Esto provocó un cambio en la mezcla, especialmente en su asentamiento, que fue mayor en comparación con otras dosificaciones. Se decidió mantener cada una de las muestras en espacios frescos, evitando cambios bruscos de temperatura. Además, teniendo en consideración los valores del aditivo en el mercado, este podría ser uno de los más costosos respecto a los usados en el proceso de la investigación.

El uso de plástico como método de curado no presentó mayores inconvenientes más allá de envolver los especímenes y mantenerlos en un lugar fresco. Gracias a sus características de transparencia, permitió un control visual del proceso de curado en los tiempos establecidos. Además, desde el punto de vista presupuestario, el plástico utilizado no representó un costo significativo.

Los métodos de curado por aditivo y película plástica obtuvieron resultados no favorables para la investigación. Los procesos y su eficacia podrían ser mejorados mediante el uso complementario de un método de curado tradicional o de hidratación, ya sea este constante o en lapsos de tiempos controlados.

Los métodos de curado expuestos pueden aplicarse en la fabricación de pavimentos, siendo especialmente adecuados los métodos con aditivos y plásticos para este tipo de infraestructuras. El uso de aditivos en la dosificación y la aplicación de una capa plástica sobre la superficie de rodadura son técnicas eficaces para mejorar la durabilidad y resistencia del pavimento.

Dentro de la construcción de pavimentos, el método de curado por inmersión, aunque es efectivo, presenta ciertas complicaciones que pueden requerir trabajos complementarios. Para su aplicación en pavimentos, es necesario crear un encharcamiento en la capa de rodadura, lo cual puede lograrse mediante la construcción de bordes en la calzada que

permitan mantener un nivel de agua estable. Este método, aunque eficaz, requiere una mayor planificación y recursos para asegurar su correcta implementación.

4.3. Comparación e Interpretación de resultados.

Con el objetivo de evaluar la influencia de diferentes métodos de curado en el desarrollo de la resistencia del concreto, se realizaron ensayos de compresión a los 14 y 28 días. Las Tablas 20 y 21 presentan los resultados de la resistencia a la compresión para cada método de curado (inmersión, aditivos, plástico), incluyendo un análisis estadístico individual.

Curado por Inmersión:

A los 28 días, la resistencia mínima alcanzó 354.044 kgf/cm² y la máxima fue de 357.877 kgf/cm², con una media de 356.424 kgf/cm², mostrando una variabilidad muy baja y una desviación estándar de solo 2.077 kgf/cm², lo que sugiere un comportamiento uniforme y consistente en las muestras.

La resistencia aumentó en 83.51 MPa entre los 14 y 28 días, lo que representa una mejora del 30.6%. El curado por inmersión es eficiente, permitiendo que el concreto alcance la resistencia de diseño en el tiempo establecido, con una notable mejora de la resistencia después de 14 días.

Curado con Aditivo:

En la evaluación a los 28 días, la resistencia mínima alcanzó 248.567 kgf/cm² y la máxima fue de 264.021 kgf/cm², con una media de 257.174 kgf/cm²; en este caso, la variabilidad fue moderada, con una desviación estándar de 7.865 kgf/cm², lo que refleja una ligera dispersión en los valores de resistencia.

La resistencia aumentó en 16.932 MPa entre los 14 y 28 días, lo que representa una mejora del 7%. El curado con aditivo mejora ligeramente la resistencia con el tiempo, pero sigue sin ser suficiente para alcanzar la resistencia de diseño.

Curado con Plástico:

En los ensayos realizados a los 28 días, la resistencia mínima fue de 231.206 kgf/cm² y la máxima de 258.335 kgf/cm², con una media de 241.453 kgf/cm²; en este caso, la variabilidad fue mayor, con una desviación estándar de 14.731 kgf/cm², indicando una mayor dispersión en los resultados de las muestras curadas con plástico.

La resistencia aumentó en 18.692 MPa entre los 14 y 28 días, una mejora del 8.4%. El curado bajo plástico no presenta una evolución y sigue siendo el método menos eficiente.

Tabla 20.

DATOS ESTADÍSTICOS DE RESISTENCIAS A COMPRESION A LOS 14 DÍAS.

	Inmersión	Aditivo	Plástico
Mínimo	243.469	218.427	218.160
Máximo	307.173	258.083	226.167
Media	272.914	240.242	222.761
Mediana	268.101	244.216	223.955
Desviación Estándar	32.124	20.125	4.135

Nota: Elaborado por el autor.

Tabla 21.

DATOS ESTADÍSTICOS DE RESISTENCIAS A COMPRESION A LOS 28 DÍAS.

	Inmersión	Aditivo	Plástico
Mínimo	354.044	248.567	231.206
Máximo	357.877	264.021	258.335
Media	356.424	257.142	241.453
Mediana	357.349	258.838	234.818
Desviación Estándar	2.077	7.865	14.731

Nota: Elaborado por el autor.

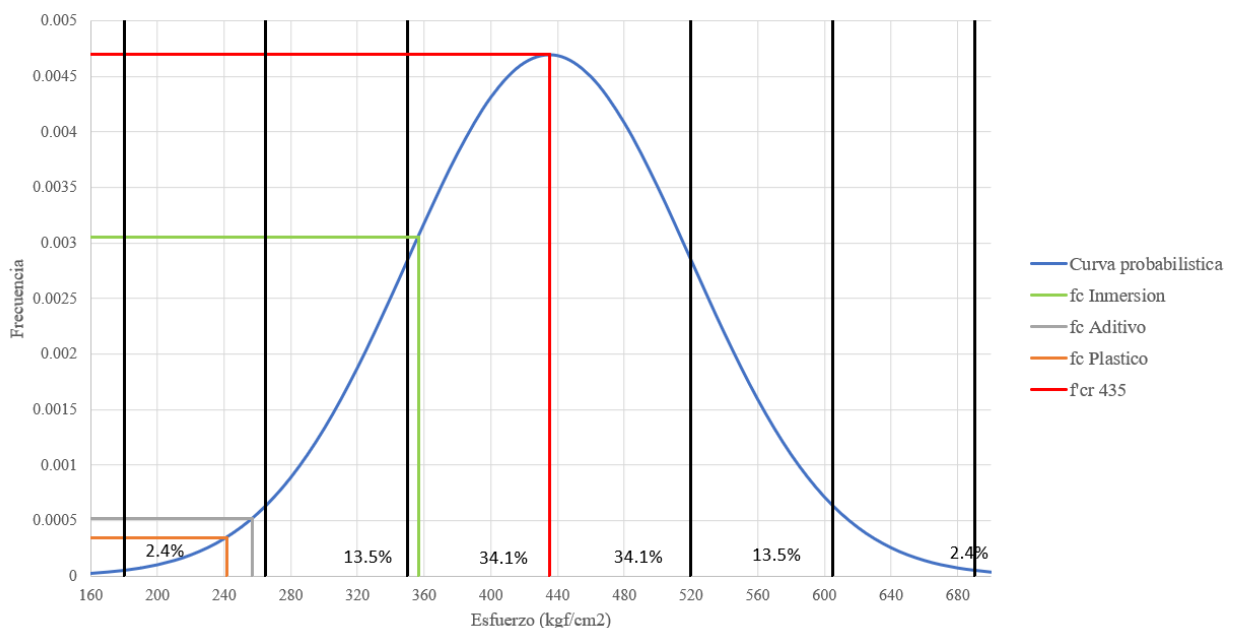
En la figura 23 se identifica la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los intervalos de resistencia en relación con la resistencia f'_{cr} . Esta resistencia considera una desviación estándar de 85 kgf/cm² para nuestro hormigón base. Según los resultados, los ensayos realizados con los métodos de curado mediante aditivos y película plástica se encuentran comprendidos dentro del intervalo mínimo de 180 a 265 kgf/cm², el cual, de

acuerdo con la normativa ACI 318, corresponde a un 2.4% de probabilidad de obtener la resistencia crítica de diseño f'_{cr} , bajo la cual se elaboraron las probetas cilíndricas.

El método de curado por inmersión no solo se encuentra en el rango óptimo de resistencias, sino que tiene una probabilidad del **84.1%** de proporcionar resistencias que superen la resistencia de diseño y alcanzar la resistencia crítica. En cambio, los métodos de curado con aditivos y película plástica muestran una probabilidad muy baja (15.9%) de alcanzar los niveles de resistencia requeridos, lo que implica el no cumplimiento de los criterios de diseño estructural del presente tema de investigación.

Figura 23.

Curva probabilística de ocurrencia.



Nota: Elaborado por el autor.

Comparación de Módulos de Rotura a 14 y 28 Días

La figura 24 muestra los módulos de rotura (MR) obtenidos a los 14 y 28 días para cada uno de los métodos de curado:

- MR Inmersión: Presenta el mayor incremento, con un MR de 3.58 a los 14 días y 4.60 a los 28 días.

- MR Aditivo: A los 14 días, se obtiene un MR de 1.85, incrementándose a 3.40 a los 28 días.
- MR Plástico: A los 14 días, el MR es de 2.78, alcanzando 3.71 a los 28 días.

Curado por Inmersión:

Este método muestra los mejores resultados, con los mayores módulos de rotura a los 14 y 28 días. La inmersión asegura una hidratación constante, lo que favorece el desarrollo de la resistencia del concreto.

Curado con Aditivo:

Este método presenta el menor MR a lo largo de los 28 días, lo que indica que el uso de aditivos, aunque mejora la manejabilidad de la mezcla, podría no ser tan efectivo para incrementar la resistencia en comparación con los otros métodos. Para efectos de los resultados anhelados sería correcto evaluar las probetas, identificando varias dosificaciones según lo permita la ficha técnica del aditivo o a su vez puede ser complementada con un proceso de aplicación recurrente de agua a modo que se mantenga la hidratación de los especímenes.

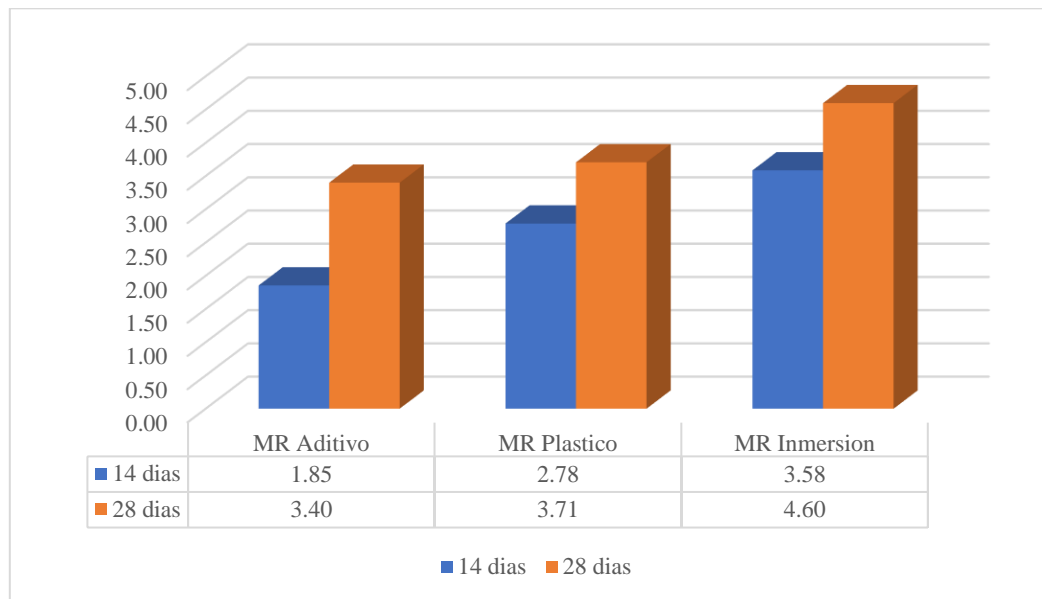
Curado con Plástico:

Muestra un rendimiento intermedio, superando al curado con aditivo, pero siendo menos efectivo que el curado por inmersión. El uso de plástico ayuda a retener la humedad, lo cual es crucial para el desarrollo de la resistencia.

Una hidratación completa y homogénea es crucial para alcanzar parámetros de calidad óptimos al ensayar las muestras. Por ello, sería indispensable combinar de manera adecuada el uso de plástico con la aplicación de agua de forma constante o en períodos controlados, para garantizar resultados idóneos.

Figura 24.

Módulos de rotura promedios de los diferentes métodos de curado.



Nota: Elaborado por el autor.

Comparación con Normas ACI

En la figura 25, 26 las líneas rojas (continua y entrecortada) representan los límites de los módulos de rotura según la norma ACI, que deben estar entre el 10% y el 15% de la resistencia obtenida.

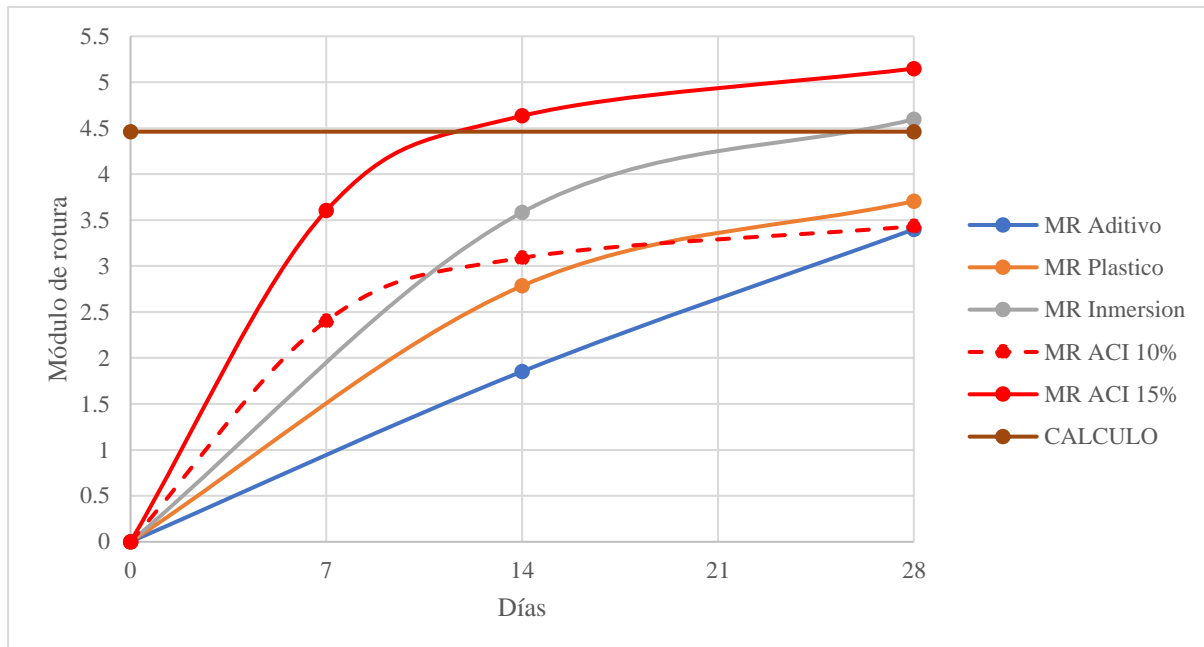
Curado con Aditivo y Plástico: Los módulos de rotura obtenidos están por debajo del $M_r = 4.5$ MPa que se refiere al promedio de los rangos especificados por la norma ACI, además, se indica que solamente que el método con plástico está dentro de los rangos establecidos lo que en conclusión manifiesta que pueden no cumplir completamente con los estándares requeridos para ciertas aplicaciones estructurales.

Curado por Inmersión: Este método se acerca más a los límites superiores del rango ACI, su M_r a los 28 días sobrepasa el $M_r = 4.5$ MPa promedio, cumpliendo con los requisitos normativos de manera más consistente.

Figura 25.

Curvas de módulos de rotura a los 28 días, respecto a la resistencia de diseño

$$f'c=350\text{kgf/cm}^2.$$



Nota: Elaborado por el autor.

A diferencia de la figura 25, la figura 26 representa el análisis de los módulos de rotura con los límites representativos al 10 y 15% de la resistencia crítica de diseño (f'_{cr}).

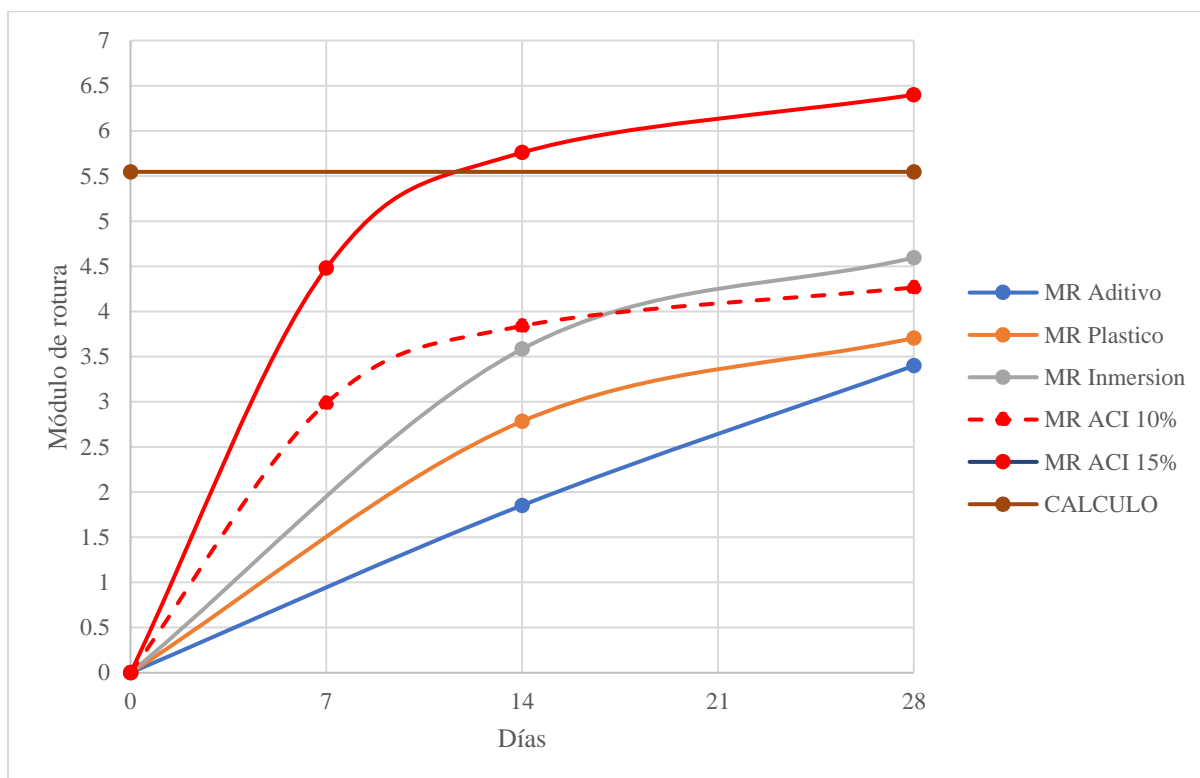
El método de inmersión (línea gris) muestra un comportamiento progresivo desde el día 0 hasta el día 28, alcanzando un valor cercano a 4,6 MPa de módulo de rotura mientras que el curado con aditivo y plástico alcanzaron valores máximos de 3.4 MPa y 3.71 MPa respectivamente.

Los resultados de los ensayos de flexotracción revelan una clara diferencia en el desempeño de los distintos métodos de curado. El método de curado por inmersión supera a los métodos de aditivo y plástico en términos de resistencia a los 14 y 28 días. Sin embargo, ninguno de los métodos alcanza la resistencia de diseño crítica f'_{cr} (5,5 MPa), representada por la línea marrón horizontal. Estos hallazgos sugieren que es necesario optimizar los

ensayos de curado con plástico y aditivo para aumentar su resistencia y alcanzar al menos el valor de diseño $f'c$.

Figura 26.

Curvas de módulos de rotura a los 28 días, respecto a la resistencia crítica de diseño $f'cr=435\text{kgf/cm}^2$.



Nota: Elaborado por el autor.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Cada método empleado en la investigación tiene características y requisitos específicos, que van desde la planificación hasta la ejecución y evaluación de resultados. Es crucial entender las diferencias y necesidades de cada proceso desde su inicio hasta su finalización para asegurar una aplicación correcta y efectiva.

El diseño presentado cumplió de manera muy satisfactoria con las fajas granulométricas propuestas por la norma ACI 211 para el diseño de hormigones, lo cual garantizó el empleo de este método para la dosificación sin tener que usar métodos alternativos para ajustar la granulometría. En lo que respecta a la relación agua-cemento (a/c), se utilizó 0.38 tanto para el hormigón de prueba como para cada uno de los especímenes realizados.

A lo largo del periodo de prueba, se observa un incremento en la resistencia del hormigón, como es esperado en los procesos de curado. Sin embargo, en algunos métodos de curado incluso a los 28 días, las resistencias alcanzadas aún no llegan al 100% de los 350 kg/cm² como es el caso del aditivo y película plástica que cuenta con una resistencia promedio de 73.47% y de 68.99% respectivamente.

El método de curado por inmersión ha demostrado ser el más eficaz en términos de resistencia final, alcanzando hasta el 105% de la resistencia de diseño y mostrando valores consistentes de resistencia a la compresión.

Respecto a los módulos de rotura, los métodos de curado con plástico y aditivos no lograron cumplir con los límites establecidos por la norma ACI para la resistencia crítica de diseño ($f'_c = 435 \text{ kgf/cm}^2$). Sin embargo, al analizar los límites de la resistencia de diseño ($f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$), solo el método de curado con aditivos quedó fuera del rango con el 0.97%, para alcanzar el límite inferior. Bajo las condiciones de diseño y tiempos de rotura

establecidos, el curado por inmersión demuestra ser el método más adecuado para obtener la máxima resistencia en el hormigón, gracias a la hidratación homogénea que favorece el desarrollo de la estructura cristalina del cemento.

El aditivo empleado no favoreció los valores de diseño base y no mostró un incremento significativo en la compresión ni en el módulo de rotura (MR) resultantes del ensayo de flexotracción. Se puede concluir que las dosis utilizadas para su aplicación en conjunto con el hormigón fueron insuficientes y que dicho aditivo es inconsistente debido a las condiciones y variaciones de nuestro medio.

El método de curado con plástico, si bien ofrece resultados intermedios entre el de inmersión y aditivo, presenta una variabilidad en su desempeño. Dada esta incertidumbre, no se considera adecuado para garantizar la durabilidad requerida en proyectos viales en la ciudad de Cuenca.

Los resultados del análisis probabilístico indican que el curado por inmersión es el método más eficaz para asegurar que el hormigón alcance y supere la resistencia crítica de diseño (f'_{cr}), con una probabilidad de éxito del 84.1%. Por el contrario, los métodos de curado con aditivos y película plástica se encuentran en un rango de resistencia significativamente menor (180-265 kgf/cm²) y una probabilidad muy baja (15.9%) de cumplir con los requisitos establecidos en la norma ACI 318. Estos resultados evidencian la superioridad del curado por inmersión para garantizar la durabilidad y seguridad estructural de las construcciones de pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca.

Recomendaciones

Se recomienda la combinación de métodos tradicionales y modernos de curado, como el uso de aditivos junto con la hidratación controlada o el uso de películas plásticas complementadas con aplicaciones de agua. Esto puede mejorar la efectividad del curado y los resultados en términos de resistencia y durabilidad.

Es esencial mantener un control estricto de los parámetros de curado, como la calidad del agua, la temperatura ambiente y el ajuste de aditivos en la dosificación. Además, el registro meticuloso de las dimensiones y pruebas periódicas para asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad.

Al seleccionar métodos de curado, es importante considerar el costo de los materiales y la logística de implementación. Métodos más económicos como el uso de plástico pueden ser preferibles en situaciones de presupuesto limitado, pero deben complementarse con técnicas que aseguren una hidratación adecuada.

Para aplicar el método de curado por inmersión en pavimentos, es necesario planificar y preparar adecuadamente la infraestructura, como la construcción de bordes en la calzada para mantener el agua o a su vez aplicar una capa de arena combinada con agua de tal manera que funcione como una cubierta húmeda. Esto requiere una planificación detallada y recursos adicionales, pero puede ser una solución eficaz para proyectos específicos donde se requiere una resistencia y durabilidad excepcionales.

A partir de esta investigación se recomienda implementar nuevos métodos de curado o, a su vez, corregir y mejorar los actuales, añadiendo o cambiando las proporciones de los materiales utilizados, como la relación a/c o los aditivos. Además, sería ideal probar estos métodos con diferentes marcas del material cementante, complementándolo con la combinación de los métodos tradicionales de aplicación de agua.

Se sugiere realizar una investigación más exhaustiva sobre el método de curado con productos químicos, para comprender los mecanismos de acción de estos compuestos, evaluar sus efectos a largo plazo y garantizar su uso responsable.

Futuras investigaciones podrían explorar la combinación de diferentes aditivos o la modificación de las dosificaciones a incorporar de modo que se mejoren los resultados y el proceso de curado sea eficiente tanto en laboratorio como en proyectos viales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO 93. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- AASHTO T19M/T19-14. (2014). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*.
- ACI 318. (2014). *Building Code Requirements For Structural Concrete*.
- ACI Committee 211.1-91. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- Alatorre Gonzáles, J., & Uribe Afif, R. (n.d.). *Agregados para concreto*. Retrieved December 27, 2023, from <https://www.imcyc.com/revista/1998/junio/adregados.htm>
- American Concrete Institute (ACI) Committee 221. (2001). Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete. In *American Concrete Institute (ACI): Vol. R-96* (pp. 1–29). http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20221R-96%20R01%20Guide%20for%20Use%20of%20Normal%20Weight%20and%20Heavyweight%20Aggregates%20in%20Concrete_MyCivil.ir.pdf
- Apaza, T. (2022). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ sometido a diferentes temperaturas de curado para pavimentos*.
- ASTM C29/C29M-97. (1997). Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. In *ASTM International, 1997*. https://doi.org/10.1520/C0029_C0029M-97
- ASTM C31/C31M-08a. (2008). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. In *ASTM International, 2008*. https://doi.org/10.1520/C0031_C0031M-08A
- ASTM C33/C33M-18. (2018). Standard Specification for Concrete Aggregates. In *ASTM International, 2018*. https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18
- ASTM C78/C78M-18. (2018). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). In *ASTM International, 2018*. https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-18
- ASTM C127-15. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. In *ASTM International, 2015*. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>.
- ASTM C128-15. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. In *ASTM International, 2015*. <https://doi.org/10.1520/C0128-15>.
- ASTM C131/C131M-14. (2014). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. https://doi.org/10.1520/C0131_C0131M-14
- ASTM C136-01. (2001). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. In *ASTM International, 2001*. <https://doi.org/10.1520/C0136-01>
- ASTM C138/C138M-17a. (2017). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. In *ASTM International, 2017*. https://doi.org/10.1520/C0138_C0138M-17A

- ASTM C143/C143M-10. (2010). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. In *ASTM International*, 2010. https://doi.org/10.1520/C0143_C0143M-10
- ASTM C172/C172M-17. (2017). Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete. In *ASTM International*, 2017. https://doi.org/10.1520/C0172_C0172M-17
- ASTM C470/C470M-02. (2002). Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. In *ASTM International*, 2002. https://doi.org/10.1520/C0470_C0470M-02
- ASTM C535-16. (2016). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. <https://doi.org/10.1520/C0535-16>
- ASTM D75/D75M-14. (2014). *Standard Practice for Sampling Aggregates*. https://doi.org/10.1520/D0075_D0075M-14
- ASTM, I. (2005). *ASTM C494/C949M-19: Standard specification for chemical admixtures for concrete*. January, 1–10.
- Burgos, B. M. (2014). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE VALDIVIA*.
- Cárdenas, P. (2014). *Diseño De Pavimentos Y Análisis Económico De La Calle Paseo Tres De Noviembre Y De La Calle Colombia, De La Ciudad De Cuenca* [Universidad Del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3640/1/10320.pdf>
- Chillón Chillón, L. A. (2019). *INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO ELABORADO EN CLIMAS FRÍOS* [Investigativo]. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.
- Contreras, S., & Velazco, C. (2018). Análisis Comparativo Del Método De Curado En Especímenes De Losas De Concreto Simple, Simulando Condiciones Constructivas De Obra En La Ciudad De Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, 145.
- Crespo Crespo, J. E. (2018). *Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Fiallos Iglesias, J. A. (2027). *Investigación de un Plan de Manejo del Deterioro del Pavimento de la Vía Cumbe – La Jarata*. Universidad de Cuenca.
- GAD Municipal de Cuenca. (2023). *División del Territorio del Cantón Cuenca*. https://www.cuenca.gob.ec/index.php/page_divisionterritorio
- Garin, L., Santilli, ; A, & Pedoja, ; E. (2012). Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: estudio experimental. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 1–6.
- González, G., & Vanegas Emiro. (2016, May). *Metodos de Diseños para Pavimentos Rigidos-* Studocu. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad->

- autonoma-de-campeche/disenio-de-maquinas/metodos-de-disenos-para-pavimentos-rigidos/27200787
- Huamani Choque, M. M. (2022). *Análisis a flexión en concretos de alta resistencia para pavimentos rígidos empleando curado acelerado*, Av. Universitaria, Ica, 2021. Universidad César Vallejo.
- Latorre Aizaga, H. J. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. In *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación* (Vol. 9, Issue 3, pp. 47–68). <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i3.3161>
- León, P. M., & Ramírez, F. (2010). Morphological characterization of concrete aggregates by means of image analysis Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Ingeniería de Construcción*, 2, 215–240. www.ing.puc.cl/ric
- Mahecha, J., & Ramos, Y. (2020). ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO (CONCRETO HIDRÁULICO) EN UN TRAMO DE 100 METROS ENTRE LA CALLE 78C SUR #18-44, Y LA CALLE 78C SUR #17J-92, UBICADA EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR, BOGOTÁ. *JOHN. UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO*, 4(1). <https://doi.org/10.23850/25907441.3139>
- Maiguashca, L. (2022). *Metodología De Control De Calidad Para La Construcción De Pavimentos Rígidos En Vías De Alto Tráfico, Que Optimice Su Vida Útil*.
- Manobanda, C. D. (2013). EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS FINALES. In *Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/12640>
- MOP. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. 001 F, 772. http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
- Morales, M. (2017). *Protección y curado del concreto en obra | PPT*. <https://es.slideshare.net/slideshow/proteccion-y-curado-del-concreto-en-obra-72559913/72559913#28>
- Municipalidad de Cuenca. (2015). *Plan de movilidad y Espacios públicos de Cuenca* (p. 118). https://www.cuenca.gob.ec/system/files/PMEP_CUENCA_2015_tomo_I.pdf
- NEVI-12. (2012). Libro para norma para estudios y diseños viales. In *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador: Vol. Volumen 2A*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf
- Pastrana-Ayala, J., Silva-Urrego, Y., Adrada-Molano, J., & Delvasto-Arjona, S. (2019). PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES PRODUCIDOS CON POLVO DE RESIDUO DE CONCRETO. *Informador Técnico*, 1–17. <https://doi.org/10.23850/22565035.2170>

- Portland Cement Association. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*.
- Prado, D. (2018). *Análisis estructural de pavimentos rígidos a través de métodos no destructivos y aplicación de elementos finitos: vía Cuenca - Molleturo en el tramo Sayausí - Tres Cruces*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Puga Alvarez, C. N. (2018). *Evaluación funcional de pavimento rígido tramo avenida Loja (Cuenca)*. Universidad de Cuenca.
- Sika Ecuatoriana S.A. (2016). *Sikaplast® 2001-R*.
- Suca, L. (2017). MÉTODOS DE CURADO EN PAVIMENTO RÍGIDO REFORZADO EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN TRAMO AV. INDEPENDENCIA - AV. HUANCANÉ JULIACA - 2016. *Universidad a Las Peruanas*, 136.
- Suca Pampa, L. M. (2017). *MÉTODOS DE CURADO EN PAVIMENTO RÍGIDO REFORZADO EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN TRAMO AV. INDEPENDENCIA - AV. HUANCANÉ JULIACA - 2016* [Investigativo]. UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS.
- Villafuerte Salas, H. E. (2019). *Curado y protección del concreto en climas fríos para evaluar el desempeño mecánico del pavimento rígido en la Carretera Oyon-Ambo 2019*. Universidad César Vallejo.
- Zambrano Navarrete, L. D., Alava Santos, R. J., Ruíz Párraga, W. E., & Menéndez Menéndez, E. A. (2022a). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35–47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>
- Zambrano Navarrete, L. D., Alava Santos, R. J., Ruíz Párraga, W. E., & Menéndez Menéndez, E. A. (2022b). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35–47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>
- Zárate Falconí, J. P. (2019). *Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián – Zhud, en los tramos de pavimento rígido*. Universidad de Cuenca.
- Zárate, J. (2019). *Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián – Zhud, en los tramos de pavimento rígido*. Univerrrsidad de Cuenca.

ANEXOS

Anexo 1. Cuarteo de agregado grueso.



Anexo 2. Cuarteo de agregado fino.



Anexo 3. Granulometría agregado grueso.**Anexo 4. Granulometría agregado fino.**

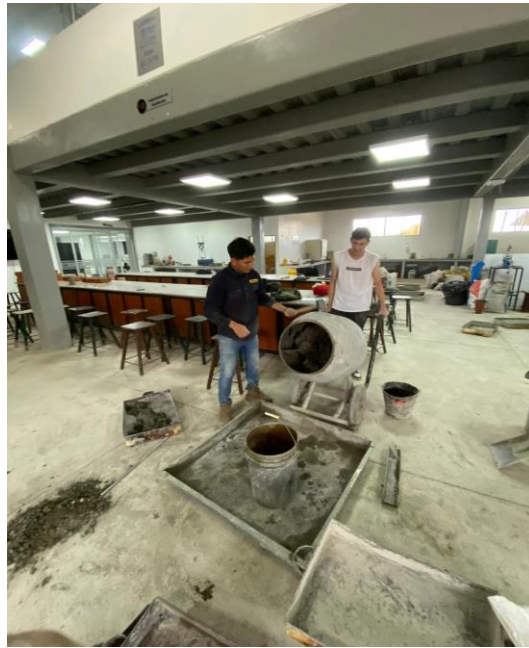
Anexo 5. Pesos específicos.



Anexo 5. Pesos volumétricos.



Anexo 6. Elaboración de especímenes.



Anexo 7. Curado de especímenes.



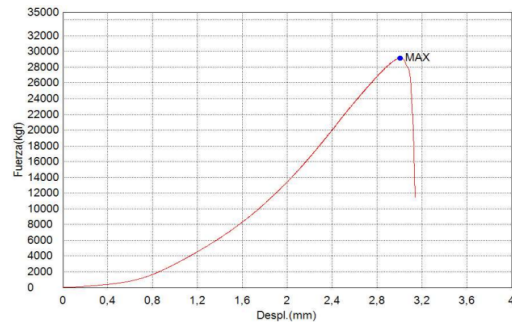
Anexo 8. Rotura de vigas.**Anexo 9. Rotura de cilindros.**

Anexo 10. Resultados Inmersión.

Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	20240528_1949.txt	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	28/5/2024	Fecha de ensayo	28/5/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2.5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 - 1	29100	356
Media	29100	356
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000



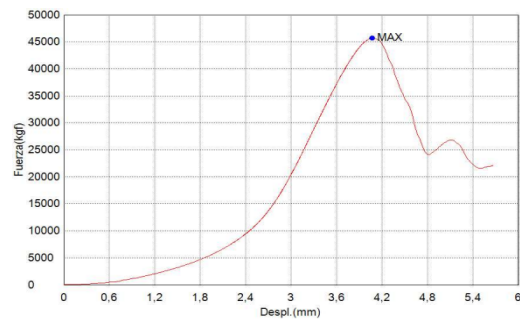
Comentarios

Anexo 11. Resultados Aditivo.

Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	20240619_1523.txt	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	19/6/2024	Fecha de ensayo	19/6/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2.5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Tension
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 - 1	45700	249
Media	45700	249
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000



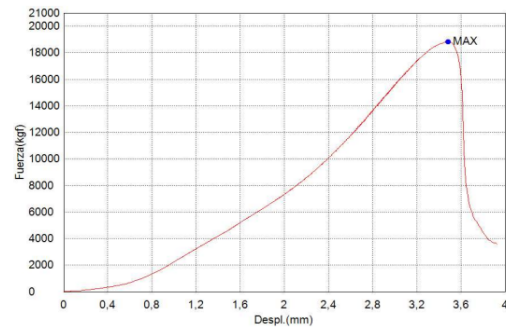
Comentarios

Anexo 12. Resultados Película plástica.

Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	.20240619_1729.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	19/6/2024	Fecha de ensayo	19/6/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2.5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Area	Max. Tension Calc. at Entire Area
Unidad	kgf	kgf/cm2
1 - 1	18800	231
Media	18800	231
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0.00000	0.00000

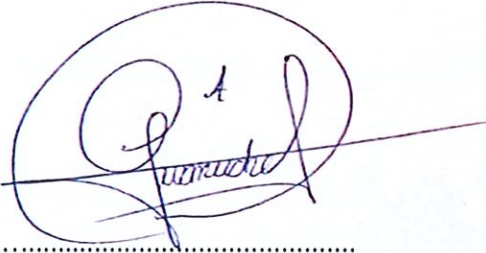


AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **José Luis Cárdenas Peralta y Anderson Geovanny Guanuche Angamarca** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º **0105480461 y 1900771237**. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Métodos de curado para hormigones en pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **09 de septiembre de 2024**

F:
José Luis Cárdenas Peralta
C.I.: 0105480461


F:
Anderson Geovanny Guanuche Angamarca
C.I.: 1900771237