



Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO FIBRAS DE
CÁSCARA DE MANÍ COMO ADICIÓN DE ORIGEN NATURAL**

TESIS PREVIA A LA TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

ZAMBRANO BASURTO JAMIL ANTONIO

ASESOR ACADÉMICO:

ING. JORGE EDUARDO GARCÍA ARGANDOÑA

MANTA - MANABÍ - ECUADOR

2024

 Uleam <small>UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ</small>	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:


Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Zambrano Basurto Jamil Antonio, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 192 horas, cuyo tema del proyecto es "HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO FIBRAS DE CASCARA DE MANÍ COMO AGREGADO DE ORIGEN NATURAL".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 23 de Diciembre de 2024

Lo certifico,


Ing. Jorge Eduardo García Argandoña
Docente Tutor
Area: Vías

Declaración de Autoría

Yo, Zambrano Basurto Jamil Antonio, declaro bajo mi responsabilidad que el presente trabajo de titulación, titulado "Hormigón para pavimento rígido incorporando fibras de cáscara de maní como adición de origen natural", es de mi completa autoría. Este documento es resultado de mi esfuerzo, investigación y análisis, y no ha sido presentado previamente para la obtención de ningún título académico ni se encuentra en proceso de evaluación en otra institución educativa.

Certifico que todas las fuentes de información y referencias utilizadas han sido debidamente citadas y reconocidas, cumpliendo con los estándares éticos y académicos correspondientes. Asimismo, cualquier similitud con otros trabajos es puramente incidental.

Por lo tanto, asumo la total responsabilidad sobre el contenido, análisis y resultados presentados en este documento.



Egdo. Zambrano Basurto Jamil Antonio
1312448549

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: "HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO INCORPORANDO FIBRAS DE CÁSCARA DE MANÍ COMO AGREGADO DE ORIGEN NATURAL" elaborado por la egresada: ZAMBRANO BASURTO JAMIL ANTONIO de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Yuri Rodríguez Andrade, Mg.
Miembro del tribunal

Ing. Alex Morán Guzmán, Mg.
Miembro del tribunal

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y fe en mí, en especial a mis padres, que con sacrificio y esfuerzo me enseñaron el valor del trabajo y la educación, y a mis hermanos, por ser mi inspiración y mis compañeros de vida; a mis amigos, que me acompañaron en los momentos de dificultad y celebraron conmigo cada pequeño logro; a mis profesores, cuyo conocimiento y dedicación dejaron una huella imborrable en mi formación profesional; y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad. Este logro es el reflejo de cada esfuerzo, consejo y apoyo que recibí en este camino.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia y el ejemplo de esfuerzo que me han dado; a mis profesores, por su guía y conocimientos que enriquecieron mi formación profesional; y a mis amigos y compañeros, por su compañerismo y ánimo durante este camino. También extendo mi gratitud a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de este proyecto.

Síntesis

El proyecto busca desarrollar un hormigón para pavimentos rígidos utilizando fibras de cáscara de mani como aditivo, con el objetivo de ofrecer una solución innovadora y sostenible que reduzca la huella ecológica al aprovechar un residuo agrícola en lugar de materiales convencionales, reduciendo las emisiones de CO₂ emanadas a la atmosfera por parte de la industria de la construcción. Se evaluaron las propiedades mecánicas del hormigón modificado, específicamente su resistencia a la compresión y flexocompresión, para optimizar su desempeño en aplicaciones viales. La metodología aplicada consistió en la preparación de mezclas de hormigón con diferentes proporciones de fibras de cáscara de mani, siguiendo dosificaciones específicas para probetas cilíndricas y en forma de vigas. Se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días, donde las probetas con un 2% de agregado alcanzaron los valores más cercanos al objetivo de 280 Kg/cm² a los 28 días, mientras que las probetas en forma de vigas superaron el 25% de la resistencia requerida, evidenciando el aporte positivo de las fibras en esfuerzos de flexocompresión. Las conclusiones resaltan que un contenido moderado de fibras mejora el equilibrio entre resistencia y trabajabilidad del hormigón, aunque se recomienda realizar estudios a largo plazo para evaluar el comportamiento del material durante su vida útil.

Palabras clave

Hormigón, Huella ecológica, Emisiones de CO₂, Cáscara de mani, Propiedades mecánicas.

Abstract

The project aims to develop concrete for rigid pavements using peanut shell fibers as an additive, with the goal of offering an innovative and sustainable solution that reduces the ecological footprint by utilizing an agricultural waste instead of conventional materials, thereby lowering CO₂ emissions from the construction industry. The mechanical properties of the modified concrete, specifically its compressive and flexural strength, were evaluated to optimize its performance in road applications. The methodology involved preparing concrete mixes with different proportions of peanut shell fibers, following specific dosages for cylindrical specimens and beam-shaped samples. Tests were conducted at 7, 14, and 28 days, showing that specimens with 2% fiber content achieved values closest to the target of 280 kg/cm² at 28 days, while beam-shaped samples exceeded 25% of the required flexural strength, demonstrating the positive contribution of the fibers under flexural stress. The conclusions highlight that a moderate fiber content improves the balance between strength and workability of the concrete. However, it is recommended to conduct long-term studies to evaluate the material's performance throughout its service life.

Keywords

Concrete, Ecological footprint, CO₂ emissions, Peanut shell, Mechanical properties.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos	IV
Síntesis	V
Abstract	VI
Índice de contenido	VII
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	1
Formulación del problema	1
Objetivos de la investigación.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Justificación	2
Limitaciones de la investigación.....	2
Hipótesis de investigación	3
Hipótesis general.....	3
Variables	3
Variables independientes	3
Variables dependientes	3
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1 Antecedentes de estudio.....	4
1.1.1 Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento: Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas.....	4
1.1.2 Uso de la cáscara de maní en paneles prefabricados para viviendas de interés social.....	4
1.1.3 Bloque de hormigón reforzado con fibras de coco y cáscara de maní.	4
1.2 Bases teóricas	5

1.2.1 El hormigón y su huella ecológica.....	5
1.2.2 Alternativas para reducción de huella ecológica.	5
1.2.3 Uso del hormigón en infraestructuras viales.	6
1.2.4 Propiedades de un hormigón	7
1.2.5 Ensayos al hormigón.....	7
1.2.6 Normativas aplicadas en la tesis:.....	9
1.2.7 Método de densidades optimas.....	9
1.2.8 Dosificación por el método ACI (American Concrete Institute).....	9
1.2.9 Polaridad de Materiales en el Hormigón	10
1.2.10 Incompatibilidad de Agregados en el Hormigón.....	11
1.3 Definición de términos	12
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE	14
2.1. Uso de Cáscara de Maní en Materiales de Construcción	14
2.2. Residuos Agroindustriales en la Elaboración de Bloques de Hormigón	14
2.3. Innovaciones en Materiales de Construcción Sostenibles	15
2.4. Economía Circular y Reutilización de Residuos Agroindustriales	15
2.5. Desafíos y Perspectivas Futuras.....	16
CAPITULO III: METODOLOGÍA	17
3.1 Metodología empleada: investigativo Experimental.....	17
3.2 Materiales utilizados.....	17
Materiales principales:.....	17
Equipos y herramientas:	19
3.3 Proceso Experimental	21
3.3.1 Preparación de los materiales:.....	22
3.3.2 Elaboración de las mezclas:	22
3.3.3 Moldeo y curado de las probetas y vigas:	29
3.4 Ensayos realizados	29

3.4.1 Ensayo de compresión:	29
3.4.2 Ensayo de flexocompresión:	30
3.5 Análisis de Datos	30
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
Resultados.....	31
Análisis y discusión de resultados	38
Interpretación de los resultados en relación con los objetivos planteados	38
Comparación con estudios previos y normas técnicas	39
Implicaciones del uso de agregados naturales en el diseño de hormigones	39
Conclusiones.....	40
Recomendaciones	41
Referencias Bibliográficas.....	42
Anexos.....	45

Índice de Figuras

Figura 1 Grava de 3/4"	18
Figura 2 Arena homogenizada.....	18
Figura 3 Arena lavada	19
Figura 4 Cilindros para probetas.....	20
Figura 5 Recipiente grande para curar las probetas	20
Figura 6 Báscula electrónica.....	21
Figura 7 Mezcladora eléctrica para mezclar los agregados.....	21
Figura 8 Ruptura de probetas sin añadido luego de ensayos.....	31
Figura 9 Ruptura de probetas con añadido al 2% luego de ensayos.....	32
Figura 10 Ruptura de probetas con añadido al 4% luego de ensayos.....	33
Figura 11 Ruptura de probetas con añadido al 6% luego de ensayos	34
Figura 12 Gráfico de incremento de esfuerzos de probeta cilíndricas.....	34
Figura 13 Esquema de modelos típicos de fractura	35
Figura 14 Ensayo de flexocompresión para vigas	35
Figura 15 Ruptura de probetas forma de viga sin añadido luego de ensayos.....	36
<i>Figura 16</i> Ruptura de probetas forma de viga con añadido luego de ensayos.....	37
Figura 17 Grafico de incremento de esfuerzos de las probetas viga(Kg/cm ²).	38

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos de los materiales a utilizar	22
Tabla 2 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.	23
Tabla 3 Contenido de aire atrapado	23
Tabla 4 Requisito de agua en relación al revenimiento del concreto.	24
Tabla 5 Relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.....	24
Tabla 6 Relaciones agua / cemento para concreto sujeto a exposiciones severas.....	25
Tabla 7 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	25
Tabla 8 Cálculo tentativo del peso del concreto fresco	26
Tabla 9 Cantidades en volumen absoluto obtenidas.....	27
Tabla 10 Comparación entre el peso estimado vs Volumen absoluto	28
Tabla 11 Corrección de humedad y absorción	28
Tabla 12 Probetas cilíndricas sin agregado (muestra base)	31
Tabla 13 Probetas cilíndricas con adición al 2%	32
Tabla 14 Probetas cilíndricas con adición al 4%	32
Tabla 15 Probetas cilíndricas con adición al 6%	33
Tabla 16 Probetas forma de viga sin añadido (muestra)	36
Tabla 17 Probetas forma de viga con añadido.	37

Índice de Anexos

Anexo 1.....	45
Anexo 2.....	46
Anexo 3.....	47
Anexo 4.....	48
Anexo 5.....	49
Anexo 6.....	50
Anexo 7.....	51

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, aunque vital para el desarrollo humano, es una de las actividades con mayor impacto ambiental. Se estima que genera cerca del 8% de las emisiones globales de CO₂ (principalmente por la producción de cemento). A esto se suma el aumento de residuos sólidos y la contaminación del agua. Lo anterior resalta la necesidad urgente de buscar materiales alternativos (más sostenibles) que mantengan las propiedades mecánicas y físicas del hormigón.

En este contexto, la investigación propone el uso de fibras de cáscara de maní como aditivo en mezclas de hormigón destinadas a pavimentos rígidos. Esta iniciativa no solo pretende reducir el impacto ambiental de la construcción, sino también aprovechar un residuo agrícola importante, especialmente en la provincia de Manabí, conocida por su producción de maní.

El estudio analiza las propiedades del hormigón modificado, enfocándose en su resistencia a la compresión y flexocompresión. Además, se busca optimizar las proporciones de mezcla para garantizar un rendimiento adecuado (especialmente en vías que soportan desgaste constante). En resumen, este proyecto aspira a desarrollar un material innovador, combinando sostenibilidad, eficiencia estructural y practicidad, beneficiando así al sector de la construcción y al medio ambiente.

Planteamiento del problema

Como se detalla más adelante, la industria de la construcción deja una gran huella ecológica negativa en el ambiente tanto en emisión de gases con efecto invernadero, así como en contaminación de las aguas, el encontrar algún material que permita mitigar la creciente demanda del mismo supondría un avance positivo que permitiría reducir la huella de carbono de la industria de la construcción sin frenar el avance de la infraestructura que ayuda el mismo.

Formulación del problema

¿Cómo podemos encontrar y utilizar materiales de construcción alternativos que sean más sostenibles y ecológicos, sin comprometer la calidad y la eficiencia de la construcción, para reducir la huella de carbono de la industria de la construcción?

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Elaborar un hormigón aprovechando las fibras de cáscara de maní para obtener un hormigón resistente para su uso en carreteras.

Objetivos específicos

- ✓ Aplicar la mezcla y dosificación previamente establecida para alcanzar una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm² en las probetas de hormigón, evaluando su desempeño y verificando los resultados mediante ensayos experimentales a 7, 14 y 28 días.
- ✓ Someter las probetas a ensayos de compresión y flexo-compresión para constatar que su comportamiento alcance la resistencia planteada.

Justificación

La industria de la construcción es una de las más importantes a nivel mundial, sin embargo, también es una de las que más impacto negativo tiene sobre el medio ambiente. La emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación de las aguas son solo algunos de los problemas asociados a esta industria. A pesar de los avances tecnológicos, la demanda de materiales de construcción sigue en aumento, lo que agrava aún más estos problemas ambientales. Por lo tanto, es imperativo encontrar y utilizar materiales de construcción alternativos que sean más sostenibles y ecológicos, sin comprometer la calidad y la eficiencia de la construcción. Esta investigación busca contribuir a la reducción de la huella de carbono de la industria de la construcción, aprovechando un material desechado como residuo y que suele quemarse para eliminarse, pero al reutilizarlo e incorporarlo en el sector de la construcción resultará en beneficios significativos tanto para el sector de la construcción como para el medio ambiente en general.

Limitaciones de la investigación

Esta presente investigación se enfocará principalmente en hormigón para la construcción de vías de pavimento rígido ya que son de las más sometidas a desgaste

constante y utilizando materiales locales que es como se suelen trabajar ya en proyectos de este ámbito.

Hipótesis de investigación

Hipótesis general

La implementación de las fibras de la cáscara de maní como adición mejora la resistencia a esfuerzos del hormigón.

Variables

Variables independientes

Adición de fibras de cáscara de maní al hormigón: Esta será constante en la investigación, por ende, no tendrá ninguna dependencia de algún factor más que su misma disponibilidad que queda a manos del investigador.

Variables dependientes

Resistencia a la compresión y flexocompresión del hormigón: Esta variable depende específicamente de las propiedades que se obtengan a analizar las fibras en estudio, por ello, no son asumibles hasta obtener resultados de la misma.

Diseño de la mezcla óptima de hormigón: Debido a que se buscará una cantidad idónea para aportar resistencia sin mermar las otras propiedades del hormigón, dependerá de los resultados que se requieran esperar para adicionar más o menos de la misma.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de estudio

1.1.1 Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento: Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas.

El estudio analiza cómo diversos tratamientos químicos aplicados a las cáscaras de maní pueden mejorar la interacción con la matriz cementicia en materiales compuestos. Se realizaron pruebas mecánicas en muestras con tratamientos superficiales para aumentar la compatibilidad y adhesión. Los resultados demostraron que algunos tratamientos, como la alcalinización, incrementaron la resistencia a la compresión y la flexocompresión, lo que sugiere que este residuo agrícola puede ser una alternativa viable y sostenible para mejorar el rendimiento de materiales constructivos (Gatani M. &., 2010).

1.1.2 Uso de la cáscara de maní en paneles prefabricados para viviendas de interés social.

Esta investigación se centra en el aprovechamiento de la cáscara de maní como material sostenible en paneles prefabricados para viviendas económicas. Se evaluaron propiedades físicas, como la densidad y la absorción de agua, así como propiedades mecánicas, como la resistencia a la flexión y compresión. El estudio concluyó que los paneles que incorporan cáscara de maní ofrecen un buen desempeño estructural y una reducción en el peso, favoreciendo soluciones constructivas más económicas y ecológicas en sectores de bajos recursos (M. A. Villar, 2022).

1.1.3 Bloque de hormigón reforzado con fibras de coco y cáscara de maní.

El trabajo propone la combinación de fibras naturales, como el coco y la cáscara de maní, en bloques de hormigón para optimizar su resistencia y reducir el peso total del material. Se llevaron a cabo ensayos de compresión, flexión y análisis de flexocompresión en bloques con diferentes proporciones de fibras. Los resultados evidenciaron mejoras considerables en la resistencia mecánica y una menor densidad, lo cual hace a estos bloques una opción adecuada para construcciones ligeras y sostenibles, contribuyendo a la reutilización de residuos agrícolas (Vásconez Vásconez, 2020).

1.2 Bases teóricas

1.2.1 El hormigón y su huella ecológica.

La industria de la construcción es una de la mayores contaminante por producción de CO₂ del planeta, ya que según la Agencia Internacional de la Energía, la industria cementera es responsable de alrededor del 8% de las emisiones mundiales de CO₂, ocupando el tercer lugar por debajo de la producción de energía y el transporte (El Diario, 2023).

Sin embargo, si se considera todo el sector de la construcción en conjunto, suma hasta un 39% de las emisiones de CO₂, un 30% de los residuos sólidos y 20% de la contaminación de las aguas; debido a esta se busca constantemente reducir el consumo de cemento con el uso de añadidos u otros materiales que permitan mejorar sus resistencia usando menos producto de esta forma se podría reducir volumétricamente la cantidad de hormigón utilizado y por ende se requeriría menos cantidad del mismo para de esta forma reducir su creciente demanda debido al crecimiento económico productivo y poblacional del planeta (growingbuildings, 2019).

1.2.2 Alternativas para reducción de huella ecológica.

La agricultura es uno de los sectores más importantes para el ser humano siendo esta la que sustenta el alimento global en conjunto con ganadería y pesca, pero esta actividad también produce gran contaminación por el nivel de tecnicidad, así como uso de químicos y así provocando una gran cantidad de producto desperdiciado y si añadimos todos los residuos que esta produce ya que en su mayoría no se aprovechan todo lo que la misma origina (cáscara, fibras residuales tallos, entre otros), actualmente muchas entidades y personas buscan la manera de aprovechar los residuos producidos por la agricultura y darle un uso productivo a los mismos y de esta forma reducir la huella ecológica de la misma (FAO, 2018).

1.2.2.3 El maní

El maní es una oleaginosa originaria de Sudamérica y es un ingrediente esencial en la gastronomía de varios países al rededor del mundo, sobre todo en la gastronomía ecuatoriana. Dentro del Ecuador, su cultivo se lo realiza tradicionalmente en las provincias

de la costa como Manabí y el Oro. (Acaro Imaicela, 2021). La siguiente investigación hablará en detalle desde las variedades de maní hasta su importancia en la cocina manabita.

Según el Plan de Desarrollo Provincial, Manabí produce aproximadamente 18.000 toneladas de maní al año. Esta producción representa una parte significativa de la producción nacional de maní en Ecuador, que se estima entre 12.000 y 15.000 hectáreas cultivadas anualmente en las provincias de Manabí, Loja, El Oro y Guayas. Sin embargo, en los últimos años, la producción nacional ha mostrado una disminución, pasando de 32.000 toneladas a 16.000 toneladas, lo que implica una caída del 50%. A pesar de esta disminución, Manabí sigue siendo una de las principales provincias productoras de maní en el país.

El maní es una leguminosa originaria de Sudamérica, la cual depende de la mano del hombre para sobrevivir, corresponde a un género con alrededor de 60 especies identificadas en las tierras bajas del río Amazonas; es una planta autógama, es decir, que se poliniza por sí misma y los casos de cruzamientos naturales son debidos a insectos polinizadores como las abejas, es un arbusto que puede llegar a medir entre 30 y 80 cm, sus frutos crecen bajo tierra y se ubican entre las raíces, recubiertos con cáscara rugosa de color café en la cual se encuentran de uno a cuatro semillas; cada semilla puede llegar a medir entre cinco a diez milímetros (Krapovickas, 2004).

El uso de los residuos del maní en los elementos constructivos no es algo totalmente nuevo ya que han existido proyectos para el uso del mismo en combinación con cal y agua para la creación de bloques de hormigón que han mostrado muy buenos resultados, así mismo, se han realizado pruebas para hormigón estructural donde, en pruebas a compresión han mostrado valores significativamente positivos sobre todo sus capacidades de retención de agua en el mismo, propiedad fundamental para un correcto desarrollo de la resistencia del hormigón.

1.2.3 Uso del hormigón en infraestructuras viales.

Las vías de hormigón armado son infraestructuras viales construidas con pavimento de hormigón reforzado con acero, lo que proporciona una mayor resistencia y durabilidad frente a cargas pesadas y condiciones climáticas adversas. Este tipo de pavimento es común en autopistas, carreteras de alto tránsito y entornos urbanos donde se requiere una superficie resistente y de larga vida útil (Julian, s.f).

1.2.3.1 Características principales:

- **Durabilidad:** El hormigón armado ofrece una vida útil prolongada, reduciendo la necesidad de mantenimientos frecuentes.
- **Resistencia estructural:** La combinación de hormigón y acero soporta cargas pesadas y distribuye de manera uniforme las tensiones.
- **Mantenimiento reducido:** Aunque la inversión inicial puede ser mayor, los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo suelen ser menores en comparación con otros tipos de pavimentos.
- **Sostenibilidad:** El uso de materiales locales y la posibilidad de reciclar componentes hacen que este tipo de construcción sea más amigable con el medio ambiente.

En cuanto al consumo anual de hormigón en la construcción de vías, se estima que a nivel mundial se producen alrededor de 25 mil millones de toneladas de hormigón cada año, lo que equivale a más de 3.8 toneladas por persona. Aunque no hay datos específicos que indiquen qué porcentaje de esta producción se destina exclusivamente a la construcción de vías, es razonable suponer que una parte significativa se utiliza en este sector, dado el volumen de proyectos de infraestructura vial en todo el mundo. (IECA, s.f.)

1.2.4 Propiedades de un hormigón

El hormigón es una mezcla de cemento, agua y agregados finos y gruesos, utilizado principalmente para cimentaciones y elementos estructurales. Las proporciones de cada uno de esos materiales permite obtener propiedades diferentes del mismo, por lo que, para conocer qué proporción de dichos elementos se debe utilizar es necesario realizar los ensayos respectivos de cada material para conocer las propiedades específicas del material a utilizar y de esta forma determinar que tanto utilizar.

1.2.5 Ensayos al hormigón

Los ensayos que se realizan a los materiales del hormigón para conocer sus proporciones son variados y dependen de la etapa del proceso y del objetivo del ensayo. Entre los más comunes se encuentran:

1.2.5.1 Ensayos del Hormigón Fresco:

- Tomar Muestras: Las muestras deben ser representativas y con un volumen entre 1,25 y 1,50 veces el volumen de las probetas.
- Ensayos de Consistencia: Se realizan para determinar la consistencia de la pasta. Los más comunes son el Cono de Abrams y la Mesa de Sacudidas.
- Contenido del Aire Ocluido: Este ensayo determina la cantidad de aire atrapado en la mezcla de hormigón.
- Ensayo para Determinar la Densidad: Este ensayo mide la densidad del hormigón fresco.

1.2.5.2 Ensayos del Hormigón Endurecido:

- Ensayos Destructivos: Determinan la resistencia del hormigón por medio de la rotura de probetas o de piezas de hormigón.
- Ensayos no Destructivos: Mediante estos ensayos se determina la calidad del hormigón sin destruir su estructura.

1.2.5.3 Ensayos según su Finalidad:

- Ensayos Previos: Se realizan antes del comienzo de las obras; determinan la dosificación del hormigón según las condiciones de ejecución.
- Ensayos Característicos: Se realizan a fin de comprobar si la resistencia y dispersión del material en obra están dentro de los límites del proyecto.
- Ensayos de Control: Estos ensayos se efectúan con probetas moldeadas en obra para comprobar si la resistencia del hormigón se mantiene igual o mayor que la exigida.
- Ensayos de Información: Se realizan a fin de conocer la resistencia del material correspondiente a una parte y con una edad determinada en la obra.

1.2.6 Normativas aplicadas en la tesis:

- INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico - determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.
- ASTM C293, INTE 06-02-11: Hormigón de cemento hidráulico - determinación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto (carga al centro)

1.2.7 Método de densidades óptimas

Este método se basa en determinar las proporciones adecuadas de los componentes del hormigón (cemento, agregados y agua) para lograr una mezcla que cumpla con los requisitos de resistencia, flexocompresión y consistencia; la base de este método de diseño de mezclas es utilizar la cantidad de pasta mínima necesaria para obtener un hormigón de buena calidad. Para ello, se debe obtener una combinación de agregados fino y grueso que deje el menor porcentaje de vacíos y de esta forma determinar la dosificación del hormigón, se halla con el método de la densidad óptima, la cual nos arroja un valor a utilizar tanto de agua, agregado grueso, fino y cemento, dependiendo de la resistencia que se desea obtener. En algunos casos, este método se ha utilizado para determinar la resistencia a la compresión del hormigón preparado a partir de materiales reciclados (Alcuacer Gabriela, 2019).

1.2.8 Dosificación por el método ACI (American Concrete Institute)

El método ACI (American Concrete Institute) para la dosificación de concreto es un procedimiento ampliamente utilizado que permite diseñar mezclas de hormigón de forma eficiente y precisa, asegurando la calidad y resistencia del producto final. Este método se basa en varios parámetros esenciales como la resistencia requerida, la trabajabilidad, el tamaño máximo del agregado, el contenido de aire, y las condiciones de exposición del concreto. Su principal ventaja es la flexibilidad que ofrece al ajustarse a diferentes materiales y requisitos específicos del proyecto. El diseño por el método ACI involucra calcular la proporción adecuada de cemento, agua, agregados finos y gruesos, y, en caso necesario, aditivos, para garantizar la mezcla óptima según las características del proyecto; en el caso específico de un hormigón con resistencia de 280 Kg/cm², el método ACI recomienda

determinar primero la relación agua-cemento óptima basada en la resistencia requerida. Por ejemplo, para 280 Kg/cm², una relación agua-cemento típica oscila entre 0.45 y 0.55, dependiendo de la calidad de los materiales (Bolivar, 2006).

1.2.9 Polaridad de Materiales en el Hormigón

La polaridad de un material se refiere a la distribución desigual de cargas eléctricas en sus moléculas, lo que genera un polo positivo y un polo negativo. En el contexto del hormigón, la polaridad afecta la interacción entre sus componentes, especialmente entre el cemento, los agregados y los aditivos (Neville, 2011).

1.2.9.1 Relevancia en el hormigón:

- Los materiales polares, como el agua y el cemento, tienen una alta capacidad de formar enlaces químicos y físicos entre sí, lo que contribuye a la hidratación del cemento y al desarrollo de la resistencia mecánica.

- Los materiales no polares (como ciertos agregados o aditivos orgánicos) pueden tener baja afinidad química con los materiales polares del hormigón, lo que puede afectar la cohesión de la mezcla (Mehta, 2014).

1.2.9.2 Impacto de la polaridad:

- La polaridad influye en la trabajabilidad del hormigón fresco, afectando su consistencia y facilidad de colocación.

- Puede modificar la adherencia entre los agregados y la pasta cementicia, lo cual es crucial para garantizar una distribución uniforme de esfuerzos dentro del material endurecido.

- También juega un papel en la compatibilidad química entre aditivos, agregados y cemento. Por ejemplo, aditivos superplastificantes no polares pueden interactuar desfavorablemente con cementos de alta polaridad, reduciendo su eficacia. (Mehta, 2014)

1.2.10 Incompatibilidad de Agregados en el Hormigón

La incompatibilidad de agregados en el hormigón ocurre cuando los agregados utilizados no presentan las características físicas, químicas o mecánicas adecuadas para interactuar de forma eficiente con el cemento y otros componentes de la mezcla. Esto puede dar lugar a problemas como disminución de la resistencia, fisuras o incluso fallas estructurales prematuras. (ASTM, 2017)

1.2.10.1 Causas de incompatibilidad:

La incompatibilidad de los agregados en el hormigón puede deberse a múltiples factores que afectan su desempeño y durabilidad. Estas causas están relacionadas con las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales, las cuales pueden generar problemas en la mezcla, el fraguado y el comportamiento del hormigón endurecido. Identificar estas incompatibilidades es esencial para garantizar la calidad del material y prevenir fallas estructurales a largo plazo.

1. Propiedades físicas:

- Tamaño y distribución inadecuada de partículas (granulometría).
- Forma irregular o angular de los agregados, que puede dificultar la trabajabilidad de la mezcla.

2. Propiedades químicas:

- Presencia de impurezas químicas (como sulfatos, cloruros o materia orgánica) que interfieren en las reacciones de hidratación del cemento.
- Reacciones químicas perjudiciales, como la reacción álcali-agregados (RAA), en la cual ciertos agregados reaccionan con los álcalis del cemento, generando expansiones y fisuras en el hormigón.

3. Compatibilidad mecánica:

- Diferencias significativas en los módulos de elasticidad entre los agregados y la matriz cementicia, lo que puede generar concentraciones de esfuerzo y microfisuras.

1.2.10.2 Consecuencias de la incompatibilidad:

- Disminución de la resistencia mecánica: Los agregados que no se adhieren bien a la pasta cementicia pueden actuar como puntos débiles en el material.

- Fisuración y durabilidad reducida: Las incompatibilidades químicas, como la reacción álcali-agregado, generan productos expansivos que causan fisuras y comprometen la vida útil del hormigón.

- Problemas en el curado: Agregados con alta absorción de agua pueden interferir en el proceso de hidratación del cemento, afectando la formación de la matriz endurecida.

1.2.10.3 Prevención de la incompatibilidad:

- Caracterización de los agregados: Realizar ensayos de granulometría, absorción de agua, composición química y módulo de elasticidad.

- Selección adecuada de agregados: Usar agregados de calidad certificada y compatibles con el cemento y aditivos empleados.

- Uso de aditivos correctivos: Incorporar aditivos que compensen las diferencias de polaridad o minimicen las reacciones químicas perjudiciales. Por ejemplo, inhibidores de reacción álcali-agregado.

1.3 Definición de términos

Hormigón: Material compuesto utilizado en construcción, formado por cemento, agua y agregados, que adquiere resistencia tras su fraguado y curado.

Fibras de cáscara de maní: Residuos agrícolas derivados del maní, utilizados en este proyecto como adición para mejorar las propiedades del hormigón.

Huella ecológica: Indicador del impacto ambiental causado por una actividad o material, medido en términos de emisiones de CO₂ y uso de recursos.

Pavimento rígido: Tipo de superficie vial construida con hormigón, diseñado para soportar altas cargas y ofrecer mayor durabilidad en comparación con otros materiales.

Resistencia a la compresión: Capacidad del hormigón para soportar cargas de compresión sin fracturarse.

Resistencia a la flexocompresión: Propiedad mecánica del hormigón que combina la resistencia a la flexión y a la compresión, evaluando su capacidad para soportar fuerzas de compresión aplicadas de manera excéntrica o combinadas con momentos de flexión.

Polaridad de materiales: Propiedad de ciertos materiales que tienen una distribución desigual de cargas eléctricas, generando polos positivos y negativos. En el hormigón, la polaridad influye en la interacción entre el cemento, los agregados y los aditivos.

Incompatibilidad de agregados: Situación en la que los agregados utilizados en el hormigón no presentan características adecuadas (físicas, químicas o mecánicas) para interactuar eficientemente con la matriz cementicia, lo que puede reducir la resistencia y durabilidad del material.

Propiedades de materiales: Características intrínsecas que determinan el comportamiento de un material.

Físicas: Incluyen densidad, porosidad y tamaño de partículas.

Químicas: Reacciones entre componentes, presencia de impurezas y estabilidad.

Mecánicas: Resistencia a compresión, tracción y flexión, entre otras.

CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

La industria de la construcción enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad ambiental, lo que ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos que reduzcan el impacto ecológico sin comprometer las propiedades mecánicas esenciales. En este contexto, la reutilización de residuos agroindustriales, como la cáscara de maní, ha emergido como una estrategia prometedora para el desarrollo de materiales de construcción más sostenibles.

2.1. Uso de Cáscara de Maní en Materiales de Construcción

La cáscara de maní, un subproducto abundante de la industria alimentaria, ha sido objeto de diversas investigaciones orientadas a su incorporación en materiales de construcción. Un estudio realizado en Argentina exploró la utilización de cáscaras de maní como adición en mezclas de cemento, evaluando cómo diferentes tratamientos químicos afectan las propiedades mecánicas del material resultante. Los ensayos demostraron mejoras significativas en las propiedades mecánicas de las probetas tratadas con cal viva (CaO), silicato de sodio y sulfato de aluminio, sugiriendo que estos materiales podrían ser aplicados en componentes de construcción livianos y de uso no portante. En Ecuador, se ha investigado la incorporación de cáscara de maní en paneles prefabricados para viviendas de interés social. Este enfoque busca aprovechar un residuo agrícola abundante en la región de Manabí, conocida por su producción de maní, para desarrollar materiales de construcción sostenibles y económicos. Los resultados indican que la adición de cáscara de maní puede mejorar ciertas propiedades de los paneles, aunque no necesariamente reduce los costos, presentando potencial económico al cubrir un área mayor en paredes que un bloque tradicional (Gatani M. M., 2014).

2.2. Residuos Agroindustriales en la Elaboración de Bloques de Hormigón

La introducción de residuos agroindustriales como sustitutos del cemento en bloques ecológicos de construcción ofrece la posibilidad de establecer un desarrollo sostenible a nivel ambiental, social y económico. Un estudio evaluó la incorporación de diversos residuos agroindustriales en la elaboración de bloques de hormigón no estructural, encontrando que la sustitución parcial del cemento por estos residuos puede mejorar las propiedades mecánicas del material, además de contribuir a la reducción de la huella de

carbono de la industria de la construcción. Asimismo, se ha explorado la utilización de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del hormigón, identificando los porcentajes óptimos y los efectos que estos proporcionan a la mezcla. La revisión sistemática de la literatura destaca que la aplicación de estos residuos puede beneficiar el desarrollo sostenible para el medio ambiente, ofreciendo una solución a la constante contaminación por desechos sólidos (García J. L., 2020).

2.3. Innovaciones en Materiales de Construcción Sostenibles

La búsqueda de materiales de construcción más sostenibles ha llevado al desarrollo de nuevas técnicas que incorporan residuos industriales y nanomateriales. Investigadores de la Universidad de Córdoba han desarrollado una técnica para construir carreteras utilizando residuos industriales y nanomateriales, con el objetivo de reducir la huella de carbono y mejorar la calidad y durabilidad de las infraestructuras. Este método disminuye el uso de cal en un 66% al emplear una mezcla que incluye cenizas de fondo de biomasa o escoria blanca de acería con un pequeño porcentaje de nanomaterial a base de sílice. Además, se ha investigado la posibilidad de fabricar ladrillos ecológicos a partir de la cáscara de maní, contribuyendo a la economía circular y reduciendo los costos de construcción. Este enfoque no solo aprovecha un residuo agrícola abundante, sino que también ofrece una alternativa sostenible en la industria de la construcción (Cieza, 2022).

2.4. Economía Circular y Reutilización de Residuos Agroindustriales

La economía circular promueve la reutilización de residuos agroindustriales como materias primas en diferentes procesos productivos, incluyendo la fabricación de materiales de construcción. La incorporación de estos residuos en la elaboración de ladrillos, por ejemplo, ha demostrado ser una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales, además de contribuir a la sostenibilidad ambiental. En este sentido, la reutilización sostenible de residuos agroindustriales en ladrillos de construcción no solo reduce la cantidad de desechos sólidos, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales significativos, alineándose con los principios de la economía circular (FAO, 2019).

2.5. Desafíos y Perspectivas Futuras

A pesar de los avances en la incorporación de residuos agroindustriales en materiales de construcción, existen desafíos relacionados con la estandarización de procesos, la variabilidad en las propiedades de los residuos y la aceptación en el mercado de estos nuevos materiales. Es fundamental continuar con investigaciones que optimicen las proporciones de mezcla, los tratamientos de los residuos y las técnicas de fabricación para garantizar un rendimiento adecuado y consistente de los materiales resultantes. Asimismo, la implementación de estos materiales debe ir acompañada de políticas públicas que incentiven su uso, promoviendo beneficios económicos y ambientales. El desarrollo de normativas técnicas específicas y programas de certificación que validen el desempeño de estos materiales es clave para impulsar su adopción en la industria de la construcción (García R. &, 2021).

Finalmente, se destaca la necesidad de colaboración entre la academia, la industria y los gobiernos para fomentar proyectos de investigación aplicados. Esta colaboración permitirá no solo resolver problemas ambientales, como la acumulación de residuos sólidos, sino también reducir los costos asociados a la producción de materiales convencionales y promover prácticas alineadas con los principios de la economía circular. La integración de materiales alternativos como la cáscara de maní en proyectos de infraestructura, particularmente en vías y pavimentos rígidos, puede ser un punto de partida innovador hacia una construcción más sostenible y eficiente.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 Metodología empleada: investigativo Experimental

Dado que el objeto de la investigación es manipulando una variable (la adición de fibras de cáscara de maní) para observar su efecto en otra variable (resistencia del hormigón), podría ser apropiado un enfoque experimental, para observar su impacto en las propiedades mecánicas del hormigón, específicamente la resistencia a la flexión y flexocompresión. Esta metodología busca evaluar el comportamiento del hormigón con el añadido propuesto en condiciones controladas y reproducibles.

3.2 Materiales utilizados

Para la elaboración de las probetas y vigas de hormigón con el objetivo de determinar su resistencia a compresión y flexocompresión respectivamente, se emplearon los siguientes materiales y equipos:

Materiales principales:

- Cemento: Utilizado como aglomerante principal en la mezcla.
- Arena homogenizada y lavada: Como agregado fino.
- Piedra ripio (3/4"): Como agregado grueso.
- Agua potable: Para hidratar el cemento y garantizar una mezcla adecuada.
- Cáscara de maní: Previamente tratada (eliminar cualquier rastro de humedad en ellas utilizando métodos caseros), molida (para eliminar posibles burbujas de aires que pueda debilitar la mezcla) y utilizada como aditivo en diferentes proporciones (2%, 4% y 6%).

Piedra de 3/4

Agregado producto de la trituración y cribado de piedra basáltica, de color gris, cuenta con una graduación encontrándose así libre de impurezas, dura, cúbica angular, muy granular, su rango granulométrico está entre 9,5 y 19 mm. (Megarock, 2015)

Peso unitario suelto 1.37 tn/m³.

Utilizada comúnmente para hormigones estructurales, hormigón asfáltico y toda obra civil. (losas, contrapisos, columnas, entre otros).

Figura 1
Grava de 3/4"



Fuente: (Megarock, 2015)

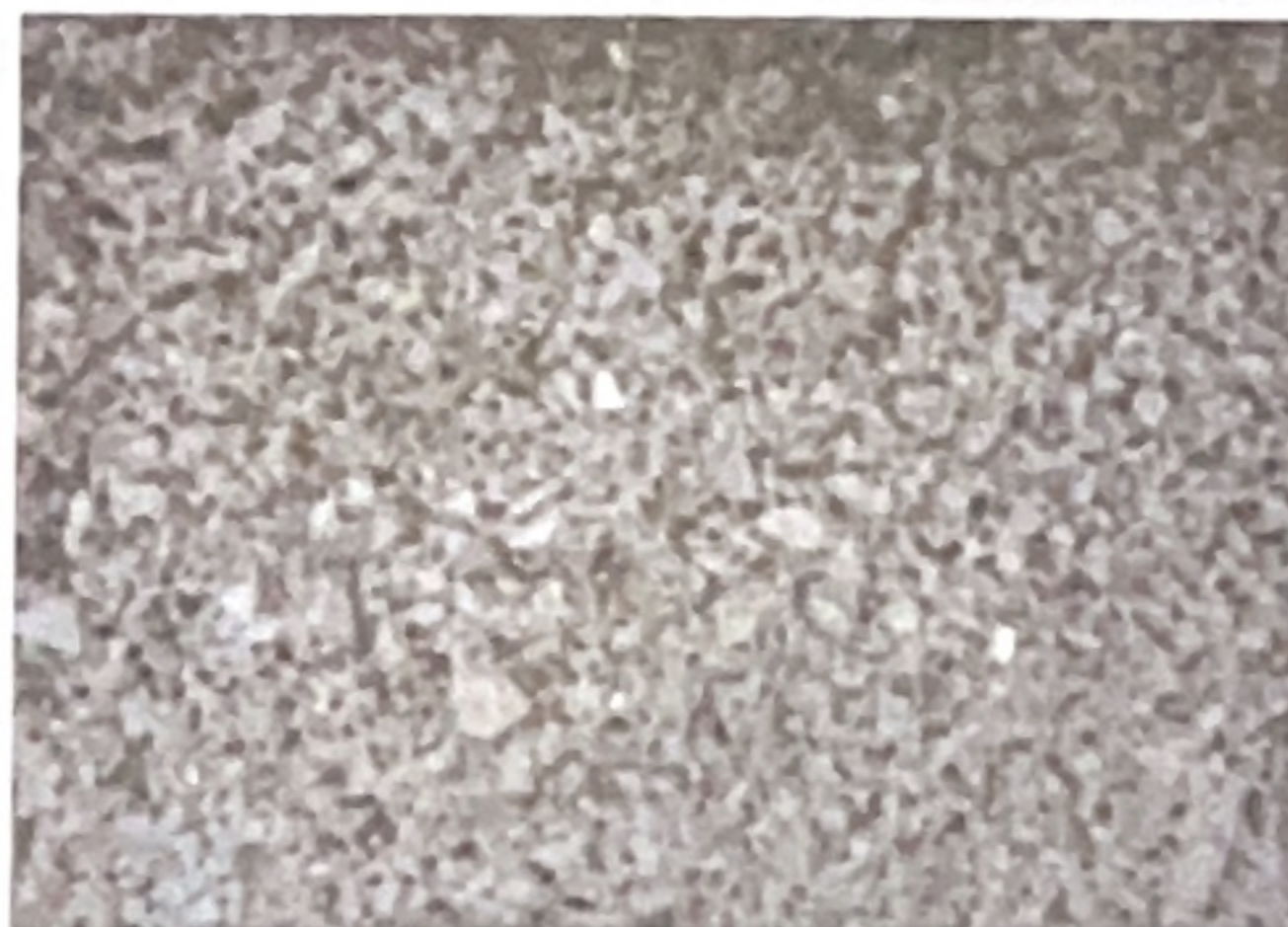
Arena Homogenizada

Es una arena en combinación de cisco y arena de banco (ambos lavados), que se obtiene a partir de un proceso de explotación, trituración y cribado de materiales, se encuentra libre de impurezas, posee una excelente graduación, se utiliza en los diseños de hormigón. su tamaño está en un rango de 0.015 a 5 mm.

Peso unitario suelto 1.53 tn/m³.

Aplicaciones: Hormigones estructurales y de alto desempeño, Hormigones bombeables, carpetas asfálticas, Prefabricados, capas drenantes y diversas clases de filtros, contrapisos, replantillos, columnas, vigas, y demás.

Figura 2
Arena homogenizada



Fuente: (Megarock, 2015)

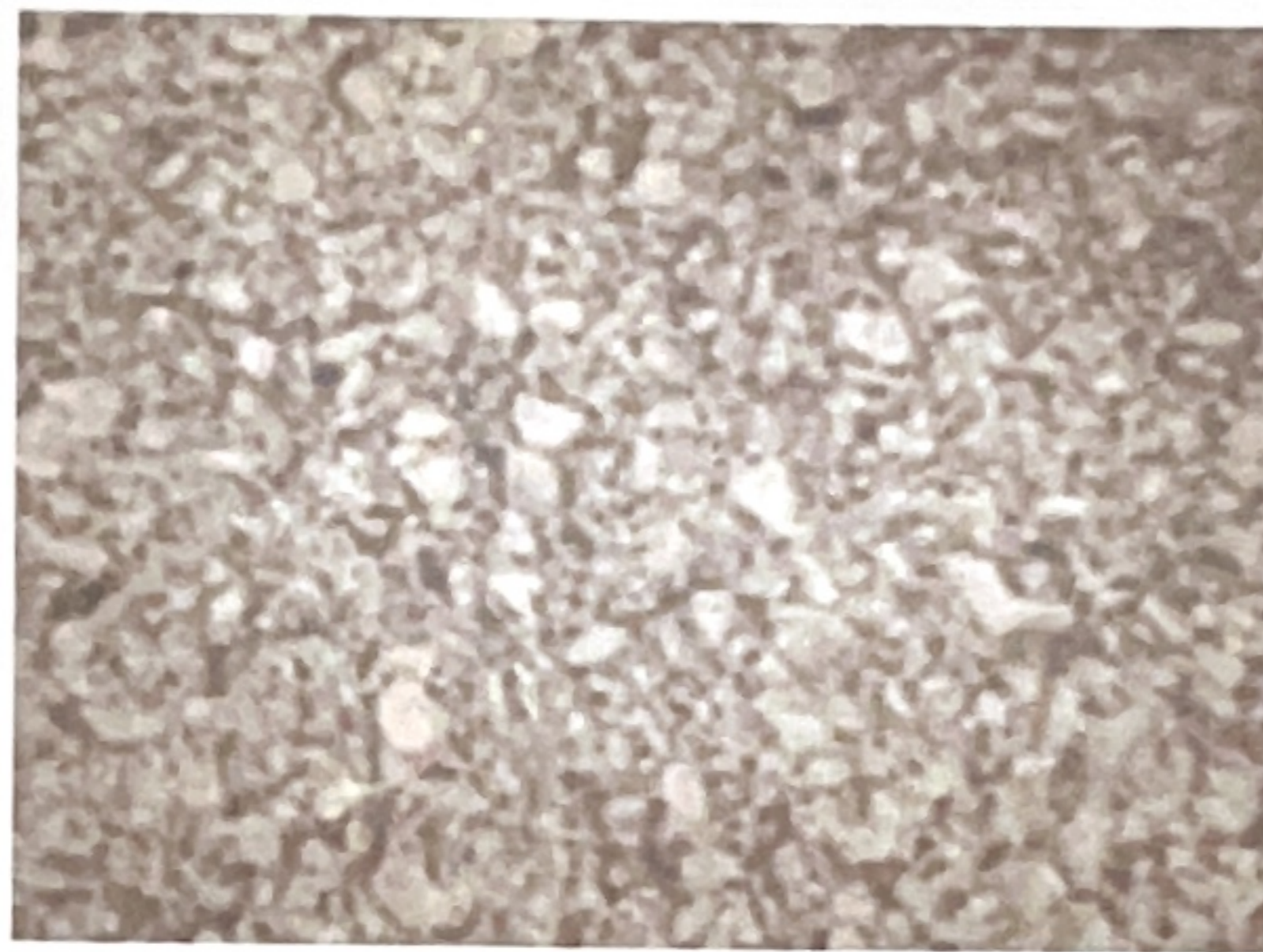
Arena lavada

Producto con una graduación granulométrica bien controlada y se encuentra libre de impurezas gracias a un moderno sistema de lavado, posee un tamaño que va de 0.015 a 7.75 mm.

Peso unitario suelto 1.53 tn/m³.

Las aplicaciones incluyen Hormigones estructurales, Hormigones lanzados, elementos prefabricados, morteros, fabricación de adoquines.

Figura 3
Arena lavada



Fuente: (Megarock, 2015)

Equipos y herramientas:

- Concretera: Para realizar el mezclado homogéneo de los materiales.
- Moldes para probetas cilíndricas (20 cm de altura y 10 cm de diámetro).
- Moldes para vigas prismáticas (50 cm de longitud, 15 cm de altura y 15 cm de ancho).
- Recipiente medidor: Para cuantificar los litros de agua empleados en cada mezcla.
- Recipiente de agua grande: donde se colocaron las probetas y vigas a la espera de ser ensayadas sumergidos hasta ser retiradas con anticipación.
- Martillo de goma: usado para liberar las burbujas de las muestras.
- Varilla lisa: para homogenizar la distribución del agregado grueso en todo el molde.
- Bailejo: facilitar el manejo del hormigón.

- Báscula electrónica: herramienta utilizada para medir con precisión los materiales a utilizar.

Figura 4
Cilindros para probetas



Figura 5
Recipiente grande para curar las probetas



Figura 6
Báscula electrónica



Figura 7
Mezcladora eléctrica para mezclar los agregados



3.3 Proceso Experimental

El proceso experimental es el conjunto de pasos que se seguirán para investigar y analizar como se comporta un material bajo condiciones controladas. En este caso, se prepara mezclas de hormigón con diferentes proporciones de aditivos, como la cáscara de maní, y se realiza ensayos específicos para medir su resistencia y desempeño. Esto implica desde la selección y preparación de los materiales hasta el moldeo, curado y pruebas mecánicas, asegurando de seguir un método riguroso que permita obtener resultados confiables y reproducibles.

3.3.1 Preparación de los materiales:

- La cáscara de maní fue seleccionada de una piladora de maní en Tosagua donde se la obtuvo gratis (es considerada residuo sin uso), limpiada (de resto de semillas de maní) y tratada a calor, calentándola a fuego lento para eliminar cualquier rastro de humedad, posterior a ello se la molió utilizando licuadora y procesadora para tenerla en forma de polvo y de esta forma se elimine posibles burbujas de aire en la mezcla y de esta forma garantizar su compatibilidad con la matriz cementicia y minimizar posibles contaminantes y zonas frágiles.
- Los agregados gruesos se la tamizó (eliminando el polvo adherido a las mismas), para que conserve sus propiedades obtenidas en la ficha técnica y se las mantuvo en un lugar seco libre de humedad en conjunto con los agregados finos, para mantener sus propiedades de acuerdo a sus fichas técnicas siguiendo las recomendaciones de la normativa INEN.
- El agua potable fue medida cuidadosamente para mantener una relación agua-cemento constante en todas las mezclas.

3.3.2 Elaboración de las mezclas:

Las dosificaciones utilizadas en este estudio son propias y fueron calculadas en conjunto con los responsables del laboratorio, siguiendo las normativas del ACI, donde, la cantera seleccionada fue "megarock" en Montecristi, considerando las necesidades específicas de cada tipo de probeta y los ensayos a realizar. Estas proporciones fueron diseñadas para garantizar la homogeneidad de la mezcla y la obtención de resultados representativos.

3.3.2.1 Elaboración de las mezclas Método ACI:

En la **Tabla 1** se presentan los datos de los materiales a utilizar.

Tabla 1
Datos de los materiales a utilizar

Materiales a utilizar			
Peso específico del cemento	3.15	Peso específico de la grava	2.6
Módulo de finura de agregado fino	2.75	Tamaño máximo de la grava	19 mm
Peso específico de la arena	2.35	Peso volumétrico de la grava	1370 Kg/m ³
Absorción de la arena	4.9	Absorción de la grava	5
Humedad de la arena	7		

3.3.2.1.1 Tablas a emplear:

En la **Tabla 2** se presenta el revenimiento del hormigón, el cual suele ser calculado con el ensayo del Cono de Abrams.

Tabla 2
Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Nota: *El límite se puede incrementar en 2.5 cm.

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

En la **Tabla 3** se presenta el contenido de aire atrapado.

Tabla 3
Contenido de aire atrapado

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
4"	0.2%

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

En la **Tabla 4** se presentan los requisitos de agua en relación al revenimiento del concreto.

Tabla 4*Requisito de agua en relación al revenimiento del concreto.*

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.								
Revenimiento, cm	Agua, kg/cm ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
	Concreto sin aire incluido							
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aprox. aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Concreto con aire incluido							
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

En la **Tabla 5** se presenta la correspondencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 5*Relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.*

Correspondencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto.		
Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm ²	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

En la **Tabla 6** se presentan las relaciones agua / cemento para concreto sujeto a exposiciones severas.

Tabla 6*Relaciones agua / cemento para concreto sujeto a exposiciones severas.*

Relaciones agua / cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas.		
Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3 cm	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

A continuación, se presenta la **Tabla 7** relacionada al volumen de agregado grueso considerando principalmente el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 7*Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto*

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (Alvarez Cangahuala, 2013)

En la **Tabla 8** se presenta el cálculo tentativo del peso del concreto fresco.

Tabla 8
Cálculo tentativo del peso del concreto fresco

Cálculo tentativo del peso del concreto fresco		
Cálculo tentativo del peso del concreto, Kg/m ³		
Tamaño máximo de agregados, mm	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5 (3/8")	2280	2200
12.5 (1/2")	2310	2230
19 (3/4")	2345	2275
25 (1")	2380	2290
37.5 (1 1/2")	2410	2350
50 (2")	2445	2345
75 (3")	2490	2405
150 (6")	2530	2435

3.3.2.1.2 Procedimiento:

Paso 1:

Se apoyará en la **Tabla 2** para el diseño de una mezcla de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días de edad, de un revenimiento de 10 cm; considerando un tamaño máximo del agregado de 19 mm (3/4")

Paso 2:

Para un hormigón sin aire incluido y con los datos anteriores y la **Tabla 4** obtenemos dosis de agua de 205 Kg/m^3 , para aire atrapado usaremos la **Tabla 3** para un valor de 2.0%.

Paso 3:

En la **Tabla 5** para la relación agua/cemento, da un valor de 0.57 necesario para producir una resistencia de 280 Kg/cm^2 sin aire incluido.

Se procede a realizar el cálculo: $205/0.57=359.65 \text{ Kg/m}^3$

Paso 4:

De la **Tabla 7** se estima la cantidad de grava, para un módulo de finura de 2.75%, un tamaño máximo de grava de 19 mm, y aplicando regla de 3, se obtiene un valor de:

$$y = 0.64 [(2.80 - 2.60) / (0.62 - 0.64)] \times (2.75 - 2.60)$$

$$y = 0.64 + (-0.02) \times 0.15$$

$$y = 0.64 - 0.003$$

$$y = 0.64 - 0.003 = 0.637$$

Por lo tanto, el peso de la grava es $1370 \times 0.637 = 872.69 \text{ Kg/m}^3$

Paso 5:

Una vez ya obtenidas las cantidades de agua, cemento y grava, faltaría incluir la cantidad de arena y aire que complete el metro cúbico de material.

En base a la **Tabla 8** se estima que sin aire incluido el material debería pesar 2345 Kg/m^3 , si se le resta los materiales ya conocidos, quedaría que:

$$2345 - (205 + 359.65 + 872.69) = 907.66 \text{ Kg/m}^3$$

Ahora en base al volumen absoluto, y conocidas las cantidades, se tiene las cantidades obtenidas según la **Tabla 9**:

Tabla 9
Cantidades en volumen absoluto obtenidas

Material	Peso (kg/m ³)	Densidad	Volumen (lts)
Agua	205	1	205
Cemento	359.65	3.15	114.17
Grava	872.69	2.6	335.65
Vol. de aire			20
Total	1437.34		674.82

Ahora, el volumen de arena requerido es $1000 - 674.82 = 325.18$; se convierten los litros a peso, obteniendo que: $325.18 \times 2.35 = 764.173$

En la **Tabla 10** se observa una comparación del peso estimado y el volumen absoluto.

Tabla 10*Comparación entre el peso estimado vs Volumen absoluto*

Materiales	Basado en peso estimado	Basado en volumen absoluto (lts)
Agua	205	205
Cemento	359.65	359.65
Grava	872.69	872.69
Arena	907.66	764.173
Vol. De aire	20	20
Total en peso	2365	2201.53
Total en volumen	1074.26	1000

Debido a las características de los materiales, estos tienen cierta cantidad de agua que ya poseen y, otra que absorben, por lo que, se deberá efectuar una corrección de dicha humedad, como se muestra en la **Tabla 11**.

Tabla 11*Corrección de humedad y absorción*

Proporción	Base	Corrección por humedad y absorción				Proporción Real
		Humedad		Absorción		
		%	Kg	%	Kg	
Cemento	359.65					359.65
Arena	764.17	7	53.49	4.9	-37.44	780.22
Grava	872.69			5	-43.63	829.06
Agua	205		-53.49		81.07	232.58
Total	2201.53					2201.53

Una vez teniendo la dosificación, se procede a proporcionarla de acuerdo al volumen de los moldes, para el caso en estudio, las probetas cilíndricas de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, y las vigas fueron de 50cm*15cm*15cm.

Se prepararon cuatro tipos de mezclas:

1. Hormigón sin aditivo (control).
2. Hormigón con 2% de cáscara de maní respecto al peso del cemento.
3. Hormigón con 4% de cáscara de maní.
4. Hormigón con 6% de cáscara de maní.

Cada mezcla fue homogeneizada en la concreteira durante un tiempo estándar, asegurando la distribución uniforme de la adición utilizada.

3.3.3 Moldeo y curado de las probetas y vigas:

Moldeo:

- Para los ensayos de compresión, se fabricaron probetas cilíndricas (20 cm de altura y 10 cm de diámetro) con tres parejas para cada proporción (0%, 2%, 4%, y 6% de cáscara de maní), sumando un total de 24 probetas.
- Estas muestras fueron distribuidas para ser ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado.

Curado:

- Las probetas fueron sumergidas completamente en agua en tanques de curado.
- El nivel del agua fue monitoreado constantemente para garantizar que todas las probetas permanecieran cubiertas en todo momento.
- Cada par de probetas fue retirado del agua 24 horas antes de realizar los ensayos correspondientes.

3.4 Ensayos realizados

Cuando se realizan ensayos al hormigón, se lo hace con el objetivo de evaluar sus propiedades y asegurar que cumple con los estándares necesarios para su uso. Estas pruebas son esenciales porque permiten verificar características como la resistencia, la flexocompresión y la trabajabilidad del material, es fundamental garantizar que el hormigón que se preparó sea seguro y confiable, capaz de soportar las condiciones y cargas a las que será sometido, ya sea en pavimentos o en estructuras más complejas. Es una forma de garantizar la calidad y el desempeño en cada proyecto.

3.4.1 Ensayo de compresión:

El ensayo de compresión es una prueba estándar utilizada para determinar la resistencia del hormigón cuando se somete a una carga axial de compresión. Este ensayo mide la capacidad del material para soportar fuerzas que tienden a reducir su tamaño, lo cual es fundamental para evaluar la calidad y el desempeño estructural del hormigón en aplicaciones reales.

Proceso:

1. Se utilizó una prensa hidráulica para aplicar carga axial a las probetas cilíndricas hasta su ruptura.
2. Los valores de carga máxima se registraron y se calcularon las resistencias a la compresión utilizando la fórmula estándar:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- f'_c : Resistencia a la compresión (MPa).
- P: Carga máxima soportada (N).
- A: Área de la sección transversal de la probeta (cm²).

3.4.2 Ensayo de flexocompresión:

El ensayo de flexocompresión evalúa la resistencia de materiales que están sometidos a esfuerzos combinados de flexión y compresión, lo cual es particularmente relevante para elementos estructurales como vigas y losas. En esta prueba, se mide la capacidad del material para resistir cargas aplicadas de forma excéntrica, que generan tensiones combinadas.

Proceso:

1. Las vigas prismáticas se sometieron a cargas centradas para evaluar su comportamiento a flexocompresión.
2. Se midió la carga máxima y se calculó la resistencia utilizando las fórmulas correspondientes, conforme a las normas ASTM.

3.5 Análisis de Datos

Los datos obtenidos en los ensayos fueron procesados y analizados estadísticamente para comparar las propiedades mecánicas del hormigón convencional con las mezclas modificadas con cáscara de maní. Se emplearon gráficos y tablas para presentar los resultados de manera clara y precisa, identificando tendencias y diferencias significativas.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados a las probetas de hormigón con y sin adición de fibras de cáscara de maní. Los datos recopilados han sido organizados en tablas para facilitar su análisis y comparación, permitiendo observar de manera clara el impacto de las diferentes dosificaciones en las propiedades mecánicas del material. Estos resultados constituyen la base para evaluar la viabilidad del uso de la adición en aplicaciones estructurales y viales.

Resultados

A continuación, se mostrarán primero los resultados de las probetas en forma de cilindro cuyas medidas aproximadas son de 20cm*10cm (debido al tipo de molde estos valores pueden alterarse).

En la **Tabla 12** se presentan los resultados de las probetas cilíndricas sin agregado.

Tabla 12
Probetas cilíndricas sin agregado (muestra base)

Días	Área promedio cm ²	Resistencia promedio obtenida Kg/cm ²	Resistencia máx. deseada Kg/cm ²	Porcentaje alcanzado %
7	87.61	179.16	280	63.99
14	77.29	194.57	280	69.49
28	78.62	245.60	280	87.72

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las probetas base de la muestra.

Figura 8
Ruptura de probetas sin añadido luego de ensayos



En la **Tabla 13** se presentan los resultados de las probetas cilíndricas con adición al 2%.

Tabla 13
Probetas cilíndricas con adición al 2%.

Días	Área promedio cm ²	Resistencia promedio obtenida Kg/ cm ²	Resistencia máx. deseada Kg/ cm ²	Porcentaje alcanzado %
7.00	79.06	143.18	280.00	51.14
14.00	82.01	171.29	280.00	61.18
28.00	76.90	198.59	280.00	70.93

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con 2% del peso de la adición de cemento a la mezcla de la muestra.

Figura 9
Ruptura de probetas con añadido al 2% luego de ensayos



En la **Tabla 14** se presentan los resultados de las probetas cilíndricas con adición al 4%.

Tabla 14
Probetas cilíndricas con adición al 4%.

Días	Área promedio cm ²	Resistencia promedio obtenida Kg/cm ²	Resistencia máx. deseada Kg/cm ²	Porcentaje alcanzado %
7.00	81.59	157.96	280.00	56.41
14.00	79.79	187.11	280.00	66.82
28.00	77.45	235.49	280.00	84.10

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con 4% del peso del adición de cemento a la mezcla de la muestra.

Figura 10
Ruptura de probetas con añadido al 4% luego de ensayos



En la **Tabla 15** se presentan los resultados de las probetas cilíndricas con adición al 6%.

Tabla 15
Probetas cilíndricas con adición al 6%.

Días	Área promedio cm ²	Resistencia promedio obtenida Kg/ cm ²	Resistencia máx. deseada Kg/ cm ²	Porcentaje alcanzado %
7.00	79.47	139.42	280.00	49.79
14.00	77.29	193.37	280.00	69.06
28.00	79.38	215.22	280.00	76.86

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las probetas con 6% del peso de la adición de cemento a la mezcla de la muestra.

Figura 11
Ruptura de probetas con añadido al 6% luego de ensayos

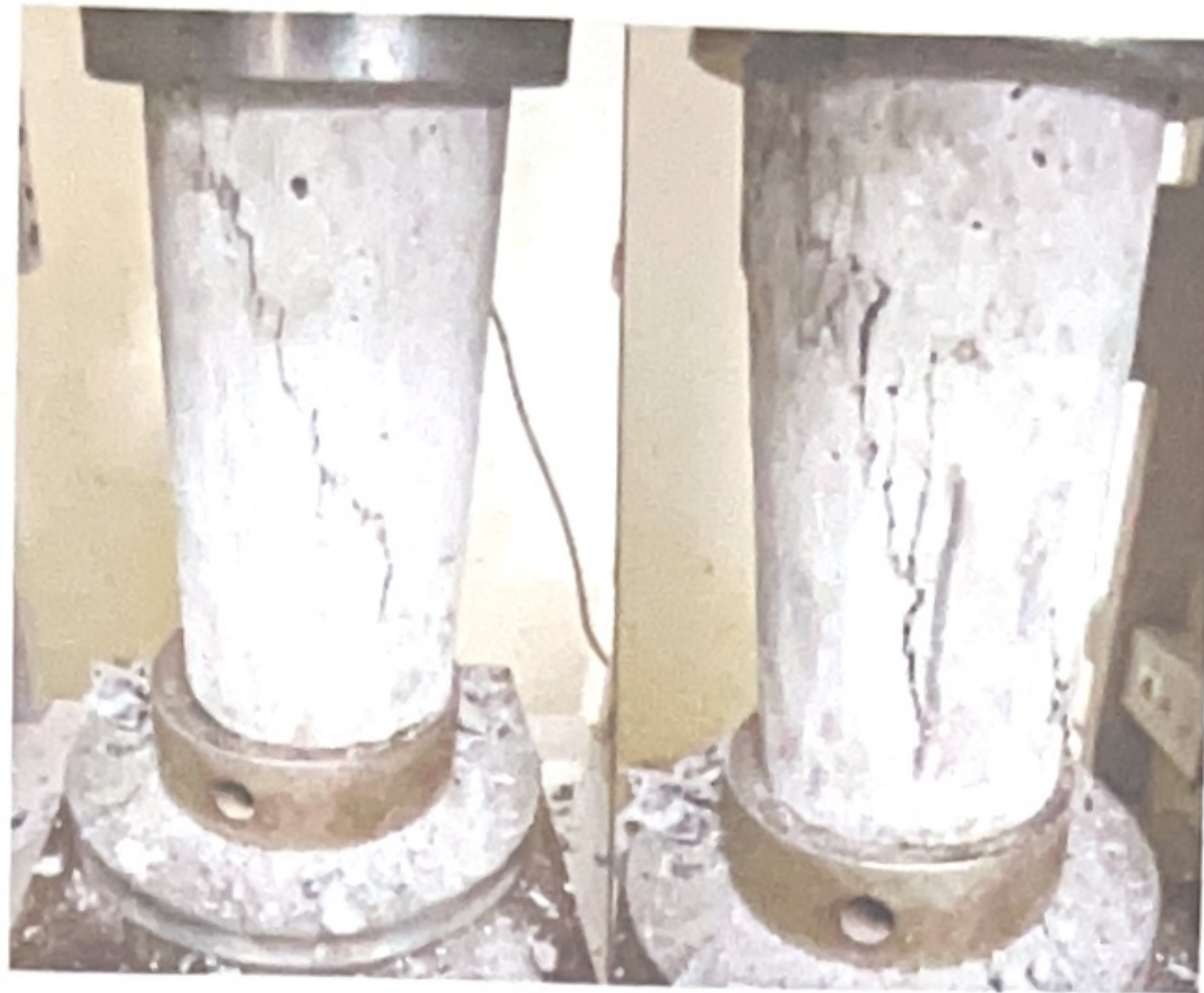
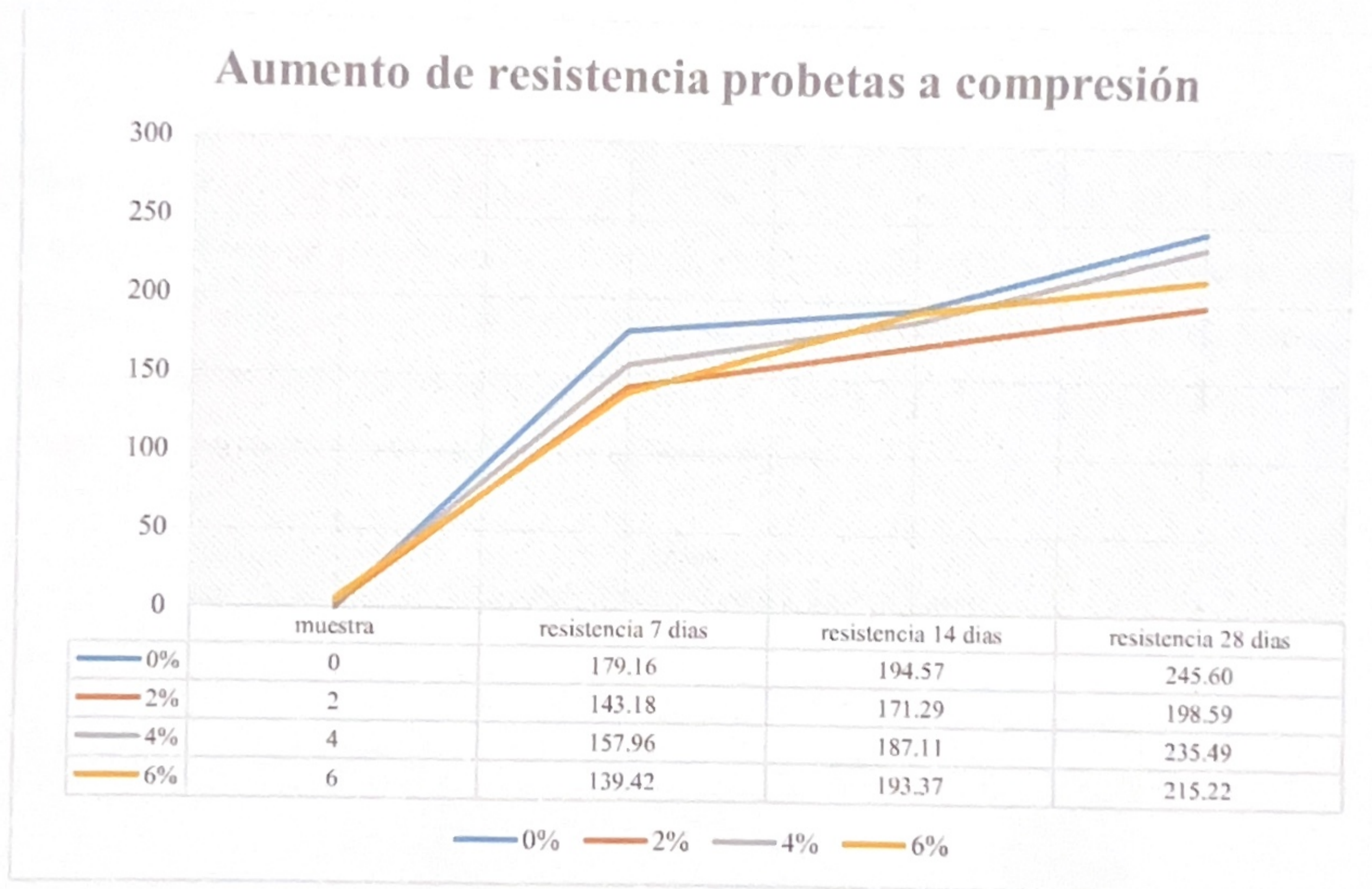
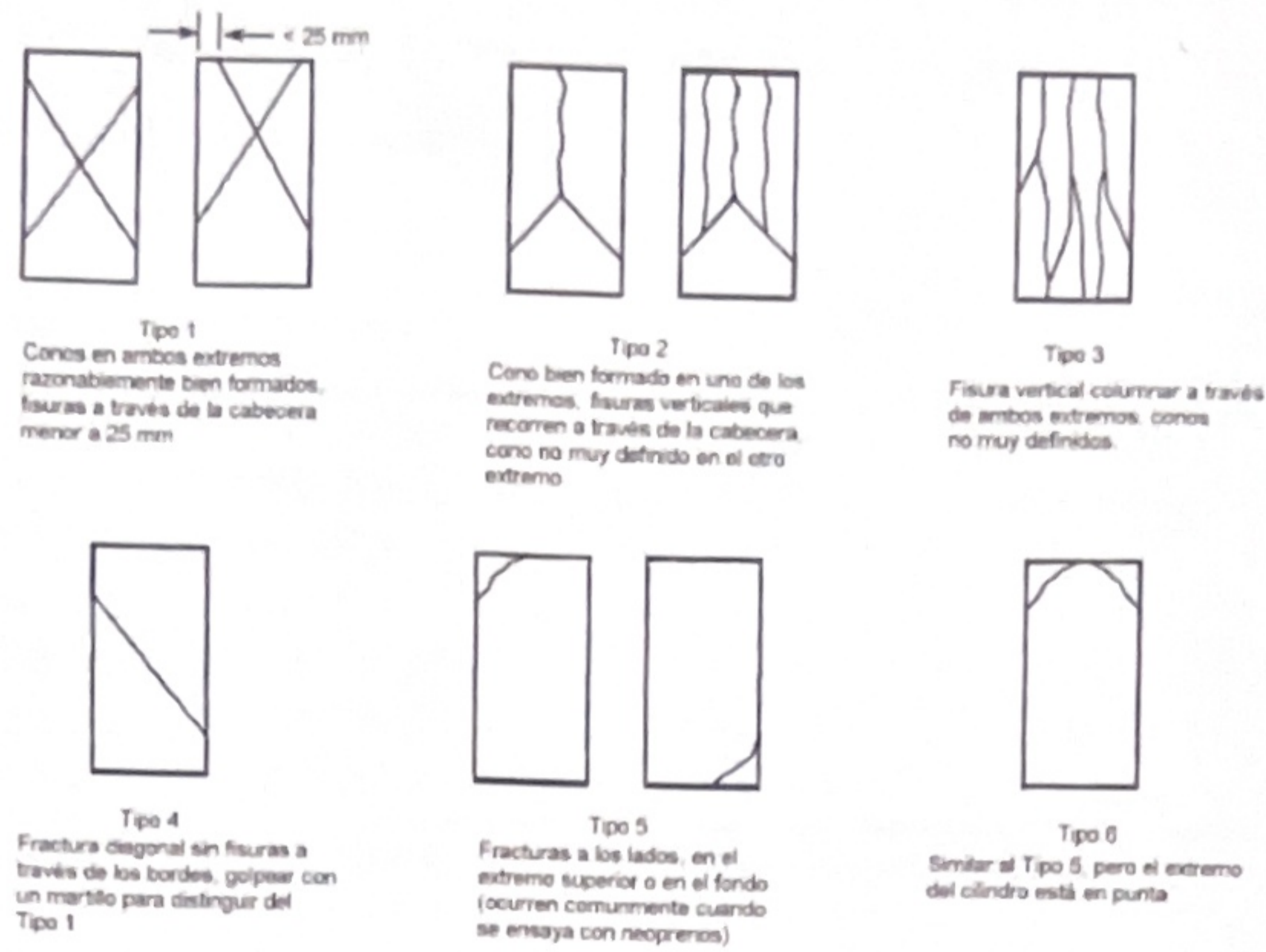


Figura 12
Gráfico de incremento de esfuerzos de probeta cilíndricas



De acuerdo a la norma los tipos de rotura presente fueron del tipo 4, 5 y del tipo 6 especificados en la norma NTE INEN 1573.

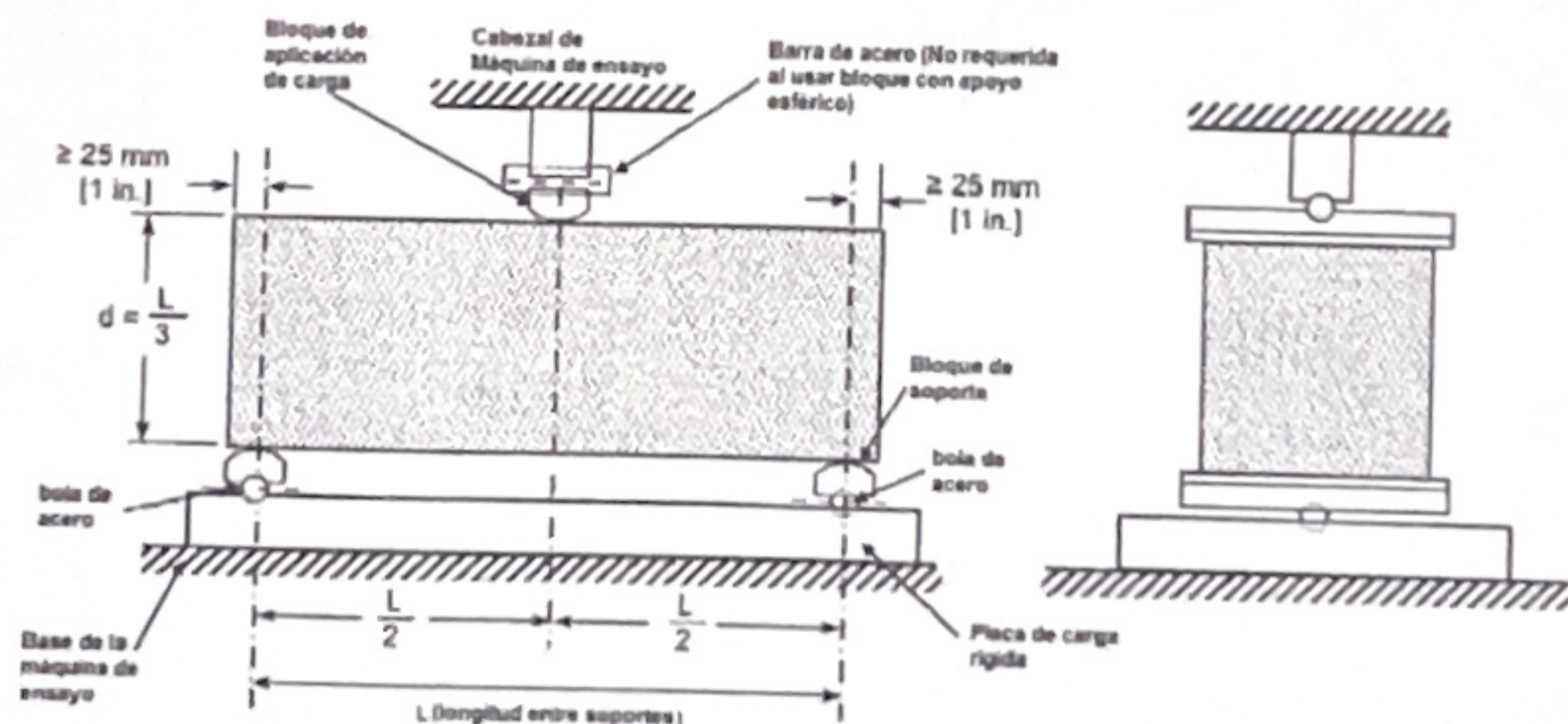
Figura 13
Esquema de modelos típicos de fractura



Fuente: (INEN, 2010)

A continuación, se mostrarán primero los resultados de las probetas en forma de cilindro cuyas medidas aproximadas son de 50cm*15cm*15cm (los cuales por norma deben confirmarse antes de realizar ensayo). Para los testigos en forma de viga se aplicó la norma ASTM c293 en la que el espaciamiento entre las bases y las caras externas fue de 5cm en cada extremo dejando el cabezal a la mitad (25cm) donde cada $L/2$ es equivalente a 20cm y la altura de 15 cm como se muestra en la siguiente figura:

Figura 14
Ensayo de flexocompresión para vigas



(ASTM, 2017)

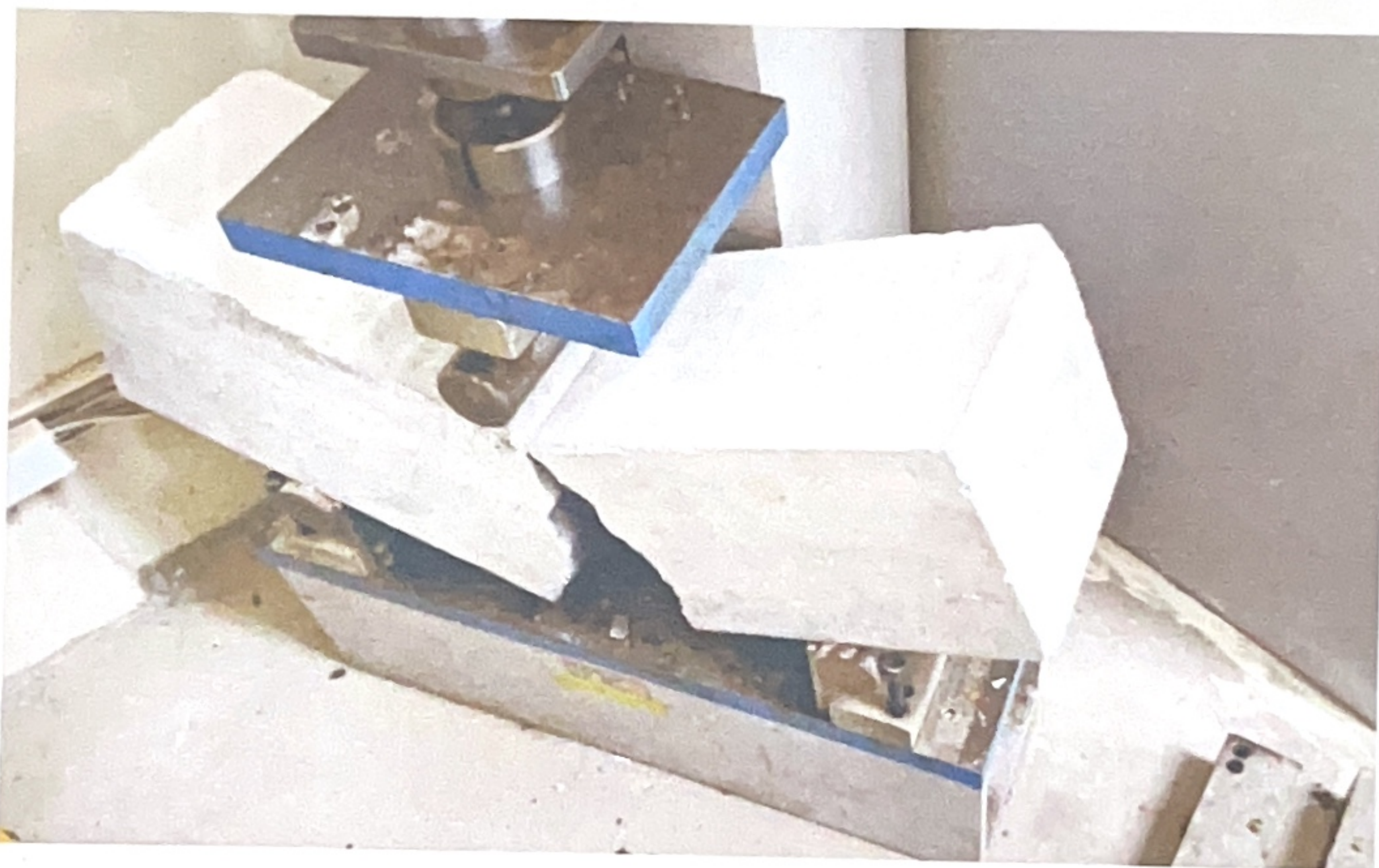
A continuación, en la **Tabla 16** se muestran los resultados de las probetas en forma de vigas sin añadido, cuyas medidas aproximadas son de 50cm*15cm*15cm (debido al tipo de molde (madera), estos valores pueden alterarse mínimamente por lo que se recomienda medirlos nuevamente, antes de ensayarlos).

Tabla 16
Probetas forma de viga sin añadido (muestra).

Días	Área cm ²	Presión obtenida Kgf	Resistencia obtenida Kg/ cm ²	Resistencia deseada Kg/ cm ²	Porcentaje alcanzado %
7.00	750.00	21952.50	29.27	70.00	41.81
14.00	750.00	25110.00	33.48	70.00	47.83
28.00	750.00	54176.70	72.24	70.00	103.19

Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las vigas, muestra sin añadido.

Figura 15
Ruptura de probetas forma de viga sin añadido luego de ensayos



En la **Tabla 17** se muestran los resultados de las probetas en forma de vigas con añadido.

Tabla 17
Probetas forma de viga con añadido.

Días	Área cm ²	Presión obtenida Kgf	Resistencia obtenida Kg/cm ²	Resistencia deseada Kg/cm ²	Porcentaje alcanzado %
7.00	750.00	21600.00	28.80	70.00	41.14
14.00	750.00	24307.50	32.41	70.00	46.30
28.00	750.00	77066.90	102.76	70.00	146.79

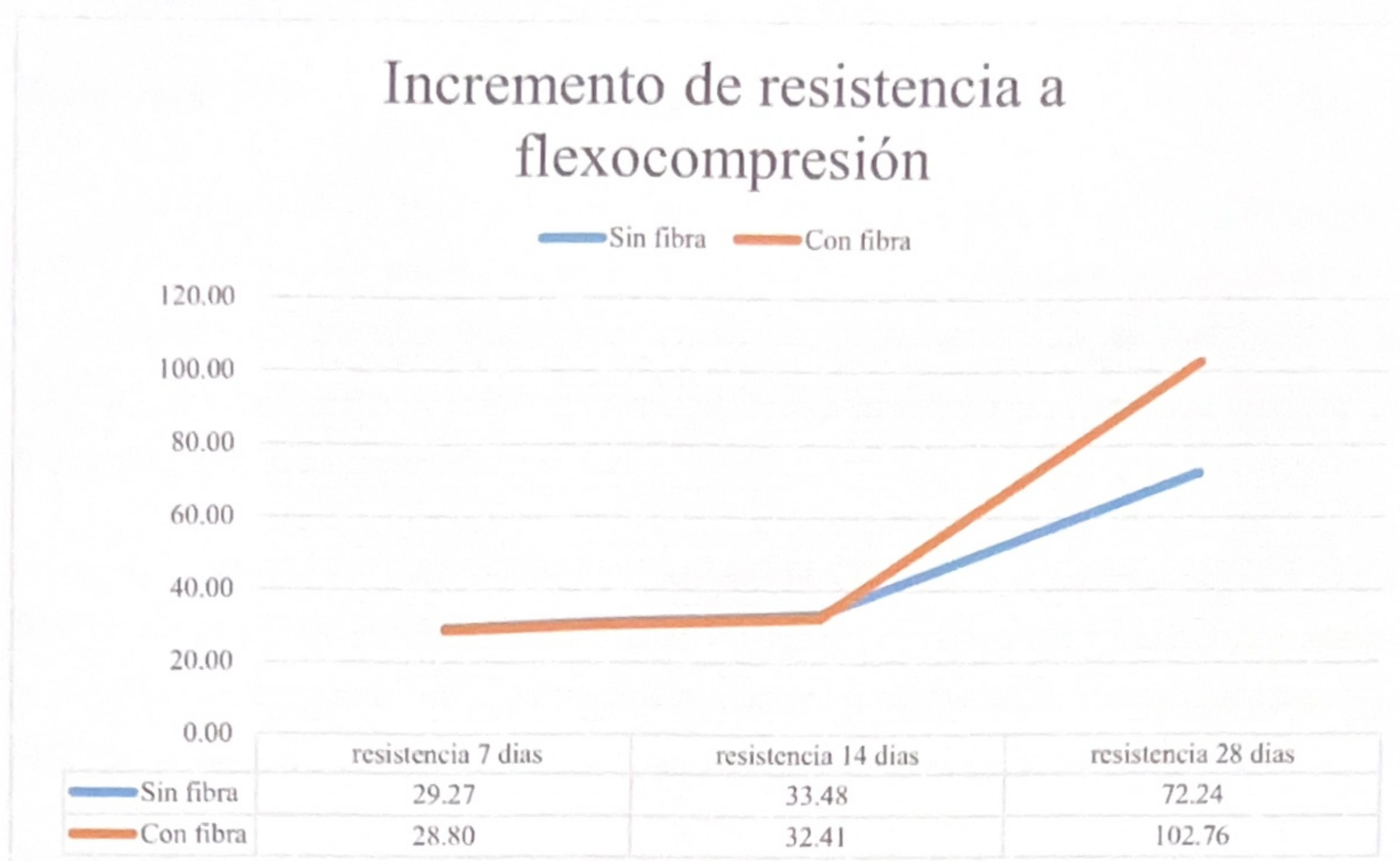
Nota: Resultados obtenidos de los ensayos a las vigas, muestra con el añadido.

Figura 16

Ruptura de probetas forma de viga con añadido luego de ensayos.



Figura 17
 Grafico de incremento de esfuerzos de las probetas viga(Kg/cm²).



Análisis y discusión de resultados

Interpretación de los resultados en relación con los objetivos planteados

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y flexocompresión muestran el impacto del uso de fibras de cáscara de maní en las propiedades mecánicas del hormigón. Para las probetas cilíndricas, el objetivo era alcanzar el 100% de la resistencia deseada (280 Kg/cm²) a los 28 días. Los datos indican que la mezcla con 4% de adición logró un 84.10% de la resistencia, siendo la más cercana al valor objetivo, mientras que la mezcla con 6% quedó en 76.86% y la mezcla con 2% llegó a 70.93%. Esto sugiere que un contenido de adición superior puede reducir ligeramente la resistencia debido a posibles problemas de compatibilidad o distribución en la mezcla.

En el caso de las probetas en forma de vigas, cuyo objetivo era alcanzar el 25% de la resistencia deseada, los resultados a los 28 días muestran que tanto las muestras sin añadido (25.80%) como las mezclas con añadido (36.70%) superaron este valor. Es evidente que el uso

de fibras de cáscara de maní contribuyó significativamente a mejorar la resistencia en este tipo de probetas, sobre todo en condiciones de flexocompresión.

Comparación con estudios previos y normas técnicas

Al comparar los resultados obtenidos con estudios previos, se observa una tendencia consistente con investigaciones como las de (Gatani M. M., 2014), donde la incorporación de fibras naturales mejoró las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Sin embargo, el rendimiento de la adición depende de factores como la proporción utilizada y el tratamiento previo del material.

Con relación a las normativas técnicas (ASTM C39 para compresión y ASTM C78 para flexocompresión), los procedimientos seguidos aseguran la validez de los resultados, aunque se recomienda optimizar las proporciones y analizar posibles interacciones químicas para mejorar los valores obtenidos en mezclas con mayores porcentajes de agregado.

Implicaciones del uso de agregados naturales en el diseño de hormigones

El uso de fibras de cáscara de maní como adición en el hormigón presenta ventajas tanto ambientales como económicas. La reutilización de este residuo agrícola no solo reduce la huella ecológica de la construcción, sino que también puede proporcionar un material alternativo viable para aplicaciones específicas, como pavimentos rígidos. Sin embargo, los resultados sugieren que es crucial establecer proporciones óptimas y realizar tratamientos adicionales para maximizar las propiedades mecánicas del hormigón, especialmente en mezclas con altos porcentajes de fibra.

Este enfoque destaca la necesidad de integrar materiales sostenibles en el diseño de hormigones, respetando estándares técnicos y asegurando un desempeño adecuado en condiciones reales de uso.

Conclusiones

A los 28 días de curado, las probetas fabricadas con la mezcla que incluye un 2% de fibras de cáscara de maní lograron alcanzar una resistencia promedio de 91.34% respecto al objetivo de 280 Kg/cm². Las mezclas con 4% y 6% alcanzaron 84.10% y 76.86%, respectivamente, evidenciando que un contenido moderado de adición adicional proporciona mejores resultados en términos de resistencia a la compresión.

En los ensayos de flexocompresión, las probetas en forma de vigas alcanzaron y superaron los 40 Kg/cm² de la resistencia descada a los 28 días. Las muestras sin adición obtuvieron un desempeño promedio de 72.24 Kg/cm² demostrando que las mezclas utilizadas son adecuadas para soportar esfuerzos combinados, mientras que las vigas con fibra obtuvieron hasta 102.76 Kg/cm², obteniendo un incremento del 42% en la resistencia a flexocompresión con la adición de fibra.

El uso de fibras de cáscara de maní impacta significativamente en las propiedades mecánicas del hormigón. Las proporciones moderadas (2%) generan un balance adecuado entre cohesión y distribución en la matriz cementosa, mientras que porcentajes mayores pueden interferir en la homogeneidad de la mezcla, afectando negativamente su resistencia. Estos resultados confirman la viabilidad del uso de este material como aditivo, aunque destacan la importancia de controlar estrictamente las proporciones para obtener el desempeño esperado.

Recomendaciones

Aunque los materiales utilizados, como las fibras de cáscara de maní, son de origen natural y biodegradables, se recomienda realizar estudios a largo plazo para evaluar su comportamiento dentro del hormigón durante toda su vida útil. Es importante confirmar que, al encontrarse en un ambiente inerte, las fibras no experimenten deterioro que afecte la integridad estructural del material, mediante ensayos periódicos que validen su estabilidad en condiciones reales.

Se sugiere explorar tratamientos adicionales para las fibras de cáscara de maní que optimicen su compatibilidad con la matriz cementosa, con el objetivo de garantizar una mejor adherencia y distribución uniforme en la mezcla, maximizando así su desempeño mecánico.

Sería recomendable ampliar los ensayos a otros tipos de hormigón y aplicaciones estructurales para evaluar el potencial de las fibras en diferentes contextos, como en hormigones expuestos a condiciones climáticas extremas o sometidos a cargas dinámicas.

Considerar el uso de materiales similares o alternativos que compartan características sostenibles, para diversificar las opciones de aditivos naturales en la construcción y fomentar la innovación en el diseño de hormigones ecológicos.

Referencias Bibliográficas

- Acaro Imaicela, J. D. (20 de Mayo de 2021). *Repositorio Universidad San francisco de Quito*. Obtenido de repositorio usfq:
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/10760/1/201629.pdf>
- Alcuacer Gabriela, B. F. (Diciembre de 2019). *studocu*. Obtenido de studocu:
<https://es.scribd.com/document/502844169/Dosificacion-metodo-densidad-optima>
- Alvarez Cangahuala, J. (Mayo de 2013). *slideshare*. Obtenido de slideshare:
<https://es.slideshare.net/slideshow/disco-de-mezclas-20724554/20724554#1>
- ASTM. (2017). *ASTM Standards*. Obtenido de ASTM Standards.: <https://www.astm.org/c33>
- Bolivar, O. G. (2006). *slideshare*. Obtenido de slideshare:
<https://es.slideshare.net/slideshow/dosificacion-de-mezclas-de-hormigon-metodos-aci-2111-weymouth-fuller-bolomey-faury/75314640#1>
- Cieza, C. J. (2022). *Repositorio USS*. Obtenido de Repositorio USS:
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12101>
- El Diario. (02 de Enero de 2023). *El Diario*. Obtenido de El Diario:
https://www.eldiario.es/consumoclaro/hormigon-provoca-8-emisiones-mundiales-co2-alternativas-existen_1_9827092.html#:~:text=Según%20la%20Agencia%20Internacional%20de,a%20la%20contaminación%20del%20agua.
- FAO. (2018). *FAO*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- FAO. (2019). *FAO Document Repository*. Obtenido de FAO Document Repository:
<https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- García, J. L. (2020). *Repositorio de la Universidad de la Libertad*. Obtenido de Repositorio de la Universidad de la Libertad.: <https://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5592>
- García, R. &. (2021). *Repositorio Nacional de Innovación*. Obtenido de Repositorio Nacional de Innovación: <https://repositorio.innovacion.gob.ec/handle/12345/9876>

- Gatani, M. &. (2010). *researchgate*. Obtenido de researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/269495185_Materiales_compuestos_de_cas_caras_de_mani_y_cemento_Influencia_de_diferentes_tratamientos_quimicos_sobre_las_propiedades_mecanicas
- Gatani, M. M. (2014). *Conicet*. Obtenido de Repositorio Institucional de CONICET:
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/186932>
- growingbuildings. (30 de Marzo de 2019). *growingbuildings*. Obtenido de growingbuildings:
<https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/#:~:text=El%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas.>
- IECA. (s.f.). *Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones*. Obtenido de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones: <https://www.ieca.es/firmes-y-pavimentos/>
- INEN. (2010). *scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/334549037/Nte-Inen-1573>
- Julian, R. (s.f). *Dolmen*. Obtenido de Dolmen: <https://dolmen.com.ar/pavimentos-de-hormigon-y-el-uso-de-acero-en-los-mismos-articulo-026-dr-ing-julian-rivera/>
- Krapovickas, A. (05 de Noviembre de 2004). *Universidad Nacional de La Plata*. Obtenido de SEDICI (UNLP):
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/29392/Documento_completo.pdf?sequence=1
- M. A. Villar, M. C. (Junio de 2022). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8627132.pdf>
- Megarock, C. (2015). *Megarock*. Obtenido de Megarock:
<https://megarok.com.ec/web/productos/>
- Mehta, P. K. (2014). *McGraw-Hill Education*. Obtenido de McGraw-Hill Education.:
<https://www.mheducation.com/concrete-properties>

Neville, A. M. (2011). *Pearson Educación*. Obtenido de Pearson Educación:
<https://www.pearsoneducacion.com/propiedades-hormigon>

Vásconez Vásconez, A. A. (2020). *Repositorio ULVR*. Obtenido de Repositorio ULVR:
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5592>

Anexos

Anexo 1.



Anexo 2.



Anexo 3.



Anexo 4.



Apexo 5.



Апexo 6.



Anexo 7.

