



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**INCIDENCIA DEL RECUBRIMIENTO EN LA CAPACIDAD A  
FLEXIÓN DE UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA**

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

**AUTORES:**

**GALO JOSÉ UNUP NARATZA**

**FREDDY SAMUEL CAYANCELA ACHOTE**

**DIRECTOR: ING. CARLOS JULIO CALLE CASTRO**

**CUENCA - ECUADOR**

**2026**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**INCIDENCIA DEL RECUBRIMIENTO EN LA CAPACIDAD A  
FLEXIÓN DE UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA**

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

**AUTORES:**

**GALO JOSE UNUP NARATZA**

**FREDDY SAMUEL CAYANCELA ACHOTE**

**DIRECTOR: CARLOS JULIO CALLE CASTRO**

**CUENCA- ECUADOR**

**2026**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

**DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD**

**Freddy Samuel Cayancela Achote** y **Galo José Unup Naratza** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N° **0503043226** y **1900407311**. Declaramos ser autore(a)s de la obra: **"Incidencia del recubrimiento en la capacidad a flexión de una viga simplemente apoyada"**, 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, 04 de junio de 2026



F: .....  
**Freddy Samuel Cayancela Achote**  
**0503043226**

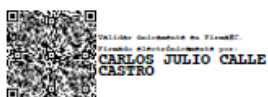


F: .....  
**Galo José Unup Naratza**  
**1900407311**

Cuenca, 04 de junio de 2026

### CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Julio Calle Castro, certifico que el proyecto de titulación con el tema: **“Incidencia del recubrimiento en la capacidad a flexión de una viga simplemente apoyada”**, fue elaborado por los estudiantes FREDDY SAMUEL CAYANCELA ACHOTE Y GALO JOSÉ UNUP NARATZA, quienes han culminado su proyecto de titulación, bajo mi supervisión y tutoría; y, puede continuar con el proceso de titulación.



Ing. Carlos Julio Calle Castro Mgs.

**DOCENTE TUTOR**

**DEDICATORIA.**

Dedicamos este trabajo de investigación, con mucho cariño y gratitud, a nuestros padres, quienes han sido el pilar más importante en nuestras vidas y en nuestra formación profesional. Gracias por acompañarnos en cada paso, por confiar en nosotros incluso en los momentos más difíciles y por motivarnos siempre a seguir adelante. Todo el esfuerzo y sacrificio realizado durante estos años tiene detrás su amor y apoyo incondicional.

A nuestros hermanas y hermanos, por estar siempre presentes brindándonos palabras de ánimo, consejos y fuerza para no rendirnos cuando el camino se volvía complicado. Su compañía y apoyo fueron fundamentales para alcanzar esta meta tan importante en nuestras vidas.

De manera muy especial, dedicamos este trabajo a nuestros familiares muy queridos que partieron de este mundo. Este logro es también para ellos, aunque ya no podamos compartir este momento con ellos, pero siempre vivirán en nuestros corazones y serán una inspiración para seguir adelante.

Finalmente, agradecemos a toda nuestra familia por cada consejo, cada palabra de aliento y cada muestra de apoyo durante esta etapa universitaria.

**AGRADECIMIENTO.**

Queremos agradecer, en primer lugar, a Dios, por guiarnos y acompañarnos durante todo este proceso, por dar fortaleza y sabiduría para enfrentar cada reto y permitirnos llegar hasta este momento tan importante de nuestras vidas.

A nuestros padres, gracias por ser nuestro mayor apoyo y ejemplo de esfuerzo. Cada sacrificio, consejo y palabra de aliento fueron fundamentales para seguir adelante y no rendirnos en los momentos difíciles. Gracias por confiar siempre en nosotros y por acompañarnos en cada etapa de nuestra formación profesional. Este logro también les pertenece.

Queremos agradecer también a nuestros docentes, por compartir sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de nuestra carrera universitaria. De manera especial, expresamos nuestro agradecimiento a nuestro tutor de tesis, por su paciencia, orientación y apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Asimismo, agradecemos a las amistades que la universidad nos permitió conocer. Gracias por cada experiencia compartida, los momentos difíciles y el apoyo brindado durante esta etapa. Su compañía hizo que el recorrido universitario fuera mucho más llevadero.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes y aportaron con un granito de arena en nuestra formación académica y personal. Cada consejo, palabra de ánimo y muestra de cariño fueron importantes para alcanzar esta meta.

**RESUMEN.**

La investigación analiza la incidencia del espesor del recubrimiento en la capacidad a flexión de vigas simplemente apoyadas de hormigón armado. El estudio parte de la importancia del recubrimiento como elemento de protección del acero frente a la corrosión y como factor que influye en la adherencia entre el concreto y el refuerzo. Se fabricaron quince vigas de concreto armado, distribuidas en tres grupos con recubrimientos de 1 cm, 1.5 cm y 2 cm, manteniendo constantes las demás características geométricas y mecánicas. Los especímenes fueron ensayados mediante carga puntual en tres puntos para evaluar su comportamiento estructural, resistencia máxima, momento flector y deformaciones.

Los resultados mostraron que el recubrimiento influye directamente en la respuesta a flexión de las vigas. Las vigas con recubrimiento de 1.5 cm alcanzaron la mayor carga promedio (2353.33 kgf), el mayor momento resistente promedio (588.33 kgf\*m) y la mayor deformación unitaria (0.070), evidenciando una combinación favorable entre resistencia y ductilidad. Por el contrario, las vigas con 1 cm presentaron la menor capacidad resistente, mientras que las de 2 cm mostraron un comportamiento más rígido debido a la reducción del peralte efectivo. Se concluye que un recubrimiento intermedio de 1.5 cm proporciona el mejor desempeño estructural bajo condiciones de flexión.

*Palabras clave:* incidencia, recubrimiento, flexión, vigas, deformación.

**ABSTRACT**

This research examines the effect of cover thickness on the flexural capacity of simply supported reinforced concrete beams. The study is based on the importance of the cover as a protective element for steel against corrosion and as a factor influencing the bond between concrete and reinforcement. Fifteen reinforced concrete beams were manufactured, divided into three groups with cover thicknesses of 1 cm, 1.5 cm, and 2 cm, while keeping all other geometric and mechanical characteristics constant. The specimens were tested under three-point loading to evaluate their structural behavior, ultimate strength, flexural moment, and deflections.

The results showed that the cover depth directly influences the flexural response of the beams. Beams with a 1.5 cm cover depth achieved the highest average load (2353.33 kgf), the highest average flexural capacity (588.33 kgf\*m), and the highest unit strain (0.070), demonstrating a favorable combination of strength and ductility. In contrast, beams with a 1 cm cover showed the lowest load-bearing capacity, whereas those with a 2 cm cover exhibited stiffer behavior due to the reduced effective depth. It is concluded that an intermediate cover of 1.5 cm provides the best structural performance under flexural conditions.

*Keywords:* effect, cover, flexure, beams, deformation

## INDICE

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. EL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3.1. Alcance: .....	2
1.3.2. Límites del estudio:.....	2
1.3.3. Ámbito teórico: .....	2
1.3.4. Ámbito experimental: .....	3
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.1. GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.2. ESPECÍFICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2. CONCEPTOS IMPORTANTES.....</b>	<b>5</b>
2.1. Vigas de concreto reforzado. ....	5
2.2. Flexión en vigas de concreto reforzado .....	5
2.3. El recubrimiento en el diseño de vigas de concreto reforzado .....	6
2.4. Influencia del recubrimiento en la capacidad a flexión .....	6
2.5. Modificación de la distancia efectiva "d". .....	6
2.6. Adherencia entre el acero y el concreto.....	6
2.7. Comportamiento en la falla estructural.....	6
2.8. Normativa y recomendaciones sobre el recubrimiento.....	7
2.9. Protección de las armaduras de los agentes externos.....	8
2.10. Factores que afectan la durabilidad del refuerzo. ....	8
2.10.1. Carbonatación del Concreto.....	8
2.10.2. Ataque por cloruros.....	8
2.10.3. Por absorción del hormigón.....	8

2.11.	Métodos de Protección.....	8
2.11.1.	Recubrimiento de concreto. ....	8
2.11.2.	Concreto de alta durabilidad. ....	9
2.11.3.	Inhibidores de corrosión. ....	9
2.11.4.	Protección catódica. ....	9
2.11.5.	Revestimientos epóxicos.....	9
2.12.	Comportamiento de vigas de concreto.....	9
2.13.	Comportamiento Estructural .....	10
2.14.	Estado inicial (no agrietado) .....	10
2.15.	Estado fisurado (concreto agrietado) .....	10
2.16.	Falla de la viga (Resistencia última).....	10
2.17.	Diseño de mezclas de hormigón .....	11
2.18.	Método ACI 211 .....	11
2.19.	Tamaño máximo del agregado .....	12
2.20.	Granulometría y módulo de finura del agregado fino.....	12
2.21.	Método de Fuller y Thomson.....	13
2.21.1.	Contenido de agregados en la mezcla:.....	14
2.22.	Método por tanteos. ....	15
2.23.	Método por los módulos de finura .....	16
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....</b>		<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1.	Descripción del proyecto. ....	18
3.2.	Enfoque y tipo de investigación.....	18
3.2.1.	Diseño Experimental.....	18
3.3.	Definición de variables. ....	19
3.3.1.	Variable independiente. (Espesor de recubrimiento).....	19
3.3.2.	Variable dependiente. (Capacidad a flexión).....	20
3.4.	Flexión .....	20
3.5.	Selección de muestras. ....	20
3.6.	Número de muestras .....	21
3.7.	Fabricación de las vigas de ensayo. ....	23
3.7.1.	Dosificación del concreto. ....	23
3.7.2.	Descripción de parámetros para el diseño de mezcla. ....	24

3.8.	Especificaciones del acero de refuerzo (ASTM A615) .....	24
3.8.1.	Propiedades mecánicas principales del acero de refuerzo .....	24
3.8.2.	Colocación del acero de refuerzo.....	25
3.8.3.	Diámetros del acero de refuerzo .....	25
3.8.4.	Separación mínima entre barras de refuerzo.....	25
3.9.	Tipo de gancho estándar. ....	26
3.10.	Curado del concreto (ASTM C192).....	27
3.10.1.	Etapa inicial de curado.....	27
3.10.2.	Curado con agua. ....	27
3.11.	Ensayo a flexión.....	27
3.12.	Ensayo de flexión con carga en tres puntos .....	28
3.13.	Montaje en máquina de ensayo.....	28
3.13.1.	Aparatos y Equipos .....	28
3.13.2.	Aplicación de carga progresiva.....	29
3.13.3.	Carga gradual. ....	29
3.13.4.	Carga continua. ....	29
3.13.5.	Carga controlada.....	29
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>		<b>30</b>
<b>4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....</b>		<b>30</b>
4.1.	Cálculo de la desviación estándar: .....	31
4.2.	Muestras seleccionadas: .....	33
4.3.	Fuerza máxima por ensayo: .....	33
4.4.	Momentos flectores:.....	34
4.5.	Deformaciones unitarias. ....	38
4.6.	Análisis comparativo. ....	40
4.6.1.	Capacidad máxima de carga .....	40
4.6.2.	Momento máximo de la Viga .....	41
4.6.3.	Deformación unitaria de la viga.....	41
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>42</b>
<b>RECOMENDACIONES: .....</b>		<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>46</b>

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

En ingeniería civil, el diseño y análisis de vigas es fundamental para asegurar la seguridad y eficiencia de las construcciones. Uno de los factores que influyen en el comportamiento estructural de una viga es el recubrimiento, cuya función principal la protección de la armadura de acero frente a la corrosión y tener una adherencia adecuada al concreto. Sin embargo, su efecto en la capacidad de flexión de las vigas aún genera interrogantes en las prácticas constructivas.

¿Este estudio investiga el efecto del espesor del recubrimiento influye en la resistencia a flexión de una viga simplemente apoyada, considerando los efectos en la distribución de esfuerzos y la rigidez estructural? A través de ensayos experimentales y modelos analíticos se pretende estudiar el comportamiento en su capacidad portante con diferentes espesores de recubrimiento.

Los resultados de esta investigación permitirán optimizar los criterios de diseño de estructuras de vigas, proporcionando recomendaciones para mejorar la seguridad y eficiencia de las vigas en edificaciones. Con ello, se busca contribuir al desarrollo de normativas que regulen el uso del recubrimiento de las vigas y en función de su impacto en la capacidad resistente de los elementos estructurales.

#### **1.1.EL PROBLEMA**

#### **1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema central de esta investigación es verificar la incidencia que puede surgir al variar el espesor del recubrimiento en una viga de hormigón armado simplemente apoyada, e influir en la distribución de esfuerzos y deformaciones en el elemento estructural al aplicar una

carga puntual. Por este motivo, se plantea la necesidad de realizar un estudio experimental y numérico que permita determinar con precisión la incidencia del recubrimiento.

Desde un contexto teórico, la sostenibilidad de esta investigación se sustenta en los principios de la mecánica de materiales y en el diseño de estructuras de concreto reforzado que permitirán generar datos experimentales que contribuyan a mejorar las prácticas constructivas y el cumplimiento de estándares de seguridad en edificaciones.

Los recubrimientos mínimos establecidos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HM) y el Instituto Americano del Concreto (ACI 318) están basados principalmente en criterios de durabilidad. Este análisis incompleto no refleja el verdadero impacto que tiene el espesor del recubrimiento en la capacidad a flexión de las vigas de concreto reforzado.

### **1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Alcance:**

En esta investigación se enfocará en analizar la incidencia del recubrimiento en la resistencia a flexión de una viga simplemente apoyada de concreto armado, considerando distintos espesores de recubrimiento. Los ensayos experimentales se realizarán en los laboratorios de Ingeniería Civil. El código del Instituto Americano del Concreto (ACI 318-25, 2025) y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) sirven como base para esta investigación, ya que proporcionan los criterios necesarios para el diseño de una viga a flexión.

#### **1.3.2. Límites del estudio:**

#### **1.3.3. Ámbito teórico:**

Se basa en los principios de la mecánica de materiales y el diseño estructuras del concreto reforzado, haciendo uso de teorías de flexión, adherencia y transmisión de esfuerzos entre el acero

y el concreto. Además, se consideran dichas normativas como referencia técnica vigente, como el código del Instituto Americano del Concreto para comparar y evaluar el comportamiento experimental de las vigas. (ACI 318-25, 2025).

#### **1.3.4. Ámbito experimental:**

Se realizarán ensayos en laboratorio con vigas de concreto reforzado, variando el espesor del recubrimiento para evaluar su influencia en la capacidad a flexión. Además, en las pruebas de carga se hará uso del deformímetro para las deformaciones.

Este estudio permitirá establecer recomendaciones para el diseño y construcción de elemento estructural eficientes y seguros, contribuyendo al desarrollo de mejores prácticas en ingeniería civil.

### **1.4.JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El recubrimiento en las vigas de concreto reforzado desempeña un papel fundamental en la protección de la armadura frente a la corrosión y la consistencia entre el acero y el concreto. Sin embargo, su influencia en la capacidad de flexión de una viga simplemente apoyada genera incertidumbre en el diseño estructural. (Nilson y Darwin, 2010)

Este estudio contribuirá a la comprensión del comportamiento mecánico de las vigas, ya que se analizará cómo diferentes espesores de recubrimiento afectan la distribución de esfuerzos y deformaciones.

A nivel práctico y técnico, la investigación generará datos experimentales que podrán ser utilizados por ingenieros para comprender mejor la relación entre el recubrimiento y la capacidad de flexión y mejorar la eficiencia de las estructuras, lo que conducirá a construcciones más eficientes y, lo más importante, a precautelar vidas y bienes.

## **1.5.OBJETIVOS**

### **1.5.1. GENERAL**

- Evaluar la incidencia del espesor del recubrimiento en la capacidad a flexión de una viga simplemente apoyada de concreto reforzado, mediante estudios experimentales y analíticos, con el fin de optimizar los criterios de diseño estructural y garantizar mayor eficiencia y seguridad en las construcciones.

### **1.5.2. ESPECÍFICOS**

- Analizar experimentalmente la incidencia de los diferentes espesores de recubrimiento mediante ensayos de carga en tres puntos, y entender cómo influye el espesor en la capacidad del elemento estructural.
- Analizar el comportamiento estructural (deformación) en función del espesor del recubrimiento.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2. CONCEPTOS IMPORTANTES.**

#### **2.1. Vigas de concreto reforzado.**

Las vigas de concreto reforzado son elementos estructurales fundamentales en la construcción de edificaciones, puentes y otras infraestructuras. Su diseño debe garantizar una adecuada resistencia a los esfuerzos de flexión y cortante, los cuales se generan debido a la aplicación de cargas externas. (Nilson y Darwin, 2010)

La capacidad a flexión de una viga de concreto está influenciada por distintos factores, entre ellos que destacan las propiedades del concreto, la distribución de la armadura y el espesor del recubrimiento.

El recubrimiento en estructuras de concreto reforzado es un parámetro de diseño que asegura la protección del acero contra la corrosión y el fuego, además de contribuir a la adherencia entre los materiales. (Mehta y Monteiro, 2014)

#### **2.2. Flexión en vigas de concreto reforzado**

La flexión en una viga de concreto reforzado se produce cuando está sometida a cargas transversales que generan esfuerzos de compresión en la parte superior de la sección y esfuerzos de tracción en la parte inferior y debido a la baja resistencia a tracción del concreto, se incorpora acero de refuerzo en la zona traccionada para mejorar su capacidad resistente. (McCormac y Russell, 2017)

### **2.3.El recubrimiento en el diseño de vigas de concreto reforzado**

El recubrimiento es la distancia entre la superficie exterior del concreto y la armadura de refuerzo. Su función principal es proteger el acero de la corrosión y garantizar la adherencia entre el concreto y la armadura. (ACI 318-25, 2025)

### **2.4.Influencia del recubrimiento en la capacidad a flexión**

El espesor del recubrimiento puede afectar la capacidad a flexión de una viga de varias maneras:

### **2.5.Modificación de la distancia efectiva "d".**

Un aumento en el recubrimiento reduce la distancia efectiva entre la fibra extrema comprimida del concreto y la armadura traccionada, lo que disminuye el momento resistente de la viga. (Nilson y Darwin, 2010)

### **2.6.Adherencia entre el acero y el concreto.**

La adherencia es clave para la transferencia de esfuerzos entre los materiales. Un recubrimiento excesivo puede debilitar esta interacción, afectando la capacidad estructural. (Mehta y Monteiro, 2014)

### **2.7.Comportamiento en la falla estructural.**

Un espesor de recubrimiento mayor puede incrementar la vulnerabilidad al desprendimiento del concreto, especialmente en cargas elevadas, lo que compromete la capacidad portante de la viga. (Park y Paulay, 1975)

La ubicación efectiva del refuerzo, influenciada por el espesor del recubrimiento, afecta directamente el brazo de palanca en el cálculo del momento nominal de una viga sometida a flexión

es necesario evaluar experimentalmente este fenómeno para mejorar los criterios de diseño estructural. (Nilson y Darwin, 2010)

### **2.8. Normativa y recomendaciones sobre el recubrimiento.**

- La normativa ha establecido valores de recubrimiento con base en condiciones ambientales y estructurales. El código del Instituto Americano del Concreto establece un recubrimiento que no esté expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo, para viguetas de 20 mm y vigas de 40 mm. (ACI 318-25, 2025)
- Un recubrimiento con espesores grandes puede reducir la adherencia del acero, afectando la transmisión de esfuerzos y la resistencia a flexión de la viga. (Mehta y Monteiro, 2014)
- La reducción de la distancia efectiva “d” disminuye la capacidad de carga de la viga, resaltando la importancia de considerar el recubrimiento en los cálculos de diseño. (Nilson y Darwin, 2010)
- En un ensayo de vigas con recubrimiento elevados, se pueden observar fallas por desprendimiento del recubrimiento del concreto ya en las primeras cargas, esto antes de alcanzar la capacidad teórica a flexión que señala el diseño. Este comportamiento pone de manifiesto que, si bien una mayor cantidad de recubrimiento podría afectar negativamente la integridad estructural del elemento dado que va a presentar un modo de falla diferente al previsto. (Hibbeler, Mecánica de Materiales , 2006)
- Estos resultados muestran la importancia de realizar ensayos experimentales controlados, ya que permiten conocer de manera más real cómo influye el

recubrimiento en la resistencia a flexión y establecer así criterios de diseño más adecuados, que logren un equilibrio entre la protección del acero de refuerzo y el buen comportamiento estructural de la viga al aplicar una carga una carga.

## **2.9. Protección de las armaduras de los agentes externos**

Las armaduras de acero en estructuras de concreto armado deben estar protegidas de factores como la humedad, los cloruros, el dióxido de carbono y otros contaminantes que pueden provocar la corrosión del refuerzo, debilitando la capacidad estructural del concreto. (Neville A. , 2011)

## **2.10. Factores que afectan la durabilidad del refuerzo.**

### **2.10.1. Carbonatación del Concreto.**

La disminución del pH del concreto a valores inferiores a 9 provoca la desestabilización y pérdida de la capa pasiva que protege y se vuelve susceptible a la corrosión. (Mehta y Monteiro, 2014)

### **2.10.2. Ataque por cloruros.**

Pueden penetrar en el concreto y alcanzar las armaduras, rompiendo la capa de pasivación del acero y provocando corrosión localizada o en forma de picaduras. (ACI 318-25, 2025)

### **2.10.3. Por absorción del hormigón.**

Un concreto poroso o con fisuras permite una mayor entrada de agua y agentes agresivos, acelerando el proceso de deterioro del refuerzo. (Solís-Carcaño, 2019)

## **2.11. Métodos de Protección**

### **2.11.1. Recubrimiento de concreto.**

Existe espesores mínimos de recubrimiento en función del tipo de exposición ambiental.  
(ACI 318-25, 2025)

### **2.11.2. Concreto de alta durabilidad.**

La baja relación agua/cemento, los aditivos impermeabilizantes y cementos con adiciones minerales ayudan a reducir la porosidad y la permeabilidad del concreto, mejorando la protección del acero. (Mindess et al., 2003)

### **2.11.3. Inhibidores de corrosión.**

Estos productos reducen la velocidad de corrosión del acero y prolongan la vida útil de la estructura (Bertolini et al., 2004).

### **2.11.4. Protección catódica.**

La protección catódica con ánodos de sacrificio o corriente impresa puede mitigar la corrosión del refuerzo (Fontana, 2006).

### **2.11.5. Revestimientos epóxicos.**

Las barras de refuerzo recubiertas con epóxico reducen con mayor importancia la probabilidad de corrosión en ambientes agresivos. (ACI 318-25, 2025)

## **2.12. Comportamiento de vigas de concreto.**

El comportamiento de las vigas de hormigón armado frente a flexión se produce por la acción conjunta del concreto y el acero de refuerzo para resistir las cargas aplicadas. Su respuesta estructural depende de factores como la resistencia del concreto, la cantidad y distribución del acero, el recubrimiento, las dimensiones de la viga y las condiciones de carga y apoyo. Estos elementos influyen en la capacidad resistente, las deformaciones y la formación de fisuras durante el ensayo o funcionamiento de la estructura. (Nilson y Darwin, 2010)

### **2.13. Comportamiento Estructural**

El comportamiento de una viga de concreto armado sometida a una pequeña carga transversal incrementa gradualmente en magnitud hasta que la viga falla, pasando por tres etapas, no fisurada, fisurada, de fluencia y falla antes de que ocurra el colapso. (McCormac y Russell, 2017)

### **2.14. Estado inicial (no agrietado)**

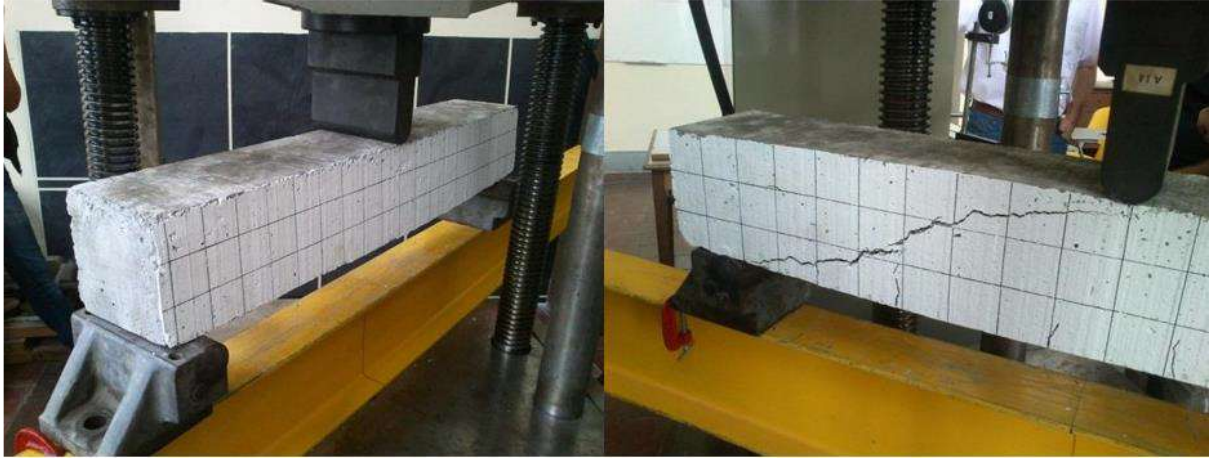
El estado inicial o no agrietado corresponde a la primera etapa del comportamiento de una viga de hormigón armado sometida a flexión, en la cual el concreto aún no presenta fisuras en la zona traccionada. (McCormac & Russell, 2017).

### **2.15. Estado fisurado (concreto agrietado)**

Cuando el esfuerzo de tracción supera la resistencia a la tracción del concreto, aparecen fisuras en la zona de tracción. La distribución de esfuerzos cambia y la inercia efectiva de la sección disminuye, lo que provoca un aumento de las deformaciones y flechas. (MacGregor y Wight, 2012).

### **2.16. Falla de la viga (Resistencia última)**

Cuando una viga de hormigón armado alcanza su resistencia última, significa que ha llegado al punto máximo que puede soportar antes de fallar, donde el acero de refuerzo comienza a fluir, es decir, a deformarse de manera permanente, mientras que el hormigón en la zona comprimida puede llegar a aplastarse debido al esfuerzo. (ACI 318-25, 2025)



**Figura 1:** Ensayo de una viga simplemente apoyado (Carvajal, 2015)

### **2.17. Diseño de mezclas de hormigón**

El diseño de mezclas consiste en definir las proporciones adecuadas de cemento, agua, agregados y, cuando se requiera, aditivos. Su finalidad es obtener un concreto que cumpla con las exigencias de resistencia, trabajabilidad y durabilidad de la obra. (ACI-211.1, 2002)

La dosificación depende de factores como el tipo de proyecto, las condiciones ambientales y la disponibilidad de materiales. Entre los métodos más utilizados se encuentran el ACI 211 y el de Fuller-Thompson. (Gómez, 2019)

### **2.18. Método ACI 211**

Define una metodología ordenada para el diseño de mezclas de concreto, orientado a que el material cumpla con las normativas establecidas para proyecto. Para ello define la proporción óptima de cemento, agregados y agua considerando factores como la exposición ambiental, la vida útil prevista, el tipo de elemento estructural y las condiciones constructivas. El proceso incluye determinar la resistencia deseada, seleccionar el tipo y cantidad de cemento, definir el tamaño máximo del agregado, calcular la proporción entre agregados finos y gruesos, ajustar la relación

agua/cemento y realizar verificaciones y ajustes finales hasta asegurar que la mezcla alcance las propiedades de trabajabilidad, resistencia y durabilidad especificadas. (Guazhco y Calderón, 2023)

### **2.19. Tamaño máximo del agregado**

La elección del tamaño máximo dependerá de la aplicación y las especificaciones del propio proyecto; no excederá el quinto del espesor mínimo del elemento, el tercio del espesor de las losas ni tres cuartos del espacio que existe entre las barras de refuerzo.

Un tamaño nominal del agregado que sea mayor, permite reducir los contenidos de cemento y agua para un mismo asentamiento, lo que representa una ventaja tanto técnico como económico en el diseño de mezclas de concreto. Por esta razón, se recomienda utilizar el tamaño más grande disponible que resulte compatible con las dimensiones y detalles del elemento estructural. En la presente investigación se adopta un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, debido a que esta dimensión es utilizada de manera estándar en los diseños y obras de construcción. (Guazhco y Calderón, 2023)

### **2.20. Granulometría y módulo de finura del agregado fino.**

El ensayo consiste en analizar la distribución de los diferentes tamaños de partículas que conforman el material, mediante un proceso de tamizado. Este procedimiento permite conocer las características del agregado y comprobar que cumpla con las especificaciones necesarias para su utilización en la elaboración del concreto.

**Tabla 1:** Límites granulométricos árido fino.

Abertura del tamiz		% que pasa	
N°	(mm)	Límite mínimo	Límite máximo
<b>3/8 pulg.</b>	9.5	100	100
<b># 4</b>	4.75	95	100
<b># 8</b>	2.36	80	100
<b># 16</b>	1.18	50	85
<b># 30</b>	600 $\mu\text{m}$	25	60
<b># 50</b>	300 $\mu\text{m}$	5	30
<b># 100</b>	150 $\mu\text{m}$	0	10

**Fuente:** (INEN, 2011)

La norma describe que el árido fino no debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo, su módulo de finura no debe ser menor a 2.3 ni mayor que 3.1 (INEN, 2011)

### **2.21. Método de Fuller y Thomson.**

En 1907, Fuller, W.B. y Thomson, S. E. plantearon una curva granulométrica continua con el objetivo de lograr una mejor combinación entre los agregados finos y gruesos utilizados en el concreto. El método es adecuado en estructuras que no están fuertemente armadas, la cantidad de cemento por metro cúbico del concreto es superior a 300 kg, el tamaño máximo del agregado es menor de 50+/- 20 mm (2''+/-3/4'') y los agregados son preferiblemente de forma redonda. (Almeida, 2019).

### 2.21.1. Contenido de agregados en la mezcla:

Como se mencionó anteriormente, este método utiliza como referencia una curva granulométrica para realizar la combinación adecuada de los agregados. Para ello, la distribución granulométrica de los materiales se determina mediante la siguiente fórmula.

$$y = 100 * \left(\frac{d}{D}\right)^m$$

**y** = porcentaje retenido en cada tamiz de abertura d;

**d** = abertura del tamiz en mm=0.5;

**D** = tamaño máximo del agregado.

Al variar el tamaño máximo del agregado (D) y la abertura de los tamices (d), se pueden obtener distintas curvas granulométricas de Fuller, las cuales permiten mejorar la distribución de las partículas y lograr una mayor compacidad en la mezcla de concreto. (Neville A. M., 2013)

**Tabla 2.** Curvas granulométricas de Fuller para diferentes tamaños máximos nominales.

Tamiz		Tamaño máximo mm (pulg)						
mm	pulg	76,1	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,51
		(3")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")
76,1	3"	100						
50,8	2"	81,6	100					
38,1	1 1/2"	70,7	86,6	100				
25,4	1"	57,8	70,7	81,6	100			
19	3/4"	50	61,2	70,7	86,6	100		
12,7	1/2"	40,9	50	57,8	70,7	81,6	100	
9,51	3/8"	35,4	43,3	50	61,2	70,7	87,2	100
4,76	No. 4	25	30,6	35	43,3	50	61,2	70,8
2,38	No. 8	17,7	21,6	25,4	30,6	35,4	43,3	50
1,19	No. 16	12,5	15,3	17,7	21,6	25	30,6	35,4
0,595	No. 30	8,8	10,8	12,5	15,3	17,7	21,6	25
0,297	No. 50	6,2	7,7	8,8	10,8	12,5	15,3	17,8
0,149	No. 100	4,4	5,4	6,2	7,7	8,8	10,8	12,6

**Fuente:** (INEN, 2011), Áridos para concreto.

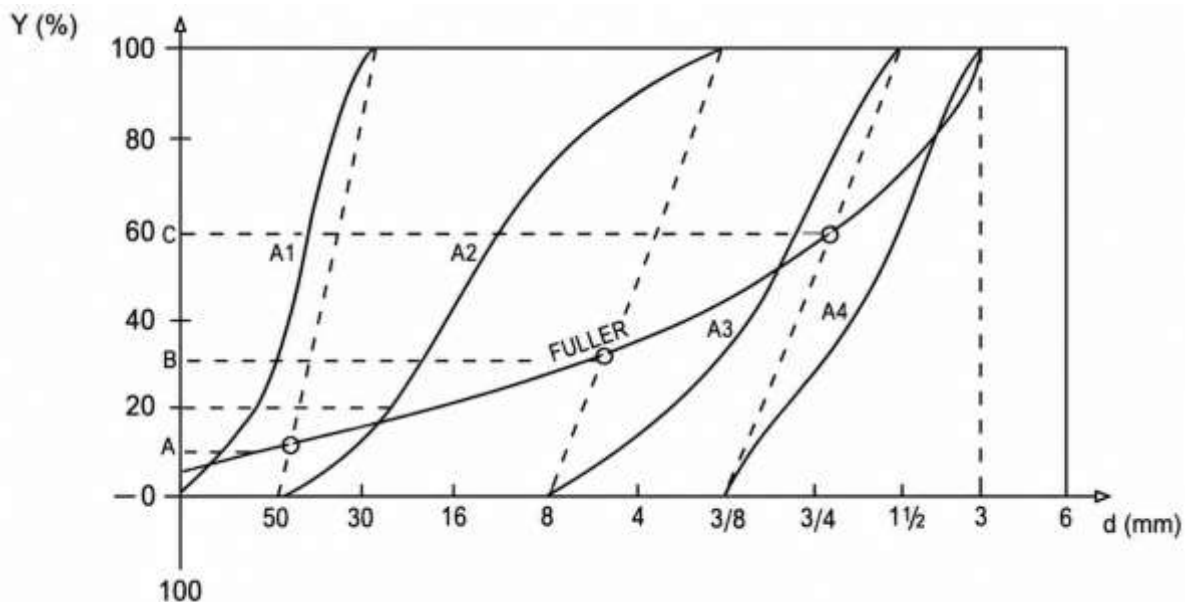
Fuller y Thompson, cumplían su análisis de granulometría deseado cuando esta permitía obtener la máxima densidad y por ende la mayor resistencia. (Sánchez de Guzmán, 2002)

Sin embargo, la aplicación de la ecuación de Fuller puede producir mezclas con menor cantidad de material fino, lo que puede disminuir la trabajabilidad y cohesión del concreto en estado fresco.

## 2.22. Método por tanteos.

Este procedimiento se caracteriza por ser práctico y de fácil aplicación. Con cierta experiencia, permite ajustar la curva granulométrica de los agregados de manera que se aproxime lo mejor posible a la curva de referencia. Para ello, las granulometrías de los agregados a combinar

se representan en una misma hoja semilogarítmica, colocando en el eje horizontal el tamaño del agregado (d) y en el eje vertical el porcentaje acumulado que pasa (Y). (Fonseca A. M., 2018)



**Figura 2:** Gráfica de agregados.

**Fuente:** (Fonseca A. M., 2018)

### 2.23. Método por los módulos de finura

Consiste en un procedimiento matemático que utiliza los módulos granulométricos de los agregados para encontrar la combinación más adecuada de materiales en el concreto.

Considerando  $n$  agregados (1,2,3, ...,  $n$ ) y sean módulos de finura son  $M F_1, M F_2, M F_3, \dots M F_n$ , y llamando  $MFF_1, MFF_2, MFF_3 \dots MFF_n$ , cuyos tamaños máximos coinciden con los agregados 2, 3, 4 ...,  $n$ , se busca determinar los porcentajes  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  que debemos emplear en cada agregado. Podemos plantear un sistema de ecuaciones con  $n$  incógnitas que serán los  $t_i$ , (Gomez, 2019)

$$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = 100$$

La curva de composición debe presentar un módulo de finura similar a  $MFF_i$  de la curva de Fuller, se puede plantear lo siguiente:

$$MFF_n = \frac{MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2 + \dots + MF_n * t_n}{t_1 + t_2 + t_n}$$

Donde 'n' es el número de agregados.

Al final se resuelve el sistema de ecuaciones.

$$t_1 + t_2 = 100$$

La suma de los porcentajes es el 100 %

$$MFF_2 = \frac{MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2}{t_1 + t_2}$$

El módulo de finura de Fuller se toma con el tamaño máximo del agregado.

$$t_1 = 100 * \frac{MF_2 - MFF_2}{MF_2 - MF_1} \quad t_2 = 100 - t_1$$

Si tenemos tres agregados, se tiene.

$$t_1 + t_2 + t_3 = 100$$

$$t_1 + t_2 = 100 \left( \frac{MF_3 - MFF_3}{MF_3 - MF_2} \right)$$

$$t_1 = \frac{(t_1 + t_2)(MF_2 - MFF_2)}{MF_2 - MF_1}$$

$$t_3 = 100 - (t_1 + t_2)$$

## **CAPÍTULO III: METODOLOGIA.**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS.**

#### **3.1. Descripción del proyecto.**

El presente análisis se orienta al estudio del comportamiento a flexión de vigas de hormigón de concreto simplemente apoyadas, considerando la variación del espesor de recubrimiento longitudinal. En este contexto, se plantea la ejecución de ensayos experimentales con cinco especímenes por modelo, con el propósito de evaluar la incidencia del recubrimiento en el comportamiento estructural de vigas sometidas a flexión, aplicando las normativas del recubrimiento, adherencia y longitudes. El análisis permitirá comparar los resultados obtenidos experimentalmente, con el propósito de identificar de que manera las variaciones en el espesor del recubrimiento influyen en el comportamiento de concreto armado, especialmente en la resistencia a flexión, la capacidad de carga y las deformaciones que se presentan durante los ensayos.

#### **3.2. Enfoque y tipo de investigación**

##### **3.2.1. Diseño Experimental**

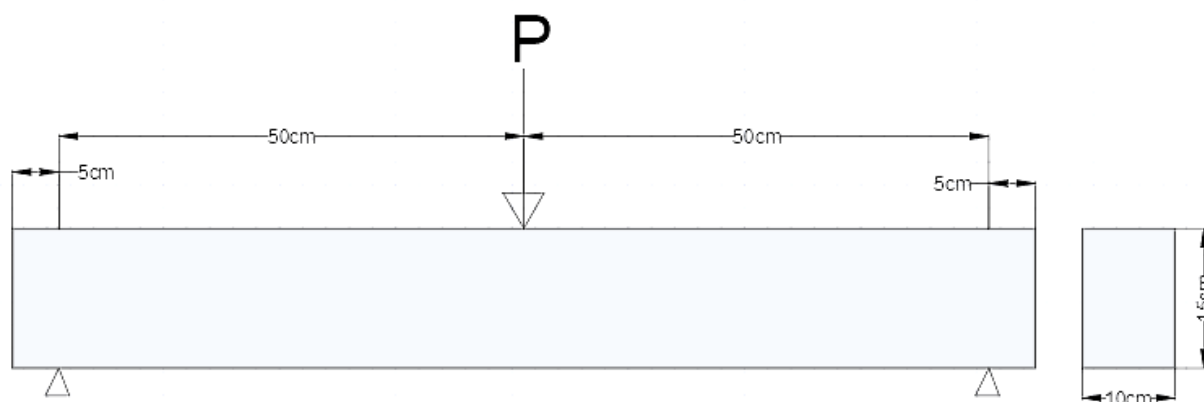
La investigación se desarrollará utilizando vigas de concreto armado de sección rectangular, diseñadas específicamente para los ensayos experimentales de flexión. Cada espécimen contará con dimensiones de 100 mm de ancho, 150 mm de la altura 150 mm y 1100 mm de longitud total.

El refuerzo longitudinal para tracción estará conformado por dos barras de acero de diámetro nominal de  $\varnothing 8$  mm y dos barras de  $\varnothing 5.5$  mm en la zona sometida a compresión.

Como refuerzo transversal se ubicará estribos cerrados de  $\varnothing 4$  mm, dispuestos de manera uniforme a lo largo del elemento con un espaciado constante de 60 mm, cumpliendo la función

de resistir esfuerzos cortantes, confinar el concreto y mantener la posición del acero longitudinal durante el colado. El concreto será diseñado para obtener una resistencia a compresión de ' $f'_c$ ' de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  a los 28 días de curado.

**Figura 3:** Viga con apoyos simples, carga puntual y sus respectivas dimensiones.



**Fuente:** Propia del autor

### 3.3. Definición de variables.

#### 3.3.1. Variable independiente. (Espesor de recubrimiento).

El recubrimiento de concreto para protección del refuerzo contra la intemperie y otros efectos se mide desde la superficie del concreto hasta la superficie exterior del acero. (ACI 318-25, 2025)

Cuando se especifica un recubrimiento de concreto para un elemento estructural, este debe medirse desde la superficie exterior del concreto hasta la parte externa de los estribos, garantizando así la protección adecuada del acero de refuerzo.

Su función principal es evitar el pandeo bajo ciertas condiciones de carga de compresión, evita la oxidación cuando se exponga al clima y la pérdida de resistencia cuando se expone al fuego. (NEC, 2015)

Se medirá mediante separadores previamente contruidos con medidas exactas de los recubrimientos y antes del vaciado del concreto se debe verificar.

### **3.3.2. Variable dependiente. (Capacidad a flexión).**

Es la máxima resistencia que presenta una viga frente a esfuerzos de flexión antes de alcanzar la falla estructural que está asociada al momento último que puede resistir el elemento.

### **3.4.Flexión**

Es uno de los esfuerzos más importantes que actúan sobre las vigas, ya que estos elementos estructurales soportan cargas transversales que producen momentos flexionantes a lo largo de su longitud. El comportamiento de una viga frente a este tipo de esfuerzo depende principalmente del trabajo conjunto entre el concreto y el acero de refuerzo. En una sección rectangular simplemente reforzada, el acero está ubicado en la zona inferior para resistir los esfuerzos a tracción generadas por la flexión, y en la parte superior el concreto absorbe los esfuerzos a compresión. (Park & Paulay, 1975)

### **3.5.Selección de muestras.**

La selección de muestras se define como el proceso mediante el cual se establecen las características y cantidad de los especímenes de vigas a ser fabricados y ensayados, con el fin de evaluar de manera controlada la incidencia del recubrimiento en la capacidad a flexión del concreto armado.

Para el estudio se emplearon vigas de concreto armado con recubrimientos de 10 mm, 15 mm y 20 mm, aplicados en diferentes especímenes de vigas de concreto armado.

Las muestras responden a un enfoque experimental comparativo, en el que se garantiza la uniformidad en los procesos de fabricación, curado y ensayo, con el objetivo de minimizar la

influencia de variables externas y asegurar que las diferencias en el comportamiento estructural se atribuyan exclusivamente al recubrimiento.

Además, la selección de muestras permite contar una base representativa y uniforme para obtener resultados confiables, orientados al análisis de la resistencia última a flexión y fallas presentados durante los ensayos.

### 3.6. Número de muestras

Según la normativa se establece un mínimo 3 especímenes por condición para asegurar confiabilidad estadística (C39/C39M, 2022)

En nuestro caso para garantizar la confiabilidad, repetibilidad y validez estadística de los resultados experimentales, se estableció la fabricación de de cinco vigas de concreto armado para cada modelo en función del espesor del recubrimiento del acero de refuerzo.

Para esta investigación se trabajará con cinco especímenes por grupo, permitiendo así la comparación de resultados dentro de un mismo nivel de recubrimiento y la identificación de posibles variaciones en el comportamiento estructural.

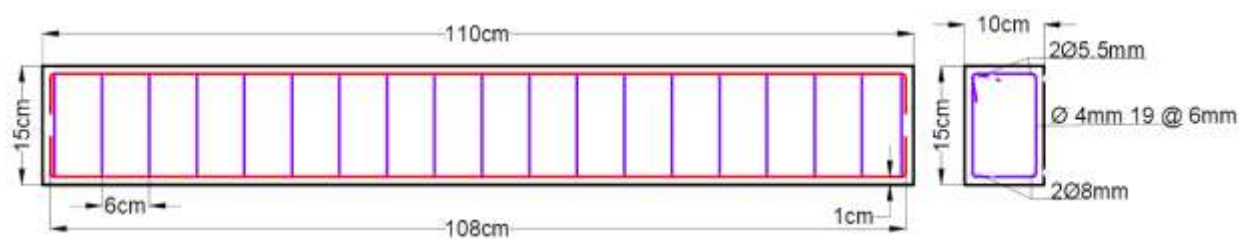
**Tabla 3.** Clasificación de recubrimientos por grupos.

<b>Grupo</b>	<b>Recubrimiento (cm)</b>	<b>Número de vigas</b>
V1	1	5
V2	1.5	5
V3	2	5

**Autor:** Propia del autor

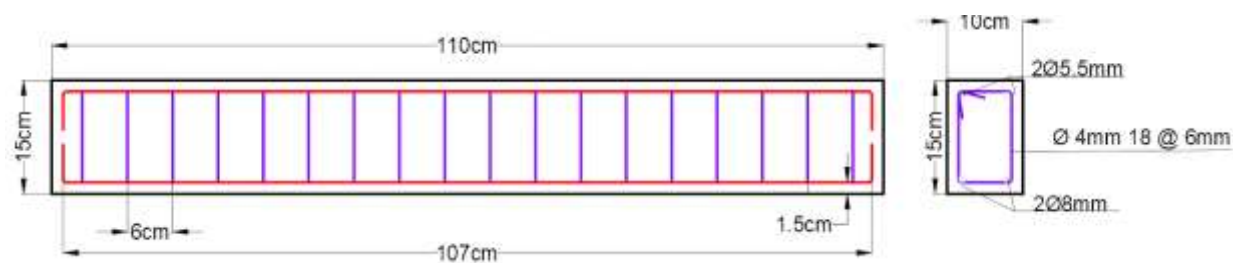
Esta distribución experimental permite evaluar la influencia del espesor de recubrimiento en parámetros como la resistencia a flexión, y modo de falla, manteniendo constantes las demás variables del estudio.

A continuación, se presenta el detalle del armado de la sección transversal, considerando los diferentes diámetros de acero de refuerzo y los respectivos espesores de recubrimiento adoptados en cada grupo de vigas.



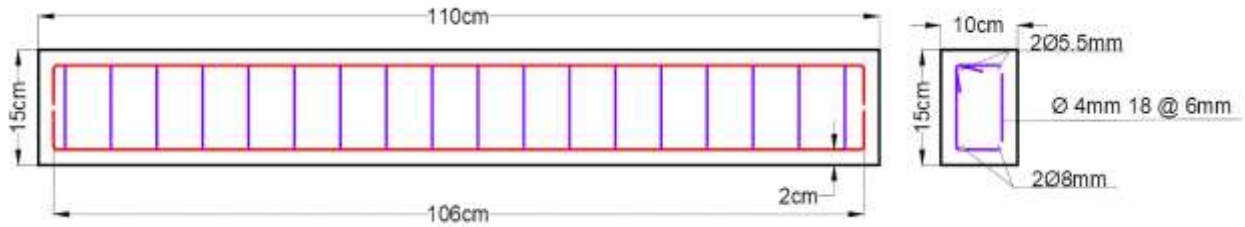
**Figura 4.** Detalle de armado y recubrimiento de 1 cm

**Fuente:** Propia del autor



**Figura 5.** Detalle de armado y recubrimiento de 1.5 cm

**Fuente:** Propia del autor



**Figura 6.** Detalle de armado y recubrimiento de 2 cm

**Fuente:** Propia del autor

### 3.7. Fabricación de las vigas de ensayo.

#### 3.7.1. Dosificación del concreto.

Tomando en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de los materiales empleados, se inicia el diseño de la mezcla del concreto a fin de alcanzar una resistencia de diseño de  $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ , al considerar las características granulométricas de los agregados finos y gruesos, verificando su cumplimiento con los criterios del Instituto Americano del Concreto. Este procedimiento permitirá una buena trabajabilidad y compacidad del concreto. (ACI-211.1, 2002)

### 3.7.2. Descripción de parámetros para el diseño de mezcla.

**Tabla 4:** Descripción de parámetros para el diseño de mezcla.

Descripción	Valor / método
Resistencia de diseño ( $f'c$ )	$210kgf/cm^2$
Método de dosificación	ACI 211
Relación agua/ cemento	0.45
Tipo de cemento	GU (Uso general)
Agregados	Arena y grava (ensayos granulométricos)

**Fuente:** Propia del autor

### 3.8. Especificaciones del acero de refuerzo (ASTM A615)

#### 3.8.1. Propiedades mecánicas principales del acero de refuerzo

Las características principales del acero de refuerzo a ser usadas en el diseño de estructuras en hormigón armado son las siguientes:

**Tabla 5:** Descripción de las propiedades del acero.

Propiedad	Símbolo	Valor típico
Límite de fluencia	$f_y$	$4200kgf/cm^2$
Módulo de elasticidad del acero	$E_s$	$2.1 * 10^6kgf/cm^2$

**Fuente:** Propia del autor

### 3.8.2. Colocación del acero de refuerzo.

En las estructuras de concreto armado es importante verificar aspectos como la resistencia, grado, tamaño, dobleces, espaciamiento, la ubicación y el estado del acero de refuerzo, además de los soportes y amarres utilizados durante su colocación. La colocación inapropiada del acero de refuerzo puede provocar agrietamientos, corrosión del acero y deflexiones excesivas, afectando la resistencia y durabilidad del elemento estructural. (ACI 318-19, 2019)

### 3.8.3. Diámetros del acero de refuerzo

El acero de refuerzo utilizado en estructuras de concreto armado debe cumplir con los diámetros nominales 'db' existentes en el mercado bajo normativas para garantizar su adecuada identificación y correcto comportamiento.

**Tabla 6:** Diámetros del acero de refuerzo

Nombre	diámetro (mm)
Acero a tensión	8
Acero a compresión	5.5
Estribos	4

Fuente: Propia del autor

### 3.8.4. Separación mínima entre barras de refuerzo.

Para refuerzo no preesforzado paralelo colocado en una capa horizontal, la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser al menos el mayor entre 25 mm, db, y  $(4/3)d_{agg}$ . (ACI 318-25, 2025)


Los límites mínimos se establecieron con el fin de permitir el flujo rápido del concreto dentro de los espacios comprendidos entre las barras y entre las barras y el encofrado sin formar hormigueros y con el objeto de evitar la concentración de barras en el mismo plano lo cual puede causar fisuración por cortante o retracción. (ACI 318-25, 2025)

### 3.9. Tipo de gancho estándar.

Se presenta las dimensiones mínimas de los ganchos estándar utilizados en barras corrugadas sometidas a tracción. Estos ganchos mejoran el anclaje del acero en el hormigón y ayudan a evitar el deslizamiento de las barras.

En el gancho de 90°, la barra se dobla en ángulo recto y debe cumplir una longitud recta y un diámetro mínimo de doblado según el diámetro de la barra utilizada, garantizando una adecuada adherencia y transferencia de esfuerzos. (ACI 318-19, 2019)

**Tabla 7.** Gancho estándar para el desarrollo de barras deformadas en tensión.

Tipo de gancho normalizado	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo del doblado, $d_b$	Extensión recta $\ell_{ext}$ <sup>(1)</sup> en pulg.	Tipo de gancho normalizado
Gancho de 90°	N.° 3 a N.° 8	$6d_b$	$12d_b$	
	N.° 9 a N.° 11	$8d_b$		
	N.° 14 y N.° 18	$10d_b$		

(1) La extensión recta  $\ell_{ext}$  se mide desde el punto en el que se desarrolla la barra hasta el extremo del gancho.  
 Nota:  $d_b$  = diámetro nominal de la barra.

Fuente: (ACI 318-25, 2025)

### **3.10. Curado del concreto (ASTM C192)**

#### **3.10.1. Etapa inicial de curado.**

Para evitar la pérdida de agua del concreto sin endurecer por evaporación, se debe cubrir las muestras inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una placa no absorbente, no reactiva o una lámina de plástico duradero, resistente e impermeable. Las muestras se deben almacenar inmediatamente después del acabado hasta que se retiren los moldes a fin de evitar que los especímenes pierdan humedad. (ASTM C192/C192M-14, 2014)

Las superficies de concreto expuestas deben mantenerse húmedas durante el tiempo de curado establecido en el proyecto, por al menos de 5 a 7 días. Mantener la húmeda en el concreto, favorece el proceso de hidratación del cemento, permitiendo un mejor desarrollo de la resistencia, durabilidad del material y más eficiente será el comportamiento del concreto. (Neville A. , 2011)

#### **3.10.2. Curado con agua.**

El curado debe realizarse de manera que la superficie conserve la humedad constante, utilizando agua limpia que esté libre de sustancias que pueden afectar sus propiedades. Para lograrlo se aplicó el método por inmersión que consiste en sumergir completamente la muestra dentro de una piscina con agua, así evitando la pérdida de humedad. (NEC, 2015)

### **3.11. Ensayo a flexión**

Para la presente investigación se empleará el método estándar establecido en la norma ASTM Internacional para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto mediante el método que consiste en aplicar una carga puntual en el centro de la viga simple. (ASTM INTERNACIONAL, 2016)

### 3.12. Ensayo de flexión con carga en tres puntos

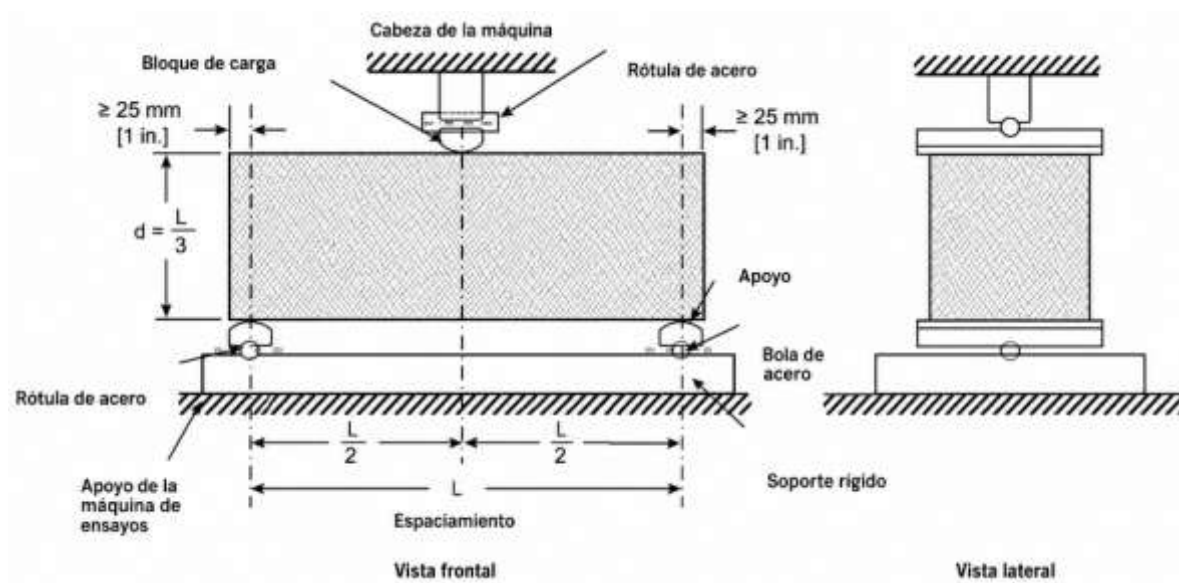
El ensayo de flexión con carga en tres puntos es uno de los métodos más utilizados para evaluar el comportamiento mecánico de elementos estructurales como vigas de hormigón armado, acero, madera y materiales compuestos. El ensayo permite determinar la resistencia a flexión, la capacidad de deformación y tipo de falla del elemento sometido a carga.

En este método, la viga se apoya sobre dos soportes simples ubicados en los extremos, mientras que una única carga puntual es aplicada en el centro del claro mediante una prensa o máquina universal de ensayo. (ASTM-C293, 2023)

### 3.13. Montaje en máquina de ensayo.

#### 3.13.1. Aparatos y Equipos

**Figura 7.** Máquina de ensayo a flexión con carga de punto central.



Fuente: (ASTM-C293, 2023)

### **3.13.2. Aplicación de carga progresiva**

La máquina utilizada en los ensayos fue una prensa hidráulica automática, con capacidad máxima de 200 toneladas, equipo que permite aplicar la carga de manera gradual y continua, garantizando mayor precisión durante el ensayo. Además, cuenta con la capacidad y rigidez necesarias para realizar ensayos en elementos de hormigón, cumpliendo con los requerimientos generales para máquinas de ensayo. (ASTM, 2022)

### **3.13.3. Carga gradual.**

La carga se aplicó de manera gradual y controlada, evitando aumentos bruscos, para poder observar de forma progresiva el comportamiento de la viga durante el ensayo, especialmente la formación y propagación de fisuras a medida que aumentaba la carga.

### **3.13.4. Carga continua.**

La carga se aplicó de manera continua durante todo el ensayo, sin pausas, para observar de forma progresiva el comportamiento de la viga y la evolución de sus esfuerzos y deformaciones conforme aumentaba la carga.

### **3.13.5. Carga controlada.**

La velocidad de aplicación de carga se reguló mediante el sistema de la máquina de ensayo, manteniendo un ritmo constante (en términos de carga o deflexión), de acuerdo con lo establecido en normas, asegurando resultados reproducibles y comparables. (C78/C78M-21, 2021)

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Para comprobar que los resultados obtenidos durante el ensayo de las vigas de concreto armado fueran consistentes y mantuviera un comportamiento uniforme, se empleó la desviación estándar como herramienta estadística. Esta medida permitió evaluar que tan dispersos se encontraban los datos respecto al valor promedio de cada grupo de recubrimiento ensayado.

**Tabla 8:** detalles de tipo de recubrimiento y cargas.

<b>RECUBRIMIENTO (cm)</b>	<b>CARGA MAX (Kgf)</b>
1	2050
1	2390
1	2070
1	1940
1	2050
1.5	2250
1.5	2210
1.5	2430
1.5	2500
1.5	2380
2	1570
2	1870
2	2330
2	2270
2	2120

**Fuente:** Autor propio

#### 4.1.Cálculo de la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

**S**= desviación estándar

**xi**= valor individual

$\bar{x}$ = promedio de las muestras

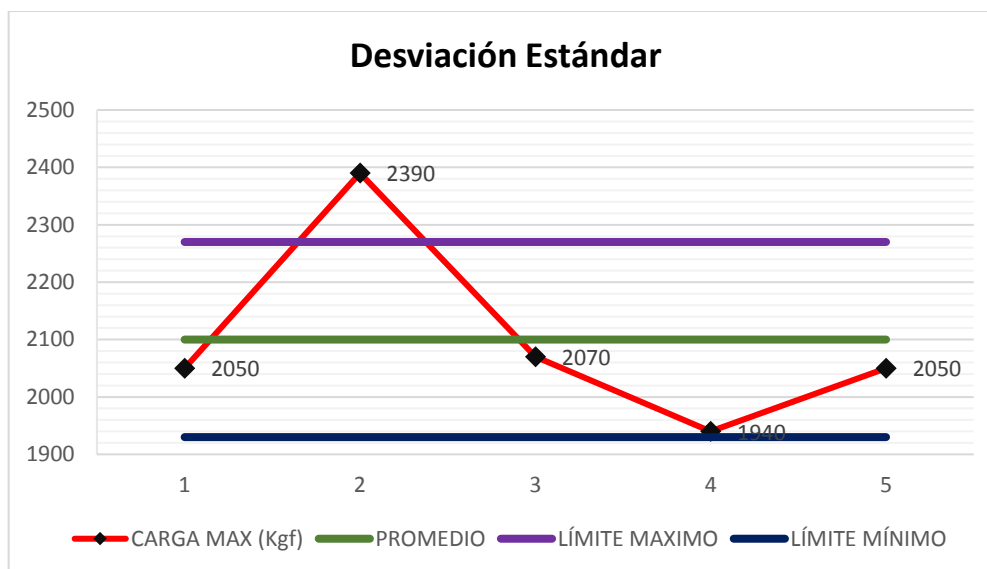
**n**=número total de especímenes

Datos y ejemplo de cálculos para el recubrimiento de 1 cm, se aplica el mismo procedimiento para las demás vigas.

**Tabla 9:** Datos de desviación estándar

<b>MUESTRAS</b>	<b>RECUBRIMIENTO (cm)</b>	<b>CARGA MAX. (Kgf)</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>LÍMITE MAXIMO</b>	<b>LÍMITE MÍNIMO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTANDAR (S)</b>
VIGA 1	1	2050	2100	2270	1930	170
VIGA 2	1	2390	2100	2270	1930	170
VIGA 3	1	2070	2100	2270	1930	170
VIGA 4	1	1940	2100	2270	1930	170
VIGA 5	1	2050	2100	2270	1930	170

**Fuente:** Autor propio



**Figura 8:** Diagrama de desviación estándar para vigas de 1 cm de recubrimiento

**Fuente:** autor propio

Este procedimiento se realizó para el grupo de vigas y posteriormente permitió comparar los resultados de cada muestra respecto al valor promedio de su grupo, identificando aquellas vigas cuyos valores se alejaban significativamente del comportamiento general. Cuando la desviación estándar es baja, los resultados presentan mayor uniformidad y confiabilidad experimental; en cambio, valores altos indican una mayor variación entre muestras, lo que puede tener relación al momento de fundir cada una de las vigas, armado del acero, compactación, vibrado durante el vaciado o el ensayo.

Datos seleccionados al cumplir con los parámetros de desviación estándar de los tres grupos de recubrimiento.

#### 4.2.Muestras seleccionadas:

**Tabla 10:** Datos de los especímenes seleccionadas.

<b>RESULTADOS DE LAS VIGAS ENSAYADAS EN LABORATORIO</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>RECUBRIMIENTO (cm)</b>	<b>CARGA MAX (Kgf)</b>
VIGA 1	1	2050
VIGA 3	1	2070
VIGA 4	1	1940
VIGA 5	1	2050
VIGA 1	1.5	2250
VIGA 3	1.5	2430
VIGA 5	1.5	2380
VIGA 2	2	1870
VIGA 3	2	2330
VIGA 4	2	2270
VIGA 5	2	2120

**Fuente:** autor propio

#### 4.3.Fuerza máxima por ensayo:

En el gráfico 9 muestra las cargas máximas que alcanzaron las vigas de hormigón armado con diferentes espesores de recubrimiento, durante el ensayo a flexión. Estos resultados permiten

analizar y comparar cómo influye el recubrimiento del acero de refuerzo en la capacidad resistente de las vigas, verificando cuál de los espesores proporciona un mejor comportamiento frente a las cargas aplicadas.



**Figura 9:** Diagrama carga -recubrimiento

**Fuente:** autor propio

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión muestran que el espesor del recubrimiento influye directamente en la carga máxima soportada por las vigas de concreto armado. Al comparar los diferentes grupos de recubrimiento, se observa un comportamiento estructural distinto en cada caso.

#### **4.4.Momentos flectores:**

Ya que el valor del momento último, no nos entrega la prensa de ensayo se procede a calcular con la carga máxima. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de momentos de la primera viga ensayada con un centímetro de recubrimiento, para encontrar los demás valores se sigue el mismo procedimiento de cálculo.

**Datos**

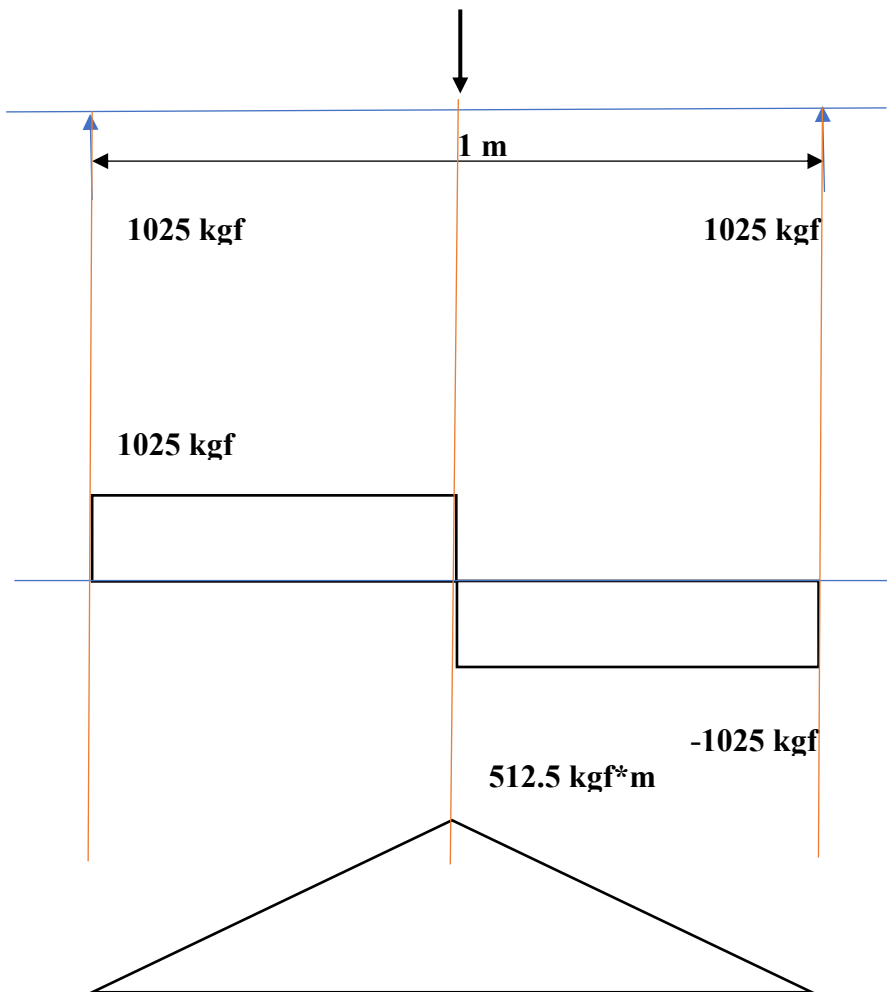
$$P=2050 \text{ kgf} \quad L=100 \text{ cm}$$

$$\Sigma M_a=0$$

$$P*L/2+By*L=0 \quad By=((P*L/2)/L) \quad By= 1025 \text{ Kgf}$$

$$\Sigma Fy=0 \quad P+By*Ay=0 \quad Ay=P+By \quad Ay=1025 \text{ Kgf}$$

$$P=2050\text{kgf}$$



**Figura 10.** Diagrama de cortantes y momentos máximos de la viga aplicada la carga máxima.

**Fuente:** Autor propio

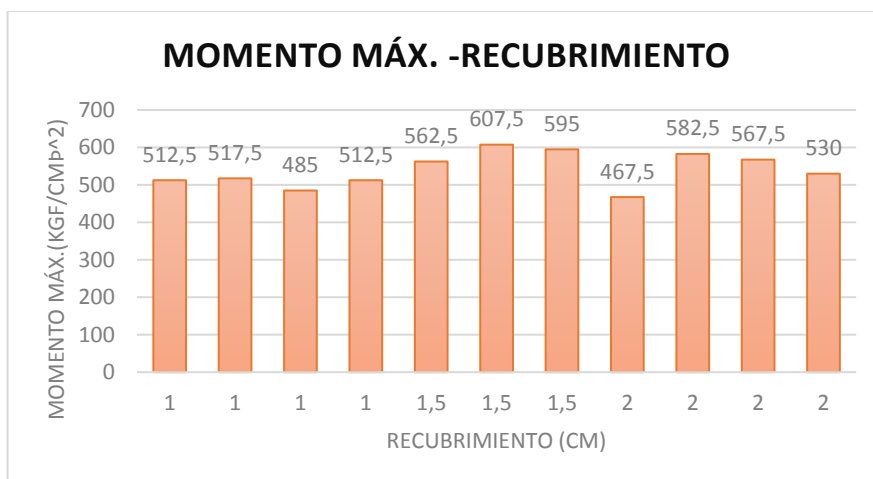
$$Mu = 512.5 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

$$Mu = ((P \cdot L) / 4) = 512.5 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

**Tabla 11.** Resultados obtenidos del cálculo de momentos.

MUESTRAS	RECUBRIMIENTO (cm)	MOMENTO (Mu)Kgf*m
VIGA 1	1	512.5
VIGA 3	1	517.5
VIGA 4	1	485
VIGA 5	1	512.5
VIGA 1	1,5	562.5
VIGA 3	1,5	607.5
VIGA 5	1,5	595
VIGA 2	2	467,5
VIGA 3	2	582.5
VIGA 4	2	567.5
VIGA 5	2	530

**Fuente:** Autor propio.



**Figura 11.** Momento máximo vs recubrimiento

**Fuente:** Propia.

Analizando cada uno de los resultados de momento máximo de cada viga, encontramos que las vigas con recubrimiento de 1,5 cm fueron las que alcanzaron los resultados más altos del ensayo. Tales resultados muestran un comportamiento a flexión mejor que el resto de recubrimientos. La dispersión de resultados se debe principalmente a pequeñas variaciones durante el hormigonado y ensayo de las vigas, las cuales influyen directamente en su capacidad resistente.

#### 4.5. Deformaciones unitarias.

**Tabla 12:** Deformaciones unitarias máximas obtenidas en el ensayo a flexión

<b>MUESTRAS</b>	<b>RECUBRIMIENTO (cm)</b>	<b>DEFORMACIÓN UNITARIA.</b>
VIGA 1	1	0.048
VIGA 3	1	0.060
VIGA 4	1	0.062
VIGA 5	1	0.077
VIGA 1	1,5	0.055
VIGA 3	1,5	0.077
VIGA 5	1,5	0.078
VIGA 2	2	0.054
VIGA 3	2	0.042
VIGA 4	2	0.061
VIGA 5	2	0.057

**Fuente:** autor propio

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión muestran que el recubrimiento influye en las deformaciones unitarias desarrolladas por las vigas de hormigón armado. Al comparar los diferentes grupos, se observa un comportamiento distinto en cada recubrimiento.



**Figura 12.** Deformación máxima vs recubrimiento

**Fuente:** Autor propia.

El ensayo pone de manifiesto que las vigas existentes con recubrimiento de 1.5 son las que evidencian las mayores deformaciones unitarias, pues muestran un comportamiento más dúctil y permiten una mayor deformación antes de alcanzar la falla estructural. Mientras que las vigas con recubrimiento de 2 cm corresponden a las de menor deformación evidenciando un comportamiento de menor ductilidad, a causa de la disminución del peralte efectivo de la sección. En los resultados generales, un recubrimiento intermedio genera un mejor equilibrio entre la protección del acero de refuerzo y el buen comportamiento estructural de la viga entre a flexión.

#### 4.6. Análisis comparativo.

**Tabla 13:** Promedio de cargas, momento y deformaciones

<b>PROMEDIO DE RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>RECUBRIMIENTO(CM)</b>	<b>CARGA MÁXIMA PROMEDIO</b>	<b>MOMENTO MÁXIMO PROMEDIO</b>	<b>DEFORMACIÓN</b>
1	2027.5	506.88	0.062
1,5	2353.33	588.33	0.070
2	2147.5	536.88	0.054

**Fuente:** autor propio

Los resultados promedios evidencian que el recubrimiento influye en el comportamiento a flexión de las vigas de concreto armado.

Las vigas con recubrimiento de 1.5 cm presentaron el mejor comportamiento, ya que soportaron la mayor carga promedio (2353.33 kgf) y registraron la mayor deformación (0.070), lo que indica una mejor capacidad resistente y mayor ductilidad antes de la falla.

En cambio, las vigas con 1 cm tuvieron una menor resistencia, mientras que las de 2 cm mostraron un comportamiento más rígido y menor deformación, debido a la reducción del peralte efectivo.

##### 4.6.1. Capacidad máxima de carga

Las vigas con recubrimiento de 1 cm tuvieron resultados de cargas entre 1940 kgf y 2070 kgf, obteniendo la menor capacidad resistente promedio (2027.5 kgf), debido posiblemente a una menor adherencia del concreto y el acero de refuerzo.

Las vigas de 1.5 cm de recubrimiento presentaron el mejor comportamiento, con cargas entre 2250 kgf y 2430 kgf y promedio de 2353.33 kgf, evidenciando una adecuada adherencia de esfuerzos entre el concreto y el acero de refuerzo.

Las muestras de vigas con recubrimiento de 2 cm alcanzaron valores entre 1870 kgf y 2330 kgf, con un promedio de 2147.5 kgf. Evidenciando un mejor desempeño que las de 1 cm, presentaron menor resistencia que las de 1.5 cm, debido a la reducción del peralte efectivo de la viga.

#### **4.6.2. Momento máximo de la Viga**

El momento máximo promedio muestra una variación según el recubrimiento utilizado. Las vigas con 2 cm alcanzaron un momento promedio de (536.88 kgf\*m), seguidas por las de 1 cm con 506.88 kgf\*m. En cambio, las vigas con 1,5 cm presentaron el mayor momento promedio (588.33kgf\*m).

Los momentos promedios máximos indican que, en cuanto a momento resistente, el recubrimiento de 1.5 cm fue que mejor se comportó. Sin embargo, este resultado debe ser analizado junto con la carga máxima y la deformación, dado que el mejor comportamiento estructural no sólo se puede asociar al momento sino también a la resistencia y ductilidad de la viga.

#### **4.6.3. Deformación unitaria de la viga**

No se consideró el análisis de deformaciones en las vigas con recubrimiento de 1 cm, debido a que durante el ensayo se produjo el desprendimiento del recubrimiento del concreto, esta situación tuvo como consecuencia el cambio en el comportamiento normal del elemento y la confiabilidad de las mediciones obtenidas.

Las vigas con recubrimiento de 1.5 cm alcanzaron una mayor deformación media (0.070) justo antes de fallar, por lo que la capacidad de deformación alcanzada de las vigas es mayor, lo que demuestra tener un comportamiento más dúctil y una mejor capacidad de absorción de las sollicitaciones de carga que se aplicaban.

Las vigas con recubrimiento de 2 cm registraron la menor deformación promedio (0.054), evidenciando un comportamiento más rígido ante las cargas a flexión. Este resultado es el que se asocia a una menor capacidad de deformación, lo cual también se asocia al hecho de que el peralte efectivo de la sección es menor.

## 5. CONCLUSIONES

- Los resultados de esta investigación muestran que el uso de recubrimientos incide en su comportamiento estructural.
- El no cumplimiento de normativa, en lo referente a recubrimiento, implica una variación en el peralte efectivo de la viga, consecuentemente, variación en su capacidad a flexión.
- El recubrimiento debe respetarse, sin embargo, la construcción de las vigas, por parte de los obreros, en ocasiones conllevan a errores involuntarios, lo cual se refleja en el incumplimiento en lo referente al recubrimiento.
- El recubrimiento tuvo incidencia directa en el comportamiento de la deformación en las vigas, donde el recubrimiento de 1.5 cm mostró el desempeño más favorable, ya que su peralte efectivo era el mayor con un recubrimiento permitido (1.5 cm en viguetas en condiciones controladas).

- Las vigas con recubrimiento de 1 cm tuvieron el peralte efectivo mayor, sin embargo, su recubrimiento no cumplía la normativa, lo que conllevó a su desprendimiento al momento del ensayo, presentando menor capacidad resistente, adherencia y confinamiento del acero de refuerzo, reflejando una menor eficiencia estructural, confirmando que un recubrimiento que incumple con la normativa influye en la resistencia.
- Las vigas con recubrimiento de 2 cm, que cumple con la norma, obtuvieron valores de capacidad de carga y momentos menores respecto al grupo de 1.5 cm de recubrimiento debido a la disminución del peralte efectivo de su sección (12.2 cm).

## **6. RECOMENDACIONES:**

- No utilizar recubrimientos muy pequeños, como 1 cm, porque son propensos al desprendimiento durante el ensayo.
- Garantizar un adecuado proceso constructivo, controlando la dosificación, compactación y curado del hormigón, así como la correcta ubicación del acero de refuerzo, debido a que pequeñas variaciones pueden afectar el comportamiento estructural de las vigas.
- Realizar futuras investigaciones considerando un peralte efectivo constante y un recubrimiento variable.
- Seguir las disposiciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y el Instituto Americano del Concreto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318-19. (2019). *Protection of Metals in Concrete Against Corrosion*.
- ACI 318-19. (2019). Requisitos del código de construcción para hormigón estructural.
- ACI 318-25. (2025). AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
- ACI-211.1. (2002). *Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo*.
- Almeida, D. W. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG*. Quito.
- ASTM C192/C192M-14. (2014). *Fabricación y curado de las probetas del hormigón en el laboratorio*. Estados Unidos.
- ASTM INTERNACIONAL. (2016). *Método estándar de ensayo para la resistencia a la flexión del concreto utilizando una viga simple con carga en el punto central (ASTM C293/C293M-16)*.
- ASTM, I. (2022). *ASTM*. Obtenido de Standard practices for force verification of testing machines. ASTM International.: <https://regional.astm.org/es>
- ASTM-C293. (18 de Agosto de 2023). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/665847009/Astm-c-293-Espanol>
- Bolívar, O. G. (1987). *GUIA PRACTICA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN*. Medellín.
- C39/C39M, A. (15 de AGOSTO de 2022). *sCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/587155228/ASTM-C39-RESISTENCIA-A-LA-COMPRESION-DE-CONCRETO>
- C78/C78M-21, A. (2021). *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*.
- Carvajal, M. E. (2015). Estudio del comportamiento a cortante en vigas de concreto reforzado.

- Chuquimarca Mamarandi, & R. (2025). *Diseño de hormigón con adición de pigmentos inorgánicos para la aplicación en pavimentos rígidos*. Quito.
- Concrete, A. I. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*.
- Cruz, D., López de León, F., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). *Guía Técnica de producción de hongos comestibles de la especie de Hongos Ostra*.
- Dominguez, W. A. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG*. Quito.
- Fonseca, A. M. (2018). *Estabilización de suelos*. Bogotá.
- Fonseca, A. M. (2018). *Estabilización de suelos*. Colombia.
- Fontana, M. (2006). *Corrosion Engineering*. Board.
- Gomez, S. M. (2019). *MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTRAS GRANULOMETRICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO SIMPLE HIDRÁULICO*. Bogotá.
- Gómez, S. M. (2019). *MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTRAS GRANULOMETRICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO SIMPLE HIDRÁULICO*. Bogotá.
- Guazhco, D. S., & Calderón, J. L. (2023). *Optimización de los diseños de hormigón para la empresa HORMI CENTER mediante las curvas relación agua-cemento vs. resistencia a compresión para los agregados de Santa Isabel y Paute*. Cuenca.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Perú.
- Hibbeler, R. C. (2006). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson Educación.
- Hibbeler, R. C. (2020). *Mecánica de materiales*. México.
- INEN. (2011). *NTE INEN 872*. Quito.
- INEN, 2. (2017). *VARILLAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE, SOLDABLES, MICROALEADAS O TERMOTRATADAS, PARA HORMIGÓN ARMADO*.
- Jack C. McCormac, R. H. (2011). *Diseño de concreto Reforzado*. México: Alfaomega.
- MacGregor, J., & Wight, J. (2012). *Hormigón armado*. Ingeniería.

- McCormac, J. C., & Russell, H. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. Mexico: Alfaomega.
- Mehta, P., & Monteiro, P. J. (2014). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. *Open Journal of Civil Engineering*, 704.
- NEC, N. E. (2015). *ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Neville, A. (2011). Tecnología del hormigón. *Open Journal of Civil Engineering*.
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto*. México: M. en A. Soledad Moliné Venanzi .
- Nilson, A. H., & Darwin, D. (2010). *Design of Concrete Structures*. California: McGraw-Hill Education, 2010.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Estructura de Concreto Reforzado*. Mexico: Limusa.
- Sánchez de Guzmán, D. (2002). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: <https://books.google.es/books?id=EWq->.
- Solís-Carcaño, R.-F. M. (2019). *Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción*. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.039>

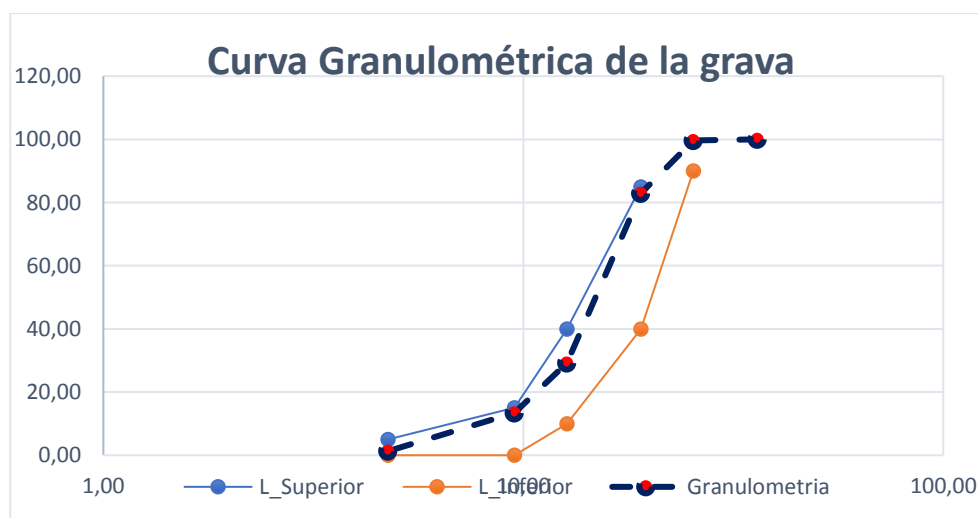
## 8. ANEXOS

### ANEXO 1: ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS



### Cuarteo y ensayo granulométrico de la grava.

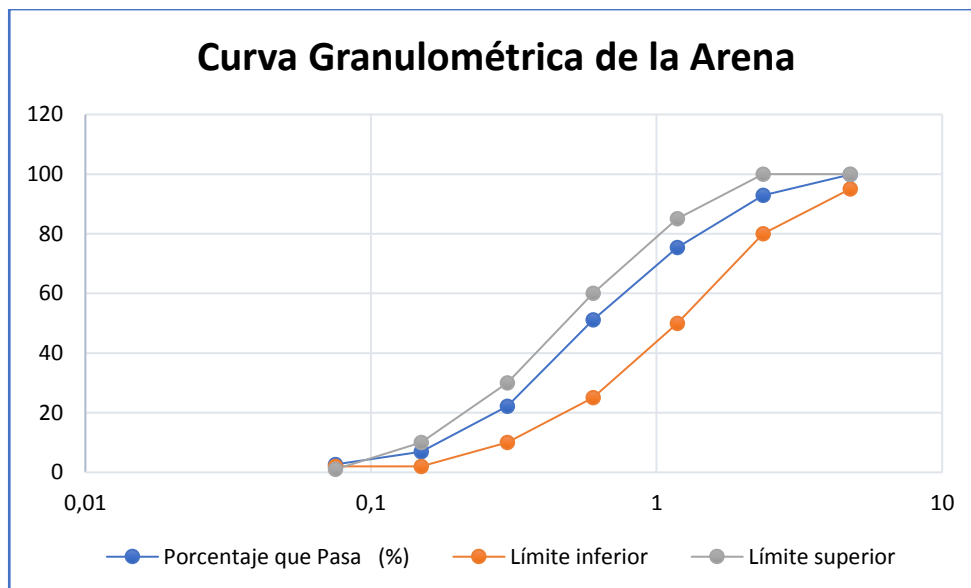
MUESTRA	11675	gr						
Granulometria Agregado Grueso							Lmites	
Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Lim.infer	Lim.supe
2"	50,80	0	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	36,10	0	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 "	25,40	31	31	0,37	0,37	99,63	90,00	100,00
3/4"	19,05	1990	2021	17,06	17,06	82,94	40,00	85,00
1/2"	12,70	6272	8293	53,76	70,82	29,18	10,00	40,00
3/8"	9,53	1840	10133	15,77	86,59	13,41	0,00	15,00
Nº4	4,76	1415,00	11548,00	12,13	98,71	1,29	0,00	5,00
Fondo		119,00	11667,00	1,02	99,73	0,27		
Total		11667,00		100,00		226,72		
MF agregado grueso		3,73						
%Error		0,069						
Modulo granulometrico		7,73						





Ensayo granulométrico de la arena

Muestra		800		gr				
Granulometría del material fino -arena							Límites	
Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Lim. Inferior	Lim.superior
4	4,76	4	4	0,55	0,55	99,45	95	100
8	2,36	54,5	58,5	7,52	8,07	91,93	80	100
16	1,18	135	193,5	18,62	26,69	73,31	50	85
30	0,6	203,5	397	28,07	54,76	45,24	25	60
50	0,3	225,5	622,5	31,10	85,86	14,14	5	30
100	0,15	84,5	707	11,66	97,52	2,48	0	10
200	0,075	15,5	722,5	2,14	99,66	0,34	0	3
Fondo		2,5	725	0,34	100,00	0,00		
Total		725		100,00		326,90		
Módulo de finura		2,73						
%Error		9,38						
Módulo granulométrico		2,67						



Ensayo para densidades de la arena.



**GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA ARENA: MÉTODO GRAVIMETRICO**

<b>Material Pasante en el Tamiz No. 4</b>			
<b>A=</b>	287,7	g.	MASA DE LA MUESTRA SECA AL HORNO
<b>B=</b>	658,10	g.	PIGNOMETRO+ AGUA HASTA LA MARCA DE CALIBRACION
<b>C=</b>	840,90	g.	PIGNOMETRO+AGUA+MUESTRA HASTA LA MARCA DE CALIBRACION
<b>S=</b>	300,00	g.	MASA DE LA MUESTRA SSS
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA AL HORNO=</b>			
		$\frac{A}{(B+S - C)}$	2,45
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA= SUPERFICIALMETE SECO</b>			
		$\frac{S}{(B+S - C)}$	2,55972696
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE=</b>			
		$\frac{A}{(B+A - C)}$	<u>2,74261201</u>
<b>% DE ABSORCION=</b>			
		$\frac{(S-A) \times 100}{A}$	4,27528676

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA GRAVA: MÉTODO VOLUMETRICO</b>			
<b>Material pasante en el tamiz No, 4</b>			
<b>A=</b>	1.300,2	g.	MASA EN AIRE DE LA MUESTRA SECA AL HORNO
<b>B=</b>	1323,00	g.	MASA EN AIRE DE LA MUESTRA SSS
<b>C=</b>	828,00	g.	MASA APARENTE EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SECA AL HORNO=</b>			
		$\frac{A}{(B - C)}$	2,63
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA = SUPERFICIALMETE SECO</b>			
		$\frac{B}{(B - C)}$	2,67272727

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE=</b>	$\frac{A}{(A - C)}$	2,75349428
<b>% DE ABSORCIÓN</b>	$\frac{(B-A) \times 100}{A}$	1,75357637



Material tanto de la arena y grava para obtener el peso volumétrico.

Peso volumetrico arena suelta			
Peso molde (gr)	3400,5	3400,5	3400,5
Volumen molde (cm3)	2760,424	2760,424	2760,424
PM+PMU (gr)	7580	7555,5	7650,5
Promedio (gr)	7595,333333		
Peso volumetrico (gr/cm3)	<b>1,52</b>	1520	

Peso volumetrico grava suelta			
Peso molde (gr)	5762	5762	5762
Volumen molde (cm3)	9299,663	9299,663	9299,663
PM+PMU (gr)	18997	18928,5	18802
Promedio (gr)	18909,16667		
Peso volumetrico (gr/cm3)	<b>1,41</b>	1414	

Peso volumetrico grava compactado			
Peso molde (gr)	5762	5762	5762
Volumen molde (cm3)	9299,663	9299,663	9299,663
PM+PMU (gr)	20221	20482,5	20253,5
Promedio (gr)	20319		
Peso volumetrico (gr/cm3)	<b>1,57</b>	1565	

## 8.1.ANEXO 2: DOSIFICACIÓN

### DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO ACI 211

DATOS GENERALES		
Tipo de construcción		
Resistencia del concreto (f'c) (28 dias)	210	kg/cm <sup>2</sup>
Peso Especifico del agua		
DATOS DEL CEMENTO		
Tipo	Sol/tipo I	
Peso saco del cemento	50	kg
Peso específico del cemento	3,15	gr/cm <sup>3</sup>
aire incorporado	si	no
Slump	4	pulg.

DATOS DEL AGREGADO				
Perfil	Agregado Fino		Agregado Grueso	
	angular			
Peso unitario suelto seco:	1520	Kg/m <sup>3</sup>	1414	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco:		Kg/m <sup>3</sup>	1565	Kg/m <sup>3</sup>
Peso especifico del agregado:	2,45	Kg/m <sup>3</sup>	2,63	Kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción (%abs):	4,28	%	1,75	%
Contenido de humedad (%W):	3,54	%	0,79	%
Módulo de fineza:	2,73			
Tamaño máximo nominal (TMN):			3/4	pulg.

Dosificación para las probetas cilíndricas

cemento =peso del cemento*volumen total=	4,60	kg
agregado fino=peso agre* volumen=	13,31	kg
agregado grueso=peso agre* volumen=	8,18	kg
agua= agua efectiva por el volumen total=	2,51	kg

## 8.2.ANEXO 3: ENSAYOS DE COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN



Cilindros de hormigón y curado



Ensayo de compresión del cilindro

### 8.2.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE LOS MUESTRAS DE CILINDROS

#### FECHA DE ENSAYO 19/02/2026 (7 DIAS)

Muestra	Diámetro(mm)	Altura(mm)	Peso(gr)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
M1	101,5	204	3796	152	2299,7
M2	101	203	3836,5	164	2358,9
			<b>Promedio</b>	<b>158</b>	<b>2329</b>

#### FECHA DE ENSAYO 26/02/2026 (14 DIAS)

Muestra	Diámetro(mm)	Altura(mm)	Peso(gr)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
M3	102	202	3867,5	196	2343,1
M4	101	201	3807,5	205	2364,3
			<b>Promedio</b>	<b>200,5</b>	<b>2354</b>

#### FECHA DE ENSAYO 12/03/2026 (28 DIAS)

Muestra	Diámetro(mm)	Altura(mm)	Peso(gr)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
M5	101	202	3803	243	2349,9
M6	101	203	3830,5	237	2355,2
			<b>Promedio</b>	<b>200.5</b>	<b>2353</b>

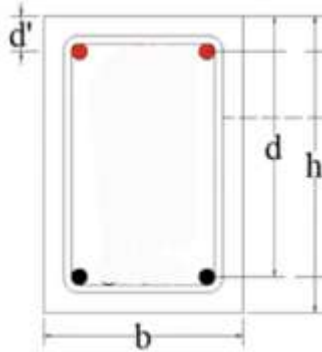
### 8.3.ANEXO 4: ENSAYO DE FLEXIÓN DE LAS VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO





## 8.4.ANEXO 5: DISEÑO DE LA VIGA

### Diseño de viga rectangular doblemente reforzado en H.A



#### Datos de los materiales

$$f'c := 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

resistencia del concreto

$$fy := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

fluencia del acero

$$E_s := 2.1 \cdot 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

M. de elast. del acero

$$Ec := 15100 \cdot \sqrt{f'c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 218819.789 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

M. de elast. del concreto

#### Datos geométrico

longitud de la viga

altura de la viga

$$l := 110 \text{ cm}$$

base de la viga

Diámetro de acero de compresión

Diam. del acero longitudinal

$$d_{est} := 4 \text{ mm}$$

Diam. del estribo

recubrimiento

$$d' := rec + d_{est} + \frac{d_c}{2} = 2.7 \text{ cm}$$

$$d := h - rec - d_{est} - \frac{d_b}{2} = 12.2 \text{ cm}$$

$$r_{centrid} := h - d = 2.8 \text{ cm}$$

Distancia desde el borde inferior hasta centroide de la barra de tracción

### Datos mecánicas de acero y concreto

Deformaciones límites

ACI

$$\varepsilon_{ty} := \frac{fy}{E_s} = 0.002$$

ACI

### Verificación del tipo de diseño

Amplificación de cargas

$$\rho_{concreto} := 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$L := 1.9 \text{ tonnef}$$

Carga viva

$$D := \rho_{concreto} \cdot b \cdot h \cdot l = 0.0396 \text{ tonnef}$$

Peso propio de la viga

$$Cd := \rho_{concreto} \cdot b \cdot h = 0.036 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

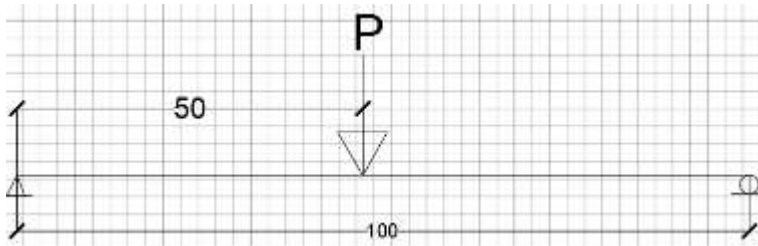
Carga distribuida de la viga en metro lineal

**Mayoración de Carga muerta y viva**

$$q_u = 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$$

$$P := 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L = 3.088 \text{ tonnef}$$

Carga total mayorada y puntual

**DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE**

$$l_1 := 100 \text{ cm}$$

**Determinación de reacciones y momento máximo**

Sumatoria de fuerzas

$$A_y + B_y - P = 0$$

$$A_y + B_y - 3.088 \text{ tonnef} = 0$$

$$A_y + B_y = 3.088 \text{ tonnef}$$

Sumatoria de momento con respecto en el apoyo A

$$B_y \cdot l_1 - P \cdot \frac{l_1}{2} = 0$$

$$B_y := \frac{P \cdot l_1}{2 \cdot l_1} = 1.544 \text{ tonnef}$$

Reacción en el apoyo B

$$A_y + 1.544 = 3.088 \text{ tonnef}$$

$$A_y := 3.088 \text{ tonnef} - B_y = 1.544 \text{ tonnef}$$

$$A_y = 1.544 \text{ tonnef}$$

Reacción en apoyo A

$$A_y = B_y = 1.544 \text{ tonnef}$$

Las reacciones son iguales porque la viga tiene una carga puntual en el centro de luz

Momento para carga puntual

$$M_1 := \frac{P \cdot (l_1)}{4} = 0.77188 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$M_u := M_1 = 77188 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

Momento máximo en el centro de la luz

$$V_{max} := A_y = 1.544 \text{ tonnef}$$

Cortante máximo

**Determinación de cuantía**

$$\phi := 0.9$$

$$\beta_1 := 0.85$$

$$\rho_{min} := \frac{14}{4200} = 3.333 \cdot 10^{-3}$$

cuantía mínima

$$\rho_{max} := \frac{3 \cdot 0.85 \cdot \beta_1}{1000 \cdot \varepsilon_{ty} + 6} \cdot \frac{f'_c}{f_y} = 0.0135$$

cuantía máxima

$$\rho_{max} := \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.005} \right) = 0.0135$$

$$\rho_{acero} := \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2 \cdot 0.85 \cdot f'_c}} \right) = 0.0172$$

Cuantía del acero

No cumple la condición por tanto se trabaja con la cuantía máxima.

$$\rho_{min} \leq \rho_{acero} > \rho_{max}$$

**Determinación de área de acero máximo**

$$As_{max} := \rho_{max} \cdot b \cdot d = 1.653 \text{ cm}^2$$

Resistencia del momento de diseño como viga simplemente reforzada

$$a := \frac{As_{max} \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b} = 3.889 \text{ cm}$$

$$c := \frac{a}{\beta_1} = 4.575 \text{ cm}$$

$$\frac{\varepsilon_t}{d-c} = \frac{\varepsilon_{cu}}{c}$$

$$\varepsilon_t := (d-c) \cdot \left( \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \right) = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_t \geq 0.005$$

fluye

$$Mn := As_{max} \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0.71189 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

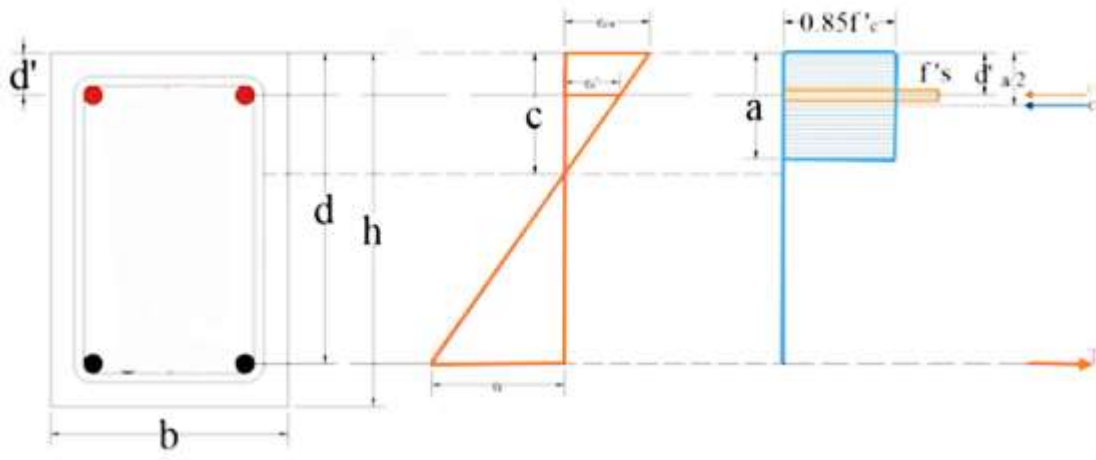
Momento nominal

$$\phi Mn_r := \phi \cdot As_{max} \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0.6407 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

El momento de diseño de resistencia de una viga.

No cumple el momento de diseño resistente a flexión como viga simplemente reforzada y se requiere un rediseño de una viga doblemente armada.

**Calculo de la resistencia de la viga doblemente reforzada**



$$A_{Acero} := \frac{(0.8 \text{ cm})^2 \cdot \pi}{4} = 0.50265 \text{ cm}^2$$

$$A_{Tt} := 2 \cdot A_{Acero} = 1.005 \text{ cm}^2$$

$$A_{AceroEstr} := \frac{(0.4 \text{ cm})^2 \cdot \pi}{4} = 0.12566 \text{ cm}^2$$

$$A_{Tes} := 2 \cdot A_{AceroEstr} = 0.251 \text{ cm}^2$$

$$A_{AceroC} := \frac{(0.6 \text{ cm})^2 \cdot \pi}{4} = 0.28274 \text{ cm}^2$$

$$A_{Tc} := 2 \cdot A_{AceroC} = 0.565486678 \text{ cm}^2$$

$$d = 12.2 \text{ cm}$$

$$d' = 2.7 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

Iteración de valores  $c$  y  $a$

$$C = (a \cdot b) \cdot 0.85 \cdot f'c$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$a = 0.85 c$$

$$C_c := a \cdot 10 \cdot 0.85 \cdot 210$$

$$C_c := 1785 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \cdot a_1$$

$$C = T_s$$

$$(a \cdot b) \cdot 0.85 \cdot f'_c + A_{Tc} \cdot f_y = 0$$

$$0.85 \cdot c_1 \cdot 10 \cdot 0.85 \cdot 210 + 0.565486678 \cdot \left( 2100000 \left( \frac{c_1 - d'}{c_1} \right) \cdot 0.003 \right) = 1.005309649 \cdot 4200$$

$$1517.25 c_1 + 3562.566071 \cdot \left( \frac{c_1 - 2.7}{c_1} \right) - 4222.300526 = 0$$

$$1517.25 c_1 + 3562.566071 \left( \frac{c_1 - 2.7}{c_1} \right) - 4222.300526 \xrightarrow{\text{solve}, c_1} \begin{bmatrix} -2.3098362374871268433 \\ 2.7446587486092227405 \end{bmatrix}$$

$$c_1 := 2.7446587486092227405 \text{ cm}$$

$$a_1 := 0.85 \cdot c_1 = 2.3329599363 \text{ cm}$$

**Determinación de límite de fluencia en compresión y tracción**

$$\xi_c := 0.003$$

$$\xi_o := \frac{\xi_c \cdot (c_1 - d')}{c_1} = 4.88134 \cdot 10^{-5}$$

*no fluye*

$$\xi_s := \frac{\xi_c \cdot (d - c_1)}{c_1} = 0.010335$$

*fluye*

$$f'_s = E_s \cdot \xi_o$$

$$f'_s = f_y$$

$$f'_s := E_s \cdot \xi_o = 102.508232 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

**Determinación, la condición de equilibrio de fuerzas**

$$C_s := A_{Tc} \cdot f'_s = 57.96704 \text{ kgf}$$

$$C_c := 1785 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \cdot a_1 = 4164.333486 \text{ kgf}$$

$$T_s = A_{Tt} \cdot f_y$$

$$T_s := A_{Tt} \cdot f_y = 4222.3005 \text{ kgf}$$

$$C_T := C_c + C_s = 4222.3005 \text{ kgf}$$

$$C_T = T_s$$

$$4222.3005 \text{ kgf} = 4222.3005 \text{ kgf}$$

Si cumple la condición de equilibrio de fuerzas

**Determinación de momento nominal y de diseño resistente**

$$M_n := C_c \cdot \left( c_1 - \frac{a_1}{2} \right) + C_s \cdot (c_1 - d') + T_s \cdot (d - c_1) = 0.464979 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento nominal

$$\phi M_n := \phi \cdot M_n = 0.418481 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

El momento de diseño de resistencia de una viga

No cumple el estado de resistencia del momento de diseño a flexión.

**Conclusión:** Cumple la condición de equilibrio de fuerzas y el momento de diseño resistente no resiste a la carga aplicada a flexión en viga doblemente reforzado. Por tanto se requiere aumentar el peralte de la viga y el peralte efectivo.

**Determinación de números de varilla de tracción**

$$\#varilla := \frac{A_{s_{max}}}{A_{Tt}} = 1.644$$

$$\#varilla = 2 \text{ varillas}$$

**Determinación de números de varilla de compresión**

$$A'_s := \frac{A_{Tt} \cdot f_y - 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_1}{f'_s} = 0.565 \text{ cm}^2$$

$$A's = 0.565 \text{ cm}^2$$

Área de compresión

$$\#Vc := \frac{A's}{A_{aceroC}} = 2$$

$$\#Vari = 2 \text{ varillas}$$

**Diseño a cortante de una viga**

$$V_{max} < \phi (V_s + V_c)$$

Condición general

Resistencia nominal del concreto

Resistencia nominal del estribo

$$V_n = \text{ResistenciaNominalacortantedeH.A}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

**Acero de diseño de una viga con estribos**

Determinación de la resistencia del concreto al corte

$$\phi := 0.75$$

$$V_c := 0.53 \cdot \sqrt{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot f'c \cdot b \cdot d} = 0.937 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_c := \phi \cdot V_c = 0.703 \text{ tonnef}$$

**Cortante que deben resistir los estribos**

$$V_s := \frac{V_{max}}{\phi} - V_c = 1.122 \text{ tonnef}$$

$$\phi V_s := \phi \cdot V_s = 0.841 \text{ tonnef}$$

**Determinamos la condición**

$$\phi \cdot (V_s + V_c) = 1.544 \text{ tonnef}$$

$$V_{max} \leq \phi \cdot (V_s + V_c)$$

Cumple la condición

**Se verifica que el aporte por el acero del estribo sea menor al máximo**

$$V_s \leq V_{max} = 8 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d - V_c$$

*ACI*

$$V_{smax} := 8 \sqrt{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot f'_c \cdot b \cdot d - V_c} = 13.207 \text{ tonnef}$$

Cortante máximo permitido por ACI

$$V_s \leq V_{max}$$

Cumple la condición

**Área del estribo**

$$A_v := A_{T_{es}} = 0.251 \text{ cm}^2$$

**Calculamos el espaciamiento de los estribos**

$$S_{teorico} := \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{V_s} = 11.478 \text{ cm}$$

**Limitación normativa ACI**

$$S_{max} \leq \frac{d}{2}$$

$$S_{max} := \frac{d}{2} = 6.1 \text{ cm}$$

Se opta para hacer cumplir Según ACI

$$S_{max} = 6 \text{ cm}$$

Espaciamiento de los estribos

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Nosotros, Freddy Samuel Cayancela Achote y Galo José Unup Naratza portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0503043226 y N.º 1900407311. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Incidencia del recubrimiento en la capacidad a flexión de una viga simplemente apoyada" 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, 04 de junio de 2026

  
F: .....  
Freddy Samuel Cayancela Achote  
0503043226

  
F: .....  
Galo José Unup Naratza  
1900407311