



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

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

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA A  
FLEXIÓN, AL VARIAR EL ÁNGULO DEL GANCHO  
ESTÁNDAR PARA EL DESARROLLO DE BARRAS  
CORRUGADAS A TRACCIÓN**

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

**AUTOR: LEIDY ANDREA GUACHISACA SACA**

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

**CUENCA - ECUADOR**

**2025**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

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

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA A FLEXIÓN, AL  
VARIAR EL ÁNGULO DEL GANCHO ESTÁNDAR PARA EL  
DESARROLLO DE BARRAS CORRUGADAS A TRACCIÓN

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN**

**DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: LEIDY ANDREA GUACHISACA SACA**

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

**CUENCA - ECUADOR**

**2025**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

### DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Leidy Andrea Guachisaca Saca** portador de la cédula de ciudadanía N.º 1950009132. Declaro ser el autor de la obra **“Análisis del comportamiento de una viga a flexión, al variar el ángulo del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas a tracción”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi 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 me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 07 de abril de 2025

F:  .....

Leidy Andrea Guachisaca Saca  
1950009132

Cuenca, 12 de marzo de 2025

#### **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Julio Calle Castro, certifico que el proyecto de titulación con el tema: **“Análisis del comportamiento de una viga a flexión, al variar el ángulo del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas a tracción”**, fue elaborado por la estudiante LEIDY ANDREA GUACHISACA SACA, quien ha 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.**

Dedico este trabajo de investigación con sinceridad y profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi apoyo constante e incondicional a lo largo de mi vida y mi trayectoria universitaria. Su motivación ha sido fundamental para alcanzar esta meta que hoy puedo decir que lo logre. También quiero dedicarlo a mis hermanos, que han sido mi soporte en los momentos más difíciles aconsejándome y motivándome para que no me detenga en cumplir mi meta. Este logro es el fruto del esfuerzo conjunto de la familia Guachisaca Saca, ya que hemos trabajamos siempre en equipo en cualquier desafío que la vida nos presenta y en mi trayectoria académica no fue la excepción.

Quiero dedicar también a mis abuelitos un agradecimiento por siempre estar al pendiente de mí, en cada llamada preguntando si iba bien en mi carrera por mandarme alimentos en cada ocasión que podía hacerlo, lo cual fue un apoyo más para mí una estudiante que luchaba por cumplir su sueño y no defraudarlos. A mi abuelita que está en el cielo le dedico en especial a ella que todo lo que pensaba algún día darle no lo voy a poder hacerlo, por eso mamita este esfuerzo y dedicación es para ti, espero que te haga muy feliz tener una nieta que pudo lograr lo que se propuso y me disculpes por no haber estado junto a ti.

Finalmente, dedico este trabajo a toda mi familia que he apoyado con un granito de arena con sus ánimos y consejos, en especial a mi tío Sebastián Gualán que la alegría que el transmite al ver que mis hermanos se graduaron y que será la próxima, no se puede ignorar lo cual nos hace sentir orgullosos de que hemos logrado. Por otra parte, dedico a mis tíos Ángel Guachisaca y Zoila Saca por su generosidad, cariño y por brindarme un hogar lejos de casa y el apoyo necesario que me permitieron culminar mis estudios.

## **AGRADECIMIENTO.**

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta aquí, por darme salud, bienestar y la sabiduría necesaria para tomar la decisión acertada en este camino. A mis padres, les expreso mis más sinceros agradecimientos, por haber sido un pilar fundamental les agradezco por su apoyo y compañía, sus sacrificios han dado frutos gracias por confiar en mis capacidades, su respaldo y orientación han sido esenciales en cada etapa de mi carrera. Además, extendiendo mi gratitud a mis hermanos, quienes han sido mis mejores amigos y compañeros en este recorrido, juntos hemos superado muchos desafíos que día a día nos han hecho más fuertes.

Agradezco también a mis docentes, quienes compartieron sus valiosos conocimientos y sus enseñanzas fueron cruciales para mi formación profesional, en especial agradezco mi tutor de tesis por su paciencia que puso en mi para que esta tesis se pueda desarrollar de la mejor manera.

Mi agradecimiento también son para mis amigas que la universidad me regalo, son quienes siempre han estado a mi lado y con quienes he compartido experiencias inolvidables y construido una buena amistad, gracias a ellas mi paso por la universidad se volvió fácil por la compañía y el cariño que sentía de ellas me hizo no sentirme sola.

A todas las personas que han formado parte de mi vida y han contribuido de alguna manera en mi crecimiento académico y personal, les expreso mis sinceros agradecimientos. Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la dedicación de cada uno de ustedes.

**RESUMEN.**

El diseño estructural de las vigas de hormigón armado depende de la adecuada adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto. Por lo tanto, los ganchos estándar en los aceros de refuerzo longitudinal han sido ampliamente utilizados para mejorar la transferencia de esfuerzos y garantizar un comportamiento estructural. Además, las normativas vigentes como el ACI 318-19 y la NEC, limitan su diseño a ángulos de 90° y 180°. Esta limitación plantea la necesidad de evaluar experimentalmente el comportamiento de vigas con diferentes ángulos de ganchos de 30°, 60°, sin ganchos y adicional lo que recomienda la norma, con el fin de analizar el comportamiento de todos los ganchos mediante el ensayo a flexión.

Dentro del análisis del ensayo a flexión se pretende encontrar los siguientes parámetros como es: fuerza máxima, momentos máximos y deformación unitaria máxima, para ello se realizan 3 especímenes para cada tipo de gancho para obtener mejores resultados. Los resultados obtenidos demostraron que la viga sin gancho tiene la menor resistencia. Por otra parte, las vigas con ganchos de 60° y 90° destacaron por su eficiencia, alcanzando cargas máximas de 4328.05 kgf y 4330.14 kgf y momentos máximos 541.00kgf\*m y 542.02 kgf\*m, con una deformación unitaria de 0.0134 y 0.0102. Estos resultados sugieren que un ángulo de 60° podría ofrecer un desempeño estructural comparable al de 90°, a pesar de no estar contemplado en las normativas actuales.

*Palabras clave:* ganchos, momentos, cargas, deformaciones, flexión, vigas.

## ABSTRACT

The structural design of reinforced concrete beams depends on an adequate bond between the reinforcing steel and the concrete. Therefore, standard hooks in longitudinal reinforcing steel have been widely used to improve stress transfer and ensure structural behavior. Furthermore, current regulations such as ACI 318-19 and NEC, limit their design to angles of 90° and 180°. This limitation raises the need to experimentally evaluate the behavior of beams with different hook angles of 30°, 60°, without hooks, and additionally what the standard recommends, to analyze the behavior of all hooks using a flexural test.

Within the analysis of the flexural test, the aim is to find the following parameters: maximum force, maximum moments, and maximum unit strain. For this, 3 samples are made for each hook type to obtain better results. The results demonstrated that the beam without a hook has the lowest resistance. On the other hand, the beams with 60° and 90° hooks stood out for their efficiency, reaching maximum loads of 4328.05 kgf and 4330.14 kgf and maximum moments of 541.00 kgfm *and* 542.02 kgfm, with a unit strain of 0.0134 and 0.0102. These results suggest that a 60° angle could offer structural performance comparable to 90°, despite not being contemplated in current regulations.

*Keywords:* hooks, moments, loads, deformations, flexure, beams

## INDICE

<b>DEDICATORIA.</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO.</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN.</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES.</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2 EL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
2.2.1 Alcance .....	3
2.2.2 Procedimientos Técnicos.....	3
2.2.3 Exclusiones.....	5
2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>7</b>
3.1 GENERAL .....	7
3.2 ESPECÍFICOS. ....	7
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO.</b> .....	<b>8</b>
<b>4 CONCEPTOS IMPORTANTES.</b> .....	<b>8</b>
4.1 HORMIGÓN ARMADO. ....	8
4.2 VENTAJAS DEL HORMIGÓN ARMADO.....	8
4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN. ....	9
4.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	10
4.4.1 Áridos. ....	10
4.4.2 El tipo y la cantidad de cemento.....	12
4.4.3 Agua de mezclado. ....	12
4.4.4 Relación agua –cemento (a/c).....	12
4.5 DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. ....	13
4.5.1 Método ACI 211 .....	14
4.5.2 Método De Fuller y Thompson .....	16

4.6	FLEXIÓN EN VIGAS. ....	20
4.6.1	Restricciones Geométricas y de Resistencia a la flexión. ....	24
4.6.2	Ensayos de Flexión en vigas de concreto armado .....	26
4.7	ACERO DE REFUERZO .....	27
4.7.1	Para el refuerzo se tienen las siguientes consideraciones.(ACI 318-19, 2019) 28	
4.7.2	Diámetros del acero de refuerzo .....	29
4.7.3	Barras Corrugadas .....	29
4.7.4	Ganchos estándar .....	29
4.7.5	Ganchos de estándar de refuerzo transversal.....	31
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA. ....</b>		<b>32</b>
<b>5</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
5.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO. ....	32
5.2	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	32
5.3	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	36
5.4	DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN .....	36
5.5	PREPARACIÓN DEL ÁREA Y MATERIALES .....	37
5.6	CONSTRUCCIÓN DEL ENCOFRADO. ....	38
5.7	ARMADO Y COLOCACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	38
5.8	PREPARACIÓN Y MEZCLADO DEL HORMIGÓN .....	39
5.9	VACIADO Y DISTRIBUCIÓN DEL HORMIGÓN.....	39
5.10	ENRASADO DE LA SUPERFICIE .....	40
5.11	CURADO DEL HORMIGÓN.....	40
5.12	DEENCOFRADO.....	40
5.13	INSPECCIÓN Y ENSAYOS .....	41
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>42</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
6.1.	MOMENTOS FLECTORES OBTENIDOS:.....	42
6.2.	FUERZA MÁXIMA POR ENSAYO: .....	46
6.3.	DEFORMACIÓN MÁXIMA:.....	47
6.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	49
6.4.1.	Capacidad de carga de las vigas. ....	50
6.4.2.	Momento máximo de la Viga. ....	51
6.4.3.	Deformación Estructural.....	52

6.1.1 Resultados obtenidos con las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).....	52
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

### INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Curva esfuerzo versus deformación típica del hormigón. _____	9
<b>Ilustración 2</b> Los volúmenes de agregado grueso seco y compactado con varilla ( $V_{gsc}$ ) por metro cubico de concreto. _____	16
<b>Ilustración 3</b> Dosificación grafica de agregados por Fuller- Thompson. _____	18
<b>Ilustración 4.</b> Características de la mezcla empleada para un hormigón de 21 MPa de resistencia a la compresión. _____	20
<b>Ilustración 5.</b> Estado no agrietado del hormigón. _____	22
<b>Ilustración 6.</b> Estado agrietado del hormigón _____	23
<b>Ilustración 7.</b> Estado último del hormigón. _____	24
<b>Ilustración 8.</b> Diseño de Flexión en vigas. _____	26
<b>Ilustración 9.</b> La forma de refuerzo a flexión. _____	26
<b>Ilustración 10.</b> Ejemplo de viga de hormigón de refuerzo sometido a flexión. _____	27
<b>Ilustración 11.</b> Diseño de Viga con Carga Aplicada. _____	33
<b>Ilustración 12.</b> Diseño del armado transversal del acero de refuerzo. _____	34
<b>Ilustración 13.</b> Detalle de armado del ángulo de $0^\circ$ . _____	34

<b>Ilustración 14.</b> Detalle de armado del ángulo de $30^\circ$ .	34
<b>Ilustración 15.</b> Detalle de armado del ángulo de $60^\circ$ .	35
<b>Ilustración 16.</b> Detalle de armado del ángulo de $90^\circ$ .	35
<b>Ilustración 17.</b> Detalle de armado del ángulo de $180^\circ$	35
<b>Ilustración 18.</b> Diagrama de cortantes y momentos máximos de la viga aplicada una carga máxima.	43
<b>Ilustración 19.</b> Momento máximo por ensayo.	45
<b>Ilustración 20.</b> Fuerza máxima por ensayo	47
<b>Ilustración 21.</b> Max. Deformación por ensayo.	49

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades mecánicas típicas del hormigón .....	10
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones para ensayos de componentes del hormigón. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Volúmenes de agregado grueso por metro cúbico de concreto. ....	15
<b>Tabla 4.</b> Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos.....	17
<b>Tabla 5.</b> Diámetros mínimos y máximos de varillas de refuerzo. ....	29
<b>Tabla 6.</b> Geometría de gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción. .....	30
<b>Tabla 7.</b> Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento.....	31
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de Diseño para una mezcla de hormigón.....	37
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos del cálculo de momentos. ....	44
<b>Tabla 10.</b> Cargas máximas obtenidas del ensayo a flexión. ....	46
<b>Tabla 11.</b> Deformaciones unitarias máximas obtenidas en el ensayo a flexión. ....	48
<b>Tabla 12.</b> Promedio de resultados obtenidos de Carga Máxima, Momento Máximo y Deformación Unitaria. ....	50

## **CAPITULO I: GENERALIDADES.**

### **1 INTRODUCCIÓN**

---

En el diseño estructural, el análisis de las vigas bajo las cargas establecidas en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC), es fundamental para garantizar su buen funcionamiento. Uno de los aspectos clave en el diseño y análisis de vigas es su comportamiento a flexión, una situación comúnmente encontrada en edificios.

El concreto es un material que tiene una alta capacidad para soportar los esfuerzos a compresión, pero su resistencia a la tensión es significativamente baja. Las barras de acero corrugadas se utilizan para evitar esta restricción, actuando como refuerzos de tracción. Por otro lado, la adhesión del acero y el concreto es un factor clave para garantizar la estructura correcta de las vigas bajo cargas a flexión. Un aspecto importante para la construcción de concreto armado es la inclusión de los ganchos estándar en los extremos de las barras de refuerzo, ya que su forma y ángulo afectan directamente el comportamiento estructural del elemento. Además, el uso de estos ganchos estándar mejoran el anclaje de acero dentro del concreto, lo que permite que la barra desarrolle mejor a los esfuerzos de tracción y, por lo tanto, mejor resistencia a cargas aplicadas.

En este sentido, es importante constatar como la variación del ángulo de estos ganchos afecta el actuar de la viga ante diversas condiciones de carga. Los estándares de diseño, como lo indicado en la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC), establecen parámetros generales para el diseño de estos elementos, sin embargo, se requiere contar con una

información detallada respecto de la influencia del ángulo del gancho en el desempeño estructural.

En efecto el propósito de este estudio es analizar cómo la variación del ángulo de gancho estándar influye el comportamiento a flexión de una viga. Por eso, se determinara el análisis en distintos tipos de ángulos y su efecto en los siguientes criterios, capacidad de carga, resistencia a la flexión y deformación de los especímenes, mediante ensayos de laboratorio, para así poder identificar la mayor resistencia, optimizando de esta manera la eficiencia estructural y garantizando un rendimiento seguro durante la carga de flexión.

## **2 EL PROBLEMA**

---

### **2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la ingeniería civil, las vigas sometidas a flexión deben garantizar el rendimiento estructural adecuado, especialmente en las zonas donde el acero de refuerzo trabaja a tracción. Por ende, las barras de acero corrugadas juegan un papel clave en la transferencia de esfuerzos y su correcto anclaje por medio de los ganchos estándar garantiza la resistencia y estabilidad de la estructura. A pesar de que el diseño de ganchos estándar se basa de normativas que establecen ciertos ángulos para optimizar la adherencia y el anclaje del acero en el concreto. Sin embargo, es importante analizar como las variaciones de los ángulos en los ganchos pueden influir en el comportamiento estructural de la viga, en consecuencia, observar cómo afecta en la capacidad de carga, la resistencia a la flexión y la deformación de la viga.

Por esta razón, el estudio actual se centra en evaluar los diferentes ángulos de ganchos a través de ensayos experimentales con el objetivo de determinar que configuración ofrece el mejor rendimiento estructural obteniendo así un diseño eficiente y seguro.

## **2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.2.1 Alcance**

Las pruebas experimentales y la recopilación de datos se efectuaron en el Laboratorio ubicado en el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca. El desarrollo de la investigación se basó en los criterios técnicos y las disposiciones establecidas en la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015), específicamente en los capítulos 3 (sección 3.3 y 3.4), 4 (sección 4.1 y 4.2), 9 (sección 9.2,9.3,9.7,9.8) y 10 (sección 10.1 y 10.2), los cuales regulan aspectos fundamentales relacionados con el diseño, materiales, análisis estructural y seguridad de edificaciones.

### **2.2.2 Procedimientos Técnicos.**

**2.2.2.1 Selección de Materiales:** Se utiliza concreto de una mezcla estándar con una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y barras corrugadas de acero de una única especificación para mantener las consistencias en los resultados.

#### **2.2.2.2 Métodos de Prueba.**

- Los ensayos se realizan bajo condiciones controladas en el laboratorio, para asegurar la precisión de los resultados.

- Se emplean ensayos destructivos sometidos a flexión para evaluar la resistencia última de las vigas. Por lo tanto, se ensaya vigas de hormigón reforzado con acero de refuerzo longitudinal, las cuales cuentan con ganchos estándar en los extremos, conformados con ángulos de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , además de una configuración sin gancho. Para cada configuración de ángulo, se fabrican tres vigas, sumando un total de 15 especímenes.

**2.2.2.3 Análisis de Datos:** El análisis se limita a la comparación de los resultados obtenidos con lo establecido en el (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015), el cual se basa de los requerimientos del (ACI 318-19, 2019). Los datos son evaluados principalmente en la carga máxima aplicada y la deformación de las vigas

### **2.2.3 Exclusiones.**

**2.2.3.1 Variación de otros parámetros:** El estudio no considera variaciones en otros factores como el tipo de concreto, la humedad, la temperatura, u otras condiciones ambientales que puedan afectar el comportamiento de la viga.

**2.2.3.2 Tipos de vigas:** El análisis se centra exclusivamente en vigas rectangulares de concreto reforzado con barras corrugadas. Las dimensiones que corresponden a las vigas que serán ensayadas son de 100mmx100mx500mm.

**2.2.3.3 Cargas:** Las cargas aplicadas serán estáticas y no se evalúa el comportamiento de las vigas bajo cargas dinámicas o impacto.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El comportamiento de las vigas de concreto reforzado bajo cargas de flexión es fundamental para la integridad estructural de edificaciones y otras infraestructuras. Las barras de refuerzo corrugadas necesarias para mejorar la resistencia a la tracción del concreto, terminan en ganchos estándar que aseguran una adecuada transferencia de esfuerzos entre el concreto y el acero. El diseño de estos ganchos, específicamente su ángulo, puede influir significativamente en la capacidad de carga, ductilidad y distribución de tensiones en las

vigas. Sin embargo, con el propósito de concienciar al ingeniero calculista, es necesario evaluar sistemáticamente el impacto de variaciones en el ángulo del gancho, más allá de las recomendaciones del (ACI 318-19, 2019), capítulo 25 (sección 25.3.2), el cual establece directrices para el diseño de ganchos estándar en barras de refuerzo, enfocándose en ángulos específicos como  $90^\circ$  y  $180^\circ$ .

Para llevar a cabo este proyecto, se cuenta con el acceso al laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, un recurso importante para el desarrollo del estudio. Este laboratorio equipado con herramientas y equipos especializados que permiten realizar un análisis detallado de estructuras de concreto armado, como en este caso una viga rectangular. Además, para facilitar la ejecución de las pruebas técnicas, el laboratorio permite la posibilidad de hacer ajustes y mejoras durante el proceso de investigación, en caso de ser necesario.

Otro factor importante que contribuye la viabilidad de este estudio es la disponibilidad de los recursos necesarios. Los materiales fundamentales para la construcción de las vigas, como los agregados, el agua y el cemento, se obtiene con rapidez lo que permite evitar retrasos en la fase de elaboración y pruebas. Asimismo, los materiales agregados gruesos y agregados finos, que se utilizaron provienen del catón Paute, que fueron previamente analizados en investigaciones anteriores por estudiante de la Universidad Católica de Cuenca.(Darwin Ordoñez & Bryan Suquilanda, 2023). Este factor es de gran relevancia, al disponer de estos estudios previos otorga una base sólida sobre la que se puede confiar en cuanto a la calidad y las propiedades de los materiales.

### 3 OBJETIVOS

---

#### 3.1 General

Analizar la variación de resistencia a flexión en vigas de concreto reforzado, mediante ensayos a flexión variando el ángulo del gancho estándar del acero de refuerzo a tensión de la viga, para garantizar una correcta adherencia entre el refuerzo y el concreto.

#### 3.2 Específicos.

- Diseñar y elaborar vigas con diferentes ángulos del gancho estándar para analizar cómo la variación del ángulo durante el ensayo ayuda en la resistencia a tensión del concreto.
- Determinar las propiedades mecánicas del hormigón como la resistencia a la carga máxima, momento máximo y su deformación máxima, considerando diferentes ángulos del gancho estándar del acero de refuerzo a tensión para establecer el ángulo óptimo.
- Comparar los resultados obtenidos con las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO.**

### **4 CONCEPTOS IMPORTANTES.**

---

#### **4.1 Hormigón Armado.**

El hormigón es un material de gran durabilidad actúa de manera efectiva como una barrera protectora para el refuerzo frente a ambientes dañinos. Sus características dependen del tipo de cemento, el tipo de agregado, los aditivos utilizados y la cantidad de agua. (Ramos Cisneros et al., 2021)

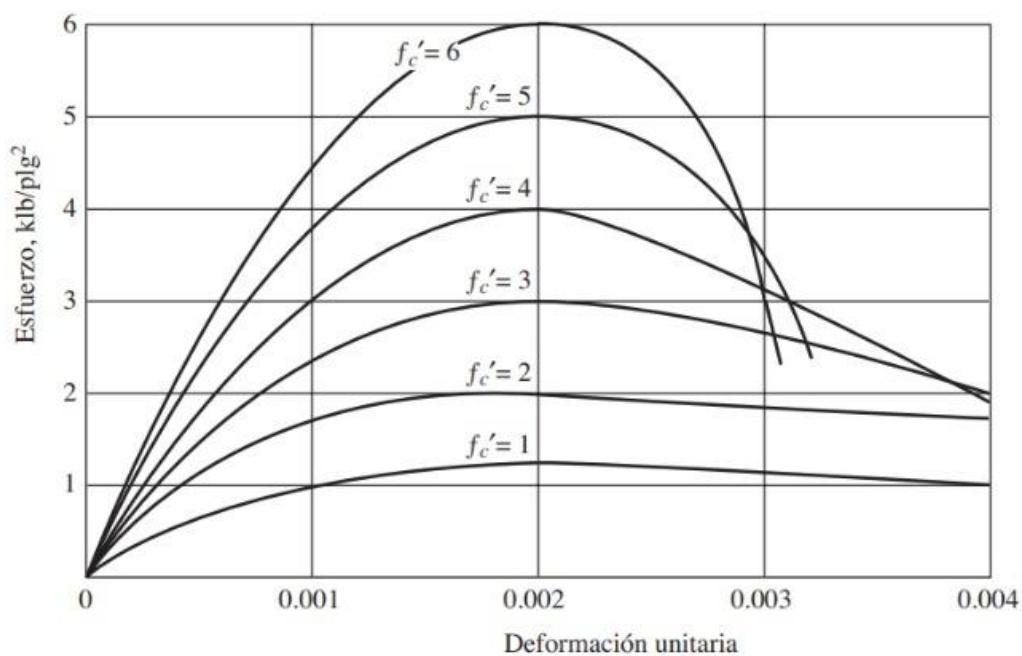
Por otra parte, hormigón armado es un material compuesto en el cual cada uno de sus componentes mantiene sus propiedades, contribuyendo estructuralmente. El hormigón proporciona resistencia a la compresión, masa y durabilidad, mientras que el acero, cuando se coloca en la cantidad y posición adecuadas, ofrece resistencia a la tracción. (Hugo Donini & Rodolfo Orler, 2021)

#### **4.2 Ventajas del hormigón armado.**

El hormigón armado tiene un costo relativamente bajo, se usa poco acero y generalmente no requiere mano de obra especializada, es trabajable porque es posible fabricar casi cualquier elemento o estructura con diferentes formas y acabados, dependiendo del tipo de encofrado utilizado. Además, las estructuras de hormigón armado, bien diseñadas y ejecutadas, necesitan poco mantenimiento, ya que el hormigón resiste a medios agresivos y protege el acero. (Hugo Donini & Rodolfo Orler, 2021)

### 4.3 Propiedades mecánicas del hormigón.

El hormigón se caracteriza por varias propiedades mecánicas, como su permeabilidad, resistencia, durabilidad y trabajabilidad, siendo la más importante para el diseño la resistencia, especialmente frente a cargas de compresión. Estas propiedades están directamente relacionadas de la resistencia a compresión de diseño " $f_c$ ", tal como se muestra en el comportamiento típico del hormigón en la ilustración 1 (González Rojas Felipe Eduardo & González Silva Richard Elián, 2023).



**Ilustración 1** Grafica de relación entre esfuerzo y deformación del hormigón.

**Fuente:**(McCormac & Brown, 2017)

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas típicas del hormigón

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo de Elasticidad ( $E_c$ )	$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c}$	MPa
Módulo de Ruptura ( $f_r$ )	$f_r = 0.62 * \lambda * \sqrt{f'_c}$	MPa

Fuente: (ACI 318-19, 2019)

$f'_c$  = Indica la resistencia a compresión del concreto en los 28 días, se mide en MPa (megapascales) o kg/cm<sup>2</sup>.

$\lambda$  = Factor de modificación del concreto, para concreto normal  $\lambda=1.0$ ; para concreto con agregados livianos, es menor (por ejemplo, 0.75 o 0.85 según el tipo de agregado).

#### 4.4 Factores que influyen en la resistencia del hormigón.

A continuación, se mencionan los diversos factores que influyen en la resistencia a compresión del hormigón, incluyendo los áridos, el tipo y la cantidad de cemento, el agua de mezclado, la relación agua-cemento y los aditivos.

##### 4.4.1 Áridos.

Los materiales finos y gruesos consisten en partículas, tanto de origen natural como artificial, que pueden ser procesadas o fabricadas según las necesidades de la construcción. La correcta composición de estos agregados puede incrementar la resistencia y densidad del concreto, reducir su porosidad y mejorar su durabilidad, lo que a su vez prolonga la vida útil de las estructuras. (Perrales Vielca et al., 2023)

Para identificar las características de los agregados, se llevan a cabo ensayos de laboratorio conforme a la normativa ecuatoriana. Estos ensayos incluyen la evaluación del módulo de finura según la norma NTE INEN 696:2010, la determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino conforme a la NTE INEN 856:2010, así como la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso según la NTE INEN 857:2010. También se mide la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos de acuerdo a la NTE INEN 858:2010, el contenido de humedad superficial en el árido fino siguiendo la NTE INEN 859:2010, el valor de degradación del árido grueso según la NTE INEN 860:2011, y el contenido total de humedad conforme a la NTE INEN 862:2011.(Andrea Solórzano et al., 2024). Por otra parte, la normativa NEC presenta un cuadro de especificaciones para los ensayos de componentes del hormigón en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Descripción de normativas para el análisis del concreto.

<b>Norma Técnica</b>	<b>Descripción</b>
<b>NTE INEN 1855</b>	Especificaciones para el hormigón premezclado en estado fresco
<b>NTE INEN 872</b>	Requisitos para los áridos en la fabricación de hormigón
<b>NTE INEN 858</b>	Método para determinar la masa unitaria de la grava y arena
<b>NTE INEN 153</b>	Muestreo y ensayos para el cemento hidráulico
<b>NTE INEN 857</b>	Requisitos para el ensayo de densidad de la arena y grava
<b>NTE INEN 696</b>	Distribución del tamaño de partículas de grava y arena
<b>ASTM</b>	Preparación y curado de muestra cilíndricas de
<b>C31</b>	hormigón

**Fuente:** (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

#### **4.4.2 El tipo y la cantidad de cemento.**

Las características mineralógicas, la composición, la textura y la inclusión de aditivos en el cemento, así como su proporción en la mezcla y las resistencias mecánicas, afectan notablemente la resistencia a compresión del hormigón. En relación con la cantidad de cemento, es importante evitar el uso excesivo para asegurar la eficiencia en la mezcla sin comprometer la trabajabilidad y las propiedades del material. Aunque se busque economizar en el uso de cemento, no se debe comprometer la calidad del producto final. La calidad está estrechamente relacionada con la proporción de agua-cemento, por lo que es esencial mantener el contenido de agua al mínimo necesario para reducir la cantidad de cemento requerida.(Consuegra Liset Leon & Carlos Rodríguez García, 2022)

#### **4.4.3 Agua de mezclado.**

El manejo del agua es un factor crucial en la elaboración de mezclas de hormigón, y seguirá siéndolo en el futuro. Su gestión influye tanto en las características del hormigón en estado fresco como en el endurecido, lo que impacta positiva o negativamente en el transporte y la colocación del material, afectando su estabilidad a lo largo del tiempo.(Consuegra Liset Leon & Carlos Rodríguez García, 2022)

#### **4.4.4 Relación agua –cemento (a/c).**

La cantidad de agua en relación con el cemento es un aspecto fundamental en la tecnología del concreto, porque influye directamente en la resistencia final del concreto. Determina la porosidad de la pasta de cemento endurecida en cualquier etapa de hidratación.

Mientras mayor sea la relación (a/c), es decir que, si la proporción de agua es mayor, habrá mayor porosidad y por lo tanto su resistencia disminuirá. (Godoy María Elena & Luís Carlos Vivar Gándara, 2022)

#### **4.4.4.1 Aditivos.**

El aditivo es un compuesto químico que se añade durante la dosificación del concreto, en una cantidad que no supere el 5% del peso del cemento, con el objetivo de modificar ciertas características del material para que se ajuste mejor a los requerimientos del constructor. Además, los aditivos son sustancias que se agregan durante la preparación del hormigón para modificar algunas de sus propiedades. Se clasifican según el efecto que produce el concreto, como los acelerantes y retardantes de fraguado, los reductores de agua y los inclusores de aire. (Godoy María Elena & Luís Carlos Vivar Gándara, 2022)

#### **4.5 Diseño de Mezclas de Hormigón.**

El diseño de mezclas es un proceso en el cual se determina la proporción adecuada de los materiales que conforman el concreto, como el cemento, agua y agregados, además de posibles aditivos cuando sea necesario. La composición de la mezcla varía en función de las características del proyecto, considerando factores ambientales, disponibilidad de materiales, así como los requisitos de resistencia y trabajabilidad. Así, se puede tener mayor control sobre los resultados esperados y ajustar en caso de que no se logren. Existen varios métodos para llevar a cabo estos diseños, como el método ACI 211, Fuller-Thompson. (Sergio Mosquera Gómez, 2019).

#### **4.5.1 Método ACI 211**

Este método se fundamenta en los estudios experimentales de Abrams, Richard, Talbot, Goldbeck y Gray, y sigue un enfoque de evaluación y ajuste, lo que permite su programación para un uso práctico y sencillo. Está limitado a concretos que utilicen dos tipos de agregados y que tengan un peso unitario entre  $2000 \text{ kgf/m}^3$  y  $2500 \text{ kgf/m}^3$ , con resistencias inferiores a  $4200 \text{ kgf/m}^2$ . Considera factores como la facilidad de manejo, la resistencia estructural y la durabilidad requeridas. A partir de unas proporciones iniciales, se realizan ajustes gradualmente hasta lograr la mezcla deseada. (Sergio Mosquera Gómez, 2019)

##### **4.5.1.1 El tamaño máximo de las partículas del agregado**

Según la normativa ACI 211 4.1.5.1.1, se especifica que el tamaño máximo nominal del agregado debe cumplir con la condición de que el porcentaje acumulado retenido en las mallas estandarizadas no supere el 5%. Esto significa que el 95% o más del material debe pasar a través de la malla correspondiente al tamaño máximo nominal especificado. Esta restricción se aplica para asegurar que el agregado pueda distribuirse uniformemente dentro de la mezcla, evitando obstrucciones en los refuerzos, mejorando la adherencia con la pasta de cemento y minimizando el riesgo de segregación o vacíos en el concreto endurecido.

##### **4.5.1.2 Módulo de finura**

El módulo de finura se obtiene al sumar los porcentajes acumulados en varios tamices, como los de tamaño No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100 conforme a lo indicado por la norma ASTM. Este valor debe estar entre 2.3 y 3.1, ya que fuera de estos límites no se

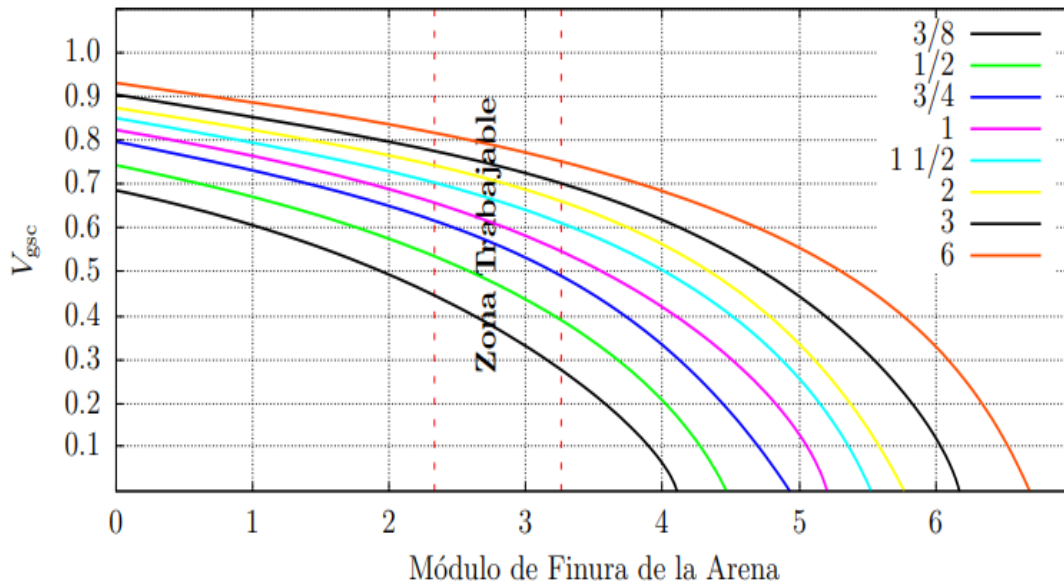
puede calcular el volumen de agregado grueso de manera precisa debido a que el comportamiento no es lineal.

La tabla 3 muestra el volumen de agregado grueso seco y compactado mediante varilla. Es necesario especificar tanto el tamaño máximo del agregado, ya sea en milímetros o pulgadas, como el módulo de finura del agregado fino. El punto de intersección entre estos dos parámetros determina el volumen de agregado grueso. Estos volúmenes se establecen a partir de datos empíricos, con el objetivo de obtener concreto con la trabajabilidad adecuada para proyectos de construcción estándar. Dichos volúmenes pueden ajustarse si se requiere una trabajabilidad diferente para concreciones específicas. (Sergio Mosquera Gómez, 2019)

**Tabla 3.** Cantidad de agregado grueso empleados en la mezcla de un metro cúbico de concreto.

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
		Módulo de finura			
mm	pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	3/2	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente:** (Sergio Mosquera Gómez, 2019)



**Ilustración 2** Los volúmenes de agregado grueso seco y compactado con varilla ( $V_{gsc}$ ) que se requieren por metro cubico de concreto.

**Fuente:**(Sergio Mosquera Gómez, 2019)

#### 4.5.2 Método De Fuller y Thompson

En 1907, Fuller y Thompson realizaron investigaciones que los llevaron a seleccionar una curva granulométrica para optimizar la proporción de los agregados finos y gruesos. Este método es adecuado en estructuras que no están altamente reforzadas, especialmente cuando la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto es superior a 300 kg, y los agregados tienen un tamaño máximo de  $2" \pm 3/4"$ , preferentemente con una forma redondeada. Al igual que los métodos de Bolomey y Faury, este procedimiento analítico no requiere de la ejecución de ensayos de campo o de laboratorio, como los de asentamiento y resistencia, ya que se basa en la evaluación de trabajabilidad y en la determinación de masas unitarias máximas para ajustar las curvas y tablas.(Orlando Giraldo Bolivar, 1987)

#### 4.5.2.1 Determinación de los porcentajes de agregados en la mezcla

Para lograr una adecuada combinación granulométrica de los agregados, se emplea la siguiente fórmula:

$$Y = 100 \left( \frac{d}{D} \right)^{0.5}$$

**D:** (representa el tamaño máximo del agregado), **d:**(las aberturas de las mallas). A partir de estos valores, se generan las curvas de Fuller para distintos tipos de agregados.

**Tabla 4.** Curvas de Fuller para diferentes tamaños máximos.

d		D						
mm	pulg	mm	12.5	20	25	40	50	63.5
		pulg	1/2	3/4	1	3/2	2	2 1/2
63.5	2 1/2	→	--	--	--	--	--	100
50	2	→	--	--	--	--	100	89
40	3/2	→	--	--	--	100	86.6	77
25	1	→	--	--	100	81.6	70.7	63
19	3/4	→	--	100	87.2	71	61	55
12.5	1/2	→	100	81	70.7	57	50	44
9.5	3/8	→	87	71	61.6	50	43	39
4.75	N4	→	62	50	43.5	35	31	27
2.36	N8	→	44	35	30.7	25	22	19
1.18	N16	→	31	25	21.7	18	15	14
0.6	N30	→	22	18	15.5	12.5	11	9.7
0.3	N50	→	15	12.5	11	8.8	7.7	6.9
0.15	N100	→	11	8.8	7.7	6.2	5.4	4.8

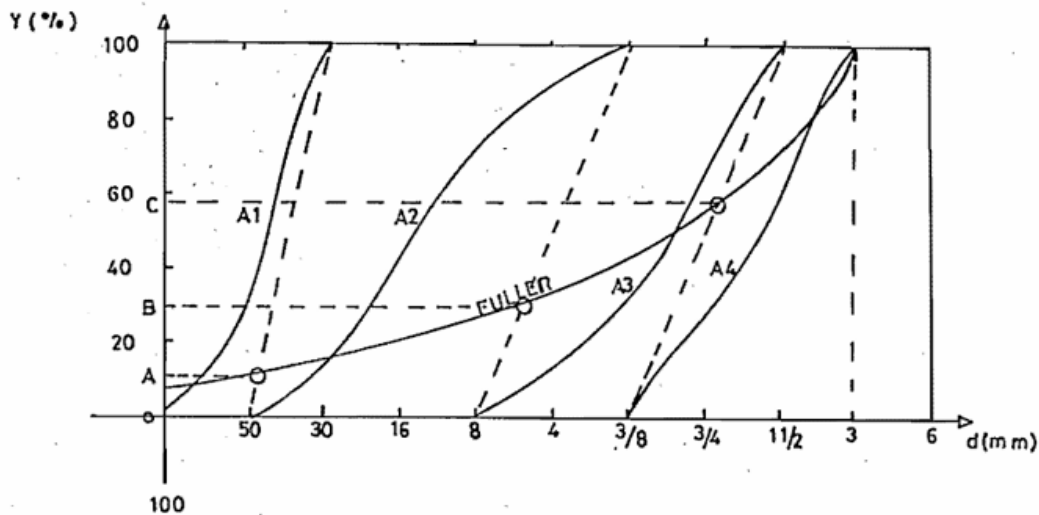
**Fuente:**(Orlando Giraldo Bolívar, 1987)

El porcentaje en peso de los agregados en la mezcla puede determinarse mediante alguno de los siguientes métodos.

- **Método por tanteo.**

La granulometría de los agregados se representa en un gráfico semilogarítmico, ubicando los tamaños de los agregados en el eje horizontal y los porcentajes acumulados en

el eje vertical. Posteriormente, se dibujan líneas rectas que unen los tamaños máximos y mínimos de los agregados consecutivos. El punto de intersección entre estas líneas con la curva de Fuller, en el eje horizontal, muestra el porcentaje en volumen del agregado que se va a mezclar. (Orlando Giraldo Bolívar, 1987).



**Ilustración 3** Dosificación gráfica de agregados por Fuller- Thompson.

**Fuente:**(Orlando Giraldo Bolívar, 1987)

- **Método por los módulos de finura**

Este procedimiento matemático permite determinar la combinación más adecuada de materiales para el hormigón. Se basa en el cálculo de los módulos de finura de los agregados, lo que facilita una selección óptima para lograr las propiedades deseadas en la mezcla.

Si dispone de  $n$  agregados (1, 2, 3,  $n$ ) con módulos de finura son  $MF_1, MF_2, MF_3, MF_n$ , y se considera los módulos de finura de Fuller cuyos  $MFF_2, MFF_3, MFF_4, MFF_n$ , 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  $t$ . (Orlando Giraldo Bolívar, 1987)

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots + t_n = 100$$

Puesto que la curva de composición debe presentar un módulo de finura similar a  $MFF_1$  de la curva de Fuller, se puede expresar la siguiente ecuación:

$$MFF_n = \frac{MF_1 * t_1 + MF_2 * t_2 + MF_3 * t_3 + MF_n * t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + t_n}$$

Donde  $n$  es el número de agregados, resolvemos el sistema de ecuaciones para dos agregados.

$$t_1 + t_2 = 100$$

Por lo tanto:

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

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

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

$$t_2 = 100 - t_1$$

Para tres agregados se tiene.

$$t_1 + t_2 + t_3 = 100$$

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

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

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

Tras el análisis de los distintos métodos, se establece una metodología de dosificación basada en la realización de ensayos experimentales sobre los componentes de la mezcla de concreto. Dichos ensayos fueron ejecutados conforme a las normativas establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) y la American Society for Testing and Materials (ASTM). Los resultados obtenidos demostraron que las propiedades mecánicas fueron satisfactorias, alcanzando una resistencia a la compresión de 21 MPa, como se demuestra en la ilustración 5.(Elizabeth et al., 2018)

<b>Dosificación de la mezcla (Kg/m<sup>3</sup>)</b>					
Asentamiento (mm)	Relación Agua/Cemento	Cemento	Agua	Arena	Ripio
60-90	0,58	291,71	169,19	699,83	1091,79

**Ilustración 4.** Características de la mezcla empleada para un hormigón de 21 MPa de resistencia a la compresión.

**Fuente:** (Elizabeth et al., 2018)

#### **4.6 Flexión en vigas.**

La flexión se refiere a un fenómeno estructural que ocurre cuando una carga aplicada genera un momento flector. En el diseño de estructuras, se considera especialmente relevantes las cargas gravitacionales, junto con las cargas sísmicas, debido a su impacto en

la estabilidad y resistencia de la construcción. En el diseño de una viga, la flexión es un factor crítico ya que provoca deflexiones que pueden llevar al fallo estructural.(Cernís Carla Agamez Pinedo et al., 2018)

Generalmente, una viga de hormigón armado está sometida a flexión cuando soportan cargas externas. Para resistir los esfuerzos generados, el elemento debe contar con un refuerzo a tracción mediante acero longitudinal, el cual contribuye a mejorar su capacidad estructural.

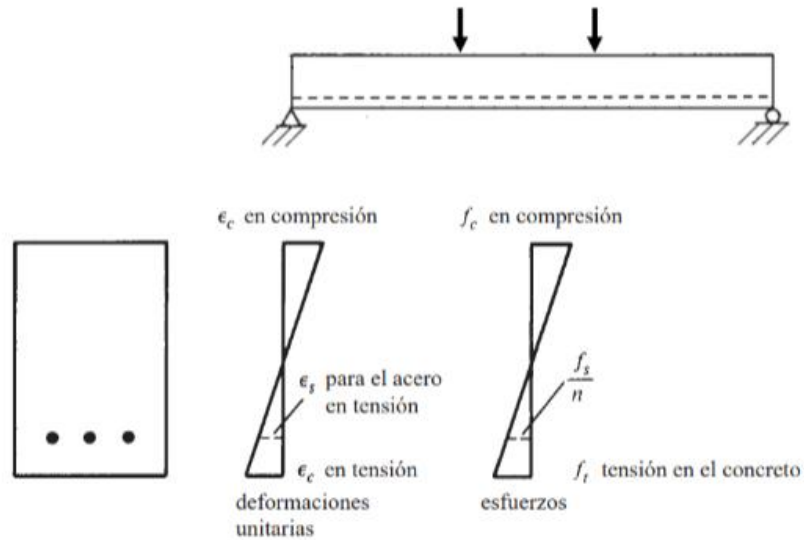
A medida que la carga aplicada aumenta, la viga experimenta 3 fases distintas antes de alcanzar la falla estructural:

- Estado del hormigón no fisurado.
- Estado del hormigón fisurado con esfuerzos elásticos.
- Estado de resistencia última.

### **Estado del hormigón no fisurado.**

En el Estado 1, los esfuerzos de tracción en la sección transversal de la viga no superan el módulo de ruptura del hormigón, lo que garantiza que el material se mantenga sin fisuras ni daños estructurales. En esta fase, la viga resiste los momentos flectores mediante una distribución interna de esfuerzos, donde la parte superior experimenta compresión, mientras que la inferior se somete a tracción (McCormac & Brown, 2017).

La ilustración 6 representa la forma en que se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones unitarias bajo la aplicación gradual de cargas de baja intensidad.



**Ilustración 5.** Estado inicial sin fisuras en el hormigón.

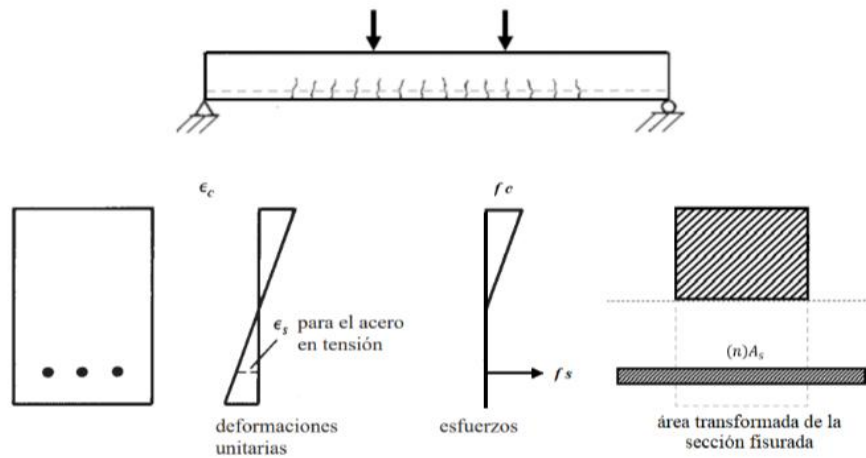
**Fuente:** (Jack C. McCormac & Russell H. Brown, 2017)

### Estado del hormigón fisurado con esfuerzos elásticos.

Cuando la carga aplicada supera el módulo de ruptura del hormigón, la viga pasa al segundo estado de flexión. En esta fase, aparecen fisuras en la zona traccionada, lo que marca el inicio de la formación de un momento resistente conocida como Momento de Agrietamiento ( $M_{cr}$ ). A medida que la carga sigue incrementándose de forma gradual, las fisuras se propagan rápidamente en dirección hacia el eje neutro, lo que provoca un desplazamiento ascendente de dicho eje a través de toda la sección transversal de la viga (McCormac & Brown, 2017).

En la ilustración 7, se ilustran los esfuerzos presentes durante esta fase, mostrando que los esfuerzos de compresión siguen una distribución lineal en función de la posición del eje neutro. Asimismo, se establece que los esfuerzos de compresión en el hormigón no deben

exceder el 50% de su resistencia característica ( $0.5f'c$ ), y que los esfuerzos en el acero deben mantenerse por debajo de su límite elástico.

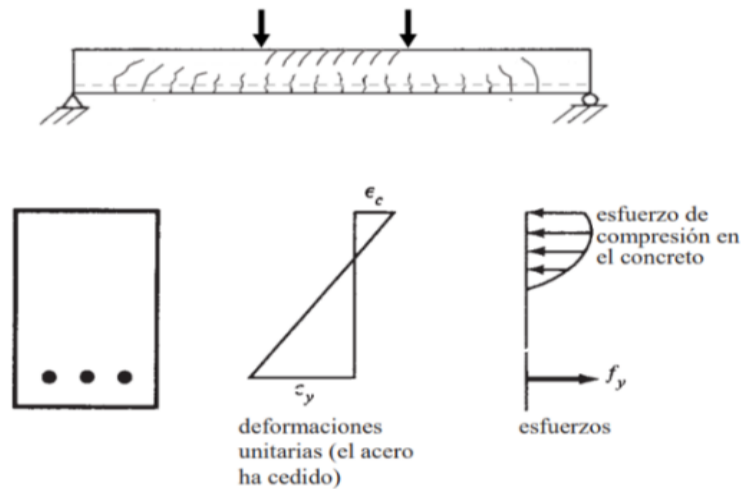


**Ilustración 6.** Estado agrietado del hormigón

**Fuente:** (McCormac & Brown, 2017).

### Estado de la resistencia última.

En el tercer estado, el elemento estructural falla cuando los esfuerzos de compresión del hormigón (equivalentes al 50% de su resistencia característica,  $0.5f'c$ ) son superados por los esfuerzos generados por la carga aplicada de forma progresiva. En esta fase, la forma de distribución de los esfuerzos de compresión en el hormigón no es lineal. Además, las fisuras provocadas por la tracción se propagan hacia la parte superior de la viga, el eje neutro se desplaza aún más hacia arriba, y las varillas de refuerzo experimentan fluencia debido al exceso de carga (Jack C. McCormac & Russell H. Brown, 2017).



**Ilustración 7.** Estado último del hormigón.

**Fuente:** (Jack C. McCormac & Russell H. Brown, 2017)

#### 4.6.1 Restricciones Geométricas y de Resistencia a la flexión.

De acuerdo con el Código del Instituto Americano del Concreto, se asumen las siguientes hipótesis. (ACI 318-19, 2019)

- El concreto no puede desarrollar una fuerza de compresión que exceda su resistencia  $f'_c$ .
- El concreto tiene una resistencia a la tracción muy baja y se agrieta cuando alcanza aproximadamente el 10% al 15% de su resistencia  $f'_c$ , por lo que se asume que el acero absorbe toda la carga de tracción.
- Las secciones que son planas antes de la flexión permanecen planas y perpendiculares al eje neutro después de la flexión.
- La deformación unitaria máxima del concreto en la rotura es de  $\xi = 0.003$ .

Es importante destacar que, debido a estas características, el diseño estructural del concreto armado depende en gran medida de la capacidad del acero para soportar las fuerzas de tracción y de la correcta interacción entre ambos materiales para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras.

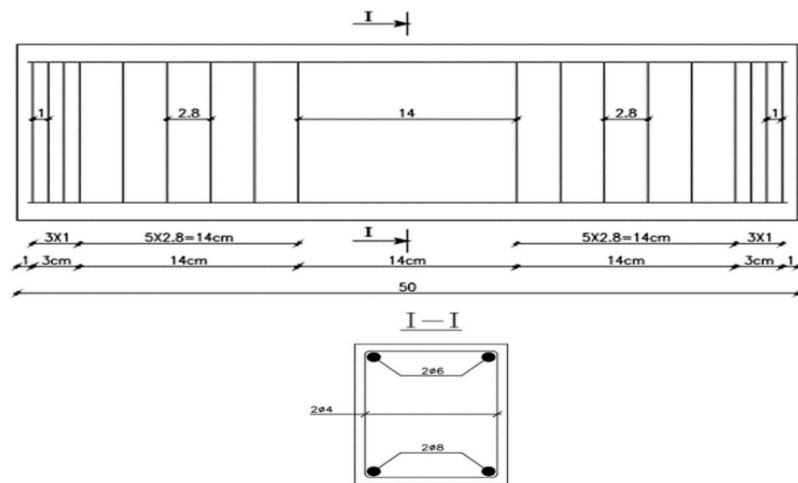
Para el diseño de las secciones transversales sometidas a cargas de flexión, o cargas axiales, o a la combinación de ambas (flexo-compresión) debe basarse en el equilibrio y la compatibilidad de deformaciones, utilizando las hipótesis siguientes. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

- Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el hormigón deben considerarse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro. Sin embargo, para vigas de gran altura, es necesario utilizar un análisis que tenga en cuenta una distribución no lineal de las deformaciones unitarias.
- La máxima deformación unitaria permitida en la fibra extrema sometida a compresión del hormigón se asume igual a 0.003.
- La resistencia a la tracción del hormigón no debe incluirse en los cálculos de elementos de hormigón reforzado que estén sometidos a flexión y carga axial.
- Las vigas y otros elementos estructurales de pórticos en flexión deben cumplir con las siguientes características:
  - Ser parte de sistemas diseñados para resistir cargas sísmicas.
  - Soportar estas fuerzas principalmente a través de la flexión.
  - Tener una luz libre que sea mayor a cuatro veces la altura útil de la sección transversal.

- Tener un ancho mínimo de 250 mm.

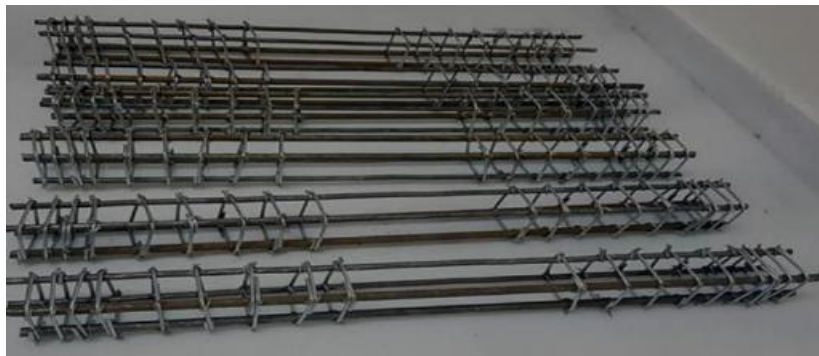
#### 4.6.2 Ensayos de Flexión en vigas de concreto armado

Para el ensayo de flexión utilizaron vigas de 100mmx100mmx5000mm (Husein A. Alzgoool et al., 2024). Además, el proceso de refuerzo de la muestra es el siguiente: en la zona de tensión se utilizó acero de diámetro 8, y en la zona de compresión de diámetro 6, y los estribos de diámetro 4.



**Ilustración 8.** Diseño de Flexión en vigas.

Fuente: Husein A. Alzgoool et al. (2024)



**Ilustración 9.** La forma de refuerzo a flexión.

Fuente: Husein A. Alzgoool et al. (2024)

Una vez fundidas las vigas y haber transcurrido el tiempo de curado se procedió a verificar la resistencia a la compresión y a la flexión de acuerdo con las especificaciones británicas (BS.1981.PART (118): 1983), y mediante el uso de un dispositivo. Capacidad de escaneo usada 2000 KN/450000 lb., Máquina de Compresión Semiautomática ADR Touch 2000 con Lectura Digital el código: 363090/01. En la siguiente figura se observa el modo de aplicación de carga.



**Ilustración 10.** Ejemplo de viga de hormigón de refuerzo sometido a flexión.

Fuente: Husein A. Alzgoool et al. (2024)

#### **4.7 Acero de Refuerzo**

El acero de refuerzo se emplea para soportar la tensión a una carga aplicada. Sin embargo, su propósito principal es prevenir una falla frágil. Si las barras de refuerzo no están bien diseñadas, la estructura puede agrietarse en exceso y llegar a fallar.(Słowik, 2019)

Entre los tipos de acero para refuerzo, se encuentran diversos grados, como las varillas de acero de grado 60. Estas varillas están disponibles en una amplia variedad de tamaños, con diámetros que van desde 10 mm (3/8") hasta 57 mm (2 1/4"). El término "acero de grado

60" se refiere a que su límite de fluencia es de 60 ksi en el sistema de unidades inglés, lo que equivale a un límite de 420 MPa en el sistema internacional. (Słowik, 2019)

#### **4.7.1 Para el refuerzo se tienen las siguientes consideraciones.(ACI 318-19, 2019)**

El refuerzo corrugado usado para resistir fuerzas de tracción y compresión debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las barras y alambres no pre esforzados deben ser corrugadas, excepto las barras lisas o alambres que pueden utilizarse en espirales.
- La resistencia de la fluencia de barras y alambres no pre esforzados debe de determinarse mediante los siguientes métodos:
  - Método de corrimiento (ASTM A370).
  - Método de extensión bajo carga.
- La relación esfuerzo-deformación unitaria y el módulo de elasticidad para el refuerzo corrugado debe idealizarse de acuerdo con lo siguiente:
  - Las barras y alambres no pre esforzados, el esfuerzo menor que  $f_y$  debe tomarse como  $E_s$  veces la deformación unitaria del acero. Para resistir esfuerzos mayores que el  $f_y$ , el esfuerzo debe considerarse de forma independiente a la deformación unitaria e igual que  $f_y$
  - El módulo de Elasticidad ( $E_s$ ) para las barras y alambres no pre esforzados pueden tomarse como 200000 MPa.

#### 4.7.2 Diámetros del acero de refuerzo

El refuerzo utilizado en estructuras de hormigón armado debe contar con un diámetro nominal (db) que se encuentre dentro de los rangos detallados en la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Diámetros mínimos y máximos de varillas de refuerzo.

Tipo	Diámetro mínimo de barra, (db)	Diámetro máximo de barra, (db)
Barras corrugadas	8 mm	36 mm
Alambre para mallas	4 mm	10 mm
Estribos	10 mm	16 mm

Fuente: (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

#### 4.7.3 Barras Corrugadas

El acero de refuerzo utilizado en concreto armado está compuesto por varillas de sección circular con corrugaciones que sirven para evitar el desplazamiento longitudinal de las varillas en relación con el concreto circundante. Este acero se clasifica generalmente según su límite o esfuerzo de fluencia, con grados 40, 50 y 60, que corresponden a límites de fluencia de 2 800, 3500 y 4200 kg/cm<sup>2</sup>.(Roberto Morales Morales, 2020)

#### 4.7.4 Ganchos estándar

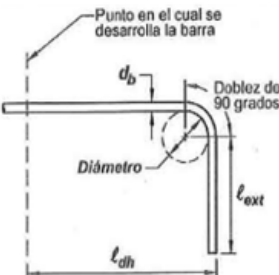
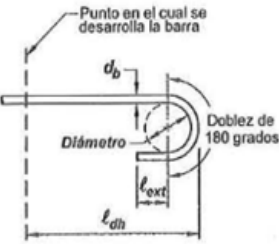
Existen dos tipos de refuerzo con ganchos en vigas de hormigón armado: el refuerzo a flexión y a cortante.

#### 4.7.4.1 Ganchos estándar para refuerzo a flexión.

Se utiliza el término gancho estándar para referirse a los que tienen un doblado de  $90^\circ$  o  $180^\circ$ , aplicados a las barras de refuerzo longitudinal en los elementos estructurales, de acuerdo con las siguientes especificaciones: (Builes Gonzalez & Jeison Steven, 2021)

- Doble de  $180^\circ$  más una extensión de 4 veces el diámetro de la barra ( $d_b$ ), pero no menor de 65 mm en el extremo libre.
- Doble de  $90^\circ$  más una extensión de 12 veces el diámetro de la barra ( $d_b$ ) en el extremo libre.

**Tabla 6.** Geometría de gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción.

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Exterior recta <sup>(1)</sup> $l_{ext}$ , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No.25	$6 d_b$	$12d_b$	
	No. 10 a No.25	$8 d_b$		
	No. 43 a No.57	$10d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No.25	$6 d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 10 a No.25	$8 d_b$		
	No. 43 a No.57	$10d_b$		

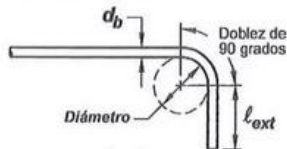
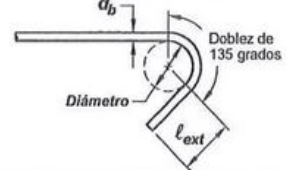
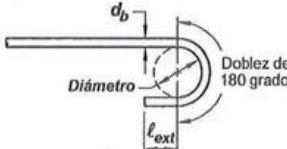
Fuente: Normativa (ACI 318-19, 2019)

#### 4.7.5 Ganchos de estándar de refuerzo transversal.

En vigas de hormigón armado, el estribo vertical es el más utilizado. En zonas sísmicas, se recomienda emplear estribos cerrados con ganchos de al menos 135°. En el caso de los estribos de anillo, el gancho no debe ser menor de 90°. (Susanto et al., 2020)

Por otra parte, la normativa ACI 318-19, recomienda usar ganchos estándar de 90°, 135° y 180° para refuerzo a cortante. A continuación, en la tabla 7 se puede visualizar los ganchos estándar.

**Tabla 7.** Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento.

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta <sup>1)</sup> $\ell_{ext}$ , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
Gancho de 135 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		

Fuente: Normativa (ACI 318-19, 2019)

## **CAPITULO III: METODOLOGIA.**

### **5 MATERIALES Y MÉTODOS**

---

#### **5.1 Descripción del Proyecto.**

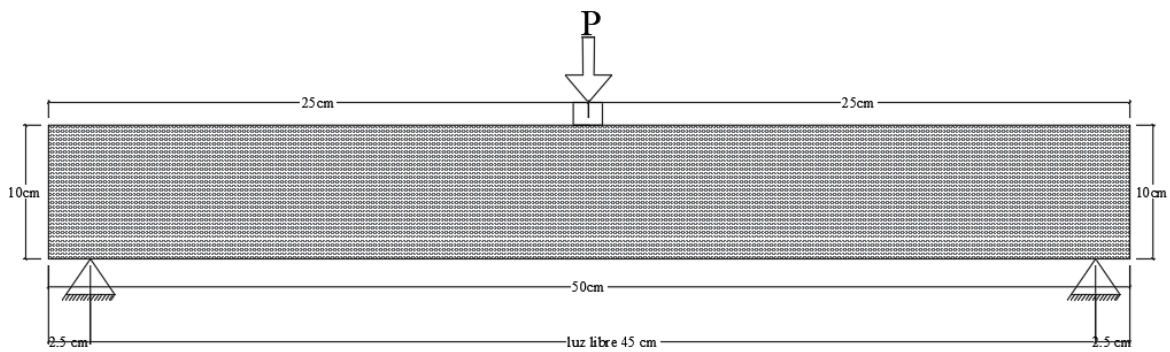
El presente análisis está dirigido al comportamiento de una viga a flexión, al variar el ángulo del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas a tracción, lo cual implica la realización de ensayos de laboratorio. El número de especímenes a desarrollarse por cada modelo es de 3 (Husein A. Alzgool et al., 2024). Estos ensayos sirven para observar cómo las diferentes configuraciones del gancho afectan en la resistencia. Además, este estudio incluirá un análisis investigativo basado en una revisión teórica detallada del comportamiento estructural de vigas sometidas a flexión, considerando distintas configuraciones de ganchos en barras de refuerzo corrugadas. Adicionalmente, se evaluarán las disposiciones normativas actuales relacionadas con el diseño y la implementación de ganchos en elementos de refuerzo, así como su influencia en el desempeño de estructuras de concreto reforzado.

#### **5.2 Diseño estructural**

Una vez indicado el propósito de estudiar el comportamiento de los materiales que conforman en una viga de hormigón armado, se diseñó y construyó un modelo experimental siguiendo los requisitos mínimos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-SE-HM, 2015) y las especificaciones del American Concrete Institute (ACI 318-19). Las dimensiones se adoptaron a un ancho de 100 mm, una altura de 100 mm y una

longitud total de 500 mm de acuerdo al artículo. Por otra parte, es importante mencionar que en el Código (ACI 318-19, 2019), capítulo 9 sección 9.7.3.8.1 recomienda prolongar una distancia de 15 cm de las caras inferiores de la viga dentro del apoyo, pero se considero dejar una distancia de 2.5 cm al considerarse solo vigas de ensayo, quedando una luz libre de 45 cm, para así encontrar los valores de los resultados mencionados anteriormente.

La ilustración 12, presenta la configuración de la viga, destacando la ubicación de los apoyos y la aplicación de la carga en el centro del vano.

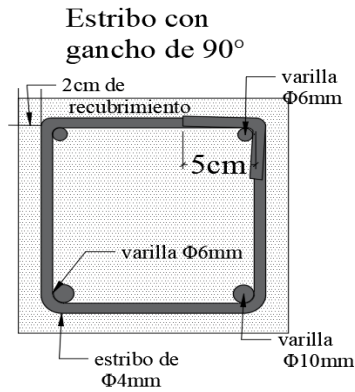


**Ilustración 11.** Diseño de Viga con Carga Aplicada.

**Fuente:** Propia.

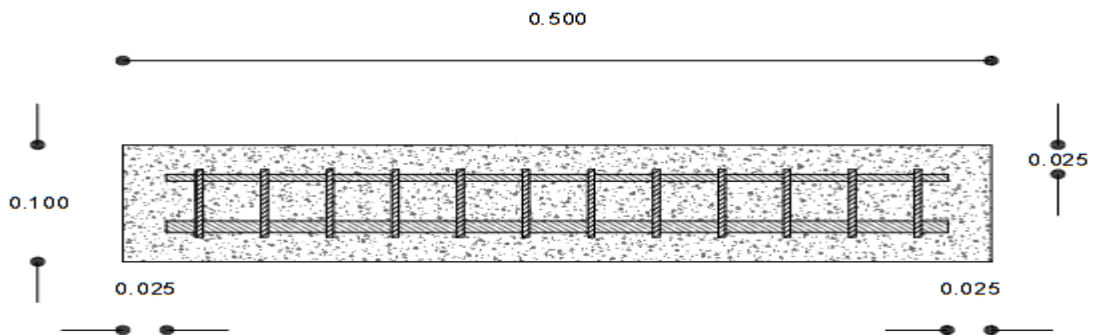
Por otra parte, en el Anexo 6 se puede visualizar el diseño de la viga donde se define las dimensiones de la sección, el tipo y la cantidad de acero de refuerzo, el tipo de hormigón (con su resistencia a compresión). La configuración del doblado de los ganchos en los estribos fue optimizada con un ángulo de  $90^\circ$ , conforme a la tabla del Código ACI 318-19, capítulo 25.3.2, este apartado establece los ángulos estándar de  $180^\circ$ ,  $135^\circ$  y  $90^\circ$ , seleccionados según los requisitos estructurales y las condiciones de confinamiento del refuerzo transversal.

A continuación, se presenta el armado de la sección con los diferentes diámetros de acero de refuerzo con el diseño ya establecido.



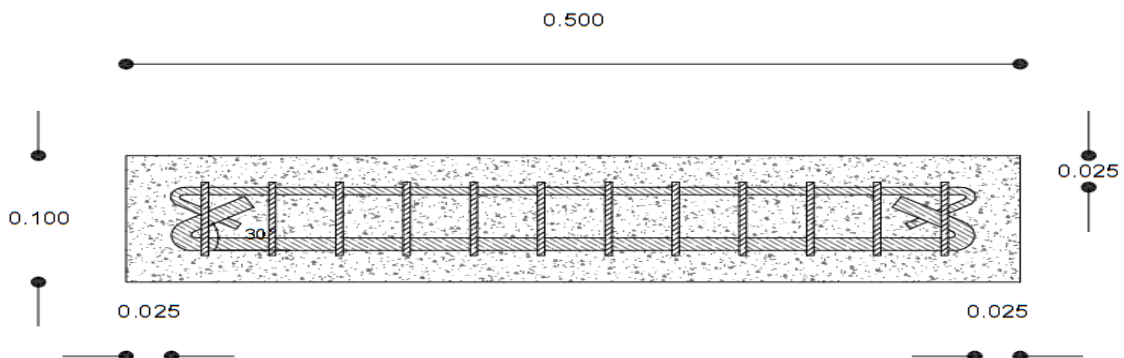
**Ilustración 12.** Diseño del armado transversal del acero de refuerzo.

**Fuente:** Propia del autor.



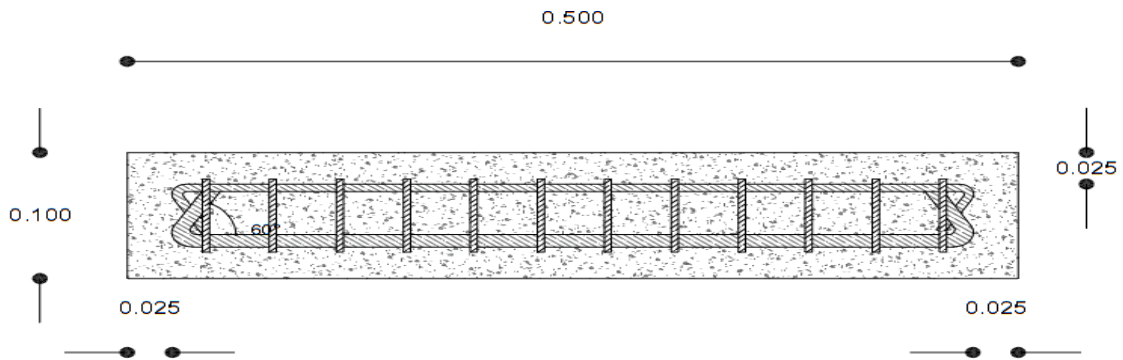
**Ilustración 13.** Detalle de armado del ángulo de 0°.

**Fuente:** Propia del autor.



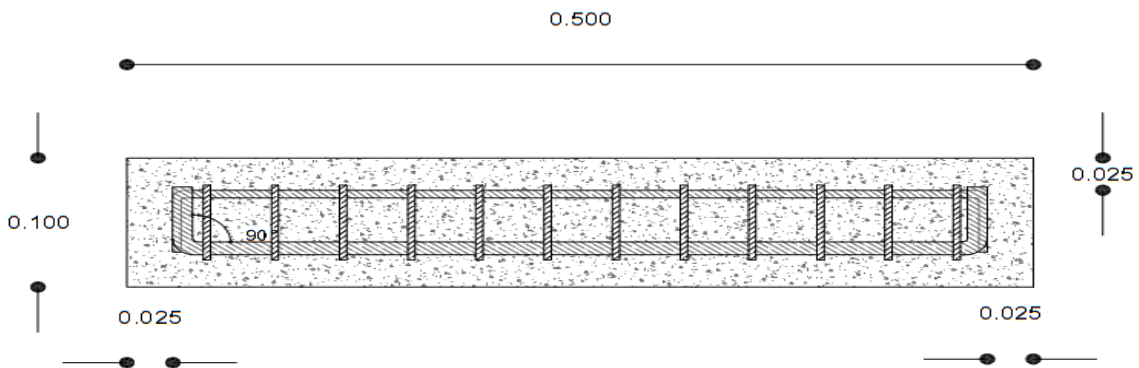
**Ilustración 14.** Detalle de armado del ángulo de 30°.

**Fuente:** Propia



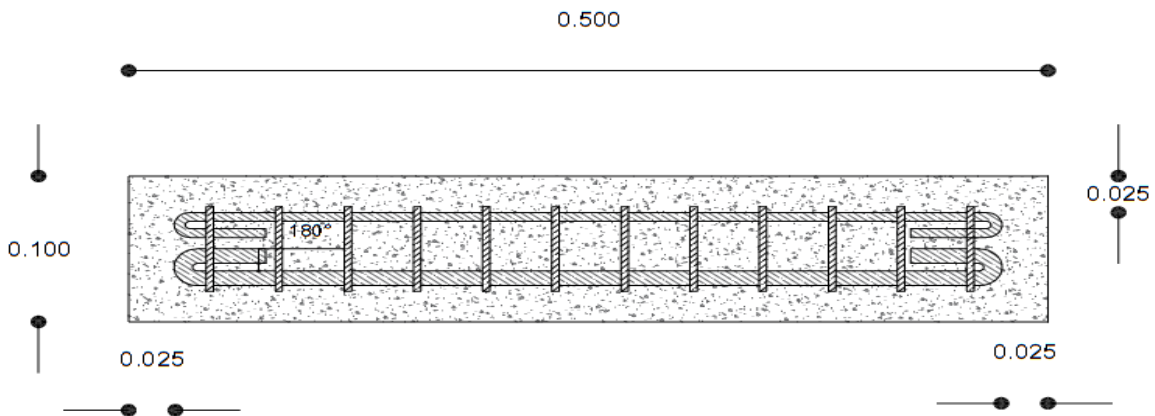
**Ilustración 15.** Detalle de armado del ángulo de 60°.

**Fuente:** Propia.



**Ilustración 16.** Detalle de armado del ángulo de 90°.

**Fuente:** Propia.



**Ilustración 17.** Detalle de armado del ángulo de 180°.

**Fuente:** Propia.

### **5.3 Ensayos de laboratorio.**

Los agregados gruesos y finos (grava y arena) fueron adquiridos en un establecimiento comercial del Descanso de la provincia del Azuay, que abastece su material desde una cantera local ubicada en el cantón Paute. Considerando las dimensiones de la viga, la disposición del refuerzo de acero y los requisitos normativos para el diseño del hormigón, se determinó que el agregado grueso debe tener un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, mientras que la arena debe ser de granulometría medianamente gruesa.

Para garantizar la calidad del material, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio según las normas NTE INEN 696, 857 y 858. Estas pruebas permitieron analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, como la distribución granulométrica, contenido de humedad, densidad, así como los pesos específicos y pesos volumétricos. La información obtenida es fundamental para definir con precisión la proporción óptima de materiales en la mezcla de hormigón.

### **5.4 Diseño de la dosificación de la mezcla de hormigón**

Con las propiedades de los materiales establecidas, se procede al diseño de la mezcla de hormigón para alcanzar una resistencia de diseño de  $210 \text{ kgf/cm}^2$ . No obstante, debido a las características granulométricas de los agregados, el método de dosificación ACI 211 no cumple con todos los criterios establecidos. En consecuencia, la misma normativa recomienda el método de Fuller-Thompson, el cual permite definir la proporción adecuada de áridos finos y gruesos mediante una distribución específica, optimizando así la

dosificación de cada componente. A continuación, se detalla todos los parámetros para el diseño de mezcla.

**Tabla 8.** Parámetros de Diseño para una mezcla de hormigón.

<b>Parámetros.</b>	<b>Valor/Método utilizado.</b>
<b>Resistencia de diseño <math>f^c</math></b>	210 kgf/cm <sup>2</sup> .
<b>Método de dosificación</b>	Fuller – Thompson
<b>Relación agua/cemento</b>	0,47
<b>Tipo de cemento</b>	Gu (Marca Atenas)
<b>Agregados</b>	Arena y grava (ensayos granulométricos realizados)

Fuente: Propia.

## 5.5 Preparación del área y materiales

**Preparación del área:** Se limpia y nivela la zona donde se colocará la viga para que sea estable. Dependiendo del diseño, se pueden instalar soportes temporales o cimbras que sostendrán el encofrado y el hormigón fresco.

**Selección y preparación de materiales:** Los agregados finos (arena) y gruesos (grava) se someten a ensayos granulométricos y de absorción para garantizar su calidad. El cemento debe ser de alta calidad y almacenado adecuadamente para evitar su exposición a la humedad. El acero de refuerzo debe cortarse y doblarse conforme a los planos de diseño, siguiendo especificaciones como el tipo, número y distribución de barras. Para este caso se procederá a analizar los ángulos de los ganchos de las barras longitudinales de 30°, 60°, 90° y 180°.

## **5.6 Construcción del encofrado.**

Se construirá un encofrado rectangular de madera de un solo uso. Se aplican un agente desmoldante en el interior para evitar que el concreto se adhiera, facilitando su posterior remoción, para este caso se aplicará aceite de combustible en el interior del molde, para que resulte más fácil al momento de desencofrar las vigas.

## **5.7 Armado y colocación del acero de refuerzo**

La viga fue reforzada con varillas corrugadas de acero de  $4200 \text{ kg/cm}^2$  de esfuerzo de fluencia ( $f_y$ ). La armadura longitudinal se conformó por 2 varillas de 10 mm de diámetro en la parte inferior con un área ( $157.08 \text{ mm}^2$ ) para soportar los esfuerzos de tracción y 2 varillas de 6 mm con un área de ( $56.549 \text{ mm}^2$ ) en la parte superior para resistir los esfuerzos de compresión. Estas varillas presentan una longitud de 390 mm, sin considerar los ganchos.

El refuerzo transversal se conformó con estribos de 4 mm de diámetro, dispuestos cada 3.76 mm a lo largo de toda la viga, sumando un total de 12 estribos. El hormigón que se va a utilizar alcanzó una resistencia a la compresión de  $f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ , determinada a partir de ensayos en probetas cilíndricas elaboradas a partir de la misma mezcla utilizadas en las vigas. Por otra parte, se utilizó separadores para mantener la separación adecuada entre las barras y el encofrado, las cuales se realizaron cortes de espumaflex de 2 cm que viene a ser el recubrimiento.

## **5.8 Preparación y mezclado del hormigón**

Una vez realizada la dosificación se tiene la relación agua/cemento y se procedió a preparar la mezcla de hormigón con la proporción correcta de cemento, agua, agregados finos y gruesos. La relación agua/cemento se ajusta para obtener la resistencia y trabajabilidad requeridas.

Se realizó el mezclado en una concretera dentro del laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca ubicado en el CITT, Ricaurte. Fue importante que el mezclado sea homogéneo para asegurar que todas las partículas de agregado estén recubiertas por la pasta de cemento y que la mezcla tenga la misma consistencia.

## **5.9 Vaciado y distribución del hormigón.**

El vaciado del hormigón en el encofrado se realizó de manera continua, evitando la segregación de los materiales, las cuales podrían afectar la resistencia estructural de las vigas. Para el mezclado se ejecutó desde una altura moderada, con el objetivo de prevenir la segregación de los agregados. Con el fin de llenar todos los espacios se utiliza una varilla de 10 mm, de esta manera también distribuir bien el material, además, se realiza un vibrado manual con un combo con cabeza de goma y así evitar no dejar aire atrapado cuando se termine de fundir.

### **5.10 Enrasado de la superficie**

Una vez finalizada la colocación del hormigón en la viga, se procede a enrasar las vigas asegurando que quede completamente lisa y uniforme. Este proceso es fundamental porque permite que la superficie quede correctamente nivelada y terminada garantizando así una distribución uniforme de las cargas aplicadas a la viga. Para llevar a cabo esta actividad, se utilizaron llanas metálicas, que permite obtener una terminación homogénea y libre de irregularidades.

### **5.11 Curado del hormigón**

El proceso de curado del hormigón es importante porque garantiza que el hormigón alcance su resistencia a la que fue diseñada. Por lo tanto, para el curado se deja sumergido bajo una piscina de agua. La duración del curado varía según las condiciones ambientales y la composición del hormigón, se estableció un periodo estándar de 28 días, debido que en ese tiempo el concreto alcanza su máxima resistencia para posteriormente proceder con el ensayo. Sin embargo, es importante mencionar que un curado deficiente puede provocar fisuraciones, reducción de la resistencia y disminución de la vida útil de la estructura.

### **5.12 Desencofrado**

Para el desencofrado de las vigas se realiza a los 14 días posteriores al vaciado. Es importante usar encofrados que sean fácil de desmoldar en caso de contar con estos tipos de encofrados se recomienda realizar de manera cuidados y paciente para evitar dañar a la estructura. Además, se recomienda aplicar agentes desmoldantes antes del vertido del

hormigón para facilitar la remoción del encofrado y minimizar posibles daños en la superficie del elemento estructural y poder de esta manera obtener resultados favorables.

### **5.13 Inspección y ensayos**

Una vez completadas las etapas anteriores, se llevó a cabo un proceso de inspección y ensayos para evaluar la calidad y el desempeño de la viga de hormigón. La inspección visual constituye el primer paso en este procedimiento, permitiendo detectar la presencia de grietas, fisuras, segregaciones u otros defectos que puedan comprometer la capacidad estructural del elemento. Finalmente, se procede a ejecutar ensayo de flexión en tres puntos el cual es uno de los más empleados para determinar los objetivos propuestos en esta investigación.

Para el ensayo a flexión, se utiliza una prensa hidráulica, para ello la viga se asienta en dos apoyos para este caso a una distancia de 2.5m de cada uno de sus extremos y se aplica una carga puntual en el centro de la sección y se procede a observar como la carga va incrementando hasta el momento de fallar. Con estos datos, es posible determinar la resistencia última a la flexión, así como la ductilidad y el comportamiento estructural del hormigón armado bajo cargas de servicio y de falla. Finalmente, los resultados obtenidos son comparados con los valores teóricos y los límites normativos establecidos, permitiendo validar la calidad del diseño y la ejecución de la viga

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

**6.1. Momentos flectores obtenidos:** Puesto que la prensa, entre sus resultados, no entrega el valor del momento último, se procede a calcular con la carga máxima aplicada. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de momentos de la primera viga ensayada sin ganchos, para encontrar los demás valores se sigue el mismo procedimiento de cálculo.

#### Datos

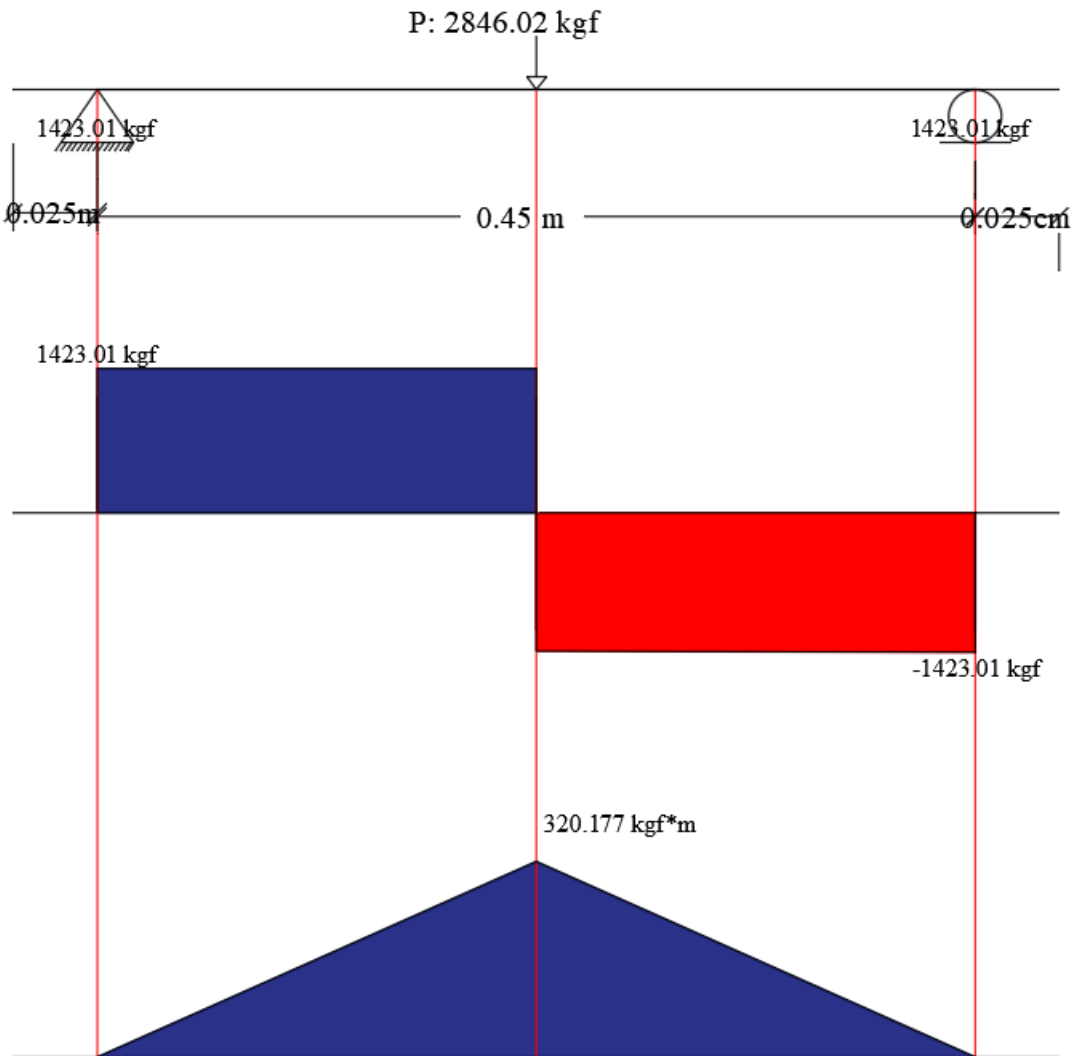
$$P = 2846.02 \text{ Kgf} \qquad L = 45 \text{ cm}$$

$$\sum Ma = 0$$

$$P * L/2 + By * L = 0 \qquad By = ((P * L/2)/L) \qquad By = 1423.01 \text{ Kgf}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$P + By * Ay = 0 \qquad Ay = P + By \qquad Ay = 1423.01 \text{ Kgf}$$



**Ilustración 18.** Diagrama de cortantes y momentos máximos de la viga aplicada una carga máxima.

**Fuente:** Propia del autor.

$$\mathbf{Mu} = 320,177 \text{ Kg}f * m$$

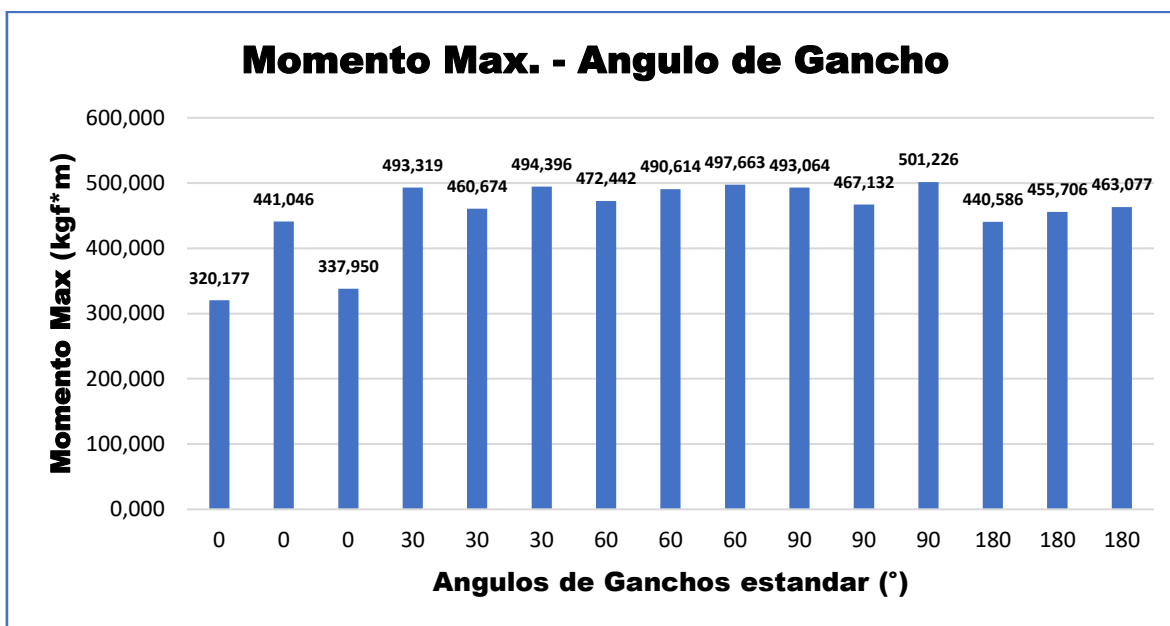
También se puede aplicar la formula directamente.

$$\mathbf{Mu} = ((P * L)/4) = 320,177 \text{ Kg}f * m$$

**Tabla 9.** Resultados obtenidos del cálculo de momentos.

Nº	Ángulo del gancho (°)	Momento Max. (calculado) (Kgf*m)
1	Sin gancho	320,177
2	Sin gancho	441,046
3	Sin gancho	337,950
1	30°	493,319
2	30°	460,674
3	30°	494,396
1	60°	472,442
2	60°	490,614
3	60°	497,663
1	90°	493,064
2	90°	467,132
3	90°	501,226
1	180°	440,586
2	180°	455,706
3	180°	463,077

**Fuente:** Propia del autor.



**Ilustración 19.** Momento máximo por ensayo.

**Fuente:** Propia.

Como se puede observar el valor del momento de la viga 2 sin gancho presenta un valor elevado en comparación con los dos especímenes sin ganchos lo que podría ser consecuencia de varios factores. Podría haber un error en la forma en que se aplicó la carga, quizás no centrada. Otra posibilidad es que el espacio entre los apoyos, sin querer, haya sido modificado en una menor distancia. Por lo tanto, se decidió no considerar este resultado para la comparación de valores con las demás vigas con ganchos.

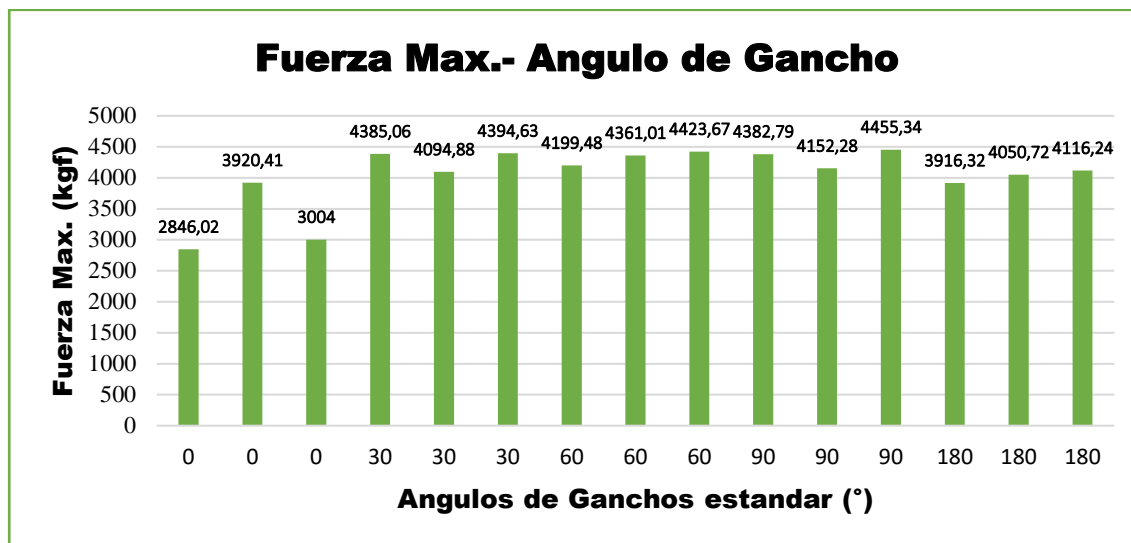
Para evitar dispersión en los resultados y evitar futuras inconsistencias, se debe realizar una revisión exhaustiva. Esto implica verificar que la viga esté correctamente alineada, confirmar la distancia exacta entre sus puntos de apoyo y controlar meticulosamente el proceso de aplicación de la carga, asegurándose de que se ajuste a los parámetros establecidos.

**6.2. Fuerza máxima por ensayo:** Es aquella donde la viga alcanza su resistencia máxima mediante la aplicación de una carga. En la tabla 11 se puede observar los valores de cargas aplicadas en cada espécimen.

**Tabla 10.** Valores de cargas máximas obtenidas mediante el ensayo a flexión-

N°	Ángulo del gancho (°)	Carga Máxima (P) (kgf)
1	Sin gancho	2846,02
2	Sin gancho	3920,41
3	Sin gancho	3004
1	30°	4385,06
2	30°	4094,88
3	30°	4394,63
1	60°	4199,48
2	60°	4361,01
3	60°	4423,67
1	90°	4382,79
2	90°	4152,28
3	90°	4455,34
1	180°	3916,32
2	180°	4050,72
3	180°	4116,24

**Fuente:** Propia.



**Ilustración 20.** Fuerza máxima por ensayo

Fuente: Propia.

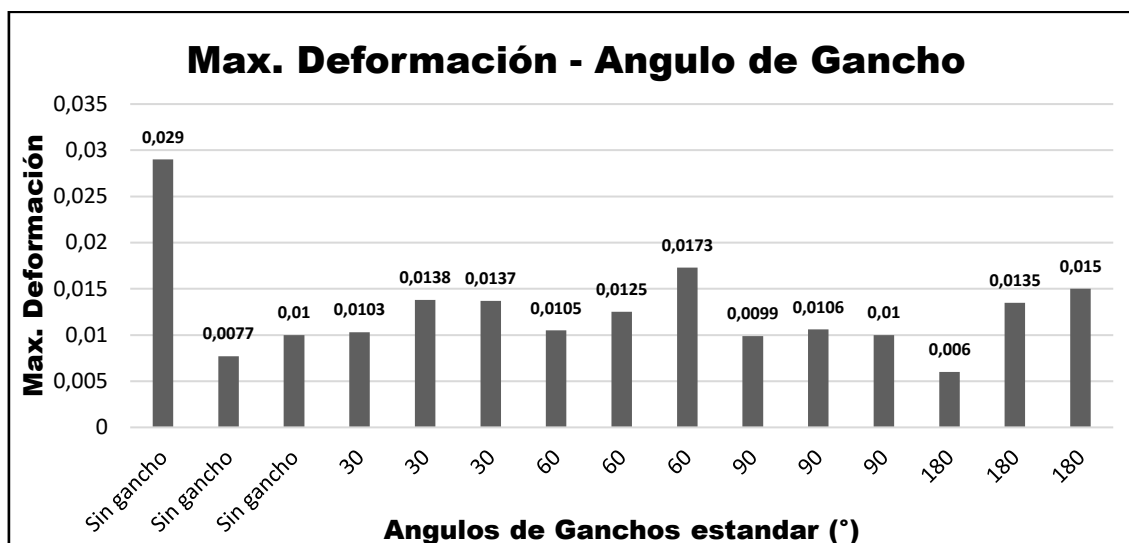
La carga máxima significativamente mayor observada en una de las vigas sin gancho podría deber a diversas diferencias en su construcción o al proceso de prueba. Estas incluyen posibles variaciones en la calidad del hormigón empleado, diferencias en la disposición o cantidad del refuerzo de acero, alteraciones en la geometría de la viga o inconsistencias en la metodología del ensayo.

**6.3. Deformación máxima:** Es el cambio en la forma de la viga debido a una carga aplicada. Indica cuánto puede doblarse antes de sufrir daños permanentes. Puede ser elástica o plástica. En este caso se tiene una deformación elevada que está trabajando en forma plástica lo cual se debe revisar y analizar en que está fallando la viga.

**Tabla 11.** Deformaciones unitarias máximas obtenidas en el ensayo a flexión.

<b>N°</b>	<b>Ángulo del gancho (°)</b>	<b>Deformación unitaria máxima</b>
1	Sin gancho	0,029
2	Sin gancho	0,0077
3	Sin gancho	0,01
1	30°	0,0103
2	30°	0,0138
3	30°	0,0137
1	60°	0,0105
2	60°	0,0125
3	60°	0,0173
1	90°	0,0099
62	90°	0,0106
3	90°	0,01
1	180°	0,006
2	180°	0,0135
3	180°	0,015

**Fuente:** Propia.



**Ilustración 21.** Max. Deformación por ensayo.

**Fuente:** Propia.

Como se puede observar existe poca homogeneidad en las deformaciones obtenidas en el ensayo, pero los valores de las cargas máximas en su mayoría son similares para cada tipo de terminación de acero por lo tanto la causa de este problema podría deberse al modo de fabricación de las vigas (colocación de refuerzo, curado) o configuraciones del ensayo.

#### 6.4. Análisis comparativo

Una vez detallado los resultados obtenidos se procede a realizar un promedio de los valores de cada viga con su respectivo gancho para así comparar los valores de cada espécimen.

**Tabla 12.** Promedio de resultados obtenidos de Carga Máxima, Momento Máximo y Deformación Unitaria.

<b>PROMEDIO DE RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Ángulo del Gancho</b>	<b>Carga Máxima (kgf) Promedio</b>	<b>Momento Máximo (kgf*m) Promedio</b>	<b>Deformación unitaria máxima promedio</b>
Sin Gancho	2925,01	329,063	0.0195
30°	4291,523	482,796	0.0126
60°	4328,053	486,906	0,0134
90°	4330,137	487,140	0,0102
180°	4029,76	503,4700	0,0115

Fuente: Propia.

Los resultados experimentales obtenidos permitieron evaluar el ángulo del gancho en el refuerzo de vigas de hormigón armado, en términos de capacidad de carga, momento resistente y deformación unitaria.

#### **6.4.1. Capacidad de carga de las vigas.**

Los resultados muestran que las vigas con ganchos tienen una capacidad resistente significativamente mayor en comparación con las vigas sin gancho. La viga sin gancho presentó la menor resistencia, soportando una carga máxima de 2925.01 kgf y un momento máximo de 329.063 kgf \* m. Esto indica que la adherencia entre el refuerzo y el hormigón fue insuficiente, aumentando el riesgo de deslizamiento del acero y reduciendo la capacidad de carga de la viga.

Por otro lado, las vigas con ganchos mostraron un aumento en la capacidad de carga, con valores de fuerza máxima superiores. En particular, los ganchos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$  alcanzaron los mayores valores de resistencia, con fuerzas máximas de 4328.05 kgf y 4330.14 kgf. Estos resultados indican que el uso de ganchos adecuados permite desarrollar de manera más eficiente la resistencia del refuerzo, mejorando la estabilidad y el desempeño estructural de la viga.

El gancho de  $180^\circ$ , aunque incrementó la capacidad resistente respecto a la ausencia de gancho, presentó valores de fuerza y momento ligeramente inferiores a los obtenidos con los ganchos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Esto puede atribuirse a un posible efecto de concentración de tensiones o a una distribución menos eficiente de los esfuerzos dentro del hormigón.

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

La condición sin gancho presenta el menor momento resistente (365,62 kgf \* m), lo que indica una menor capacidad para soportar esfuerzos de flexión. Al incorporar el gancho, el momento aumenta considerablemente, alcanzando sus valores más altos en los ángulos de  $60^\circ$  (541,0067 kgf \* m) y  $90^\circ$  (541,2673 kgf \* m). Sin embargo, en  $180^\circ$ , el momento se reduce a 503,4700 kgf \* m, lo que refleja una menor eficiencia estructural en comparación con los ángulos óptimos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Esto demuestra que la orientación del gancho influye directamente en la capacidad de la estructura para resistir momentos, siendo los ángulos intermedios los más favorables.

### **6.4.3. Deformación Estructural**

La deformación máxima registrada en las vigas indica la rigidez estructural. En los datos obtenidos se determina que la viga sin gancho tiene una mayor deformación (0.0195), es decir tiene menor capacidad para restringir los desplazamientos bajo cierta carga.

Las vigas con ganchos mostraron una reducción significativa en la deformación, con valores entre 0.0126 y 0.0102, dependiendo del ángulo del gancho, pero el gancho de 90° tuvo la menor deformación (0.0102), es decir tiene un mejor desempeño en términos de rigidez estructural. Por lo tanto, se debe entender que es importante tener una deformación baja en las secciones de concreto armado para asegurar la eficiencia estructural, ya que esto minimiza los efectos de fisuración en el hormigón y mejora el comportamiento a largo plazo de la viga.

El gancho de 180° también mostró una reducción en la deformación (0.0115 m), aunque en menor medida que el de 90°. Este comportamiento puede estar asociado a una mayor disipación de esfuerzos en la zona de anclaje, lo que reduce su eficacia para restringir la deformación en comparación con el gancho de 90°.

#### **6.1.1 Resultados obtenidos con las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).**

La (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015) se basa de los requisitos que establece el (ACI 318-19, 2019), por lo tanto, en el capítulo 25, Sección 25.3.1 sugiere la normativa (ACI 318-19, 2019), los ganchos en barras de refuerzo deben tener un doblez de 90° o 180° con el propósito de garantizar una transferencia eficiente de esfuerzos entre el

acero y el hormigón. En este contexto, los ganchos con ángulos menores, como los de  $30^\circ$  y  $60^\circ$ , no cumplen con este requisito, ya que podrían no proporcionar un anclaje adecuado, afectando la adherencia del acero con el hormigón y comprometiendo la resistencia global de la viga.

No obstante, los resultados experimentales obtenidos en esta investigación han permitido evidenciar que el desempeño del gancho de  $60^\circ$  es comparable al de  $90^\circ$ , en términos de capacidad resistente y comportamiento estructural. Específicamente, la viga con un gancho de  $60^\circ$  alcanzó una carga de falla de 4328.05 kgf, mientras que la viga con un gancho de  $90^\circ$  soportó una carga de 4330.14 kgf, lo que representa una diferencia mínima entre ambas configuraciones. Este hallazgo sugiere que, aunque el (ACI 318-19, 2019) no contempla explícitamente el uso de ganchos con ángulos intermedios, un doblez de  $60^\circ$  podría ser una alternativa viable en ciertas aplicaciones estructurales, siempre que se garantice una correcta adherencia y desarrollo de esfuerzos en la zona de anclaje.

Además, el hecho de que ambas vigas hayan fallado por flexión la configuración de  $60^\circ$  permite un desempeño adecuado, evitando fallas frágiles y garantizando una transmisión eficiente de cargas. Este comportamiento puede atribuirse a la interacción entre el acero y el hormigón en la zona de anclaje, donde un ángulo de  $60^\circ$  proporciona una capacidad de resistencia superior a la esperada, optimizando la adherencia del refuerzo sin comprometer la estabilidad estructural.

## CONCLUSIONES.

- Los resultados de esta investigación muestran que el uso de ganchos en las barras de refuerzo aumenta significativamente la capacidad de carga de las vigas en comparación con aquellas que no tienen ganchos.
- Los ganchos con ángulos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$  demostraron ser los más eficientes, alcanzando cargas máximas promedio de 4328.05 kgf y 4330.14 kgf, respectivamente. Esto significa que estos ángulos permiten una mejor transferencia de esfuerzos entre el hormigón y el acero, evitando el colapso de la viga.
- El gancho de  $180^\circ$  mostró una capacidad de carga inferior a los de  $60^\circ$  y  $90^\circ$  (4029.76 kgf en promedio).
- La resistencia al momento flector aumentó significativamente con el uso de ganchos. Las vigas con ganchos de  $60^\circ$  y  $90^\circ$  alcanzaron los valores de momento flector más altos (541.00 kgf \* m y 541.26 kgf \* m, respectivamente), confirmando su mejor desempeño estructural.
- La viga sin gancho tuvo la mayor deformación máxima promedio (0.0195), lo que sugiere que, sin anclaje adecuado, el acero no puede resistir eficazmente las cargas aplicadas y la menor deformación se obtuvo con el gancho de  $90^\circ$  (0.0102 en promedio), lo que indica una mayor rigidez estructural y un mejor control de las deformaciones. Los ganchos de  $60^\circ$  y  $180^\circ$  también mostraron una reducción significativa en la deformación (0.0134 y 0.0115), aunque en menor medida que el de  $90^\circ$ .

- El código (ACI 318-19, 2019) no contempla ganchos de  $30^\circ$  o  $60^\circ$ , pero los datos obtenidos en el estudio muestran que el de  $60^\circ$  podría ser considerado, también como una opción, ya que proporciona una capacidad de carga y rigidez similares a los estándares actuales.

### **RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda el uso de ganchos de  $60^\circ$  o  $90^\circ$  en el diseño de vigas de hormigón armado, ya que estos han demostrado mejorar significativamente la capacidad de carga y reducir la deformación en comparación con otros ángulos.
- Se debe evitar el uso de vigas sin ganchos en aplicaciones estructurales críticas, ya que presentan una menor resistencia y mayor deformación, lo que podría comprometer la seguridad de la estructura.
- Aunque los ganchos de  $180^\circ$  mejoran la adherencia en comparación con las vigas sin gancho, su desempeño no es tan eficiente como el de  $60^\circ$  y  $90^\circ$ , por lo que su uso debe analizarse con base en las condiciones del proyecto.
- A pesar de los resultados obtenidos se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar la viabilidad de incluir ganchos de  $60^\circ$ , es decir realizar más números de probetas para observar si coincide con los resultados obtenidos. Además, se podrían realizar pruebas adicionales en vigas con diferentes geometrías y dimensiones, para evaluar si los resultados obtenidos en este estudio son aplicables.
- Sería útil analizar el comportamiento de estos ganchos bajo cargas dinámicas y condiciones sísmicas, ya que el estudio actual se enfocó en cargas

estáticas. Esto permitiría verificar si los ángulos de (60°) y (90°) ofrecen un desempeño confiable en estructuras sometidas a vibraciones y esfuerzos cíclicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI 318-19. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-19)*.  
<http://concrete.org/Publications/DocumentErrata.aspx>
- Andrea Solórzano, Axel Zambrano, & Juan Carlos Guerra. (2024). *Características de dos agregados finos que influyen en la resistividad del hormigón*. 9(1). <https://doi.org/10.23857/pc.v9i1>
- Builes Jeison. (2021). *Manual de dibujo y especificaciones orientando a estructuras con pórticos en concreto con capacidad de disipación moderada de energía (DMO)*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica en construcciones civiles]. <http://hdl.handle.net/11349/28353>
- Cernís Carla Agamez Pinedo, Julio Andrés Cova Vergara, Yulieth Dayana Hechenique Palma, Jose Alejandro Jaraba Gavira, Luisa María Ramirez Vergara, & Elkin Daniel Villadiego Ramos. (2018). *Working Paper: Pandeo de columnas y flexión en vigas*. 1–2. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35605.63206>
- Consuegra Liset Leon, & Carlos Rodriguez Garcia. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 16.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003>
- Darwin Ordoñez, & Bryan Suquilanda. (2023). *Calibración del modelo numérico de una viga de hormigón armado definida para falla por corte*. [Universidad Católica de Cuenca].  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/16046>
- Elizabeth, M., Aguirre, U., Josué, G., & Aguirre, A. (2018). Effect of exposure time to fire in flexural strength of reinforced concrete beams. In *Revista Gaceta Técnica* (Vol. 19, Issue 2).
- Godoy María Elena, & Luis Carlos Vivar Gándara. (2022). *El uso de ceniza volante y aditivos en la elaboración del concreto como solución ecológica*. 11(31).  
[www.eumed.net/rev/delos/22www.eumed.net/rev/delos/23Grupoeumed.net/www.eumed.net/rev/delos/22](http://www.eumed.net/rev/delos/22www.eumed.net/rev/delos/23Grupoeumed.net/www.eumed.net/rev/delos/22)
- González Rojas Felipe Eduardo, & González Silva Richard Elián. (2023). *Evaluación experimental del efecto de la separación entre estribos en una viga concebida para falla dúctil a flexión*.  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/15380>
- Hugo Donini, & Rodolfo Orler. (2021). *Análisis de las patologías en las estructuras de Hormigón Armado: Causas, inspección, diagnóstico, refuerzo y reparación*.

- Husein A. Alzgool, Ahmad M. Shawashreh, Lujain A. Albtoosh, & Basil A. Abusamra. (2024). *Experimental investigations: Reinforced Concrete Beams Bending Strength with Brine Wastewater in Short Age. 1*, 162–163. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-01-010>
- Jack C. McCormac, & Russell H. Brown. (2017). *Diseño de Concreto reforzado* (ALfaomega, Ed.; Décima Edición). <https://www.udocz.com/apuntes/87390/41-diseno-de-concreto-reforzado-mc-cormac-10>
- NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de hormigón armado*.
- Orlando Giraldo Bolivar. (1987). *Guía Práctica para el diseño de mezclas de Hormigón*.
- Perrales Vielca, Bryan Chiliquinga, & Juan Carlos Guerra. (2023). *Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. 8(11)*. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6227>
- Ramos Cisneros, E., Marquina Irigoín, L., Muñoz, Pérez, S., Jiménez Carranza, K., Quispe Rinza, Á., & Hurtado Pérez, L. (2021). Efectos del fuego sobre la resistencia de elementos estructurales de hormigón armado: Una revisión de literatura. *Paideia XXI, 11(1)*, 203–216. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3801>
- Roberto Morales Morales. (2020). *Diseño en Concreto Armado Roberto Morales Morales---CicaPerú* (ICG).
- Sergio Mosquera Gomez. (2019). *Métodos de optimización de muestras granulométricas utilizadas en el diseño de mezcla de concreto simple hidráulico*. Universidad Distrital Francisco José de Cadas.
- Słowik, M. (2019). The analysis of failure in concrete and reinforced concrete beams with different reinforcement ratio. *Archive of Applied Mechanics, 89(5)*, 885–895. <https://doi.org/10.1007/s00419-018-1476-5>
- Susanto, A., Kasyanto, H., & Susilahadi, S. (2020). Experimental study of 90° hook and standard hook at the end of reinforced concrete beam stirrup. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 830(2)*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/2/022072>

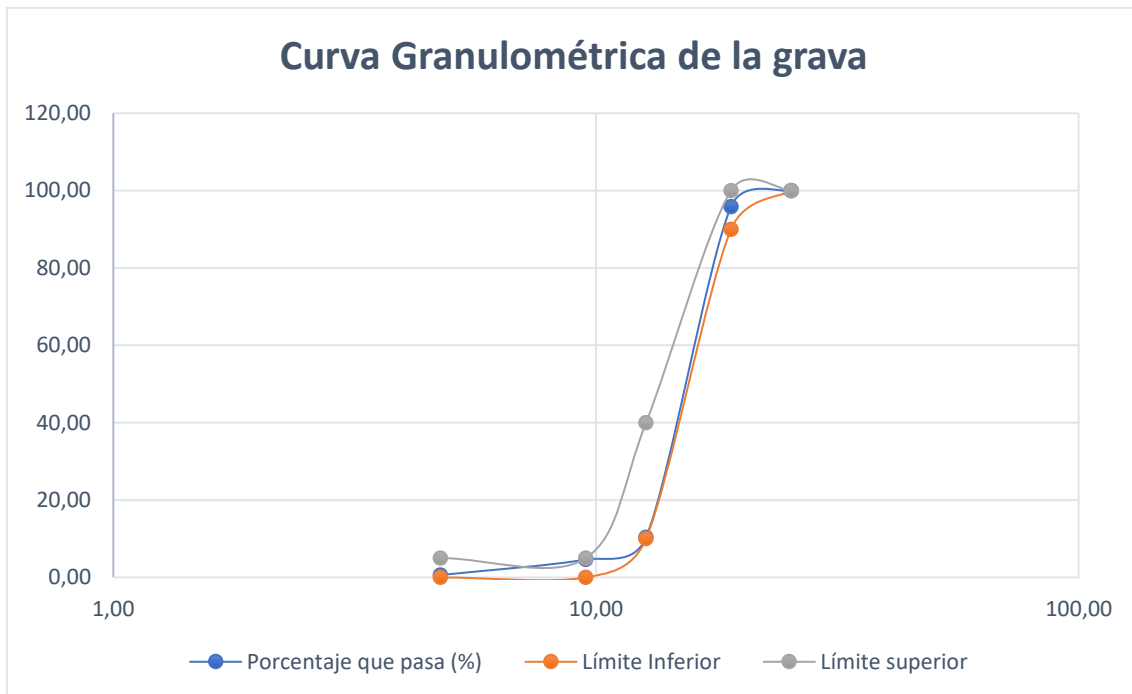
## ANEXOS

## ANEXO 1: ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS.

### Ensayo Granulométrico de la Grava.



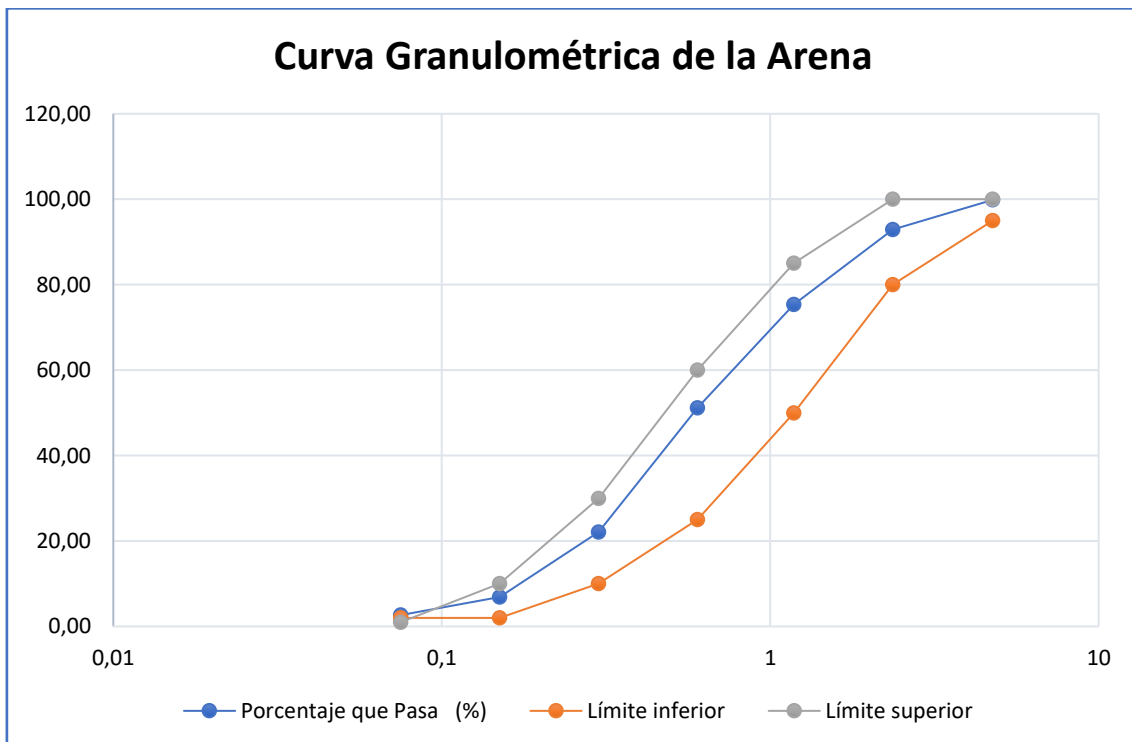
Granulometría Agregado Grueso							Límites	
Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Lim.infer	Lim.supe
2"	50,80	0	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	36,10	0	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1 "	25,40	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,05	615	615	4,10	4,10	95,90	90,00	100,00
1/2"	12,70	12833,5	13448,5	85,55	89,65	10,35	10,00	40,00
3/8"	9,53	856	14304,5	5,71	95,36	4,64	0,00	5,00
Nº4	4,76	606,50	14911,00	4,04	99,40	0,60	0,00	5,00
Fondo		89,50	15000,50	0,60	100,00	0,00		
Total		15000,50		100,00		211,48		
Módulo de finura		2,89						
%Error		0,170						
Modulo granulométrico		7,89						



### Ensayo Granulométrico de la arena.

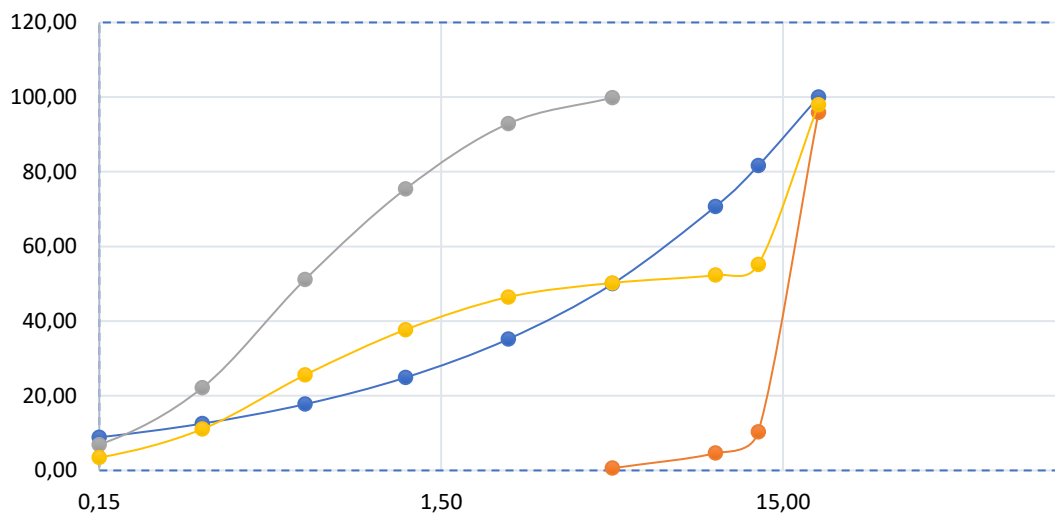


Granulometría del material fino -arena							Límites	
Tamiz No.	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Peso acumulado (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Lim. Inferior	Lim.superior
4	4,76	0,9	0,9	0,15	0,15	99,85	95	100
8	2,36	42,8	43,7	6,95	7,09	92,91	80	100
16	1,18	107,9	151,6	17,51	24,60	75,40	50	85
30	0,6	149,4	301	24,25	48,85	51,15	25	60
50	0,3	178,8	479,8	29,02	77,86	22,14	10	30
100	0,15	93,8	573,6	15,22	93,09	6,91	2	10
200	0,075	26,2	599,8	4,25	97,34	2,66	2	1
Fondo		16,4	616,2	2,66	100,00	0,00		
Total		616,2		100,00		351,02		
Módulo de finura		2,52						
%Error		0,06						
Modulo granulométrico		2,49						



		0,5	0,5	1		
# Tamiz	%pasa de Fuller	%pasa de Grava	%pasa de Arena	Curva de A+G		
19,05	100,00	95,9	100	97,95		
12,70	81,65	10,35	100	55,18		
9,53	70,71	4,64	100	52,32		
4,76	49,99	0,6	99,85	50,23		
2,36	35,20	0	92,91	46,45	Grava	50
1,18	24,89	0	75,40	37,70	Arena	50
0,6	17,75	0	51,15	25,58		
0,3	12,55	0	22,14	11,07		
0,15	8,87	0	6,91	3,46		
0,075	6,27	0	2,66	1,33		
	407,88					

### GRANULOMETRÍAS AJUSTADAS A LAS CURVAS DE FULLER Y THOMPSON



### Ensayo para densidades de la arena.



<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA ARENA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO</b>			
<b>Material Pasante en el Tamiz No. 4</b>			
<b>S=</b>	300,0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO
<b>C=</b>	839,20	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA + MUESTRA
<b>B=</b>	656,40	g.	PESO DEL PIGNÓMETRO + AGUA
<b>A=</b>	291,00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO
<b><i>PESO ESPECÍFICO SECO</i></b>	$\frac{A}{(B+S - C)}$		2,483
<b><i>PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO</i></b>	$\frac{S}{(B+S - C)}$		2,560      2559,72696
<b><i>PESO ESPECÍFICO APARENTE</i></b>	$\frac{A}{(B+A - C)}$		2,689
<b><i>% DE ABSORCIÓN</i></b>	$\frac{(S-A) \times 100}{A}$		3,093

### Ensayo para densidades de la Grava.

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA GRAVA: MÉTODO DEL PIGNÓMETRO</b>				
<b>B=</b>	2.578,0	g.	PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO	
<b>C=</b>	1614,00	g.	SUMERGIDO EN EL AGUA	
<b>A=</b>	2540,00	g.	PESO DEL MATERIAL SECO	
<b>PESO ESPECÍFICO SECO</b>	$\frac{A}{(B - C)}$		2,635	
<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMETE SECO</b>	$\frac{B}{(B - C)}$		2,674	2674,27386
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE</b>	$\frac{A}{(A - C)}$		2,743	
<b>% DE ABSORCIÓN</b>	$\frac{100(B-A)}{A}$		1,496	

### ANEXO 2: DOSIFICACIÓN DE HORMIGON.

f'c	210	kg/cm2	f'cr	280	kg/cm2
Asentamiento				2-5	cm
Litros de Agua por m3 de Hormigón				211,05	lt
Relación Agua/Cemento				0,47	-----
Peso Cemento por m3 de Hormigón				449,04	Kg

		<b>Wespecifico cemento</b>	2900	kg/m3	<b>Wespecifico grava</b>	2,67
% Arena	0,5	<b>Wespecifico agua</b>	1000	kg/m3	<b>Wespecifico grava</b>	2,48293515
% Grava	0,5	<b>%Absorciónarena</b>	3,093		<b>%warena</b>	5,11627907
		<b>%Absorcióngrava</b>	1,496062992		<b>%wgrava</b>	0,7234843

Dosificación	volumen	PSS Peso kg* m3	Peso Seo	Corrección	V.C (Kg)	V.C( gr)
H2O	0,21105	211,05	211,05	201,57	3,93	3930,7048
Cemento	0,15484226	449,04	449,04	449,04	8,76	8756,32979
Aire atrapado	0,02				0,00	0
Arena	0,317	811,57	787,22	803,15	15,66	15661,4961
Grava	0,317	847,89	835,39	828,94	16,16	16164,2686
	1,02	2319,55	2282,71	2282,71	44,51	44512,7993

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



Desencofrado de los cilindros.

Curado de los cilindros de hormigón



Ensayo de compresión del cilindro.

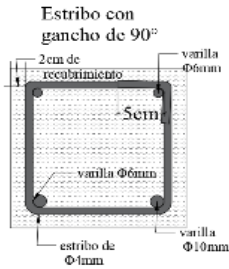
## ANEXO 5: ENSAYO DE FLEXIÓN DE LAS VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO



## ANEXO 6: DISEÑO DE LA VIGA

Origin = 0

### DISEÑO DE UNA VIGA



#### Datos Geométricos

$$\phi = 0.9$$

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

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

$$l = 50 \text{ cm}$$

$$\phi_{\text{refuerzolon}} = 8 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{estribo}} = 4 \text{ mm}$$

$$r = 2.5 \text{ cm}$$

$$d' = r + \phi_{\text{estribo}} + \frac{\phi_{\text{refuerzolon}}}{2} = 3.3 \text{ cm}$$

$$d = h - r - \phi_{\text{estribo}} - \frac{\phi_{\text{refuerzolon}}}{2} = 6.7 \text{ cm}$$

#### Propiedades Mecánicas del hormigón

$$f_c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 15100 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = (2.188 \cdot 10^5) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

#### Propiedades Mecánicas del acero

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad E_y = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

#### Datos Mecánicas de acero y hormigón

$$\epsilon_{cu} = 0.003 \quad \text{ACI}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_y} = 0.002 \quad \text{ACI}$$

#### Coefficiente

$$\beta_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{if } 170 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \leq f_c \leq 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.85 \\ \text{else if } 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \leq f_c \leq 550 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.85 - \frac{0.005 \cdot \left( f_c - 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}{70 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \\ \text{else if } f_c \geq 550 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.65 \\ \beta_1 \end{array} \right\} = 0.85$$

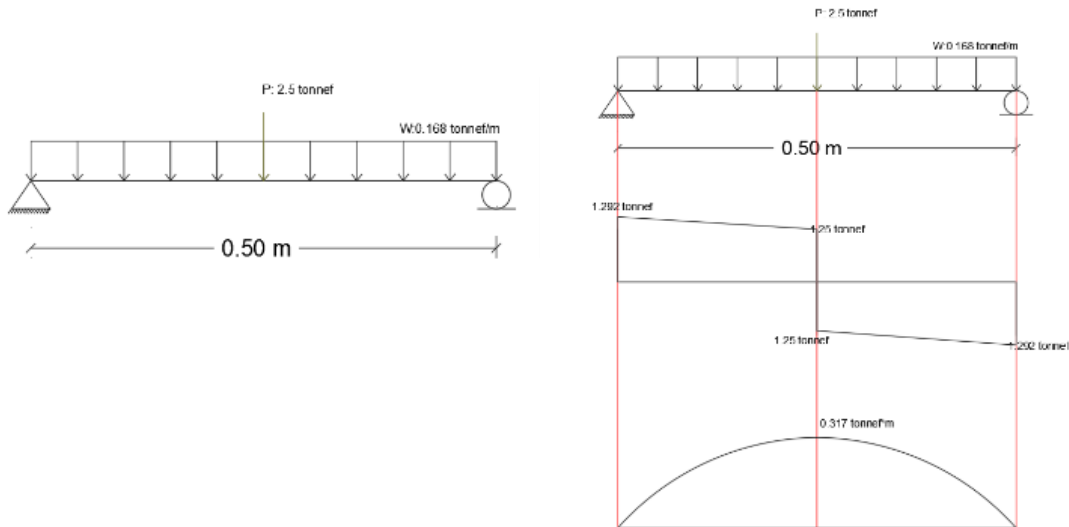
#### 1. Amplificación de cargas

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \quad C_{\text{viva}} = 2.5 \text{ tonnef}$$

$$Peso_1 = 1.4 \cdot (\rho_{\text{concreto}} \cdot l \cdot h) = 0.168 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

Peso propio de la viga

### DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



$$\Sigma M := 0$$

$$By \cdot l - C_{viva} \cdot \frac{l}{2} - P_{eso_1} \cdot l \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$By := \frac{C_{viva} \cdot \frac{l}{2} + P_{eso_1} \cdot l \cdot \frac{l}{2}}{l} = 1.292 \text{ tonnef}$$

$$By \cdot l = C_{viva} \cdot \frac{l}{2} + P_{eso_1} \cdot l \cdot \frac{l}{2}$$

$$\Sigma F_y := 0$$

$$Ay + By - C_{viva} - P_{eso_1} = 0$$

$$V := By = 1.292 \text{ tonnef}$$

$$Ay := -By + C_{viva} + P_{eso_1} \cdot l = 1.292 \text{ tonnef}$$

$$Mu := 0.317 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

#### 2. Cálculo del área de acero máximo

$$\rho_{max} := \frac{3 \cdot 0.85 \cdot \beta_1}{1000 \cdot \epsilon_{ty} + 6} \cdot \frac{f_c}{f_y} = 0.013$$

$$As_{max} := \rho_{max} \cdot b \cdot d = 0.896 \text{ cm}^2$$

#### 3. Cálculo del momento máximo resistente como viga simplemente reforzada

$$a := \left( \frac{As_{max} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \right) = 2.109 \text{ cm}$$

$$\phi M_{nmax} := \phi \cdot As_{max} \cdot f_y \cdot \left( d - \left( \frac{a}{2} \right) \right) = 0.191 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$Mu > \phi M_{nmax}$$

Realizar doble armado

#### 4. Momento máximo que la viga puede resistir a un refuerzo simple

$$\phi Mn_1 := \phi M_{nmax}$$

$$\phi Mn_1 = 0.191 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$As_1 := As_{max}$$

$$As_1 = 0.896 \text{ cm}^2$$

5.– Momento de diseño para el refuerzo a compresión

$$\phi Mn_2 = Mu - \phi Mn_1 \quad \phi Mn_2 = 0.126 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

6.– Cálculo del acero de refuerzo a tracción

$$M_{u1} = \phi Mn_2 = 0.126 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad b1 = 10 \text{ cm} \quad d1 = d = 6.7 \text{ cm}$$

Solve Restricción de valores de prueba

$$M_{u1} = 12570.521 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad b = 0.1 \text{ m} \quad As = 0.5 \text{ cm}^2 \quad d1 = 0.067 \text{ m}$$

$$f'c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad a_1 = 0.5 \text{ cm} \quad \phi_{FLEXIÓN} = 0.9$$

$$M_{u1} = \phi_{FLEXIÓN} \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_1}{2} \right) \quad a_1 = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$solu = \text{find} (As, a_1) = \begin{bmatrix} 0.0000549 \text{ m}^2 \\ 0.0129256 \text{ m} \end{bmatrix}$$

$$As := solu_0 = 0.549 \text{ cm}^2$$

$$Astotal := As + As_{max} = 1.446 \text{ cm}^2$$

$$A_{aceromax} := \pi \cdot \frac{(1 \text{ cm})^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2$$

$$\#var := \frac{Astotal}{A_{aceromax}} = 1.841$$

$$A_{aceromax} \cdot 2 = 1.571 \text{ cm}^2$$

$$Sepa := \frac{A_{aceromax}}{Astotal} = 0.543$$

|| + ||

6.– Cálculo del acero de refuerzo a compresión

$$M_{u1} = \phi Mn_2 = 0.126 \text{ tonnef} \cdot \text{m} \quad b1 = 10 \text{ cm} \quad d1 = d = 0.067 \text{ m}$$

Solve Restricción de valores de prueba

$$M_{u1} = 12570.521 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad b = 0.1 \text{ m} \quad As = 0.5 \text{ cm}^2 \quad d1 = 0.067 \text{ m}$$

$$f'c = 210 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad fy = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad a_1 = 0.5 \text{ cm} \quad \phi_{FLEXIÓN} = 0.9$$

$$M_{u1} = \phi_{FLEXIÓN} \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a_1}{2} \right) \quad a_1 = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$solu = \text{find} (As, a_1) = \begin{bmatrix} 0.0000549 \text{ m}^2 \\ 0.0129256 \text{ m} \end{bmatrix}$$

$$As2 := sol_u_0 = 0.549 \text{ cm}^2$$

$$A_{acer6mm} := \pi \cdot \frac{(0.6 \text{ cm})^2}{4} = 0.283 \text{ cm}^2$$

$$\#var2 := \frac{As}{A_{acer6mm}} = 1.943$$

$$A_{acer6mm} \cdot 2 = 0.565 \text{ cm}^2$$

$$Sepa2 := \frac{A_{acer6mm}}{As2} = 0.515$$

### DISEÑO A CORTANTE DE UNA VIGA

$$V_c = \text{Resistencia Nominal } H_o$$

$$V_n = \text{Resistencia Nominal a cortante de hormigón armado}$$

$$V_s = \text{Resistencia Nominal } A_v$$

$$V_n = V_c + V_s$$

Cálculo de la resistencia del concreto al corte

$$\lambda := 1 \quad \phi := 0.75$$

$$V_c := 0.16 \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot f_c \cdot b \cdot d} = 0.155 \text{ tonnef}$$

Cálculo de la fuerza cortante que debe ser resistido por el acero

$$\phi V_c := \phi \cdot V_c = 0.117 \text{ tonnef}$$

$$V_s := \frac{V}{\phi} - V_c = 1.567 \text{ tonnef}$$

Se verifica que el aporte por el acero sea menor al máximo

$$V_s < 3 \cdot \sqrt{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot f_c \cdot b \cdot d} = 2.913 \text{ tonnef}$$

$$A_v := \phi_{\text{estribo}} \cdot 2 = 0.8 \text{ cm}$$

Calculamos el espaciamiento de los estribos


$$S_{\text{teórica}} := \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{V_s} = 14.363 \quad \phi := 7.5 \text{ cm}$$

$$S_{\text{max}} := \frac{d}{2} = 3.75 \text{ cm}$$

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **Leidy Andrea Guachisaca Saca** portador de la cédula de ciudadanía N.º 1950009132. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis del comportamiento de una viga a flexión, al variar el ángulo del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas a tracción”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco 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; autorizo 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, 07 de abril de 2025

F: .....  
  
Leidy Andrea Guachisaca Saca  
195009132