

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. El problema

1.1.1. Planteamiento

El hormigón armado se compone de dos materiales principales el hormigón que posee gran resistencia a compresión mientras que su resistencia a la tracción es despreciable y el acero que tiene una gran resistencia a la tracción como también a la compresión sin embargo el acero tiende a pandearse al ser sometido a compresión.

Cuando un elemento longitudinal de hormigón armado se somete a flexión que es una combinación de compresión y tracción actuando simultáneamente bajo estas condiciones el hormigón trabaja para resistir los esfuerzos de compresión mientras que el acero se encarga de resistir los esfuerzos de tracción, este funcionamiento del hormigón armado es poco eficiente debido a que la parte sometida a tracción de la sección transversal del elemento solo trabaja el acero mientras que el hormigón se fisura funcionando como protección y para garantizar la adherencia.

1.1.2. Formulación

¿En qué magnitud la fibra de PVC incrementara la resistencia a la flexión del hormigón armado?

1.1.3. Sistematización

Se tendrá tres dosificaciones diferentes de fibras de PVC que se utilizaran en el hormigón armado sometido a flexión: Dosificación 1:0,02%, Dosificación 2:0,04%, Dosificación 3:0,06% de los cuales se prevé que en teoría la Dosificación 2:0,04% incremente en una mayor magnitud la resistencia a flexión.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Realizar un estudio del hormigón armado sometido a flexión con aditivo de fibra de PVC seguidamente un análisis comparativo de que dosificación (0,02%; 0,04%; 0,06%) de fibra de PVC incrementa en mayor medida su resistencia a la flexión con respecto al hormigón armado convencional.

1.2.2. Específicos

- Realizar los ensayos del agregado pétreo requeridos para poder realizar una correcta dosificación.
- Medir la resistencia a la flexión del hormigón armado para tener un parámetro experimental base de comparación.
- Medir la resistencia a la flexión del hormigón armado con tres dosificaciones (0,02%; 0,04%; 0,06%) de fibra de PVC. con el fin comparar resultados con el hormigón armado convencional.
- Comparar y analizar los resultados de los ensayos de rotura a flexión con y sin la adición de fibra de PVC.

1.3. Justificación.

1.3.1. Técnica.

Se adicionará fibra de PVC al hormigón con la finalidad de incrementar su resistencia a la flexión retrasando la fisuración

1.3.2. Social.

El hormigón armado mejorado con fibra de PVC producirá estructuras más resistentes, de mayor vida útil y con un proceso constructivo de menor duración.

1.4. Hipótesis

El hormigón con una resistencia a compresión de 210kg/cm^2 armado con 2 barras de 6mm de diámetro y estribos separados a 13cm de acero corrugado sometido a flexión con la adición de tres diferentes dosificaciones de micro fibras de PVC de 19 mm de

longitud (dosificación 1:0,02%, dosificación 2:0,04% y dosificación 3:0,06%), incrementa su resistencia a la flexión en un 30% con la adición de dosificación 2:0,04% de fibra de PVC, sin cambios significativos en el peso de la estructura.

1.5. Alcance del estudio

El presente estudio evaluará la resistencia de una viga simplemente apoyada cargada con una carga puntual aplicada en el centro de la luz de la viga prototipo de hormigón armado con y sin la adición de micro fibra de PVC. En consecuencia, se realizará:

- Se experimentará con tres dosificaciones (dosificación 1:0,02%, dosificación 2:0,04% y dosificación 3:0,06%) de microfibra de PVC: dosificación 1:0,3 kg/m³, dosificación 2:0,6 kg/m³, dosificación 3:0,9 kg/m³.
- La dosificación de hormigón se realizará para una resistencia a compresión de 210kg/cm²
- Se empleará agregado grueso y fino de la cantera ubicada entre la Loma de Tomatitas y Erquis Oropeza.
- La armadura será de acero $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ corrugado de diámetro $\theta=6$ mm con 2 barras a compresión, 2 barras a tracción, estribos de 13 x 13 cm separados a 13,6cm en los extremos y 16cm en centro.
- El cemento IP 30 para todas las probetas.
- Se elaborarán un total de 32 probetas de sección rectangular
- Las probetas se dividirán de la siguiente manera:

Tabla 1 Detalle de cantidades de probetas a realizarse

Número de días	Probetas Patrón	Dosificación N° 1 0,02%	Dosificación N° 2 0,04%	Dosificación N° 3 0,06%
14	4	4	4	4
28	4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla actual se indica las cantidades de probetas a realizarse para cada dosificación a usar según la edad del espécimen.

1.5.1. Restricciones y limitaciones

- No se realizarán ensayos de la armadura de acero corrugado.
- No se llevarán a la práctica ensayos de propiedades físicas del cemento.
- Se utilizará de la normativa ASTM C293 el esquema de carga y el informe de resultados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Hormigón

Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos. El aglomerante es, en la mayoría de las ocasiones, cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena (Fundacion wikimedia, 2018)).

2.1.1. Elementos constituyentes

2.1.1.1. Grava

Está se puede obtener en los ríos, los choques de las piedras desprenden pedazos de ellas, las que son arrastradas por las corrientes fluviales, estas llegan a oscilar entre los 2mm a 20 mm, en tanto la piedra triturada tiene tamaños comprendidos entre los rangos que van desde los 2mm a 64 mm de diámetro.

Está es mejor grava dada su uniformidad, ya que provienen de solo un tipo de roca, generalmente de origen volcánico, La piedra de los ríos al ser arrastradas por el flujo laminar de las corrientes, va tomando una forma circular o semi circular a lo que llamamos canto rodado y es producto de la naturaleza, en cambio el otro tipo de grava es fabricado por el hombre por medio de trituradoras.

Las piedras que se utilizan principalmente son minerales de caliza, granito, dolomita, basalto, arenisca, cuarzo y cuarcita, que al ser trituradas (pulverizadas) toman los nombres de piedra partida o chancada. (Bandara, 2012).

2.1.1.2. Arena

- Arena gruesa

La arena gruesa es uno de los tipos de arena más dura, usada comúnmente como parte de la mezcla para hacer soleras (bordes de concreto usados como guías para colocar el resto del piso) para zonas como receptáculos de duchas o entradas más grandes que tienen un subsuelo bajo. El grano más grueso de la arena permite una consistencia más espesa del concreto.

- Arena fina

La arena fina se usa comúnmente en productos como adhesivos y lechadas para colocar baldosas cerámicas y piedra natural. También se usa para hacer la argamasa para ladrillos de terminaciones, como en el exterior de una casa, donde se necesita una arena más fina para dar un mejor acabado. Se conoce como arena para construcción.

- Árido

El árido se usa para cimientos de casas, para bases de maceteros y como parte de las secciones debajo del suelo de muchas clases de edificios. Los áridos pueden ser cualquier cosa desde piedras de río hasta grava partida y se usan para mezclar con concreto y arena gruesa; puede usarse para fortalecer los cimientos de estructuras de ladrillo y para rellenar secciones entre ladrillos para dar más estabilidad. (Ogara Construcciones SRL, 2015)

2.1.1.3. Cemento

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. Su nombre se deriva de caementum, que en latín significa “argamasa”, y procede a su vez del verbo caedere (precipitar). Es considerado el conglomerante más importante en la actualidad.

Hay dos tipos de cementos dependiendo de su origen: arcilloso, logrado a partir de arcilla y piedra caliza; y puzolánico, que contiene puzolana, un material alúmino

silíceo. La mencionada puzolana puede provenir de volcanes o de un origen orgánico. En la construcción se ha generalizado la utilización de la palabra cemento para designar un tipo de aglutinante específico que es el cemento hidráulico, de origen puzolánico, debido a que es el más comúnmente utilizado.

El cemento hidráulico es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados generalmente en hornos rotatorios a altas temperaturas y mezclados con yeso. La cocción de la mezcla se realiza a temperaturas entre 1,450 y 1,480 °C, y la masa homogénea obtenida se denomina clínker, el cual, después de ser triturado finamente, se convierte en el componente básico para la fabricación del Cemento. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación. Es mayormente empleado en la construcción, justamente por esa solidez que reviste como adherente y aglutinante.

- Componentes principales del cemento

La composición química de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento hidráulico está compuesta por varios elementos como son:

Oxido de calcio (CaO) aportado por la cal.

Dióxido de silicio (SiO₂), el cual se encuentra en la arcilla junto con el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃),

y la adición del regulador del fraguado que es el yeso, el cual contiene trióxido de azufre (SO₃).

En la etapa de sinterización (tratamiento térmico a temperatura menor que el punto de fusión) durante la fabricación del clínker, se producen los componentes principales o potenciales que constituyen el 95% de dicho material, los cuales se conocen como mineral, debido a las impurezas de las materias primas. Al silicato tricálcico se le conoce como Alita (C₃S), al silicato dicálcico se le denomina Belita (C₂S), el ferrito aluminato tetracálcico (C₄AF) es la ferrita y celita al aluminato tricálcico (C₃A). El motivo de añadir yeso al cemento es para retardar (controlar) el fraguado, ya que, si

solo se muele el clinker, al mezclarlo con el agua fraguaría casi inmediatamente, y no permitiría ni su manipulación ni su instalación. La retardación de la hidratación inicial del cemento depende de la presencia de los iones SO_4 . (Tenquendama, 2017)

2.1.1.4. Agua

Se permite el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto, sin necesidad de ensayarla para determinar su conformidad con los requisitos de esta especificación.

El agua de mezcla que esta parcial o totalmente compuesta de agua de fuentes que son no potables o que proceden de operaciones de la producción de concreto, puede permitirse que sea usada en cualesquiera proporciones dentro de los límites prescritos para cumplir con los requisitos de la (ASTM C94/C94M). (COGUANOR, 2005).

2.2. Ensayos

2.2.1. Granulometría

El ensayo de granulometría es un procedimiento mecánico por el cual se separa los granos de diferente diámetro mediante mallas metálicas tal como indica la norma ASTM C33.

Tabla 2 Límites permisibles de agregado fino manufacturado

TAMIZ	TAMIZ (mm)	% pasa	
		Inferior	Superior
Nº 4	4,75	95,00	100,00
Nº 8	2,36	80,00	95,00
Nº 16	1,18	45,00	95,00
Nº 30	0,60	25,00	75,00
Nº 50	0,30	10,00	35,00
Nº 100	0,15	8,00	20,00

Fuente: Norma ASTM C33

En la presente tabla se puede observar los porcentajes mínimos y máximos que deben tener las muestras de agregado fino manufacturado para que puedan cumplir con la normativa.

Tabla 3 Requisitos para agregado grueso

Numero de tamaño	Tamaño nominal	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 um
1	90 a 37,5 mm	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 a 37,5 mm			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 a 25,0 mm				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 a 4,75 mm				100	95 a 100		35 a 70				0 a 5			
4	37,5 a 19 mm					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	37,5 a 4,75 mm					100	90 a 100		35 a 70		10 a 30				
5	25,0 a 9,5 mm						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0 a 4,75 mm						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 a 2,36 mm						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		

6	19,0 a 9,5 mm							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,0 a 4,75 mm							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 a 4,75 mm								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 a 2,36 mm									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9,5 a 1,18 mm									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9A	4,75 a 1,18 mm										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	a 5

Fuente: Norma ASTM C33

En la presente tabla podemos observar las curvas de los límites máximos y mínimos para el cumplimiento de la presente norma en porcentaje que pasa según su tamaño máximo nominal desde 90mm hasta 4.75mm.

2.2.2. Peso unitario

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad es que se efectúa el ensayo, expresada en kg/m^3 .

En ASTM C 29 se define la densidad total o bruta (bulk density) o peso unitario de los agregados como la masa de un volumen unitario de agregado, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre las partículas.

De forma resumida el peso unitario consiste en determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco (en un determinado nivel de consolidación o compactación) y el volumen que éste ocupa incluyendo los vacíos de aire entre partículas y los de absorción y se expresa en lbf/ft^3 (kg/m^3). Los resultados obtenidos en este ensayo son necesarios para el proporcionamiento de mezclas de concreto hidráulico y para conversiones masa/volumen en la aceptación de materiales en la obra.

El término común en nuestro medio con el cual se denomina la densidad total en agregados es la determinación del peso volumétrico suelto y varillado del agregado y se abrevian PVS y PVV respectivamente.

La serie de moldes a utilizar se calibran para determinar su volumen por medio de agua, llenando el recipiente completamente con agua, nivelando la superficie superior con el auxilio de una placa lisa de vidrio y procurando eliminar las burbujas de aire y el exceso de agua e inmediatamente se determina el peso del molde y agua y la temperatura del agua, y luego se estima el volumen ocupado en el recipiente utilizando el siguiente principio:

$$\gamma(T^{\circ})_{\text{agua}} = W/V \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$\gamma(T^{\circ})_{\text{agua}}$ = Peso volumétrico del agua (en función de la temperatura)

W = Peso de la masa de agua a determinada temperatura

V = Volumen del recipiente

$$V = \frac{W}{\gamma(T^{\circ})_{\text{agua}}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Los moldes deberán recalibrarse al menos una vez al año o cuando exista alguna razón para cuestionar la precisión de la calibración.

El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente del 125 a 200% de la cantidad requerida para llenar el molde medidor y deberá manejarse con los cuidados respectivos para evitar la segregación. La muestra deberá secarse hasta obtener masa constante en uno horno a una temperatura de $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$).

Para determinar la densidad total se realiza por lo general en dos estados de consolidación o compactación que son:

- En estado suelto (o peso volumétrico suelto PVS):

Este procedimiento se utiliza para agregados que tengan un tamaño máximo nominal menor o igual (37,5 mm), básicamente se introduce el agregado en el molde seleccionado en su estado suelto, llenándolo por medio de una cuchara o pala a una altura que no exceda de 2plg por encima del borde superior del molde hasta que el material rebose el molde; teniendo el cuidado de evitar en la medida de lo posible la segregación. A continuación, se nivela la superficie con una regla enrasadora (en agregado fino o grueso) teniendo el cuidado de no presionar mucho para no compactar ligeramente su estado suelto o nivelando directamente con los dedos (en agregado grueso) de forma tal que ninguna pieza se proyecte o balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente. A continuación se determinan los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de al menos 0,05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes) como se muestra a continuación:

$$\text{PVS} = \frac{(G_s - T)}{V} \quad \text{Ó} \quad (G - T) \times \left(\frac{1}{V}\right) = (G - T) \times F \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

PVS = Peso volumétrico suelto en kg/m^3 .

Gs = Peso del agregado suelto más molde en kg

T = Peso del molde en kg

V = Volumen del molde en m^3

En estado compacto

La determinación del peso volumétrico en su estado compacto puede realizarse de dos maneras, dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado y se detallan a continuación:

- Procedimiento de consolidación por varillado:

Este procedimiento se utiliza con agregado que tenga un tamaño máximo nominal mayor que 1 ½”, consiste en introducir el agregado en el molde seleccionado y llenándolo en tres capas de igual altura; cada capa es compactada por medio de la aplicación de 25 golpes (igualmente espaciados sobre su superficie) con una varilla lisa de acero de 5/8” de diámetro y 24” de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica. La primera capa se debe nivelar con los dedos su superficie, a continuación, se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente.

A continuación se llena el recipiente a dos tercios de su altura, se vuelve a nivelar y varillar (para la segunda y tercera capa se procura aplicar golpes vigorosos pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior), finalmente se llena el recipiente hasta rebosarlo y se varilla de la forma descrita anteriormente, Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del borde del recipiente. Luego de determinar los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo

(con una precisión de al menos 0,05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes) como se muestra a continuación:

$$PVV = \frac{(G_v - T)}{V} \text{ Ó } (G_v - T) \times \left(\frac{1}{V}\right) = (G_v - T) \times F \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

PVV = Peso volumétrico varillado en kg/m³.

G_v = Peso del agregado varillado más molde en kg

T = Peso del molde en kg

V = Volumen del molde en m³

2.2.3. Absorción del agregado

La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material

Agregado grueso:

Nomenclatura empleada:

A= Masa de la muestra de ensayo, seca al horno (s), en el aire, g

B= Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (sss) en el aire, g.

C= Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua, g.

F= peso de fuente, g.

s= Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno.

sss= Densidad relativa (gravedad específica).

sa= Densidad relativa aparente (gravedad específica).

- Para agregado Grueso:

Secar la muestra de ensayo en el horno a masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), dejarla enfriar al aire a temperatura ambiente, de 1 a 3 h, para muestras de tamaño nominal máximo de 37.5 mm, o por un tiempo mayor para tamaños más grandes, hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura adecuada para su manejo (Aproximadamente 50°C). A continuación, se debe sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h. Cuando se utilicen agregados livianos Grupo II de acuerdo a la especificación sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente por un periodo de 72 ± 4 h, revolver por al menos un minuto a cada 24 h.

Remover la muestra de ensayo del agua y rodarla dentro de una tela absorbente grande, hasta que desaparezca el brillo del agua o humedad superficial desaparezca. Luego frotar individualmente las partículas. Se permite el uso de un flujo de aire para asistir en la operación de secado. Se debe tener cuidado de evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de la muestra de ensayo en la condición saturada de superficie seca (sss). Registrar esta y las masas subsecuentes, con una aproximación de 0,5 g o del 0,05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.

Después de determinar la masa en el aire, inmediatamente después colocar la muestra de ensayo (sss) en el contenedor de muestra y determinar su masa aparente en agua a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes de determinar su masa, agitando el contenedor mientras está sumergido.

Secar la muestra de ensayo en el horno, hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, enfriarla en aire a temperatura ambiente del laboratorio por 1 a 3 h, o hasta que el agregado se halla enfriado a una temperatura confortable para su manejo (aproximadamente 50°C) y determinar su masa.

- Agregado Fino: Seque el espécimen de ensayo en un recipiente adecuado o vasija, a masa constante a una temperatura de 110°C . Permítale enfriar a una temperatura de

manejo confortable, cubra con agua ya sea por inmersión o por adición de al menos 6% de humedad del agregado fino y permita reposar por 24 horas. Donde los valores de la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) son para usarse en proporcionamiento de mezclas de concreto en los cuales el agregado estará en su condición de humedad natural, el requerimiento para secado inicial es opcional, y si las superficies de las partículas en la muestra han sido mantenidas continuamente húmedas hasta que sean ensayadas.

Decante el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos esparza la muestra en una superficie plana, no absorbente, expuesta a una ligera corriente de aire y remueva frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Continúe esta operación hasta que la muestra se aproxime a la condición de un flujo libre. Siga el procedimiento descrito en el literal (c), para determinar si la humedad superficial está presente en las partículas constituyentes del agregado fino. Haga el primer intento para humedad superficial cuando hay alguna humedad superficial en la muestra, continúe secando con movimientos constantes y pruebe a intervalos frecuentes hasta que la muestra haya alcanzado la condición de superficialmente seca. Si el primer intento de prueba de humedad superficial indica que la humedad superficial no está presente, este ha sido secado pasando a la condición saturada superficialmente seca. En este caso, mezcle completamente unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permita al espécimen permanecer en un recipiente cubierto por unos 30 minutos. Después finalice el proceso de secado y prueba a intervalos frecuentes hasta lograr la condición de superficialmente seco. completamente unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permita al espécimen permanecer en un recipiente cubierto por unos 30 minutos. Después finalice el proceso de secado y prueba a intervalos frecuentes hasta lograr la condición de superficialmente seco.

- Ensayo para humedad superficial:

Sujete el molde firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Coloque una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde, llenándolo hasta que se desborde y apilando el material adicional por

encima del borde superior del molde, sosteniéndolo con los dedos. Ligeramente apisona el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pisón. Inicie cada caída 5 mm arriba de la superficie del agregado fino. Permita al pisón caer libremente bajo la atracción gravitacional en cada caída. Ajuste la altura inicial a la elevación de la nueva superficie después de cada golpe y distribuya los golpes sobre la superficie. Remueva la arena suelta de la base y levante el molde verticalmente. Si la humedad superficial está aún presente, el agregado fino retendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado moldeado indica que este ha alcanzado una condición de superficialmente seco.

- Procedimiento gravimétrico (picnómetro).

Llene parcialmente el picnómetro con agua. Introduzca en el picnómetro 500g de agregado fino saturado superficialmente seco, preparado como se describe en 4.4.2 y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90% de la capacidad. Agite el picnómetro manualmente o mecánicamente.

Agitado manual, manualmente ruede, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha encontrado que sumergir la esquina de una toalla de papel dentro del picnómetro es útil para dispersar la espuma que a veces se forma cuando se eliminan las burbujas de aire.

Después de eliminar todas las burbujas de aire, ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a 23,0°C si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y lleve el nivel del agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determine la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.

Remueva el agregado fino del picnómetro, seque a masa constante a una temperatura de 110°C, enfríe al aire a la temperatura del cuarto por 1 hora y determine la masa.

Determine la masa del picnómetro lleno con agua a su capacidad de calibración, a una temperatura de 23,0 °C.

2.2.4. Dosificación del hormigón

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas.

Los valores del asentamiento recomendados son los mostrados en la tabla 2 y se usan cuando el método de compactación utilizado es la vibración

Tabla 4 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción

Asentamiento (cm)	Consistencia (tipo de hormigón)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0-2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas
2-3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5-5,0	Semiseca	Pequeño	construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en hormigón simple. Pavimentos con vibradores normales
5,0-10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros con vibración
10,0-15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimientos de túneles, No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Fuente: NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene. Tecnología del concreto-Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

En la presente tabla se puede observar lo diferentes asentamientos del hormigón aceptados por la normativa después del mezclado, tipo de consistencia, el grado de trabajabilidad y el tipo de estructuras que requieren el respectivo asentamiento.

La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación. Tabla 3. muestran el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el TMN.

Tabla 5 Requerimientos aproximados de agua de mezclado

Condición del contenido de aire	Asentamiento (cm)	Agua en kg/m ³ para los TMN del agregado indicado							
		10	12.5	20	25	40	50	70	150
		-	-	-	-	-	**_	**_	**_
Hormigón sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	---
	Cantidad aproximada de aire atrapado en hormigón sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	---
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Fuente: NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

**Los valores de asentamiento para un hormigón que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de asentamiento efectuado después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

En la actual tabla se indica la cantidad de agua aproximada recomendada por la normativa para diferentes asentamientos del hormigón fresco según el tamaño máximo nominal del agregado grueso diferenciando si este mismo posee aire incluido, también nos muestra la cantidad de aire atrapado en la mezcla según el tamaño máximo nominal y nos indica el porcentaje promedio recomendable de aire según el tamaño máximo nominal.

- Estimación de la relación agua cemento (a/c):

Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para determinar esta relación se utiliza la tabla 4.

Tabla 6 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 Días		Hormigón sin inductor de aire (relación absoluta por peso)	Hormigón con inductor de aire (relación absoluta por peso)
kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,5
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,4	0,35

Fuente: NIÑO HERNANDEZ, Jairo Rene. Tecnología del concreto-Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

En la presente tabla nos indica las relaciones de agua /cemento recomendadas por la normativa para alcanzar la resistencia a compresión requerida a los 28 días diferenciando si el hormigón contara con aire incluido.

- Cálculo del contenido de cemento:

$$C = \frac{a}{a/c} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

C= Contenido de cemento

a/c=Relación agua/cemento

a= Agua de mezclado

- Verificación granulométrica:

Esta etapa es utilizada en gran medida para verificar los valores de resistencia en la mezcla de concreto. Para esto se deben seguir los parámetros establecidos por la norma ASTM C33

- Método A.C.I.:

El método A.C.I. es usado cuando los agregados cumplen con las recomendaciones granulométricas ASTM C33, y este consiste en hallar el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto; para esto se hace uso de la tabla 4.8. que muestra el volumen de agregado grueso por unidad de

Volumen de hormigón.

Después se determina el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso, y se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta (MUC) y la densidad aparente de la grava (dg):

$$b_o = \frac{MCU}{dg} \quad \text{Ecuación 2}$$

Teniendo el valor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón y el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico, se determina el volumen total de agregado grueso que posee la mezcla para un metro cúbico. Esto se hace multiplicando los valores hallados en la tabla 5. y de la ecuación de volumen de partículas del agregado grueso:

$$B = \left(\frac{b}{b_o}\right) * b_o \quad \text{Ecuación 3}$$

Tabla 7 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón (b/b_o)

MAXÍMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de Hormigón para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		Módulo de finura			
Pulgadas	mm	2,4	2,6	2,8	3
3/8	9,51	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,6
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,8	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

La presente tabla nos indica el volumen de agregado grueso requerido para el cumplimiento de la normativa según el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Ya calculado el volumen de grava, cemento, agua y aire, queda faltando el volumen del agregado fino (arena); éste se calcula restando el volumen total de los ingredientes conocidos (grava, cemento, agua y aire) por el volumen requerido de arena; esto se puede observar en la tabla 8.:

Tabla 8 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 1 m³

Material	Peso W (kg/m ³)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Volumen V (m ³)
Agua	k/w	1000	Vw
Aire	0	0	Va
Cemento	w/c	dc	Vc
Agregado Grueso	Wg	dg	Vg
Agregado Fino	Wf	df	Vf
Total	Wt		1 m ³

Fuente: NIÑO HERNÁNDEZ, Jairo René. Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

En la tabla actual podemos observar la manera indicada por la normativa de presentar las proporciones de los materiales requeridos por el hormigón en volumen.

2.3. Acero corrugado

El acero corrugado, varilla corrugada o tetracero es una clase de acero laminado diseñado especialmente para construir elementos estructurales de hormigón armado. Se trata de barras de acero que presentan resaltos o corrugas que mejoran la adherencia con el hormigón, y poseen una gran ductilidad, la cual permite que las barras se puedan cortar y doblar con mayor facilidad.

Se llama armadura a un conjunto de barras de acero corrugado que forman un conjunto funcionalmente homogéneo, es decir, que trabajan conjuntamente para resistir cierto tipo de esfuerzo en combinación con el hormigón. Las armaduras también pueden cumplir una función de montaje o constructiva, y también se utilizan para evitar la fisuración del hormigón (Wikipedia, 2019).

2.3.1. Tipos de acero

- Según ASTM

La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica la composición directamente, sino que más bien determina la aplicación o su ámbito de

empleo. Por tanto, no existe una relación directa y biunívoca con las normas de composición.

El esquema general que esta norma emplea para la numeración de los aceros es:

YXX

Ecuación 8

Donde:

Y es la primera letra de la norma que indica el grupo de aplicación según la siguiente lista:

A: si se trata de especificaciones para aceros;

B: especificaciones para no ferrosos;

C: especificaciones para hormigón, estructuras civiles;

D: especificaciones para químicos, así como para aceites, pinturas, etc.

E: si se trata de métodos de ensayos.

Ejemplo:

A36: especificación para aceros estructurales al carbono.

A285: especificación para aceros al carbono de baja e intermedia resistencia para uso en planchas de recipientes a presión;

A325: especificación para pernos estructurales de acero con tratamiento térmico y una resistencia a la tracción mínima de 120/105 ksi;

A514: especificación para planchas aleadas de acero templadas y revenidas con alta resistencia a la tracción, adecuadas para soldar

A continuación, se adjunta una tabla con las características de los aceros que son más comunes, según esta norma: (Galbarro, 2018)

Tabla 9 Clasificación de los aceros según ASTM

Clasificación de los aceros según ASTM	Limite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 GrA, B, CS,D ,DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A 139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>.

2.3.2. Ensayos

• Doblado

La misión del doblado del acero es dar forma definitiva a los estribos o barras con sus ganchos que conformaran la armadura de refuerzo en miembros de concreto reforzado. Es una operación importante porque las tolerancias definitivas en la posición de las armaduras dentro del encofrado previo al vaciado del concreto dependerán de la forma

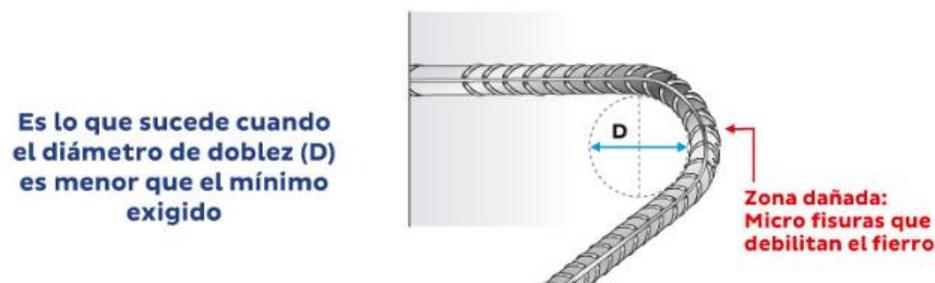
de los ganchos y de las barras longitudinales, así como de las dimensiones de los estribos que las amarran, además, el doblado debe realizarse con mucha precisión y total eficacia para no tener que realizar eventualmente, la rectificación de las formas, incluyendo el desdoblado, que no se considera una buena práctica.

Estos dobleces deben tener un diámetro adecuado para no dañar el acero (Ver gráfico 1, 2 y 3). Por esta razón, el Reglamento ACI especifica diámetros de dobléz (D) mínimos que varían según se formen dobleces a 90°, 135° ó 180°. El gancho: estándar según lo que establece el ACI 318, cap.7, significa, un dobléz de 180° más una extensión de 4 db, pero no menos de 65 mm en su extremo libre de barra.

Un dobléz de 90° más una extensión de 12 db en el extremo libre de la barra, ver gráfico No 4 y 5, en este reglamento todas las disposiciones relativas a los diámetros de las barras, se basan en las dimensiones nominales del refuerzo, estas equivalen a las de unas áreas circulares que tiene el mismo peso metro lineal que los tamaños de las barras. El área de las secciones transversales del refuerzo se basa en las dimensiones nominales.

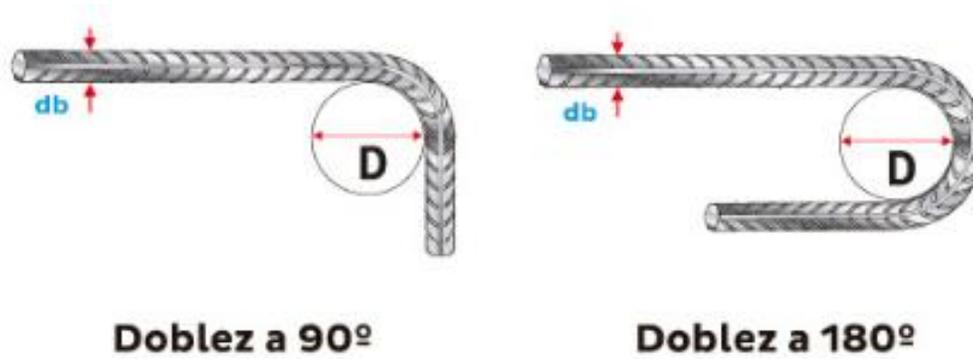
Los ganchos estándar de estribos están limitados a barras No 25 o menores, y el gancho de 90° con una extensión de 6 db está limitado además a barras No 16 o menores, en ambos.

Figura 1 Ganchos y dobleces



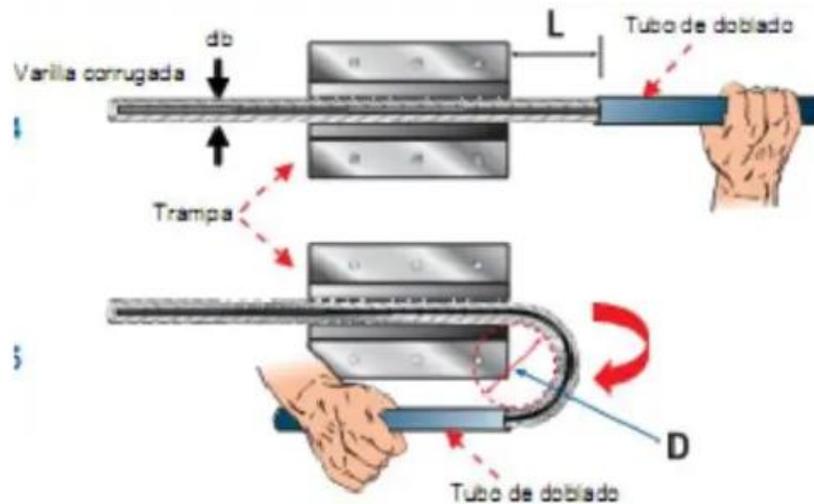
Fuente: <http://www.construyendoseguro.com/sigue-estos-consejos-para-el-mejor-doblado-de-acero/>

Figura 2 Doblado de barras a 90° y 180°



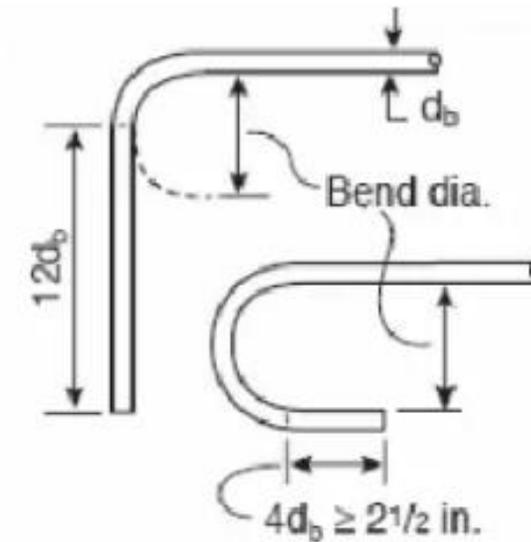
Fuente: <http://www.construyendoseguro.com/sigue-estos-consejos-para-el-mejor-doblado-de-acero/>

Figura 3 Procedimiento de doblado de acero de refuerzo



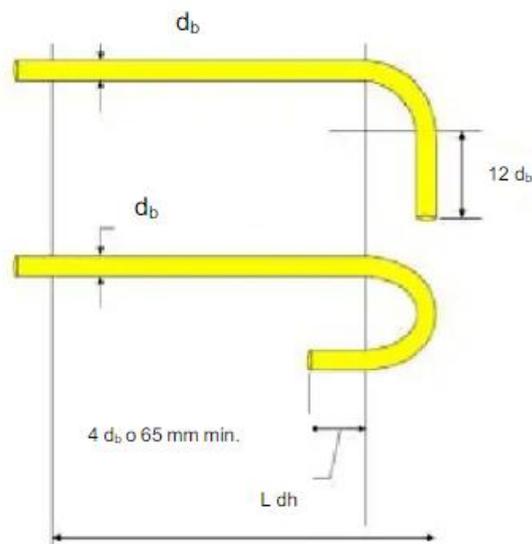
Fuente: https://www.academia.edu/5002647/Ingenier%C3%ADa_de_Materiales

Figura 4 Definición de gancho y doblez



Fuente: https://www.academia.edu/5002647/Ingenier%C3%ADa_de_Materiales

Figura 5 Ganchos y dobleces



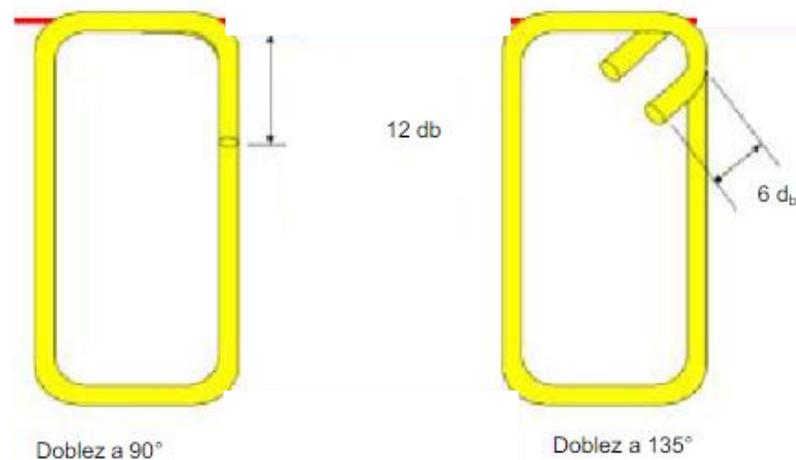
Fuente: https://www.academia.edu/5002647/Ingenier%C3%ADa_de_Materiales

Para estribos y ganchos de estribos, están limitadas a barras No 25 o menores, y el gancho de 90° común a extensión de 6 db está limitado además a barras No 16 o menores, en ambos casos como resultado de investigaciones que demuestran que los tamaños mayores de barras con ganchos de 90° y extensiones de 6 db, tienden a salirse bajo cargas elevadas:

a) Barra No 16 y menor, dobléz de 90° mas 6 db de extensión en el extremo libre de la barra.

b) Barra No 25 y menores, dobléz de 135° más extensión de 6 db, en el extremo libre de la barra, Ver gráfico No 6 Los dobleces estándar de las barras de refuerzo se describen en términos del diámetro interior de doblado, ya que este resulta más fácil de medir que el radio de dicho dobléz. Los factores principales que afectan el diámetro mínimo de doblado son la capacidad del acero de doblarse sin romperse y la prevención del aplastamiento del concreto dentro del dobles

Figura 6 Estribos y ganchos de amarre



Fuente: https://www.academia.edu/5002647/Ingenier%C3%ADa_de_Materiales

2.4. Hormigón armado

El hormigón o cemento armado es un material compuesto que, habitualmente, se utiliza en todo tipo de construcciones gracias a que es sumamente versátil.

Está formado por un aglomerante al que, después, se le añaden fragmentos o partículas de un agregado determinado, de agua y de ciertos aditivos específicos. Dicho aglomerado suele ser cemento y, en concreto, cemento Portland ya que, al mezclarse con el agua, genera una reacción de hidratación.

Por su parte, en la mayoría de ocasiones, las partículas de agregados suelen ser de arena, grava, gravilla o, en general, cualquier tipo de árido. Hay que destacar que existen otros tipos de hormigón que no utilizan cemento como conglomerante, sino que, por contra, emplean el betún. Es el caso de, por ejemplo, el hormigón asfáltico utilizado para la construcción de las carreteras.

El hormigón destaca, principalmente, por ser muy moldeable y por poseer unas excelentes propiedades adherentes. Además, en pocas horas fragua y se endurece, algo que le confiere una consistencia similar a la de las piedras. De hecho, esta es la razón por la que su uso está tan extendido en el mundo de la construcción. Asimismo, en algunos casos se añaden aditivos que aportan color, que aceleran o retrasan el fraguado, aportan impermeabilidad, etc.

Por norma general, el hormigón se utiliza, en la construcción, para realizar pavimentos y estructuras de edificios. Sin embargo, cabe señalar que, actualmente, se pueden distinguir varios tipos que varían, fundamentalmente, en su peso específico. Por ello, si pesa más de 3200 kilogramos por metro cúbico, se denomina hormigón pesado y, si, por el contrario, pesa menos de 2200 kilogramos por metro cúbico, recibe el nombre de hormigón ligero. Entre ambos valores se sitúa el considerado como 'normal'.

Otra característica fundamental del hormigón es que ofrece unas prestaciones absolutamente excelentes en términos de compresión. De hecho, es capaz de soportar esfuerzos de muy alta intensidad en este sentido. Sin embargo, no tiene un buen comportamiento respecto a la flexión y a la tracción. Por ello, es frecuente que se presente con armaduras de acero en su interior. En estos casos, lo normal es denominarlo como hormigón armado o cemento armado (UMACON+emedia, 2016).

2.4.1. Diseño a flexión

- Flexión:

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por tracción. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas (Fundacion wikimedia, 2018).

El capítulo 9 define la resistencia básica y las condiciones de serviciabilidad para dimensionar.

El requisito básico para el diseño por resistencia se puede expresar como sigue:

$$\text{Resistencia de diseño} \geq \text{Resistencia requerida} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\phi (\text{Resistencia nominal}) \geq U \quad \text{Ecuación 10}$$

En el procedimiento de diseño por resistencia, el margen de seguridad se proporciona multiplicando la carga de servicio por un factor de carga y la resistencia nominal por un factor de reducción como se describe a continuación:

1.- La “resistencia requerida” U se calcula multiplicando las cargas de servicio por los factores de carga. De esta manera, por ejemplo, el momento mayorado M_u , o la “resistencia requerida para momento “para carga permanente y para sobrecarga se calcula como:

$$U = 1,4D + 1,7L \quad \text{Ecuación 11}$$

o

$$M_u = 1,4M_d + 1,7M_l \quad \text{Ecuación 12}$$

donde M_d y M_l son los momentos debidos a las cargas permanentes y sobrecargas de servicio. En el comentario a la sección 9.2 se describe con mayor amplitud la resistencia

requerida. En el Capítulo 2 de los Comentarios se da la definición y la notación de la resistencia requerida.

2.- La “resistencia de diseño” de un elemento estructural se calcula multiplicando la “resistencia nominal” por un factor de reducción de resistencia ϕ menor que uno. El factor de reducción de resistencia toma en cuenta las incertidumbres en los cálculos de diseño y la importancia relativa de diversos tipos de elementos. Este factor refleja también las variaciones en la resistencia del material, la mano de obra y las dimensiones, las cuales pueden combinarse y tener como resultado una reducción de la resistencia. La “resistencia nominal” se calcula de acuerdo con los procedimientos del código, suponiendo que el elemento tendrá las dimensiones exactas y las propiedades de los materiales utilizadas en los cálculos. 9.1 Por ejemplo, la resistencia de diseño a la flexión de una sección transversal (sin armadura en compresión) puede expresarse como:

$$\phi M_n = \phi \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

En el comentario a la sección 9.3 se describen con mayor amplitud la resistencia de diseño y el factor de reducción de resistencia ϕ . Combinando estas dos disposiciones de seguridad, el requisito básico para el diseño de la sección transversal de una viga se puede establecer como:

Resistencia de diseño \geq Resistencia requerida

$$\phi M_n \geq M_u \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\phi M_n = \phi \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] \geq 1,4M_d + 1,7M_l \quad \text{Ecuación 15}$$

Todas las notaciones con el subíndice u, tales como M_u , P_u , V_u solamente se refieren a los valores de resistencia requeridos. Los valores de la resistencia de diseño se denominan como ϕ veces la resistencia nominal, tales como ϕM_n , ϕP_n y ϕV_n .

ϕ Flexión sin carga axial: 0.90 (American Concrete Institute, 1999)

2.4.2. Normas

Las Normas establecen las condiciones que deben cumplir los materiales de construcción, Los procedimientos de ejecución, las bases generales de cálculo, los ensayos del hormigón y las pruebas de estabilidad de las obras de hormigón aunado, a fin de asegurarles dentro de 3ª mayor economía, la estabilidad y duración previstas. Para las obras de hormigón armado que deben cumplir condiciones de sollicitación, resistencia física o química, impermeabilidad, aislamiento, etc., no previstas en estas Normas, se deben establecer en cada caso las disposiciones complementarias que procedan.

- Alcance de estas Normas:

Estas Normas rigen para todas las construcciones en que el hormigón y el acero laminado están combinados en tal forma que solo por la acción simultanea de ambos materiales pueden resistirse las fuerzas exteriores.

- Proyecto de la obra:

El proyecto de una obra que parcial o totalmente es de hormigón armado, debe constar a lo menos de las siguientes piezas planos de la disposición general de la obra, de las diversas secciones transversales, de la forma y posición de las armaduras, de la ubicación de las juntas de separación y de otras parten de la obra de importancia análoga; debe contener además datos precisos sobre las bases de cálculo, sobre la calidad de los, materiales que se deben emplear en la elaboración del hormigón. y sobre la proporción de las mezclas así como sobre la resistencia mínima que el hormigón debe alcanzar a los 28 días. Los cálculos estáticos deben establecer en forma clara y precisa que la, seguridad de los diversos elementos de la obra está dentro de los límites fijados por estas normas.

- Pruebas de resistencia:

Las pruebas de resistencia deben limitarse a las más indispensables. En edificios y obras análogas las pruebas no deben efectuarse antes de los cuarenta y cinco días de endurecimiento del hormigón si se ha empleado cemento de alta calidad en la

elaboración del hormigón, la prueba puede efectuarse después de un plazo que varía entre veintiuno a veintiocho días, debiendo tomarse el plazo mayor para las vigas más largas.

Para efectuar la prueba de las losas y de las vigas se debe colocar la carga de prueba en tal forma que sus componentes puedan seguir sin dificultad las deformaciones de la pieza ensayada.

La magnitud de la carga de prueba puede llegar hasta una y media vez el valor de la carga móvil de cálculo. Si esta carga móvil excede de 1.000 Kg/m^2 , la magnitud de la carga de prueba puede limitarse a este valor. (Cruz, 1954).

1) ACI 318

El “Código de Diseño de Hormigón Estructural (ACI 318-99)” del American Concrete Institute, proporciona los requisitos mínimos para cualquier diseño o construcción de hormigón estructural. La edición 1999 del ACI 318 revisa la versión anterior del “Código de Diseño de Hormigón Armado ACI 318-95. Este código incluye en un sólo documento las reglas para todo hormigón usado con propósitos estructurales, incluyendo tanto al hormigón simple como al hormigón armado. El término “hormigón estructural” es usado para referirse a todo hormigón simple o armado usado con fines estructurales. Esto cubre el espectro de usos estructurales del hormigón desde el hormigón no armado hasta el hormigón con armadura no pretensada, cables de pretensado o postesado, o secciones compuestas con perfiles de acero o tuberías. Los requisitos para el hormigón simple se encuentran en él.

2.4.3. Elaboración de probetas

1) Moldes de Viga.

Los moldes de vigas deben ser de la forma y dimensiones requeridas para producir los especímenes estipulados en 6.2. Las superficies interiores de los moldes deben ser lisas. Los lados, el fondo y extremos deben estar en ángulos rectos unos de otros y deben estar rectos y alineados y libres de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder de 3 mm para moldes con una profundidad o

ancho de 150 mm ó mayor. Los moldes deben producir especímenes de por lo menos el largo requerido, pero de no más de 2 mm más cortos que el largo requerido en 6.2

2) Varilla de Apisonado.

Una varilla de acero redonda, recta y lisa, con un diámetro conforme a los requisitos la Tabla 10. El largo de la varilla de compactación debe ser al menos 100mm mayor que la profundidad del molde en el cual se está realizando el varillado, pero no mayor que 600 mm de largo total (vea Nota 1). La tolerancia en longitud para la varilla de apisonado de ± 4 mm. La varilla debe tener el extremo para apisonar ó ambos extremos redondeados conformando una semiesfera del mismo diámetro de la varilla.

NOTA 1—Una longitud de varilla de 400 mm (16 in.) a 600 mm (24 in) cumple los requisitos de los siguientes documentos: Práctica C 31/C 31M, Método de Ensayo C 138/C 138M, Método de Ensayo C 143/C 143M, Método de Ensayo C 173/C 173M, y Método de Ensayo C 231.

Tabla 10 Requisitos de Diámetro de la Varilla de Apisonado

Diámetro del cilindro o ancho de la viga mm.	Diámetro de la Varilla mm.
150 (<6)	10 \pm 2 (3/8 \pm 1/16)
150 (\geq 6)	16 \pm 2 (5/8 \pm 1/10)

Fuente: norma NTG – 41061

3) Vibradores.

Se deben utilizar vibradores internos. La frecuencia del vibrador debe ser de al menos 150 Hz (9000 vpm) cuando el vibrador está funcionando en el concreto. El diámetro de un vibrador cilíndrico no debe ser mayor que un cuarto del diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del ancho del molde de viga. Otras formas de vibradores deben tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador cilíndrico apropiado. La longitud combinada del eje del vibrador y el elemento que vibra debe exceder el espesor de la sección vibrada por al menos 75 mm (3 in.). La frecuencia del vibrador debe ser controlada periódicamente con un tacómetro de lengüeta vibrante u otro dispositivo adecuado.

NOTA 2—Para información sobre tamaño y frecuencia de distintos vibradores y un método para control periódico de la frecuencia del vibrador vea ACI 309R.

4) Mazo.

Se debe utilizar un mazo con una cabeza de goma o de cuero crudo con un peso de (0.6 \pm 0,2 kg).

5) Herramientas para el llenado del molde.

Para colocar el concreto en un molde cilíndrico, la herramienta aceptable es un cucharón. Para colocar el hormigón en un molde de viga, se permite usar cucharón o pala. De un tamaño suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de muestreo sea representativa, y suficientemente pequeño como para que el hormigón sea depositado dentro del molde sin ser derramado.

6) Requisitos de Ensayo.

Los especímenes de resistencia a la flexión deben ser vigas de concreto colado y endurecido en la posición horizontal. El número de vigas coladas será el indicado por el especificador de los ensayos. La longitud debe ser al menos 50 mm más grande que tres veces el espesor de la viga. La relación del ancho al espesor moldeado no debe exceder de 1.5. La viga normalizada debe tener una sección transversal de 150 por 150 mm, y debe ser utilizada para hormigón con un agregado grueso de un tamaño nominal máximo de hasta 50mm. La menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser al menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso. A menos que sea requerido por especificaciones de proyecto, las vigas hechas en obra no deben tener un ancho o espesor de menos de 150 mm.

Tabla 11 Requisitos del Método de Consolidación

Asentamiento mm	método de consolidación
25 (≥ 1)	Varillado o vibración
25 (< 1)	vibración

Fuente: NTG – 41061

7) Varillado.

Colocar el concreto en el molde en el número de capas requeridas de aproximadamente igual volumen. Golpear cada capa uniformemente sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla utilizando el número de golpes requerido. Golpear con la varilla la capa inferior en toda su profundidad. En el varillado de esta capa, tenga cuidado de no dañar el fondo del molde. Para cada capa siguiente, permita que la varilla penetre a través de la capa que está siendo compactada y en la capa de abajo aproximadamente 25 mm [1 in]. Después de que cada capa sea varillada, golpee los lados exteriores del molde levemente 10 a 15 veces con un mazo, para cerrar cualquier vacío que haya quedado con el varillado y liberar toda burbuja grande de aire que haya quedado atrapada.

Utilizar la mano abierta para golpear los moldes cilíndricos de un solo uso, de calibre liviano que pueden dañarse si se golpean con un mazo. Después de golpear, enrase cada capa de concreto a lo largo de los lados y extremos de los moldes de viga con un fratás o paleta u otra herramienta adecuada. Los moldes llenados insuficientemente deben ser ajustados con concreto representativo durante la consolidación de la capa superior. Se debe remover el concreto en exceso de los moldes llenados excesivamente.

8) Curado Inicial.

Inmediatamente después de moldear y acabar, los especímenes deben ser almacenados por un período de hasta 48 h en un rango de temperatura entre 16 y 27 °C [60 y 80 °F] y en un ambiente que evite la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 40 MPa [6000 psi] o más, la temperatura del curado inicial debe estar entre 20 y 26 °C [68 y 78 °F]. Son varios los procedimientos que se pueden utilizar para mantener las condiciones de temperatura y humedad especificadas durante el período de curado inicial. Se debe utilizar un procedimiento apropiado o combinación de procedimientos (Ver Nota 6).

Proteger todos los especímenes de la luz directa del sol, y de dispositivos calefactores radiantes, si se utilizan. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada

utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, como sea necesario. Registrar la temperatura utilizando un termómetro de máxima-mínima. Si se utilizan moldes de cartón, proteja las superficies exteriores de los moldes del contacto con la arpillera mojada u otras fuentes de agua.

NOTA 6—Se puede crear un ambiente de húmedo satisfactorio durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) Sumerja inmediatamente los especímenes moldeados con tapas plásticas, en agua saturada con hidróxido de calcio, (2) almacénelos en estructuras o cajas de madera apropiadamente construidas, (3) colóquelos en pozos de arena húmeda, (4) cúbralos con tapas plásticas removibles, (5) colóquelos dentro de bolsas plásticas, o (6) cúbralos con láminas plásticas o placas no absorbentes si se toman precauciones para evitar secado y se utiliza una arpillera o manta húmeda dentro del cerramiento, pero evitando el contacto de la manta o arpillera con las superficies del concreto. Se puede controlar un ambiente de temperatura satisfactoria durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) Utilización de ventilación (2) utilización de hielo, (3) utilización de dispositivos enfriadores o de calefacción controlados termostáticamente, o (4) utilización de métodos de calefacción como estufas o bulbos de luz. Otros métodos adecuados pueden ser utilizados siempre que se cumplan los requisitos que limitan la temperatura y la pérdida de humedad durante el almacenamiento del espécimen. Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 40 MPa [6000 psi] o mayor, el calor generado durante las edades tempranas puede subir la temperatura por encima de la temperatura requerida de almacenamiento. La inmersión en agua saturada con hidróxido de calcio puede ser el método más fácil para mantener la temperatura requerida de almacenamiento. Cuando los especímenes van a ser sumergidos en agua saturada con hidróxido de calcio, los especímenes en moldes de cartón u otros moldes que se expanden cuando se sumergen en agua no deben ser utilizados. Los resultados de ensayos de resistencia temprana pueden ser menores cuando se almacena a 16 °C [60 °F] y mayores cuando se almacena a 27°C [80 °F]. Por otra parte, a edades tardías, los resultados de ensayos pueden ser menores para temperaturas de almacenamiento inicial más altas.

9) Curado final:

- Cilindros.

Al completar el curado inicial y dentro de los 30 min después de quitar los moldes, cure los especímenes con agua libre mantenida sobre sus superficies todo el tiempo a la temperatura de $23,0 \pm 2,0$ °C [$73,5 \pm 3,5$ ° F] utilizando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando nivele con compuesto para nivelar de mortero de azufre e inmediatamente antes de ensayar. Cuando nivele con compuesto para nivelar de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma debajo de la capa o dentro de la misma, mayores de 6 mm como se describe en la práctica C617. Durante un período no mayor de 3 h inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de temperatura de curado normalizado, siempre que la humedad libre se mantenga en los cilindros y que la temperatura ambiente esté entre 20 y 30° C [68 y 86° F].

- Vigas.

Las vigas deben ser curadas igual que los cilindros excepto que ellas deben ser almacenadas en agua saturada con hidróxido de calcio a 23.0 ± 2.0 °C [73.5 ± 3.5 °F] al menos 20 h antes de ser ensayadas. El secado de las superficies de la viga debe ser evitado entre su remoción del almacenamiento en agua y la finalización de los ensayos. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2011).

2.5. Fibra de PVC

Las fibras siempre estuvieron presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal entre otros. Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración) a los elementos. El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo

discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910. Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbestocemento. En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo, por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana. (Sika, 2019)

2.5.1. Composición

PVC: Policloruro de vinilo (C_2H_3Cl)ⁿ es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil. Se puede producir mediante cuatro procesos diferentes: suspensión, emulsión, masa y solución (fundacion wikimedia, 2018).

Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono.

En su estado original, el PVC es un polvo amorfo y blanquecino. La resina resultante de la mencionada polimerización es un plástico que puede emplearse de múltiples maneras, ya que permite producir objetos flexibles o rígidos.

Una de las propiedades más interesantes del PVC es que resulta termoplástico: al ser sometido al calor, se vuelve blando y se puede moldear con facilidad. Al enfriarse, recupera la solidez anterior sin perder la nueva fisonomía.

2.5.2. Principales rasgos del PVC

Es muy resistente a la abrasión (el desgaste que se da a causa de la fricción entre dos superficies); Su densidad es baja, de $1,4 \text{ g/cm}^3$; es también bastante resistente al impacto y a la influencia de fuerzas externas (fuerza mecánica), lo cual lo vuelve muy adecuado para su uso en los ámbitos de la construcción y la edificación; es muy versátil y admite la combinación con un gran número de aditivos; el PVC es un buen aislante y por eso se utiliza para la protección de cables eléctricos, tanto en hogares como oficinas e incluso en el ámbito industrial; es inerte y estable, razón por la cual se usa

mucho en productos que tienen como prioridad la higiene, como ser las bolsas para sangre y hemoderivados, las tuberías para transportar agua potable y los catéteres; es un material muy duradero, como se puede apreciar en productos tales como marcos de ventanas y puertas o tuberías, algunos de los cuales se mantienen en buen estado durante más de seis décadas; PVC* no se prende fuego con facilidad ni es propenso a la autocombustión, gracias a los átomos de cloro que lo componen. Además, en caso de incendio, el fuego desaparece cuando se retira la fuente de calor; posee un valor energético alto, algo que se aprovecha en los sistemas de combustión modernos, que aprovechan el PVC para aportar calor y energía; puede conseguirse en varios grados de dureza; su instalación es accesible a nivel monetario; resiste muy bien la corrosión. (Gardey, 2013).

2.5.3. Tipología

Se designa con el término de fibra a aquellos filamentos que intervienen en la composición de los tejidos orgánicos, vegetales o animales, de ciertos minerales y de algunos productos químicos (Definicion ABC, 2018)

Los materiales compuestos están formados por dos partes claramente diferenciadas: la matriz, que sirve fundamentalmente de base de los otros materiales y los materiales reforzadores que serán, de otra clase de material, distinto de la matriz. Las matrices pueden ser de tres tipos diferentes: materiales compuestos de matriz plástica o MCMP o de matriz polimérica, materiales compuestos de matriz metálica y materiales compuestos de matriz cerámica. De este modo el aumento de características termoelásticas depende fundamentalmente del tipo de preparación usado, de las condiciones físicas, etc. La temperatura es un factor fundamental. Entre matriz y reforzante, la elección de la matriz no se debe quedar en la elección del material buscado como sólo un buen aglutinante, porque el efecto tenso elástico es debido al material reforzante, la matriz se tiene que definir otras propiedades del material compuesto, como son las conductividades térmica y eléctrica. La matriz tendrá que tener propiedades elásticas y plásticas, con una baja densidad y una alta resistencia térmica. Los materiales más usados en las matrices son polímeros, metales y cerámicos.

En principio cualquier material valdría para matriz, pero en la práctica sólo se usan unos pocos materiales. Esto es propiciado porque hay factores determinantes tales como facilidad en la fabricación, propiedades finales que se desean que tengan, que haya una compatibilidad con las fibras con las que vayan a reforzar y principalmente el coste.

Las fibras afectan las propiedades de los materiales compuestos (GRUPO LLERANDI, 2013).

2.5.4. Ensayos

Los laboratorios grandes con elevado volumen de ensayos utilizan varias máquinas de distintos tamaños para los diferentes métodos y, de este modo, pueden minimizar el cambio de accesorios. Los métodos de ensayo normalizados se pueden dividir a grandes rasgos en los siguientes rangos de fuerza:

- Fuerzas hasta 1 kN: Ensayo de flexión, tasas críticas de liberación de energía, ensayos de tracción en filamentos individuales
- Fuerzas hasta 10 kN: Ensayos de cizallamiento, p. ej. IPS, ILSS y entalla en V, ensayos de tracción en mazos de filamentos, ensayo de tracción UD 90°, ensayos de tracción en el sentido de espesor.
- Fuerzas hasta 100 kN UD 0° ensayos de tracción, ensayos de tracción MD en pequeños espesores de laminado, ensayos de compresión según las normas ISO, ASTM y EN, ensayo de compresión con entalladura, ensayos de resistencia a la compresión en cavidad abierta.
- Fuerzas por encima de 100 kN, ensayos de tracción y compresión según las normas Airbus al espesor de laminado correspondiente, Compresión después de impacto (CAI).

Si el volumen de ensayos no es muy elevado o frecuente para que compense la inversión, resulta útil equipar una sola máquina de ensayos para poder llevar a cabo el máximo número de ensayos y cambiar los accesorios en el mínimo tiempo posible. ZwickRoell ha desarrollado para ello un concepto de máquina de ensayos modular para

máquinas de ensayos electromecánicas y servohidráulicas de diferentes tamaños nominales. La ventaja de estos sistemas modulares es obvia: Todos los útiles, extensómetros, software y posible cristal de protección, así como las cámaras de temperatura forman parte del sistema modular y están adaptados entre sí. Además, este sistema adquiere importancia en la garantía de futuro, dado que todos los componentes se pueden equipar posteriormente. (Roell, 2018)

2.6. Hº Aº con fibra de PVC

Los hormigones son materiales compuestos de comportamiento muy complejo; su comportamiento ante las sollicitaciones exteriores, manifiesta una respuesta frágil o cuasi-frágil. Este tipo de comportamiento no es deseable por los riesgos que entraña para la seguridad de las personas y para la integridad de las construcciones.

La adición de fibras a los hormigones modifica este comportamiento, haciéndolos más dúctiles (rotura dúctil), resistentes y tenaces.

La intensidad de este efecto depende, principalmente, del tipo de fibra utilizado, de sus propiedades, de la cantidad de fibra contenida en la matriz y de la homogeneidad de su distribución y orientación dentro de la matriz. (Cornejo, 2014)

2.6.1. Dosificación de fibra de PVC al hormigón armado:

- Para hormigones que tengan una resistencia menor que $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, se utiliza 600 g/m^3 de fibra de PVC según lo estipulado por manual SikaFiber.
- Se dosifican en el hormigón para volúmenes entre 0.03% a 0.15% del mismo. Las más frecuentes son las fibras en polipropileno (Tipo SikaFiber®AD) cuya dosificación en peso oscila entre 0,3 a $1,2 \text{ kg/m}^3$ de concreto. Se trata de dosificaciones extremadamente (Sika, 2019).

2.6.2. Proceso de adición:

Se agrega, en planta o a pie de obra, directamente a la mezcla de concreto o mortero. Una vez añadido la fibra, basta con prolongar el mezclado al menos 5 minutos. No disolver en el agua de amasado. (Sika, 2019).

2.7. Ensayo a la flexión

Se manejará la metodología indicada en la normativa ASTM C 293/C293 la que indica seguir los siguientes pasos:

2.7.1. Procedimiento de ensayo

- Los ensayos de flexión de especímenes curados en húmedo deben ser efectuados tan pronto como sea posible, después de remover los especímenes del almacenaje húmedo. El secado superficial del espécimen puede producir una reducción del módulo de ruptura medido.
- El espécimen de ensayo se gira sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y se centra sobre los bloques de soporte. Se centra luego el sistema de carga en relación a la carga aplicada. Se lleva el bloque de aplicación de carga a contacto con la superficie del espécimen al centro de la luz y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada. Luego usando galgas o medidores de espesor tipo hoja de 0,10 mm y de 0,40mm, determinar si hay cualquier vacío entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga y de soporte, que sea mayor o menor que cada una de las galgas en una longitud de 25 mm o más. Para eliminar cualquier vacío en exceso de 0,10 mm puede usarse el esmerilado, el cabeceo, o la aplicación de bandas de cuero como calzas. Las bandas de cuero deben ser de un espesor uniforme de 6 mm, de 25 a 50 mm de ancho y deben extenderse a todo lo ancho del espécimen. Los vacíos en exceso de 0,40 mm, solo pueden ser eliminados por esmerilado o por cabeceo. El esmerilado de superficies laterales debe ser evitado o minimizado ya que puede cambiar las características físicas del espécimen. El cabeceo debe realizarse de acuerdo con lo indicado en las secciones aplicables de la práctica (ASTM C617).
- Se carga el espécimen en una forma continua y sin sacudidas. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de fractura. Se aplica la carga de modo que el máximo esfuerzo en la cara de tracción se incremente entre 0,9 y 1,2 MPa/min. La velocidad de carga se calcula por la ecuación siguiente:

$$r = \frac{2 s b d^2}{3 L} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

r=Velocidad de carga, kg/min

s=Velocidad de incremento del esfuerzo máximo en la cara de tracción kg/cm²/min

b=Ancho promedio del espécimen, orientado para el ensayo, mm.

d=Espesor promedio del espécimen, orientado para el ensayo, mm.

L=Luz (longitud) entre soportes, mm.

2.7.2. Medición de los especímenes después del ensayo

- Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen utilizado para calcular el módulo de ruptura, se deben tomar mediciones a través de una de las caras fracturadas, después de realizado el ensayo. El ancho y el espesor se miden con el espécimen como fue orientado para su ensayo. Para cada dimensión se toma una medición efectuada en cada uno de los bordes y una al centro de la sección. Se usan las tres mediciones por cada dirección para determinar el ancho promedio y el espesor promedio. Todas las mediciones se hacen con una aproximación de 1 mm. Si la fractura ocurre en una sección cabeceada, se incluye el espesor del cabeceo en la medición efectuada.

2.7.3. Cálculos

- Se calcula el módulo de ruptura como sigue:

$$R = \frac{3 PL}{2 b d^2} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

R= Módulo de ruptura, kg/cm².

P= Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, kg.

L= Luz (longitud) entre soportes, mm.

b= Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm.

d= Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm.

2.7.4. Precisión

- Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados, depende del nivel de resistencia de las vigas (1) el coeficiente de variación para un solo operador se ha encontrado ser de 4,4%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador en vigas hechas de la misma amasada de muestra, no deben diferir uno de otro en más de 12%. El coeficiente de variación multi laboratorio se ha encontrado que es 5,3%. Por lo tanto, los resultados de dos diferentes laboratorios sobre vigas hechas de la misma amasada de muestra, no debe diferir uno del otro por más de 15%.

2.7.5. Informe

En el informe, se debe incluir la siguiente información:

- Número de identificación.
- Ancho promedio al más cercano 1 mm en la sección de fractura.
- Espesor promedio al más cercano 1 mm en la sección de la fractura.
- La luz o longitud de separación entre soportes mm.
- La carga máxima aplicada, kg.
- El módulo de ruptura, calculado al más cercano 0,05 kg/cm².
- Historial de curado y la condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.
- Indicación de si los especímenes fueron cabeceados, esmerilados o si se utilizaron bandas de cuero.
- Defectos en el espécimen.
- Edad del espécimen.

CAPÍTULO III

3. MARCO PRÁCTICO

3.1. Hormigón

3.1.1. Elementos constituyentes

El agregado pétreo empleado en el presente estudio es proveniente de la cantera ubicada entre la Loma de Tomatitas y Erquis Oropeza.

Figura 7 Cantera de origen de los agregados empleados



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el acopio de materiales de la cantera donde provienen los agregados grueso y fino empleados en el presente estudio.

3.1.1.1. Grava

Figura 8 Agregado Grueso Chancado



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agregado grueso un vez lavado y secado durante 24 horas en horno a 110° C.

3.1.1.2. Arena

Figura 9 Agregado fino manufacturado



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agregado fino un vez lavado y secado durante 24 horas en horno a 110° C.

3.1.1.3. Cemento

Figura 10 Cemento portland tipo IP-30



Fuente: Elaboración Propia.

Podemos observar el cemento portland tipo IP-30 a emplear en el presente estudio.

3.1.1.4. Agua

Figura 11 Agua potable



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agua potable que se utilizara en todos los ensayos a realizar.

3.2. Ensayos

3.2.1. Granulometría

3.2.1.1. Agregado grueso

Figura 12 Tamizado mecánico de agregado grueso.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar los tamices del 0.5 al N° 16 siendo tamizados por el equipo mecánico

Figura 13 Agregado grueso retenido en tamices



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el material grueso separado por diámetros de los tamices normalizados.

Tabla 12 Datos de muestras

		muestra 1	muestra 2	muestra 3
TAMIZ	Peso de tamiz(gr)	Peso de muestra + peso de tamiz (gr)		
0.50	1093,10	1093,10	1093,10	1093,10
3/8	1058,10	1705,50	1389,40	1687,00
No 4	1031,20	7954,50	7323,90	6295,00
No 8	960,80	1925,10	2290,90	1366,60
No 16	870,70	870,82	870,90	870,78
Base	849,00	874,60	894,80	894,60
TOTAL		14423,62	13863,00	12207,08

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos indica los pesos de las 3 muestras material grueso retenido en cada tamiz sumado al peso de cada tamiz.

Tabla 13 Pesos de muestras secas al horno

	muestra 1	muestra 2	muestra 3
TAMIZ	peso de muestra (gr)		
0.50	0,00	0,00	0,00
3/8	647,40	331,30	628,90
No 4	6923,30	6292,70	5263,80
No 8	964,30	1330,10	405,80
No 16	0,12	0,20	0,08
Base	25,60	45,80	45,60
Total	8560,72	8000,10	6344,18

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla actual nos indica los pesos de las 3 muestras material grueso retenido en cada tamiz

Tabla 14 Porcentaje de material retenido en los tamices

	muestra 1	muestra 2	muestra 3	muestra 1	muestra 2	muestra 3
TAMIZ	% Retenido			% Retenido Acumulado		
0.50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8	7,56	4,14	9,91	7,56	4,14	9,91
No 4	80,87	78,66	82,97	88,44	82,80	92,88
No 8	11,26	16,63	6,40	99,70	99,43	99,28
No 16	0,00	0,00	0,00	99,70	99,43	99,28
	0,30	0,57	0,72	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos muestra los porcentajes retenidos y retenidos acumulados de cada muestra

Tabla 15 Porcentaje de material que pasa de los tamices

		muestra 1	muestra 2	muestra 3	Promedio	
Tamiz (mm)	Tamiz	% Pasa acumulado			% Pasa	% Retenido
12,50	0,50	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
9,50	3/8	92,44	95,86	90,09	92,79	7,21
4,75	No 4	11,56	17,20	7,12	11,96	88,04
2,36	No 8	0,30	0,57	0,72	0,53	99,47
1,18	No 16	0,30	0,57	0,72	0,53	99,47
	Base	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos muestra los porcentajes que pasa acumulados de cada muestra, el promedio de las 3 muestras de porcentaje que pasa y el promedio de las 3 muestras de porcentaje retenido.

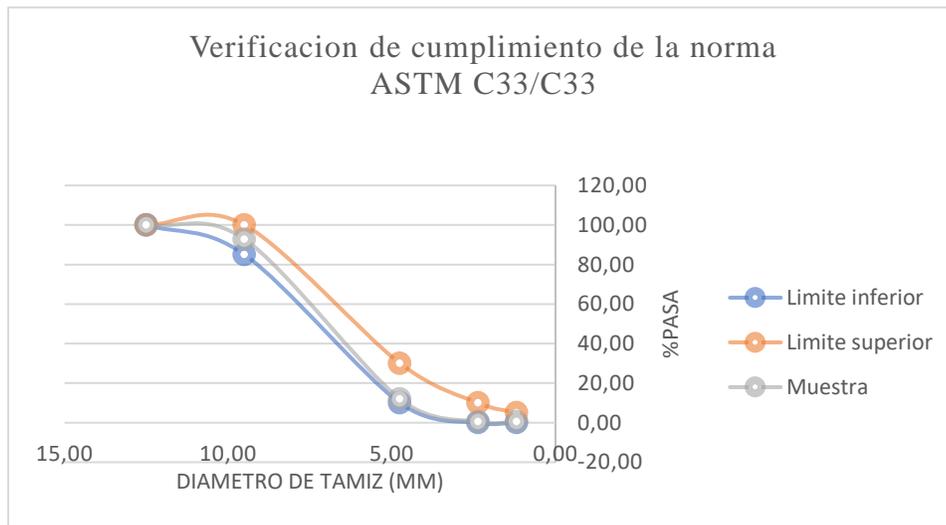
Tabla 16 Límites permisibles de ASTM C33/C33 para una muestra de 9,5 a 2,36 mm

TAMIZ (mm)	TAMIZ	Límite inferior % Pasa	Límite superior % Pasa	muestra % Pasa
12,50	0.50	100,00	100,00	100,00
9,50	3/8	85,00	100,00	92,79
4,75	No 4	10,00	30,00	11,96
2,36	No 8	0,00	10,00	0,53
1,18	No 16	0,00	5,00	0,53

Fuente: Elaboración Propia.

Se muestra en la presente tabla los porcentajes que pasan acumulados indicados por normativa como límites para su cumplimiento y los porcentajes que pasan acumulados promedios de las muestras utilizados

Figura 14 Curvas granulométricas de muestra y los limites normalizados



Fuente: Elaboración Propia

En la presente grafica se puede verificar el cumplimiento de la normativa del agregado grueso al estar dentro de los rangos establecidos.

3.2.1.2. Agregado fino

Figura 15 Tamizado mecánico de agregado fino.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar los tamices del N° 4 al N° 100 siendo tamizados por el equipo mecánico.

Figura 16 Agregado fino retenido en tamices



Fuente: Elaboración Propia

Se observa el material fino separado por diámetros de los tamices normalizados.

Tabla 17 Datos de muestras

TAMIZ	Peso de tamiz(gr)	muestra 1	muestra 2	muestra 3
		Peso de muestra + peso de tamiz (gr)		
Nº 4	494,50	510,90	504,80	509,50
Nº 8	430,80	1010,90	937,60	904,90
Nº 16	397,30	905,70	886,80	848,70
Nº 30	367,50	835,30	815,50	767,40
Nº 50	325,00	980,30	998,40	898,60
Nº 100	319,30	830,50	816,60	810,60
Base	346,30	980,50	988,50	933,20

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos indica los pesos de las 3 muestras material fino retenido en cada tamiz sumado al peso de cada tamiz.

Tabla 18 Pesos de muestras secas al horno

Tamiz	muestra 1	muestra 2	muestra 3
	peso de muestra (gr)		
Nº 4	16,40	10,30	15,00
Nº 8	580,10	50,80	474,10
Nº 16	508,40	489,50	451,40
Nº 30	467,80	448,00	399,90
Nº 50	655,30	673,40	573,60
Nº 100	511,20	497,30	491,30
Base	634,20	642,20	586,90
Total	3373,40	3267,50	2992,20

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla actual nos indica los pesos de las 3 muestras material fino retenido en cada tamiz.

Tabla 19 Porcentaje de material retenido en los tamices

	muestra 1	muestra 2	muestra 3	muestra 1	muestra 2	muestra 3
TAMIZ	% Retenido			% Retenido Acumulado		
Nº 4	0,49	0,32	0,50	0,49	0,32	0,50
Nº 8	17,20	15,51	15,84	17,68	15,83	16,35
Nº 16	15,07	14,98	15,09	32,75	30,81	31,43
Nº 30	13,87	13,71	13,36	46,62	44,52	44,80
Nº 50	19,43	20,61	19,17	66,05	65,13	63,97
Nº 100	15,15	15,22	16,42	81,20	80,35	80,39
Base	18,80	19,65	19,61	100,00	100,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos muestra los porcentajes retenidos y retenidos acumulados de cada muestra.

Tabla 20 Porcentaje de material que pasa de los tamices

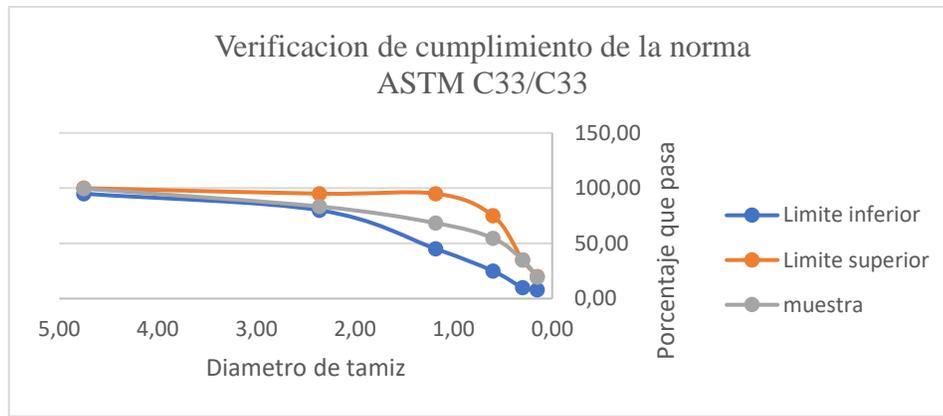
		muestra 1	muestra 2	muestra 3	Promedio	
TAMIZ (mm)	TAMIZ	% Pasa acumulado			% Pasa	% Retenido
4,75	Nº 4	99,51	99,68	99,50	99,57	0,43
2,36	Nº 8	82,32	84,17	83,65	83,38	16,62
1,18	Nº 16	67,25	69,19	68,57	68,34	31,66
0,60	Nº 30	53,38	55,48	55,20	54,69	45,31
0,30	Nº 50	33,95	34,87	36,03	34,95	65,05
0,15	Nº 100	18,80	19,65	19,61	19,36	80,64
	Base	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos muestra los porcentajes que pasa acumulados de cada muestra, el promedio de las 3 muestras de porcentaje que pasa y el promedio de las 3 muestras de porcentaje retenido.

Módulo de finura Promedio=2,4

Figura 17 Curvas granulométricas de muestra y los limites normalizados



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente grafica se puede verificar el cumplimiento de la normativa del agregado fino al estar dentro de los rangos establecidos.

3.2.2. Peso unitario

3.2.2.1. Agregado grueso

Figura 18 Materiales utilizados



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el material utilizado para el ensayo y el agregado grueso previamente lavado y secado durante 24 horas en el horno a 110°C.

Figura 19 Medición de temperatura



Fuente: Elaboración Propia.

Observamos la medición de la temperatura del agua mediante un termómetro.

Figura 20 Pesaje de agua contenida en molde



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el pesaje del molde con agua previamente enrazada.

Figura 21 Rellenado de material grueso en molde



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el llenado de material grueso hasta el tope en el método de agregado suelto y hasta 1/3 en el método de agregado compactado.

Figura 22 Varillado de agregado



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el varillado del agregado grueso según lo establecido en la normativa ASTM C 29.

Figura 23 Nivelado de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el enrasado utilizando la varilla, este proceso se realiza para el método de agregado suelto y agregado compactado luego del cual se realiza el pesaje.

Tabla 21 Datos de muestras

Muestra	Peso de molde (kg)	Peso de molde + agua (kg)	Temperatura (°C)	Peso de molde + gravilla suelta (kg)	Peso de molde + gravilla compactada (kg)
1	5,81	15,70	22,00	19,75	20,73
2	5,81	15,70	22,00	19,30	20,64
3	5,81	15,72	21,00	18,93	20,53

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos indica los pesos y temperatura del agua de los 3 ensayos realizados en el agregado grueso.

Tabla 22 Peso de muestras suelta y compactada

Muestra	Peso específico del agua (kg/m ³)	Peso de agua (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso de gravilla suelta (kg)	Peso de gravilla compacta (kg)
1	997,86	9,90	0,0099	13,95	14,93
2	997,86	9,90	0,0099	13,50	14,84
3	998,08	9.91	0,0099	13,13	14,72

Fuente: Elaboración Propia.

En la actual tabla se indica el peso específico del agua, peso del agua según su temperatura, peso de agregado grueso suelto y compacto de los tres ensayos, como también nos indica el volumen del molde.

Tabla 23 Peso volumétrico de muestras suelta y compactada

Muestra	Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	Peso volumétrico compactado (kg/m ³)
1	1406,28	1505,11
2	1360,90	1496,03
3	1321,88	1482,52

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el peso volumétrico suelto y compacto de los tres ensayos realizados.

Peso volumétrico suelto promedio: 1363,02 (kg/m³)

Peso volumétrico compactado promedio: 1494,55 (kg/m³)

3.2.2.2. Agregado fino

Figura 24 Agregado fino



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agregado fino previamente lavado y secado en horno durante 24 horas a 110° C.

Figura 25 Pesaje de agua contenida en molde



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el pesaje del molde con agua previamente enrazada y medida su temperatura.

Figura 26 Rellenado de material fino en molde



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el llenado de material fino hasta el tope en el método de agregado suelto y hasta 1/3 en el método de agregado compactado.

Figura 27 Varillado de agregado.



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el varillado del agregado fino según lo establecido en la normativa ASTM C 29.

Figura 28 Nivelado de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el enrasado utilizando la varilla, este proceso se realiza para el método de agregado suelto y agregado compactado luego del cual se realiza el pesaje.

Tabla 24 Datos de muestras

Muestra	Peso de molde (kg)	Peso de molde + agua (kg)	Temperatura (c)	Peso de molde + arena suelta (kg)	Peso de molde + arena compactada (kg)
1	2,61	5,63	21,00	7,19	7,90
2	2,61	5,63	21,00	7,25	7,91
3	2,61	5,63	21,00	7,24	7,88

Fuente: Elaboración Propia.

La presente tabla nos indica los pesos y temperatura del agua de los 3 ensayos realizados en el agregado fino.

Tabla 25 Peso de muestras suelta y compactada

Muestra	Peso específico del agua (kg/m ³)	Peso de agua (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso de arena suelta (kg)	Peso de arena compacta (kg)
1	998,08	3,02	0,0030	4,58	5,29
2	998,08	3,02	0,0030	4,64	5,30
3	998,08	3,02	0,0030	4,63	5,27

Fuente: Elaboración Propia.

En la actual tabla se indica el peso específico del agua, peso del agua según su temperatura, peso de agregado fino suelto y compacto de los tres ensayos, como también nos indica el volumen del molde.

Tabla 26 Peso volumétrico de muestras suelta y compactada

Muestra	Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	Peso volumétrico compactado (kg/m ³)
1	1516,15	1751,19
2	1534,36	1754,50
3	1532,71	1744,57

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el peso volumétrico suelto y compacto de los tres ensayos realizados.

Peso volumétrico suelto promedio: 1527,74 (kg/m³)

Peso volumétrico compactado promedio: 1750,09 (kg/m³)

3.2.3. Absorción del agregado

3.2.3.1. Agregado grueso

Nomenclatura empleada:

A= Masa de la muestra de ensayo, seca al horno (s), en el aire, g

B= Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (sss) en el aire, g.

C= Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua, g.

F= peso de fuente, g.

s= Densidad relativa (gravedad específica) seca al horno.

sss= Densidad relativa (gravedad específica).

sa= Densidad relativa aparente (gravedad específica).

Figura 29 Saturación de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agregado grueso previamente lavado y secado al horno durante 24 horas a 110 °C en proceso de saturación el cual dura 24 horas.

Figura 30 Secado superficial de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia.

Secado superficial de agregado grueso mediante una franela hasta encontrar el estado saturado superficialmente seco.

Figura 31 Tamizado de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia

. Se puede observar el tamizado del agregado grueso mediante tamiz N°4

Figura 32 Pesaje de material grueso saturado superficialmente seco sumergido



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente ilustración se observa el proceso de pesaje del agregado grueso saturado superficialmente seco sumergido luego de haber calibrado la balanza.

Figura 33 Secado de agregado grueso



Fuente: Elaboración Propia.

Secado al horno durante 24 horas a 110 °C de agregado grueso.

Tabla 27 Datos de muestras

Muestra	A+F	B+F	C	F
1	2565,00	2591,60	1439,00	291,50
2	2715,00	2749,70	1459,00	413,30
3	3702,50	3754,00	2123,00	352,60

Fuente: Elaboración Propia.

Se indica el peso del agregado grueso en todos los estados de saturación indicados por normativa para cada uno de los 3 ensayos y el peso de las fuentes indicados.

Tabla 28 Peso de material en sus diferentes estados

Muestra	A	B	C
1	2273,50	2300,10	1439,00
2	2301,70	2336,40	1459,00
3	3349,90	3401,40	2123,00

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla Se indica el peso del agregado grueso en todos los estados de saturación indicados por normativa para cada uno de los 3 ensayos descontando el peso de fuente.

Tabla 29 Porcentaje de absorción de las muestras

MUESTRA	s	sss	sa	Absorción (%)
1	2,64	2,67	2,72	1,17
2	2,62	2,66	2,73	1,51
3	2,62	2,66	2,73	1,54

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se muestra las densidad relativa, aparente y seca al horno como también el porcentaje de absorción de cada muestra.

Tabla 30 Valores promedio de las densidades y la absorción de las muestras

	PROMEDIO
s	2,63
sss	2,66
sa	2,73
Absorción (%)	1,40

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla actual se muestra las densidad relativa, aparente y seca al horno como también el porcentaje de absorción promedio de las tres muestras realizadas.

3.2.3.2. Agregado fino

Nomenclatura empleada:

A = Masa de la muestra de ensayo seca al horno, g.

S = Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (usada en el método gravimétrico para la densidad, densidad relativa o para la absorción en ambos métodos), g.

F=Fuente.

$$\text{Absorción (\%)} = 100 [(S - A) / A]$$

Ecuación 10

Figura 34 Saturación de agregado fino



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el agregado fino previamente lavado y secado al horno durante 24 horas a 110 °C en proceso de saturación el cual dura 24 horas.

Figura 35 Equipo y material utilizado.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el secador eléctrico, mortero, y picnómetros como también el agregado fino una vez saturado y decantado.

Figura 36 Secado de agregado fino mediante secador eléctrico.



Fuente: Elaboración Propia.

Se muestra el proceso de secado superficial del agregado fino por la acción de aire caliente sobre este.

Figura 37 Ensayo para humedad superficial



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa el ensayo de humedad superficial

Figura 38 Procedimiento gravimétrico



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar el pesaje del ensayo gravimétrico

Figura 39 Pesaje de material fino



Fuente: Elaboración propia.

Se observa el pesaje de material fino después de haber realizado el ensayo picnómetro y secado al horno durante 24 horas a 110 °C.

Tabla 31 Absorción de las muestras

Muestra	A+F	F	A	S	absorción
1	850,10	363,20	486,90	500,00	2,69
2	866,90	379,90	487,00	500,00	2,67
3	745,40	258,60	486,80	500,00	2,71

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla Se indica el peso del agregado fino en todos los estados de saturación indicados por normativa y la absorción para cada uno de los 3 ensayos descontando el peso de fuente.

Absorción promedio=2,69%

3.3. Dosificación del hormigón

La dosificación es la estimación de proporciones de agregado grueso, agregado fino, agua y cemento.

Para la estimación de la relación agua/cemento

resistencia a la compresión 28 días: 210 kg/cm²

Hormigón sin inclusión de aire

Tamaño máximo nominal: 9,5 mm

$a/c=0,58$

Contenido de agua máximo: Para un tamaño máximo nominal de 9,5 mm y un asentamiento de (8 a 10) cm, sin aire incluido= 225 kg/m^3

Después se determina el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso, y se obtiene dividiendo la masa unitaria compacta (MCU) y la densidad aparente de la grava (d_g):

$$b_o = \frac{MCU}{d_g} \quad \text{Ecuación 6}$$

$MUC=1494,55 \text{ kg/m}^3$

$d_g=2,73$

$b_o=547,45 \text{ kg/m}^3$

Teniendo el valor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón y el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico, se determina el volumen total de agregado grueso que posee la mezcla para un metro cúbico. Esto se realiza mediante el producto de los valores encontrados en la tabla 7 y de la ecuación de volumen de partículas del agregado grueso:

$$B = \left(\frac{b}{b_o}\right) * b_o \quad \text{Ecuación 7}$$

$b/b_o=0,5$

$B=273,72 \text{ kg/m}^3$

Tabla 32 Proporciones de los materiales de la mezcla en peso y volumen para 1 m³

	Peso (kg)	Densidad aparente (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	225,00	1000,00	0,23
Cemento	387,93	1650,00	0,24
Grava	273,72	1494,55	0,18
Arena	445,44	1750,09	0,36
Total			1,00

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar en la presente tabla las cantidades finales de agregado grueso, agregado fino, agua y cemento en cumplimiento de los requerimientos de resistencia a compresión, asentamiento tanto como en peso como en volumen.

Figura 40 Agregados para el hormigón



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar los agregados finos, agregado grueso, cemento y agua después de ser pesados en cumplimiento de la dosificación.

Tabla 33 Comprobación de dosificación del hormigón

Probetas	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)	Factor de proyección	Resistencia a la compresión probable a los 28 días (kg/cm ²)
1	7	154,38	0,72	214,34
2	7	154,59	0,72	214,55
Promedio		154,49	0,72	214,45

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34 comprobación de resistencia a compresión con agregado de fibra de PVC

Probetas con 0,04% de fibra de PVC	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)	Factor de proyección	Resistencia a la compresión probable a los 28 días (kg/cm ²)
1	7	180,29	0,72	250,24
2	7	181,61	0,72	252,07
Promedio		180,99	0,72	251,16

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Acero corrugado

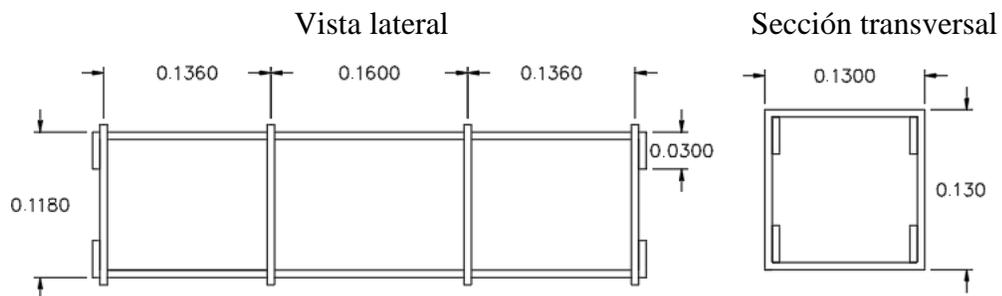
Diámetro nominal de barras: 6 mm

Tensión de fluencia: 4282,81 kg/cm²

Peso nominal: 0,222 kg/m

Peso por barra de 12m: 2,66 kg.

Figura 41 Esquema de armadura seleccionada:



Fuente: Elaboración Propia.

En esta grafica se puede observar la armadura transversal que consta de 4 estribos de 6mm de diámetro, también las 4 barras longitudinales de 6mm.

La armadura seleccionada es una versión a escala reducida de una viga de hormigón armado con dos barras para la compresión y dos barras para tracción ambas de 6mm y estribos de 6mm los cuales fueron doblados de la siguiente manera:

Figura 42 Doblado de estribos



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar el doblado de estribos en una base de madera lo suficientemente rígida con dos barras incrustadas separadas a 13cm y una placa de madera lisa y recta colocada a 6mm de manera paralela a las barras incrustadas formando un canal.

Figura 43 Estribo terminado



Fuente: Elaboración propia.

Observamos el estribo ya completado el proceso de doblado.

Figura 44 Doblado de armadura longitudinal



Fuente: Elaboración propia.

Se observa las varillas de acero corrugado antes y después del doblado de la patilla de 3cm.

Figura 45 Ensamblado de armadura:



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar el ensamblado de la armadura colocando primeramente las barras longitudinales, luego medir y colocar los estribos en su posición final y finalmente asegurar con alambre de amarre.

Figura 46 Armadura de acero corrugado.



Fuente: Elaboración propia

Se observa la armadura de acero corrugado ya totalmente ensamblada.

3.5. Hormigón armado

3.5.1. Diseño a flexión

Datos:

Diámetro de armaduras= 6mm

Base y a altura de viga=16cm

Luz=43cm

Recubrimiento=1,9 cm

Resistencia a compresión del hormigón $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia del acero= $4282,81 \text{ kg/cm}^2$

Numero de barras=2

$d''=1,9\text{cm}$

$\Phi=0,9$

Calculo de área de acero.

$A_{s1}=0,28 \text{ cm}^2$

$A_{s1} * f_y = 2421,87 \text{ kg}$

Calculo de momentos que pueden resistir la armadura de acero corrugado

$$a = \frac{A_s 1 * f_y}{0,85 * f'_c * b} = 0,85\text{cm}$$

$$M_n 1 = \left[A_s 1 * f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right]$$

$$M_n 1 = 33120,31 \text{ kg*cm}$$

$$M_n 2 = \text{kg} * \text{cm} \left[A_s * f_y (d - d'') \right]$$

$$M_n 2 = 29546,84 \text{ kg*cm}$$

$$M_u = \Phi * (M_n 2 + M_n 1)$$

$$M_u = 56400,44 \text{ kg*cm}$$

Carga máxima puntual a centro luz (P)= $5012,92 \text{ kg}$

3.6. Fibra de PVC

Características físicas de la microfibras de PVC:

Densidad real: Aprox. $1,32 - 1,42 \text{ g/cm}^3$

Absorción de agua: Ninguna.

Módulo de elasticidad: 28.000 kg/cm²

Alargamiento de rotura: 15%

Resistencia a la tracción: 450 a 550Kg /cm²

Resistencia química: Inerte a los álcalis del cemento

Longitud: 19 mm.

3.6.1. Dosificación de fibra de PVC al hormigón armado

Tomando en cuenta las recomendaciones bibliográficas del manual Sika se dosifico la fibra de PVC por metro cubico de hormigón.

- Debido a que el hormigón que se empleara tiene una resistencia inferior a $f'c = 300$ kg/cm², se experimentará con 0,6 kg/m³ de microfibra de PVC.
- Como también la menor dosificación recomendada es 0,3 kg/m³ de microfibra de PVC.
- De esta manera completamos tres dosificaciones: 0,3 kg/m³, 0,6 kg/m³, 0,9 kg/m³ lo que equivale a (0,02%, 0,04% y 0,06%) por metro cubico de hormigón.

3.7. Informe de rotura de probetas.

En el informe, se debe incluir la siguiente información:

N=Número de identificación.

A=Ancho promedio al más cercano 1 mm en la sección de fractura.

H=Espesor promedio al más cercano 1 mm en la sección de la fractura

L=La luz o longitud de separación entre soportes mm.

P=La carga máxima aplicada, kg.

R=El módulo de ruptura, calculado al más cercano 0,5 kg/cm².

H y C=Historial de curado y la condición de humedad aparente del espécimen en el momento del ensayo.

IN=Indicación de si los especímenes fueron cabeceados, esmerilados o si se utilizaron bandas de cuero.

Def=Defectos en el espécimen.

Ed=Edad del espécimen

3.7.1. Probetas patrón.

Tabla 35 Informes de rotura de probetas de V-1 a V-8.

N	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8
A	160	161	161	161	160	160	161	160
H	161	161	160	162	160	161	161	161
L	430	430	430	430	430	430	430	430
P	5098,58	5098,58	5098,58	5098,58	3263,09	3365,06	3365,06	3365,06
R	79,73	78,82	79,74	77,8	51,39	52,31	52	52,31
H y C	La probeta fue curada en el interior de una piscina desde el instante del desencofrado hasta un día antes del ensayo, la humedad aparente de la probeta es igual a la humedad ambiente.							
IN	Se utilizaron bandas de cuero en los puntos de contacto de los apoyos y en el punto de contacto de la carga puntual.							
Def	Porosidad en la parte inferior del espécimen, desgaste en arista derecha	Poca porosidad en caras laterales del espécimen.	Muy poca porosidad esparcida por todo el espécimen, hendidura en extremo superior izquierdo.	Poca porosidad dispersa por todo el espécimen	Porosidad en caras laterales.	Muy poca porosidad en todo el espécimen	Exceso de material en arista izquierda del espécimen.	Porosidad en la parte inferior central del espécimen.
Ed	28	28	28	28	14	14	14	14

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Probetas con dosificación 0,02% de fibra PVC

Tabla 36 Informes de rotura de probetas de V-9 a V-16.

N	V-9	V-10	V-11	V-12	V-13	V-14	V-15	V-16
A	160	160	161	160.	161	161	160	160
H	161	160	161	160	160	161	161	160
L	430	430	430	430	430	430	430	430
P	6934,07	6934,07	6934,07	6934,07	6118,29	6118,29	6118,29	6118,29
R	107,89	109,21	107,17	109,21	95,75	94,53	95,14	96,36
H y C	La probeta fue curada en el interior de una piscina desde el instante del desencofrado hasta un día antes del ensayo, la humedad aparente de la probeta es igual a la humedad ambiente.							
IN	Se utilizaron bandas de cuero en los puntos de contacto de los apoyos y en el punto de contacto de la carga puntual.							
Def	Hendidura de poca profundidad en lateral izquierda, arista derecha con un poco de exceso de material	Aristas superiores con un poco de exceso de material	Muy poca porosidad en todo el espécimen	Poco de material excedente en base y aristas	Poco de material excedente en aristas superiores.	Muy poca porosidad en el espécimen.	Poco material excedente en aristas laterales.	Muy poca porosidad distribuida por todo el espécimen.
Ed	28	28	28	28	14	14	14	14

Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Probetas con dosificación 0,04% de fibra PVC

Tabla 37 Informes de rotura de probetas de V-17 a V-24.

N	V-17	V-18	V-19	V-20	V-21	V-22	V-23	V-24
A	161	161	161	161	160	160	160	160
H	160	161	160	161	161	160	161	160
L	430	430	430	430	430	430	430	430
P	6832,09	6832,09	6730,13	6832,09	6628,16	6526,18	6628,16	6628,16
R	106,87	105,64	105,34	105,64	103,09	102,79	103,09	104,42
H y C	La probeta fue curada en el interior de una piscina desde el instante del desencofrado hasta un día antes del ensayo, la humedad aparente de la probeta es igual a la humedad ambiente.							
IN	Se utilizaron bandas de cuero en los puntos de contacto de los apoyos y en el punto de contacto de la carga puntual.							
Def	Aristas laterales con poco material excedente.	Aristas con poco de material excedente.	Aristas inferiores con poco material excedente.	Muy poca porosidad en caras laterales	Aristas redondeadas no puntiagudas.	Aristas con poco material excedente.	Aristas inferiores redondeadas.	Aristas superiores no puntiagudas y material muy poco material excedente en cara inferior.
Ed	28	28	28	28	14	14	14	14

Fuente: Elaboración propia.

3.7.4. Probetas con dosificación 0,06% de fibra PVC.

Tabla 38 Informes de rotura de probetas de V-25 a V-32.

N	V-25	V-26	V-27	V-28	V-29	V-30	V-31	V-32
A	160	160	160	161	160	161	160	161
H	160	161	160	160	161	161	161	0
L	430	430	430	430	430	430	430	430
P	6730,13	6730,13	6628,16	6730,13	6628,16	6730,13	6730,13	6628,16
R	105,95	104,62	104,42	105,34	103,09	104,01	104,62	103,71
H y C	La probeta fue curada en el interior de una piscina desde el instante del desencofrado hasta un día antes del ensayo, la humedad aparente de la probeta es igual a la humedad ambiente.							
IN	Se utilizaron bandas de cuero en los puntos de contacto de los apoyos y en el punto de contacto de la carga puntual.							
Def	Muy poca porosidad en todo el espécimen.	Poco material excedente en aristas superiores.	Aristas superiores redondeadas.	Muy poca porosidad en todo el espécimen.	Muy poco material excedente en aristas superiores.	Aristas con muy poco material excedente.	Muy poca porosidad en todo el espécimen.	Poca porosidad en todo el espécimen.
Ed	28	28	28	28	14	14	14	14

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Resultados de ensayos de rotura a flexión.

3.8.1. Tablas de resultados

Tabla 39 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 28 Días de probetas patrón

Probeta	V-1	V-2	V-3	V-4	Promedio
Carga máxima (kg)	5098,58	5098,58	5098,58	5098,58	5098,58
Módulo de rotura (kg/cm ²)	79,73	78,82	79,74	77,8	79,02
deformación (mm)	3,79	3,8	3,8	3,81	3,8
Peso (Kg)	27,655	27,866	28,14	27,765	27,856

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 40 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 14 Días de probetas patrón

Probeta	V-5	V-6	V-7	V-8	Promedio
Carga máxima (kg)	3263,09	3365,06	3365,06	3365,06	3339,57
Módulo de rotura (kg/cm ²)	51,39	52,31	52	52,31	52
deformación (mm)	3,19	3,2	3,19	3,2	3,195
Peso (Kg)	28,035	27,96	27,5	27,56	27,764

Fuente: Elaboración Propia.

En la actual tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 41 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 28 Días de probetas con dosificación 0,02% de PVC.

Probeta	V-9	V-10	V-11	V-12	Promedio
Carga máxima (kg)	6934,07	6934,07	6934,07	6934,07	6934,07
Módulo de rotura (kg/cm ²)	107,89	109,21	107,17	109,21	108,38
deformación (mm)	6,84	6,85	6,85	6,84	6,845
Peso (Kg)	28,275	28,37	27,475	27,425	27,886

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla actual se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 42 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 14 Días de probetas con dosificación 0,02% de PVC.

Probeta	V-13	V-14	V-15	V-16	Promedio
Carga máxima (kg)	6118,29	6118,29	6118,29	6118,29	6118,29
Módulo de rotura (kg/cm ²)	95,75	94,53	95,14	96,36	95,44
deformación (mm)	6,88	6,89	6,87	6,9	6,885
Peso (Kg)	28,325	28,5	28,41	27,395	28,15

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 43 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 28 Días de probetas con dosificación 0,04% de PVC.

Probeta	V-17	V-18	V-19	V-20	Promedio
Carga máxima (kg)	6832,09	6832,09	6730,13	6832,09	6806,6
Módulo de rotura (kg/cm ²)	106,87	105,64	105,34	105,64	105,87
Deformación (mm)	7,09	7,11	7,11	7,1	7,10
Peso (Kg)	28,775	28,255	28,645	28,596	28,567

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla actual se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 44 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 14 Días de probetas con dosificación 0,04% de PVC.

Probeta	V-21	V-22	V-23	V-24	Promedio
Carga máxima (kg)	6628,16	6526,18	6628,16	6628,16	6602,66
Módulo de rotura (kg/cm ²)	103,09	102,79	103,09	104,42	103,35
Deformación (mm)	7,1	7,1	7,1	7,05	7,0875
Peso (Kg)	29,19	28,26	28,654	28,756	28,686

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 45 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 28 Días de probetas con dosificación 0,06% de PVC.

Probeta	V-25	V-26	V-27	V-28	Promedio
Carga máxima (kg)	6730,13	6730,13	6628,16	6730,13	6704,64
Módulo de rotura (kg/cm ²)	105,95	104,62	104,42	105,34	105,08
Deformación (mm)	6,72	6,69	6,71	6,73	6,71
Peso (Kg)	28,782	28,952	28,456	28,674	28,716

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

Tabla 46 Resultados de ensayo de rotura a flexión a 14 Días de probetas con dosificación 0,06% de PVC

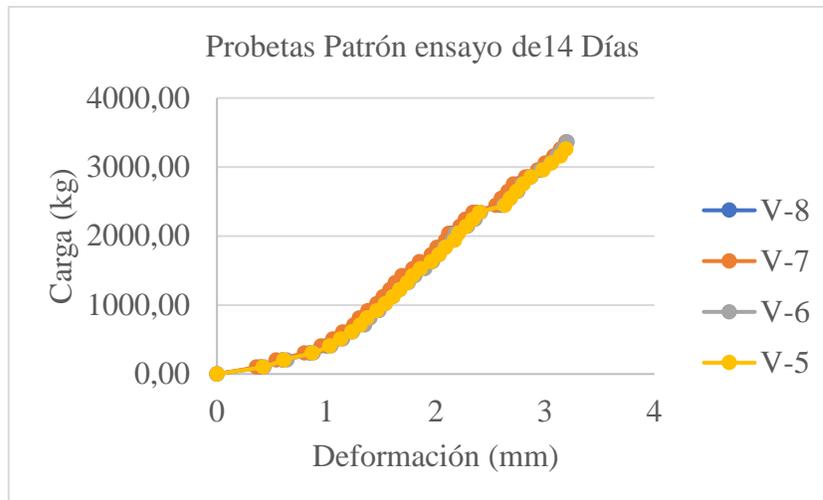
Probeta	V-29	V-30	V-31	V-32	Promedio
Carga máxima (kg)	6628,16	6730,13	6730,13	6628,16	6679,14
Módulo de rotura (kg/cm ²)	103,09	104,01	104,62	103,71	103,86
deformación (mm)	6,82	6,82	6,84	6,83	6,8275
Peso (Kg)	28,653	28,713	28,815	28,645	28,706

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla se indican los resultados del ensayo de rotura y el módulo de rotura.

3.8.2. Graficas de resultantes de ensayo de rotura flexión.

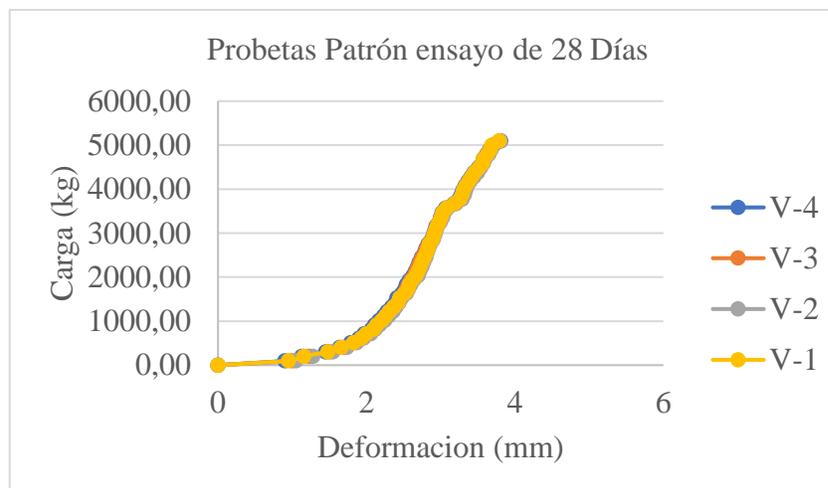
Figura 47 Comportamiento de probeta 5 al 8 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-5, V-6, V-7, V-8 fraguados durante 14 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

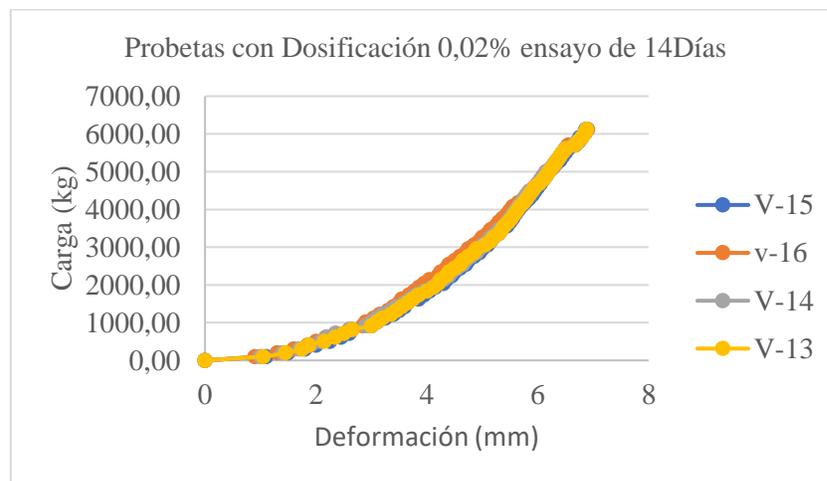
Figura 48 Comportamiento de probeta 1 al 4 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia

Fuente: Elaboración Propia En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-1, V-2, V-3, V-4 fraguados durante 28 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

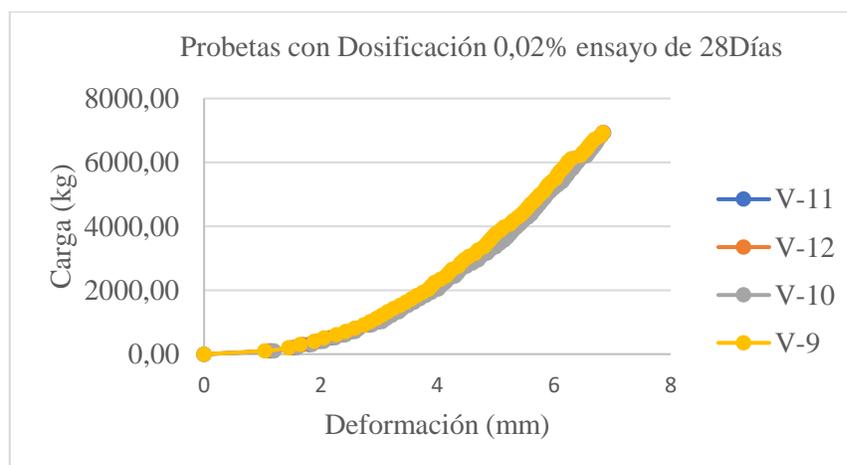
Figura 49 Comportamiento de probeta 13 al 16 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia

En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-13, V-14, V-15, V-16 fraguados durante 14 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

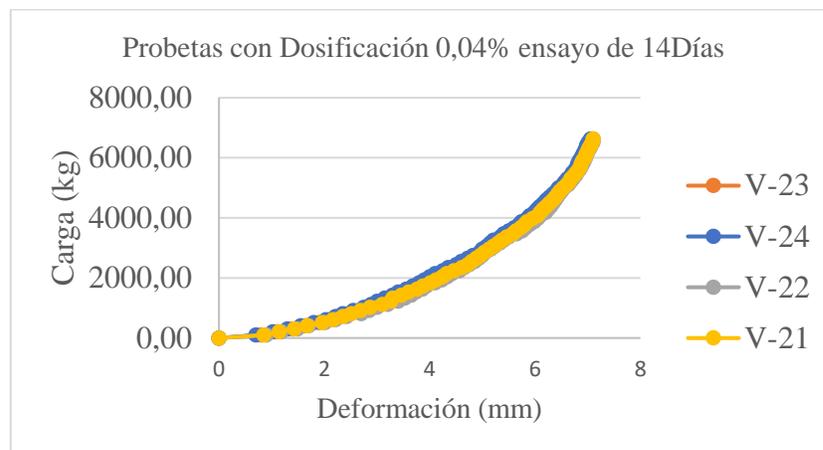
Figura 50 Comportamiento de probeta 9 al 12 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-9, V-10, V-11, V-12 fraguados durante 28 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

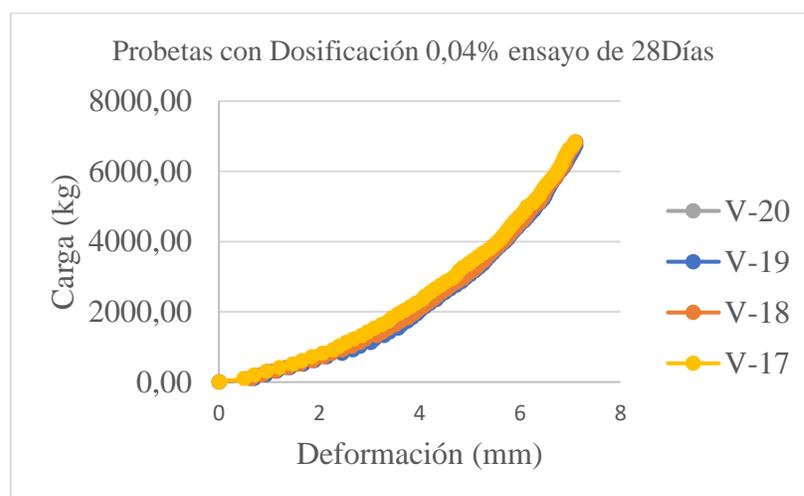
Figura 51 Comportamiento de probeta 21 al 24 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-21, V-22, V-23, V-24 fraguados durante 14 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

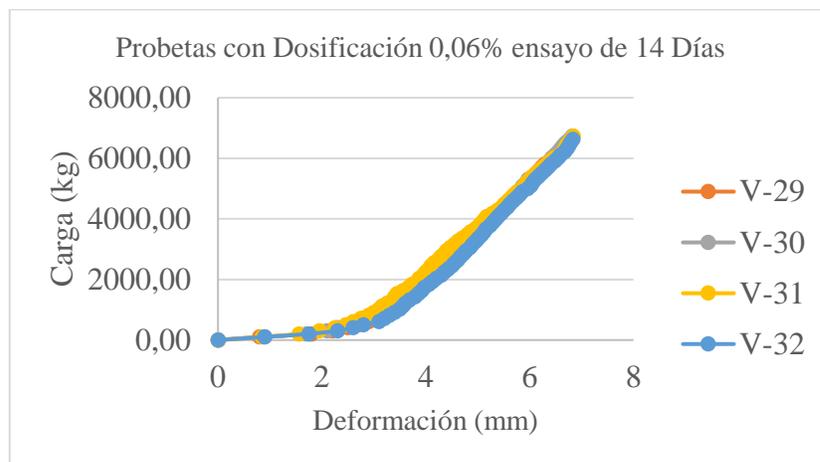
Figura 52 Comportamiento de probeta 17 al 20 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente grafica se puede observar el comportamiento de los especímenes V-17, V-18, V-19, V-20 fraguados durante 28 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

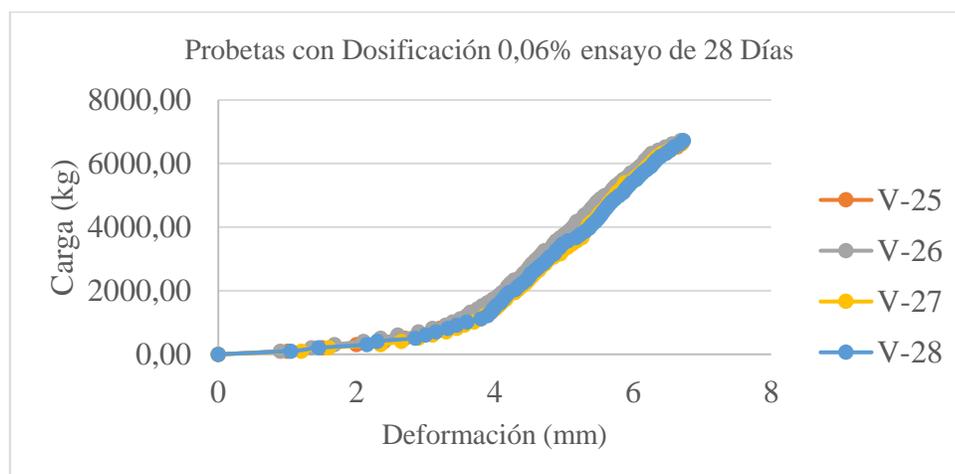
Figura 53 Comportamiento de probeta 29 al 32 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-29, V-30, V-31, V-32 fraguados durante 14 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

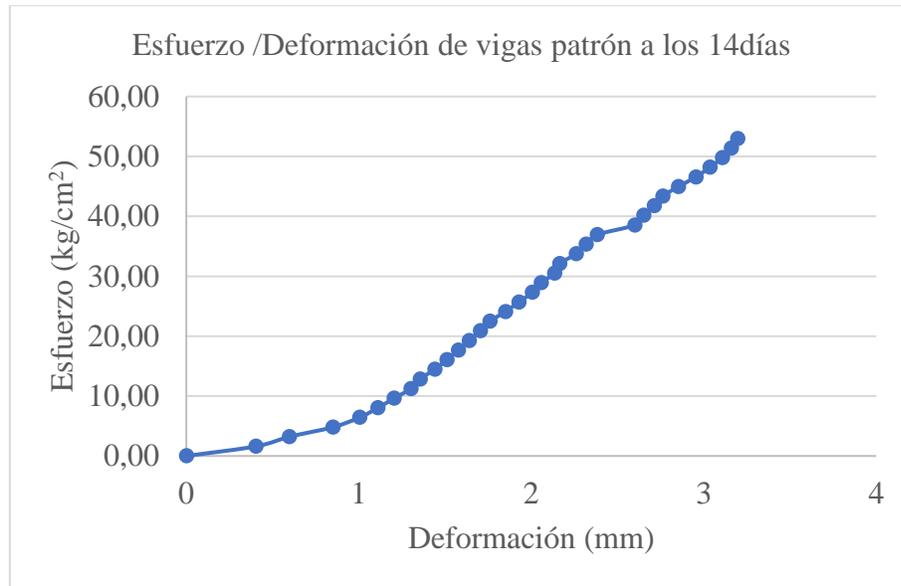
Figura 54 Comportamiento de probeta 25 al 28 ante ensayo ASTM C293



Fuente: Elaboración Propia.

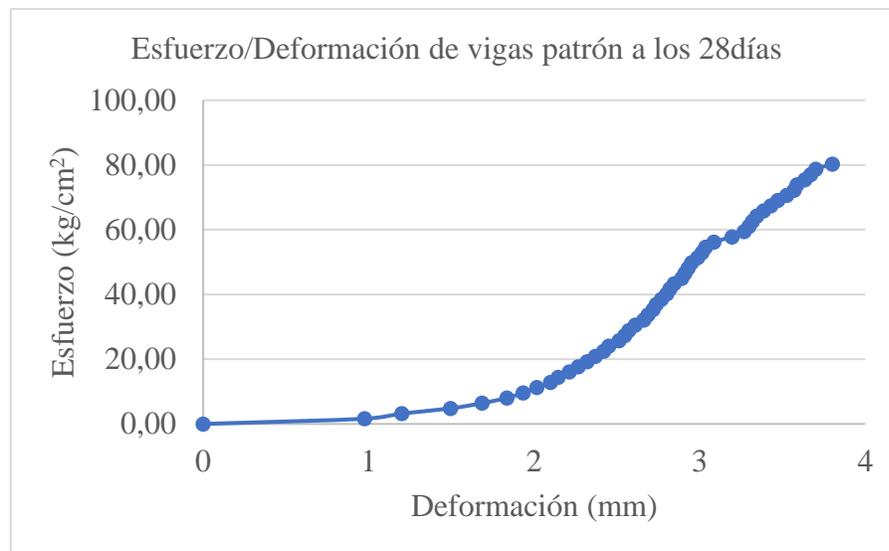
Fuente: Elaboración Propia. En la presente grafica podemos observar el comportamiento de los especímenes V-25, V-26, V-27, V-28 fraguados durante 28 días ante una carga puntual aplicada a centro luz de manera gradual.

Figura 55 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas patrón de ensayo a los 14 días.



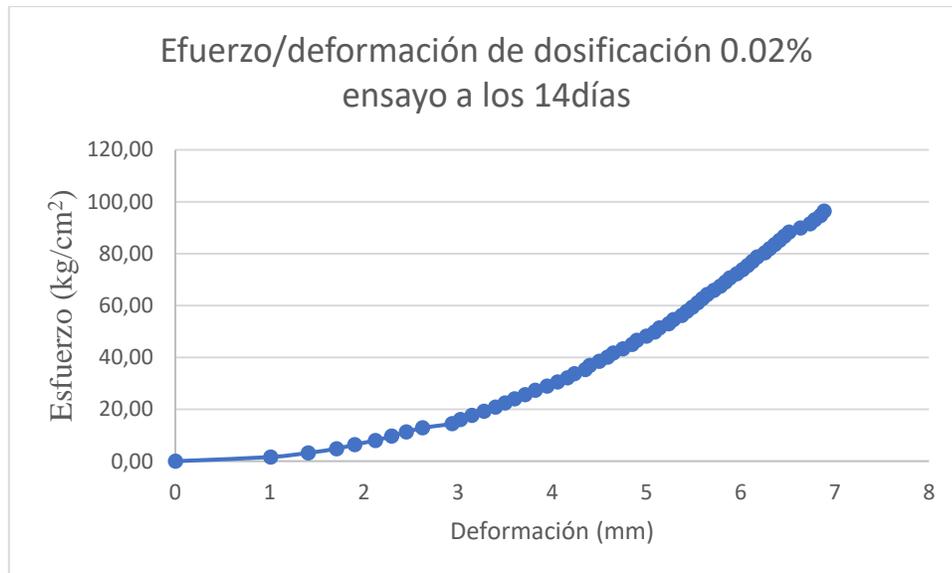
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 56 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas patrón de ensayo a los 28 días.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 57 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,02% de ensayo a los 14 días.



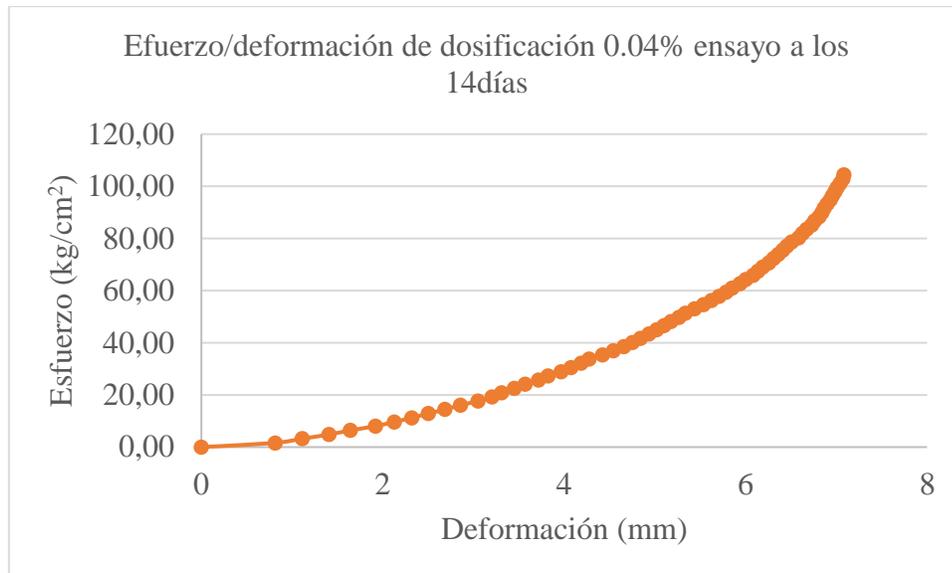
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 58 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,02% de ensayo a los 28 días.



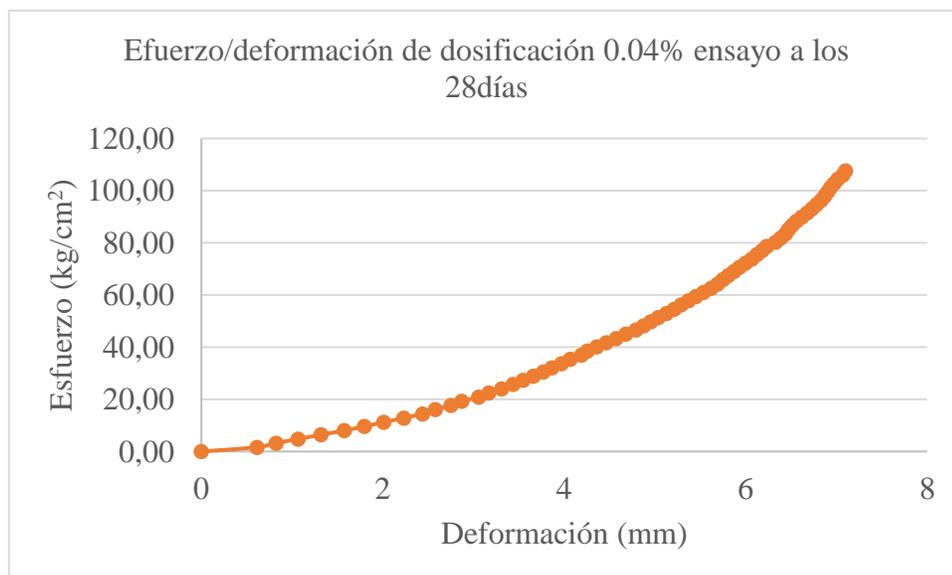
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 59 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,04% de ensayo a los 14 días.



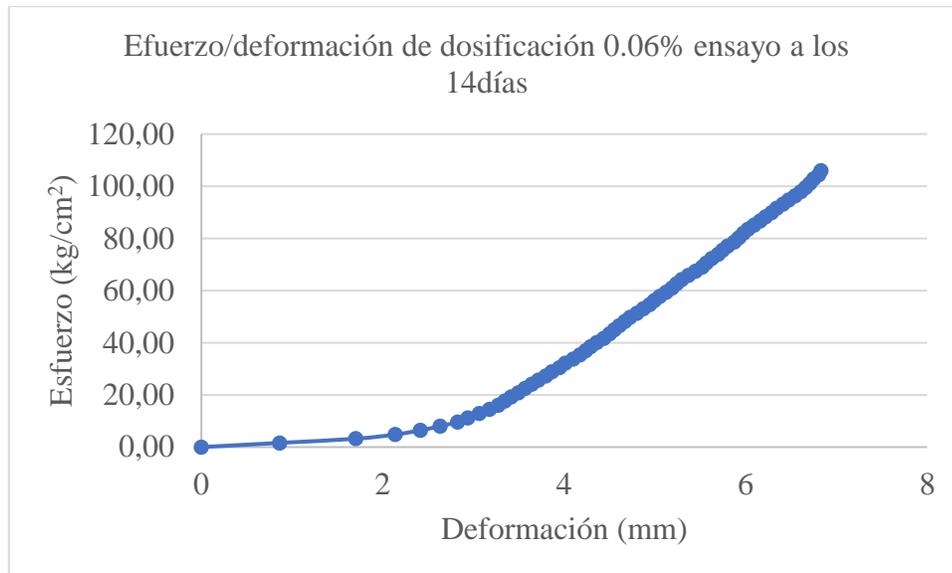
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 60 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,04% de ensayo a los 28 días.



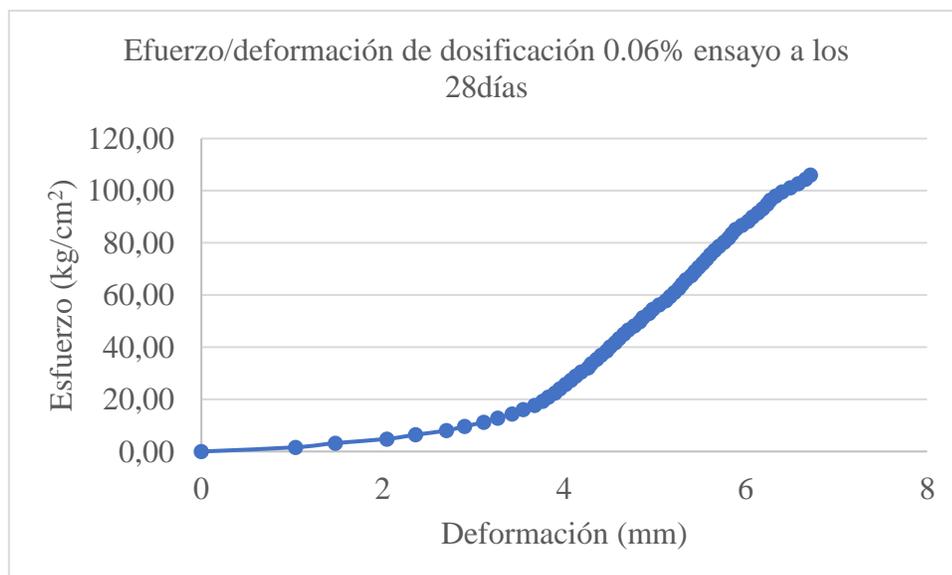
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 61 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,06% de ensayo a los 14 días.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 62 Curvas Esfuerzo Deformación de vigas con dosificación 0,06% de ensayo a los 28 días.



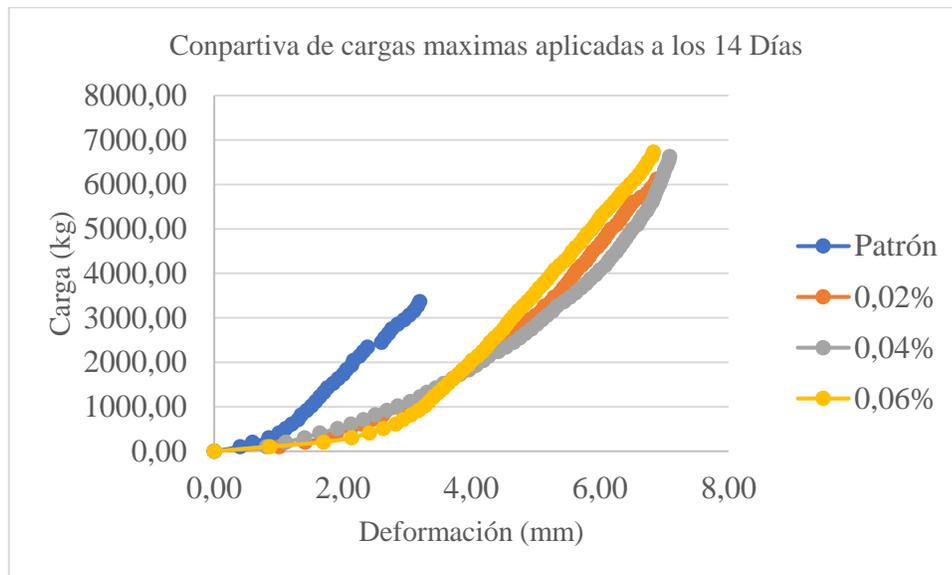
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis del cambio de comportamiento en probetas a los 14 Días

Figura 63 Curvas carga deformación de ensayos a flexión a los 14 Días.



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que existe un incremento en la carga máxima que puede soportar el hormigón reforzado con acero ante la adición de fibra de PVC, como también se ve afectada su deformación ante la acción de cargas inferiores a la de rotura.

Tabla 47 Porcentaje de incremento en la deformación del ensayo de rotura por flexión a los 14 días.

Carga (kg)	Incremento en la Deformación (%)		
	0,02%	0,04%	0,06%
0	0	0	0
1019,72	100,3	89,1	116,9
2039,43	92,3	92,9	85,2
3059,15	63,8	70,1	52,4

Fuente: Elaboración Propia

La deformación sufrió un incremento con respecto a las probetas patrón de 52,4% ante una carga de 3365,06kg, para una carga de 2039,43kg el incremento en la deformación es de 85,2% en el ensayo de rotura por flexión a los 14 días con la adición de 0,06% de fibra de PVC.

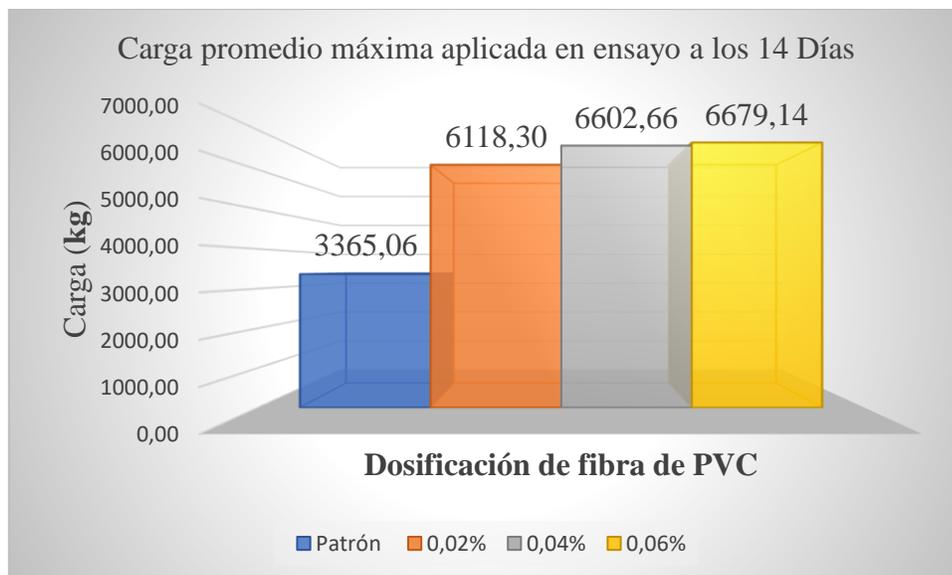
Tabla 48 Carga puntual promedio de todas las dosificaciones y su porcentaje de incremento en relación al ensayo patrón a los 14 Días.

Dosificación	Carga (kg)	Porcentaje de incremento%
Patrón	3365,06	-
0,02%	6118,30	81,82
0,04%	6602,66	96,21
0,06%	6679,14	98,48

Fuente: Elaboración Propia.

Los porcentajes de incremento son en relación a la carga máxima promedio de los ensayos de rotura por flexión a los 14 días de las probetas patrón.

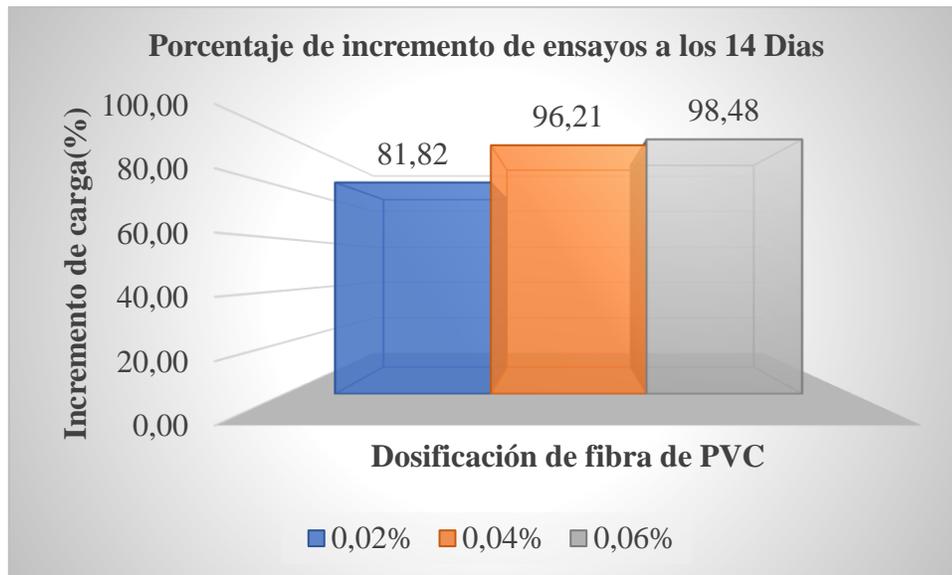
Figura 64 Carga promedio máxima de cada ensayo a los 14 Días



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que la carga máxima aplicada promedio es de 6679,14kg para una dosificación de 0,06% de fibra de PVC del ensayo de rotura por flexión a los 14 días.

Figura 65 Porcentaje de incremento promedio de cada ensayo a los 14 Días



Fuente: Elaboración Propia.

La carga se ve incrementada en un 98,48% para una adición de 0,06% de fibra de PVC en relación a la carga máxima promedio patrón del ensayo a los 14 días.

Tabla 49 Módulos de rotura promedio de todos los ensayos a los 14 días

Edad (Días)	Módulo de rotura (kg/cm ²)			
	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
14	52,99	95,44	103,35	103,86

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar que el módulo de rotura máximo se alcanzó con la Dosificación 0,06% con 103,86 kg/cm².

Tabla 50 Peso de probetas promedio de todos los ensayos a los 14 días

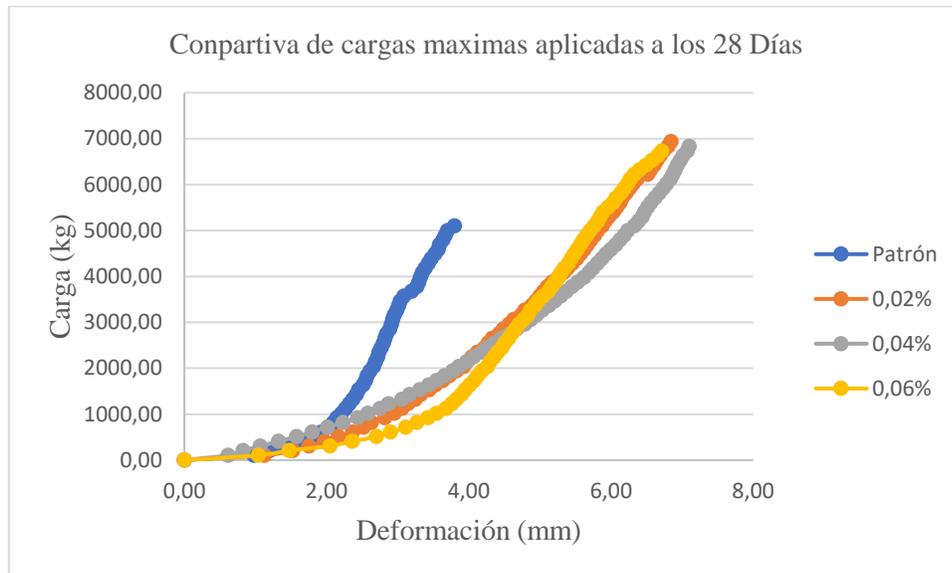
Edad (Días)	Peso (Kg)			
	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
14	27,764	28,15	28,686	28,706

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que a mayor dosificación de fibra de PVC el peso del espécimen es mayor para de la siguiente manera: dosificación 0,02% es de:1,39%, dosificación 0,04% es de: 3,32%, dosificación 0,06% es de: 3,39%.

4.2. Análisis del cambio de comportamiento en probetas a los 28 días

Figura 66 Curvas carga deformación de ensayos a flexión a los 28 Días



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que existe un incremento en la carga máxima que puede soportar el hormigón reforzado con acero ante la adición de fibra de PVC, como también se ve afectada su deformación ante la acción de cargas inferiores a la de rotura.

Tabla 51 Porcentaje de incremento en la deformación del ensayo de rotura por flexión a los 28 días.

Carga (kg)	Incremento en la Deformación (%)		
	0,02%	0,04%	0,06%
0	0	0	0
2039,43	33,4	16,6	60,3
3059,15	47,5	45,1	60,1
4078,86	58,0	66,4	62,9
5098,58	59,3	70,1	58,4
6118,30	54,6	66,6	51,6

Fuente: Elaboración Propia.

La deformación sufrió un incremento con respecto a las probetas patrón de 54,6% ante una carga de 50KN, para una carga de 40KN el incremento en la deformación es de 59,3% en el ensayo de rotura por flexión a los 14 días con la adición de 0,02% de fibra de PVC.

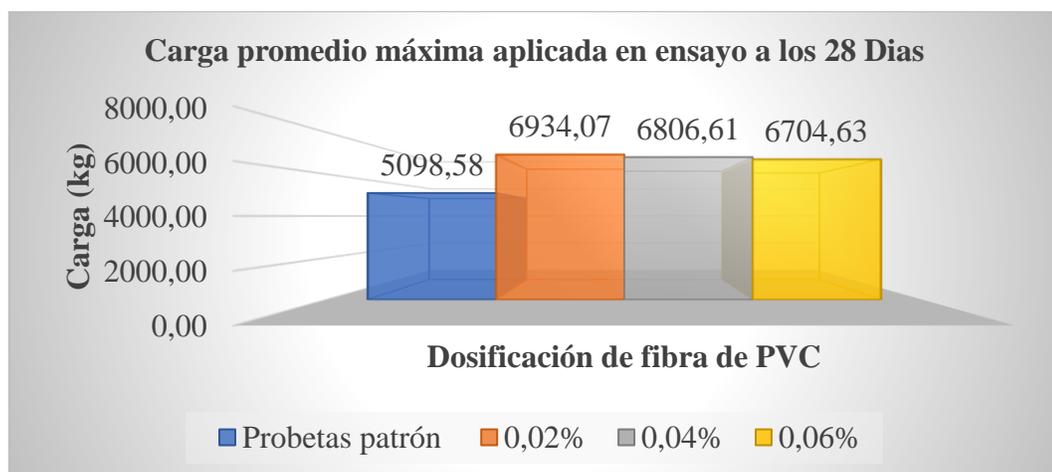
Tabla 52 Carga puntual promedio de todas las dosificaciones y su porcentaje de incremento en relación al ensayo patrón a los 28 Días.

Dosificación	Carga (kg)	Porcentaje de incremento%
Patrón	5098,58	-
0,02%	6934,07	36
0,04%	6806,61	33,5
0,06%	6704,63	31,5

Fuente: Elaboración Propia.

Los porcentajes de incremento son en relación a la carga máxima promedio de los ensayos de rotura por flexión a los 28 días de las probetas patrón.

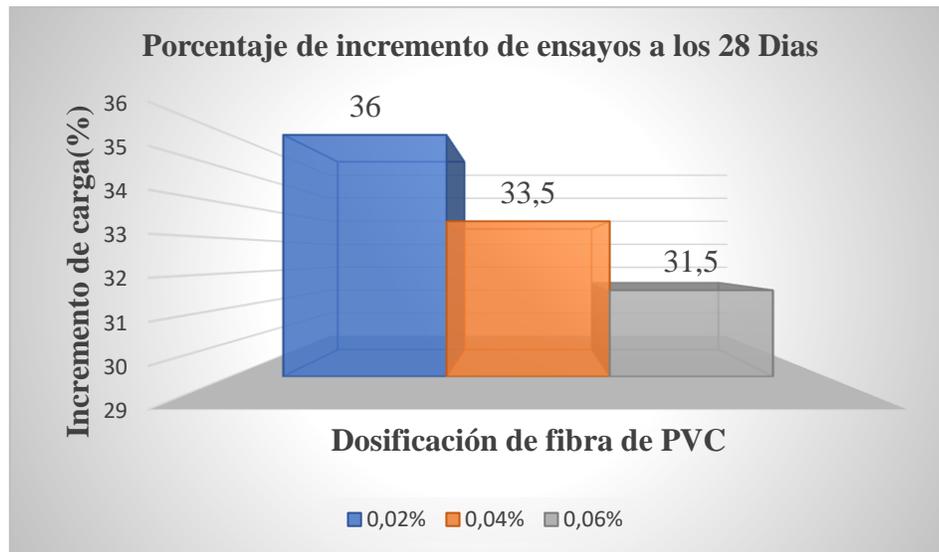
Figura 67 Carga promedio máxima de cada ensayo a los 28 Días



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que la carga máxima aplicada promedio es de 6934,07kg para una dosificación de 0,02% de fibra de PVC del ensayo de rotura por flexión a los 28 días.

Figura 68 Porcentaje de incremento promedio de carga de cada ensayo a los 28 Días



Fuente: Elaboración Propia.

La carga se ve incrementada en un 36% para una adición de 0,02% de fibra de PVC en relación a la carga máxima promedio patrón del ensayo a los 28 días.

Tabla 53 Módulos de rotura promedio de todos los ensayos a los 28 días

Edad (Días)	Módulo de rotura (kg/cm ²)			
	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
28	78,93	108,37	105,87	105,08

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el módulo de rotura máximo se alcanzó con la Dosificación 0,02% con 108,37 kg/cm².

Tabla 54 Peso de probetas promedio de todos los ensayos a los 28 días

Edad (Días)	Peso (Kg)			
	Patrón	0,02%	0,04%	0,06%
28	27,856	27,886	28,567	28,716

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que a mayor dosificación de fibra de PVC el peso del espécimen es mayor para de la siguiente manera: dosificación 0,02% es: 0,1%, dosificación 0,04% es: 2,55%, dosificación 0,06% es: 3,1%.

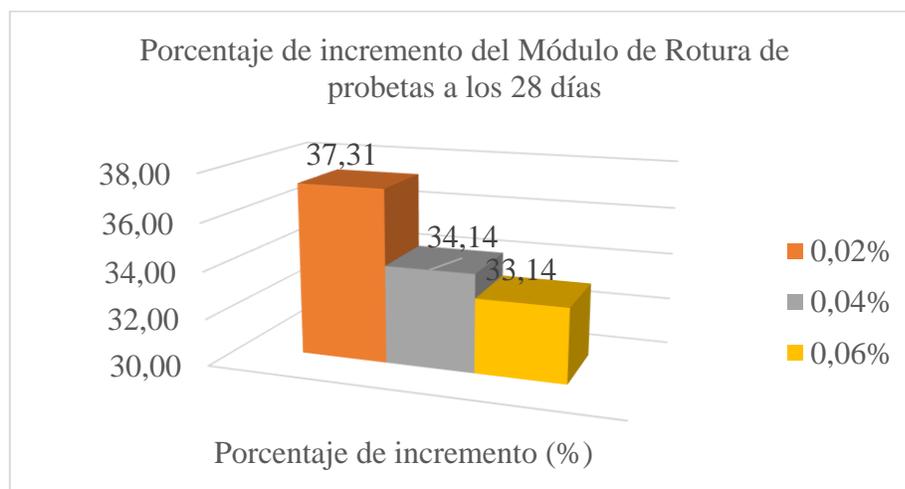
Tabla 55 Cargas máximas promedio de todos los ensayos de rotura por flexión a los 28 días.

Dosificación	Carga (kg)	Porcentaje de incremento de carga %	Porcentaje de incremento de Modulo de rotura %	Porcentaje de incremento de Peso %
Patrón	5098,58	-	-	-
0,02%	6934,07	36	37,31	0,1
0,04%	6806,61	33,5	34,14	2,55
0,06%	6704,63	31,5	33,14	3,1

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla podemos observar los porcentajes de incremento promedio del peso, módulo de rotura y carga máxima que otorgan las diferentes dosificaciones de fibra de PVC al hormigón armado sometido a flexión.

Figura 69 Porcentaje de incremento del Módulo de Rotura de probetas a los 28 días



Fuente: Elaboración Propia.

En la presente gráfica se observa que la dosificación de 0,02% de fibra de PVC le otorga un incremento de 37,31% en su módulo de rotura en comparación con el hormigón armado convencional.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Una vez finalizado todos los ensayos de rotura por flexión se pudo observar que la dosificación más eficiente es de 0,02% de fibra de PVC por m^3 al incrementar un 37,3% en el módulo de rotura.
- El peso de la estructura se debe de tener en cuenta al momento del diseño por lo que la dosificación de 0,02% de fibra de PVC es la mejor al incrementar un 0,1% en el peso del elemento en comparación de las probetas patrón, por lo que a mayor dosificación de fibra de PVC mayor será el incremento en el peso de la estructura.
- Finalizando el presente estudio que constaba de la rotura a flexión de probetas de hormigón armado se observó que la adición de fibra de PVC provoca un incremento en la deformación del elemento en un 54,6% con una dosificación del 0,02% por lo que se limitaría el uso de la fibra e PVC en viviendas y estructuras similares, sin embargo, el gran incremento en su resistencia a flexión lo vuelve excelente en la construcción de túneles, muros de protección y pavimentos rígidos.
- Una vez finalizado los ensayos a de rotura por flexión se observa que el mayor incremento en la resistencia se da a los 14 días de edad de la probeta, no obstante, también es en este momento donde se presenta la mayor deformación del elemento por lo que no se debería poner en funcionamiento la estructura a esta edad a pesar de la gran resistencia que esta tenga.

5.2. Recomendaciones

- Emplear dosificaciones menores a 0.3 kg/m^3 de agregado de fibra de PVC al hormigón armado para un futuro estudio completaría nuestra búsqueda de la dosificación con mayor eficiencia.
- Realizar un futuro estudio con las mismas características que el actual con la diferencia de en lugar del hormigón armado emplear hormigón simple para poder

visualizar con una mayor claridad el cambio de comportamiento que produce la adición de fibra de PVC al hormigón.

- Elaborar un nuevo estudio con las mismas dosificaciones de fibra de PVC para el hormigón armado enfocado en la resistencia al corte en lugar de la resistencia a la flexión como complemento al actual estudio.
- En el presente estudio se realizó el ensayo a flexión con una carga puntual sin embargo también existe el ensayo a flexión con dos cargas puntuales y su empleo para un futuro estudio ampliaría en gran medida nuestra comprensión del comportamiento del hormigón armado sometido a flexión con agregado de fibra de PVC.
- El actual estudio se realizó con especímenes del tipo viga no obstante teóricamente la fibra PVC tiene una mayor eficiencia en elementos superficiales por lo que un futuro estudio que estuviera enfocado en estos tipos de especímenes sería de suma importancia para poder entender el verdadero potencial de este tipo de fibras en elementos de hormigón armado.