

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN LA
RESISTENCIA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO ANTE UN ESFUERZO
CORTANTE”

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:

BACH. VÍCTOR HUGO DÍAZ TAFUR

ASESOR:

DR. ING. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

-2021-

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de esta tesis ha dependido de muchas personas, las cuales me brindaron su apoyo incondicional para poder culminarla. Primeramente, Agradecer a mi Asesor Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno por compartir sus conocimientos durante todas las etapas de desarrollo de esta investigación.

Asimismo, agradecer a mis padres Víctor Aníbal Díaz Idrogo y Guadalupe Tafur Plasencia, por su amor y acompañamiento constante en cada paso importante de mi vida.

También mi profundo agradecimiento a mi hermana Ing. Carla Tatiana Díaz Tafur, por acompañarme y apoyarme durante todo mi camino universitario.

A todas las personas que aportaron de diferentes maneras en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

Esta tesis va dirigida con todo mi corazón primeramente a Dios, que en toda su gloria me ha concedido el milagro más grande de existir y desarrollarme como persona. A mis padres que dedicaron su vida a criarme, educarme en valores y guiarme en este bonito camino de la Ingeniería Civil.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Objetivos.....	2
1.4.1. Objetivo general	2
1.4.2. Objetivos específicos	2
1.5. Alcances y limitaciones de la investigación.....	2
1.6. Justificación de la investigación.....	2
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Vigas:.....	5
2.2.2. Fibras de acero:.....	6
2.2.3. Esfuerzo cortante en vigas de concreto armado:.....	7
2.2.4. Tipos de falla por cortante en vigas de concreto armado:.....	10
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	11
2.3.1. Resistencia	11
2.3.2. Resistencia requerida.....	11
2.3.3. Resistencia de diseño.....	11
2.3.4. Rigidez.....	11
2.3.5. Ductilidad.....	11
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO.....	12

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN	12
3.3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO	13
3.4. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	13
3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.5.1. Diseño de mezcla	14
3.5.2. Predimensionamiento y estructuración de pórticos de concreto armado	16
3.5.3. Elaboración del encofrado para el pórtico de diseño	19
3.5.4. Selección de fibra de acero	20
3.5.5. Curado de pórticos de concreto armado	20
3.5.6. Ensayo de los pórticos de concreto armado	20
3.5.7. Hipótesis de carga	20
3.6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CORTE DE LAS VIGAS FABRICADAS	21
3.6.1. Ensayos de vigas de concreto armado :.....	21
3.6.2. Ensayos de vigas de concreto armado con adición de fibras de acero	27
3.6.3. Reajuste de resultados por edad del concreto	34
3.7. COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE VIGAS ENSAYADAS AL CORTE :	35
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
CAPÍTULO V	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1. CONCLUSIONES	42
5.2. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	46
▪ DISEÑO DE PÓRTICO	46
▪ PLANOS	52
▪ FICHAS TÉCNICAS :	54
▪ PANEL FOTOGRÁFICO	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°3.1. resistencia a compresión promedio de las probetas cilíndricas ensayadas.	15
Tabla N°3.7. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-1.	22
Tabla N°3.8. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-2.	23
Tabla N°3.9. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-3.	25
Tabla N°3.10. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-1.	28
Tabla N°3.11. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-2.	29
Tabla N°3.12. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-3.	31
Tabla N°3.13. Relación entre Resistencia del concreto de diferentes edades y la resistencia a los 28 días.	34
Tabla N°3.14. Corrección de la resistencia de las vigas de Concreto armado por edad del Concreto.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Curvas típicas carga – abertura de fisura, para matrices con y sin fibras. (Mármol, 2010).....	7
Figura 2.2.	Viga simplemente apoyada con carga distribuida. (Mármol, 2010).....	7
Figura 2.3.	Diagrama de Momentos y Esfuerzo cortante para una carga distribuida. (Lefevre & Villar,2014)	9
Figura 2.4.	Diagrama de Momentos y Esfuerzo cortante para una carga puntual. (Lefevre & Villar,2014).	9
Figura 2.5.	Tipos de agrietamiento en vigas de concreto armado (Ottazzi, 2015, p.323)	10
Figura 2.6.	Fisuras de cortante en el alma en una viga doble T (Ottazzi, 2015, p.323)	10
Figura 3.1.	Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la UNC (Fuente Google Earth Pro).....	12
Figura 3.2.	Verificación del Slump del diseño de mezcla.....	14
Figura 3.3.	Ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto a los 7 días....	15
Figura 3.4.	Plano de detalle del Pórtico de diseño.	19
Figura 3.5.	Encofrado de madera tornillo para pórtico de concreto armado.....	19
Figura 3.6.	Distancia “l”, donde se aplicó la carga puntual en la Viga de concreto armado.	21
Figura 3.7.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-1.....	23
Figura 3.8.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-2.....	25
Figura 3.9.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-3.....	26
Figura 3.10.	Comparación entre las Vigas Simplemente Reforzadas.....	27
Figura 3.11.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-1.....	29
Figura 3.12.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-2.....	31
Figura 3.13.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-3.....	33

Figura 3.14.	Comparación entre Vigas Reforzadas con Fibra de Acero.....	34
Figura 3.15.	Comparación de Esfuerzos Cortantes de las Vigas Ensayadas.	35
Figura 3.16.	Comparación entre esfuerzos Cortantes Promedio Vigas PS-Vigas PF.	36
Figura 3.17.	Comparación entre Deformaciones de las Vigas Ensayadas.....	37
Figura 3.18.	Comparación entre Deformaciones Promedio Vigas PS-Vigas PF.	37

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula N°2.1.	Sumatoria de momentos en apoyos	7
Fórmula N°2.2.	Esfuerzo Cortante	8
Fórmula N°2.3.	Esfuerzo Cortante en apoyos	8
Fórmula N°2.4.	Momento flector	8
Fórmula N°2.5.	Momento flector en L/2	8
Fórmula N°2.6.	Momento flector en apoyos	8
Fórmula N°2.7.	Fuerza cortante para un factor de 0.9	10
Fórmula N°2.8.	Fuerza cortante para un factor 0.5	11
Fórmula N°2.9.	Deformación según Ley de Hooke	11

RESUMEN

La ingeniería civil ha buscado constantemente la forma de crear y mejorar los elementos estructurales de manera que estos sean más resistentes y duraderos, y que puedan soportar los esfuerzos de grandes edificaciones, así como los eventos sísmicos. Según Juárez et al., las fallas que presentan los elementos estructurales son de cuidado dado el peligro que representan, la falla ocasionada por el cortante se presenta de forma frágil, es decir, no existe advertencia previa del colapso, por lo que debe evitarse utilizando un material que le confiera características dúctiles que sean favorables en su comportamiento estructural. El uso de la fibra de acero según su ficha técnica, ha demostrado características de ductilidad y absorción de energía, a su vez se ha investigado el aporte de adiciones de fibra a la resistencia a compresión y flexión, no obstante no se ha evaluado su aporte a la resistencia a fuerza cortante de elementos de concreto armado, es por ello que el objetivo principal de la presente investigación fue determinar la influencia de la incorporación de fibras de acero en la resistencia de vigas de concreto armado ante a un esfuerzo cortante, buscando el incremento de la resistencia y mejorar el comportamiento estructural de las vigas; para lo cual se elaboró de 6 pórticos de concreto armado, de los cuales 3 especímenes contaron con la incorporación de fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB con una dosificación del 2 % según los estándares de su ficha técnica. Posteriormente, para la adecuada ejecución de los ensayos al corte, se definió la ubicación de la carga para generar la falla por corte y cuantificar las deformaciones durante el ensayo y a su vez se determinó la resistencia al esfuerzo cortante de cada viga ensayada. Los ensayos se realizaron en la Máquina Universal de 100 toneladas del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca. Finalmente se concluyó que la incorporación de fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB, incrementa la resistencia al esfuerzo cortante en un 31.66%, obteniendo las resistencias promedio ante un esfuerzo cortante en vigas de concreto armado de 31.58kg/cm^2 en vigas simplemente reforzadas y 41.57kg/cm^2 en vigas reforzadas con fibras de acero.

PALABRAS CLAVE: Incorporación, Fibras de Acero, Vigas, Concreto Armado, Esfuerzo Cortante.

ABSTRACT

Civil engineering has constantly searched for ways to create and improve structural elements so that they are more resistant and durable, and can withstand the stresses of large buildings, as well as seismic events. According to Juarez et al., the failures presented by structural elements are of care given the danger they represent, the failure caused by shear is presented in a brittle form, i.e., there is no prior warning of collapse, so it should be avoided by using a material that gives ductile characteristics that are favorable in its structural behavior. The use of steel fiber, according to its technical data sheet, has demonstrated characteristics of ductility and energy absorption, in turn, the contribution of fiber additions to the compressive and flexural strength has been investigated, however, its contribution to the shear strength of reinforced concrete elements has not been evaluated, which is why the main objective of this research was to determine the influence of the incorporation of steel fibers on the strength of reinforced concrete beams under shear stress, seeking to increase the strength and improve the structural behavior of the beams; For this purpose, 6 reinforced concrete frames were elaborated, of which 3 specimens had the incorporation of Sika Fiber CHO 65/35 NB steel fibers with a dosage of 2 % according to the standards of its technical data sheet. Subsequently, for the proper execution of the shear tests, the location of the load was defined to generate the shear failure and quantify the deformations during the test, and at the same time the shear strength of each tested beam was determined. The tests were carried out in the 100-ton Universal Machine of the Materials Testing Laboratory of the Universidad Nacional de Cajamarca. Finally, it was concluded that the incorporation of Sika Fiber CHO 65/35 NB steel fibers increases the shear strength by 31.66%, obtaining average shear strengths in reinforced concrete beams of 31.58kg/cm² in simply reinforced beams and 41.57kg/cm² in beams reinforced with steel fibers.

KEY WORDS: Incorporation, Steel Fibers, Beams, Reinforced Concrete, Shear Force.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía del concreto lo han convertido en el material más utilizado en construcción (Anguiano & Pérez, 2013), por lo que es casi imposible dejarlo de lado en la elaboración de estructuras, que junto al acero complementan sus características de flexión, tracción y cortante.

En el comportamiento estructural de una edificación, las vigas de concreto armado, tienen una gran importancia, ya sea ante fuerzas de carga y sobrecarga, así como ante fuerzas sísmicas; dichas fuerzas pueden verse incluidas en los esfuerzos a flexión, torsión y cortante. La falla ocasionada por el cortante se presenta de forma frágil (Juárez et al., 2021), siendo este tipo de falla, la más peligrosa dada su naturaleza.

Una buena alternativa para reforzar una estructura es mediante el uso de fibras de acero, dado que, “la adición de fibras de acero en el hormigón mejora considerablemente la resistencia al corte y la resistencia a torsión”. (Mármol, 2010), se ha investigado el aporte de adiciones de fibra a la resistencia a compresión y flexión, obstante, los estudios referentes a esfuerzos cortantes son escasos, de ahí la necesidad de estudiar la fuerza cortante en vigas de concreto armado con adiciones de fibra de acero.

Teóricamente hablando existe una relación entre Momento flector y esfuerzo cortante, donde el esfuerzo cortante es numéricamente igual a la derivada del Momento flector: $dM(x)/x = V(x)$ (Lefevre & Villar, 2014), dado que el momento depende de la carga aplicada, la cual genera un esfuerzo a flexión, podemos decir que el cortante también depende de dicha fuerza, afirmando que, a mayor esfuerzo a flexión, mayor será el esfuerzo Cortante.

Por lo dicho anteriormente, en esta investigación se busca determinar cuál es la influencia de la incorporación de fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en el comportamiento estructural de vigas de concreto armado, específicamente en la resistencia al corte.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la incorporación de fibras de acero en la resistencia de vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante?

1.3. Hipótesis

La incorporación de fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en una dosificación del 2 % del volumen de concreto tiene una influencia positiva puesto que aumenta la resistencia al corte de vigas de concreto armado. en más del 15%

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la incorporación de fibras de acero en una dosificación del 2 % del volumen del concreto en la resistencia de vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las resistencias ante un esfuerzo cortante de los pórticos simplemente reforzados.
- Determinar las resistencias ante un esfuerzo cortante de los pórticos simplemente reforzados incorporando fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en 2%.
- Determinar las deformaciones ante un esfuerzo cortante de los pórticos simplemente reforzados.
- Determinar las deformaciones ante un esfuerzo cortante de los pórticos simplemente reforzados incorporando fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en 2%.
- Realizar la comparación de las deformaciones entre pórticos simplemente reforzados y pórticos simplemente reforzados incorporando fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en 2%.

1.5. Alcances y limitaciones de la investigación

La investigación se limitó a realizar el estudio de la resistencia al corte de vigas de concreto armado, comparando dicho comportamiento cuando las vigas se refuerzan con fibras de acero.

1.6. Justificación de la investigación

Aplicación de la fibra de acero como elemento de refuerzo estructural, con el fin de garantizar un comportamiento seguro de las estructuras frente a los esfuerzos que soportan, así como el incremento considerable de la resistencia a corte en vigas de concreto armado, además de

generar un comportamiento dúctil en elementos estructurales de las edificaciones durante eventos sísmicos, por lo que con los resultados de esta investigación en ingeniero estructurista pueda tener un criterio adecuado para la aplicación de fibras de acero en las vigas de concreto armado.

1.7. Organización del documento

La presente investigación está dividida en cinco capítulos y un apartado de anexos.

- En el primer capítulo se presenta una introducción general del tema, se exponen: el contexto y el problema (incluyendo la pregunta principal y la hipótesis), la justificación, los alcances y los objetivos planteados.
- En el segundo capítulo se expone las investigaciones que existen sobre el tema, la información teórica que ayuda al desarrollo práctico de la tesis y se define los términos básicos.
- En el tercer capítulo se especifica los materiales y métodos empleados para el desarrollo de la investigación.
- En el cuarto capítulo se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos en laboratorio tras los ensayos de las vigas de concreto armado simplemente reforzadas, así como las vigas de concreto armado reforzadas con fibras de acero.
- En esta sección se llevó una exposición de resultados de probetas de concreto simple que sirvieron para el diseño de mezclas usado en la elaboración de los pórticos de concreto armado.
- Los resultados de las vigas de concreto armado fueron reajustados por la edad del concreto dado que los ensayos se pudieron realizar exactamente a los 365 días de elaborados los testigos.
- El capítulo cuatro se enfoca a describir, explicar y discutir los resultados.
- En el quinto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó con la investigación.
- En el apartado de anexos se presenta los diseños realizados, las fotografías y planos con el diseño del pórtico usado.

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Internacionales:

- **Beltrán A. (2011)** en su investigación de pregrado: “*Uso de fibras de carbono como reforzamiento a la flexión en vigas de concreto reforzado*”, afirma que las fibras tienen baja resistencia ante un esfuerzo cortante, así como baja resistencia en dirección transversal; no obstante, cuentan con una excelente resistencia a la fluencia plástica. Así mismo, se debe tener en cuenta al momento de realizar el reforzamiento de una sección a flexión, ya que es necesario determinar si el elemento es capaz de resistir la fuerza cortante asociada al incremento de las solicitaciones a flexión, dado que la fibra sería solo útil ante un esfuerzo a flexión y no a un esfuerzo cortante. De lo contrario se requeriría disponer una fibra adicionalmente de manera transversal para realizar un reforzamiento al corte. Termina concluyendo que: “*Es importante continuar con estas pruebas en otros elementos estructurales en cuanto a cortante y confinamiento se refiere*”.
- **Lozano C. (2012)**, en su tesis “*Uso de concreto reforzado con fibras de acero en vigas Peraltadas*”, afirma que las propiedades más importantes de la fibra de acero son su resistencia, rigidez y la capacidad de adherencia al concreto, así mismo nos exhorta el uso de una dosificación de la fibra entre 0.5% y el 2% del volumen de la mezcla de concreto, para obtener un mejor comportamiento de la viga.
- **Juárez A. et al (2021)**, en su investigación, “*Comportamiento teórico-experimental de fibras de acero como reemplazo parcial del refuerzo a cortante en vigas de concreto reforzado*”, afirma que las fibras de acero como refuerzo adicional en conjunto con los estribos, incrementa de manera sustancial la resistencia última al cortante por tensión diagonal, así como el comportamiento dúctil de la viga fibrorreforzada.

2.1.2. Antecedentes Nacionales:

- **Cotrina G. (2016)**, en su tesis “*Uso de concreto reforzado con fibras de acero para mejorar la ductilidad en vigas rectangulares*”, concluye en que la incorporación de fibras en el concreto modifica su comportamiento tanto a nivel material como a nivel estructural, señala una reducción de fisuras y mayor resistencia a compresión, a su vez recomienda el uso de una dosificación de fibras de 1% a 2%.
- **Alegre G. (2017)**, en su tesis “*Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*”, concluye que la fibra de carbono logra un incremento en la resistencia de la viga, y al igual que el acero posee una rigidez muy parecida, a su vez el uso de la fibra de carbono provoca una reducción en la ductilidad de la sección de la viga, finalmente notó que la deformación de la fibra puede producir una pérdida de adherencia.
- **Ramos F. (2021)**, en su tesis “*Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero, que presentan aberturas horizontales transversales*”, afirma que el uso de fibras de acero a manera de refuerzo secundario con dosificaciones de 20 y 50 kg/m³ aumenta la resistencia de las vigas de concreto armado hasta en un 40%.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Vigas:

Las vigas son elementos estructurales que soportan esfuerzos de carga y sobre carga y se encargan de transmitir estas cargas hacia las columnas, las cuales están ubicadas generalmente en los ejes de la estructura y en conjunto dos columnas y una viga forman un pórtico. (Blasco,2002).

- **Vigas de concreto armado:**

Son elementos estructurales, diseñados para soportar cargas lineales, puntuales o uniformes, en una sola dirección. La viga soporta cargas a compresión, que es absorbida por el concreto, mientras que las fuerzas por flexión y corte es absorbida mayormente por el acero corrugado. (Arqhys Construcción, 2012).

2.2.2. Fibras de acero:

Las fibras de acero son elementos de corta longitud y pequeña sección que se adicionan al concreto a fin de transferirle propiedades específicas y características que son necesarias para distribuir aleatoriamente dentro de una mezcla de concreto en estado fresco. (Mármol, 2010)

Las dimensiones de las fibras de acero varían de 6mm a 150mm de longitud y espesores que varían de 0.005 a 0.75mm. (Harmsen, 2005, p. 16)

- **Uso de las fibras de acero:**

La fibra de acero se usa en cantidades mínimas de 1% a 2% en volumen. En algunos lugares se ha usado la fibra como refuerzo estructural, en conjunto con las varillas de acero principalmente. (Harmsen, 2005, p. 16)

La naturaleza y el tipo de fibra empleado para reforzamiento, determinaran la efectividad de su acción reforzante y la eficacia en la transmisión de tensiones. Las fibras metálicas, concretamente las fibras de acero, son las más usadas por ser eficaces y económicas. El acero es diez veces más elástico que el concreto; las fibras de acero tienen una buena adherencia a la pasta, son fáciles de mezclar y aportan una mejora en la resistencia del concreto. (Fernández, 1981).

- **Comportamiento de la fibra de acero ante esfuerzos cortantes:**

Las fibras de acero aumentan la resistencia al corte y a torsión, en el empleo de sistemas combinados de refuerzo (fibras y estribos), se obtiene un aumento en la ductilidad, así como aumentos en la resistencia al Corte poco significativos de 0% al 15% en concretos de alta resistencia. (Mármol, 2010).

El concreto soporta esfuerzos a tracción y los transmite por adherencia a las fibras, cuando se ha producido micro - fisura, las fibras controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad. (Mármol, 2010).

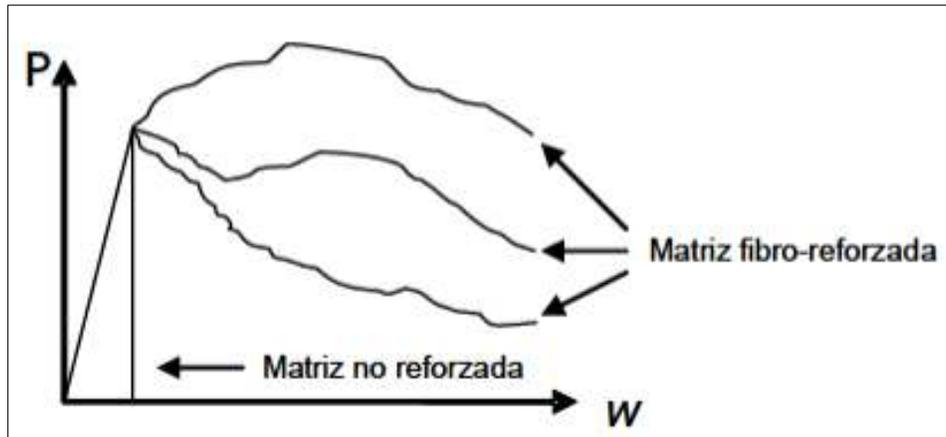


Figura 2.1. Curvas típicas carga – abertura de fisura, para matrices con y sin fibras. (Mármol, 2010)

2.2.3. Esfuerzo cortante en vigas de concreto armado:

Para una viga de concreto armado, se asumen cargas distribuidas y cargas puntuales. Supongamos ahora una viga simplemente apoyada bajo la acción de una carga repartida q [t/m], calculamos las reacciones de vínculo (Lefevre & Villar,2014):

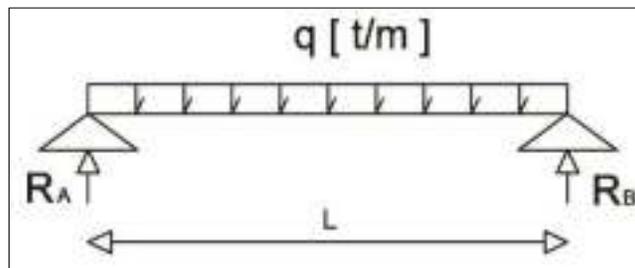


Figura 2.2. Viga simplemente apoyada con carga distribuida. (Mármol, 2010)

$$\sum M_A = 0 \text{ y } \sum M_B = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

Expresaremos los esfuerzos internos en función de la posición de una sección cualquiera a una distancia “X” del apoyo. (Lefevre & Villar,2014)

- **Esfuerzo normal:** al no haber ninguna fuerza con componente en la dirección del eje de la viga, el esfuerzo normal es cero. (Lefevre & Villar,2014)
- **Esfuerzo de corte:**

$$V_{(X)} = R_A - q * X \dots\dots\dots(2.2)$$

Vemos que el esfuerzo de corte varía linealmente con la posición de la sección, de esta manera su gráfica será una recta (Lefevre & Villar,2014):

$$\text{Si } X = 0, V_{(X)} = R_A$$

$$\text{Si } X = L, V_{(x)} = R_A - q * L = \frac{q*L}{2} - q * L = -\frac{q*L}{2} = -R_B \dots\dots\dots(2.3)$$

- **Momento flector:**

$$M_{(X)} = R_A * X - q * X * \frac{X}{2} = \frac{q*L}{2} * X - q * \frac{X^2}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Expresión de la que podemos concluir que el momento flector varía en función cuadrática con la distancia X, en la que se sitúa la sección considerada, por lo que el diagrama de momento flector resulta ser un arco de parábola que, en este caso por la simetría de cargas externas aplicadas, tendrá su ordenada máxima en $x = L/2$ para la cual resulta (Lefevre & Villar,2014):

$$M_{(L/2)} = \frac{q*L}{2} * \frac{L}{2} - q * \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2} = \frac{q*L^2}{8} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$M_{(0)} = 0 \text{ y } M_{(L)} = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

Podremos observar que en coincidencia con la ordenada máxima de momento flector el esfuerzo de corte cambia de signo. Para el trazado de la parábola se podrán usar cualquiera de los métodos desarrollados en Dibujo Técnico. (Lefevre & Villar,2014)

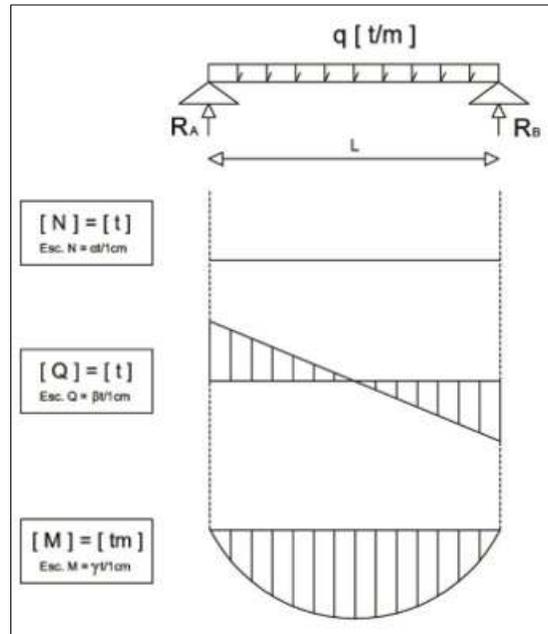


Figura 2.3. Diagrama de Momentos y Esfuerzo cortante para una carga distribuida. (Lefevre & Villar,2014)

Para una fuerza puntual tendremos el siguiente diagrama:

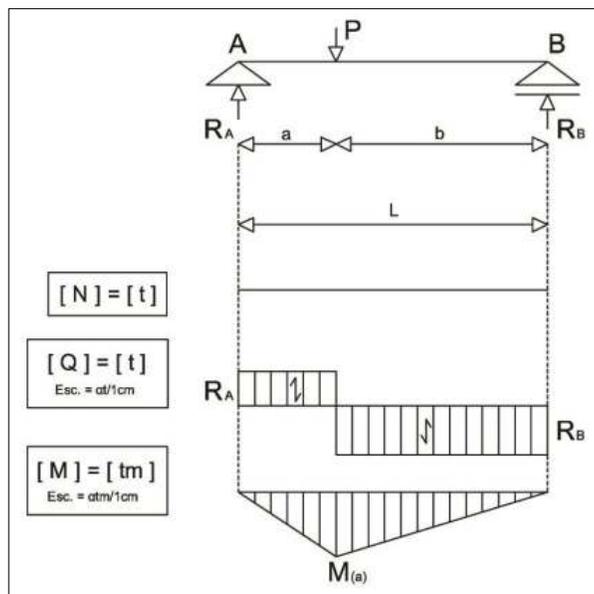


Figura 2.4. Diagrama de Momentos y Esfuerzo cortante para una carga puntual. (Lefevre & Villar,2014).

2.2.4. Tipos de falla por cortante en vigas de concreto armado:

La siguiente figura resume los diversos tipos de fisuración en los cuales interviene las fuerzas cortantes y la flexión de vigas de concreto armado:

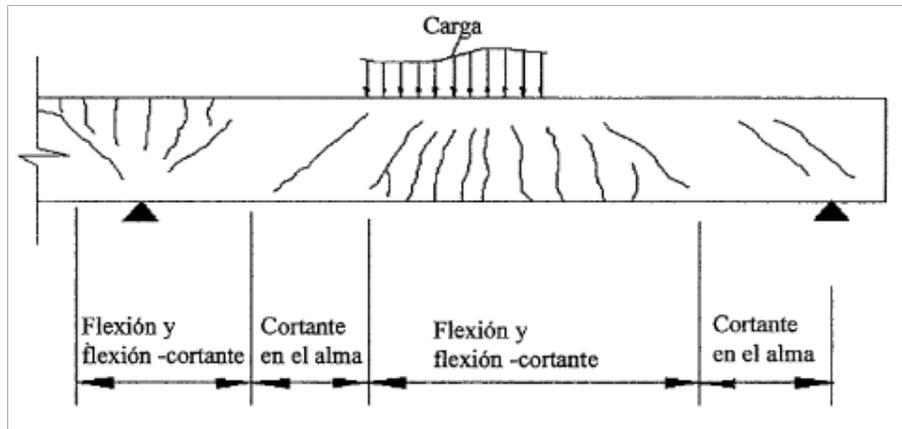


Figura 2.5. Tipos de agrietamiento en vigas de concreto armado (Ottazzi, 2015, p.323)

a. Falla por cortante en el alma o por tracción diagonal

Esta falla inicia cerca al eje neutro, donde los esfuerzos por flexión son mínimos. Se presentan cuando los esfuerzos de tracción diagonal sobrepasan la resistencia en tracción del concreto. Se suelen presentar cerca a los apoyos de la viga. En general se puede decir que este tipo de falla se asocia con las zonas donde la fuerza cortante es mayor y el momento flector es mínimo. (Ottazzi, 2015, p.323)

La fuerza cortante que produce en estos casos la fisuración diagonal, proviene de ensayos y viene dada aproximadamente por la siguiente ecuación:

$$V_n \approx 0.9 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (2.7)$$

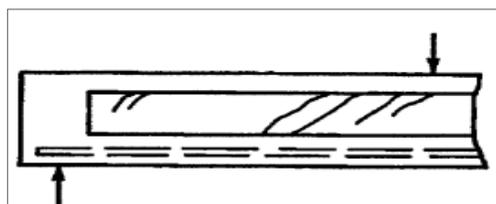


Figura 2.6. Fisuras de cortante en el alma en una viga doble T (Ottazzi, 2015, p.323)

b. Falla por flexión y cortante

Cuando se ensayan vigas que presentan momentos flectores importantes, en donde se realizó un refuerzo por flexión necesario, la fuerza cortante necesaria para la formación y propagación de las grietas ocasionadas por tracción diagonal viene dada por la siguiente ecuación. (Ottazzi, 2015, p.324)

$$V_n \approx 0.5 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (2.8)$$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Resistencia

Para la ingeniería la resistencia de un elemento se define como su capacidad para soportar esfuerzos sin que dicho elemento llegue a romperse, no obstante, va adquiriendo deformaciones temporales y otras permanentes. (Ottazzi, 2015).

2.3.2. Resistencia requerida

Se refiere a la resistencia que un elemento o sección transversal debe tener para cumplir con las cargas de momentos, fuerzas internas y combinaciones de cargas, según indique la Normativa Vigente (Norma peruana E.060 Concreto Armado y Norma ACI 318 19, 2009).

2.3.3. Resistencia de diseño

Hace referencia a la resistencia nominal multiplicada por el factor de resistencia “ ϕ ” correspondiente, dicho factor genera una brecha de seguridad en el comportamiento estructural, según lo estipula la Norma Vigente (Norma peruana E.060 Concreto Armado, 2009 y Norma ACI 318, 2019).

2.3.4. Rigidez

Es una propiedad presente en los materiales, la cual se define como la capacidad de oponerse a la deformación frente a esfuerzos externos, la Rigidez se cuantifica con el módulo de elasticidad o de Young (E). ante un mismo esfuerzo, “*el material con mayor E se deforma menos, obedeciendo la Ley de Hooke*” (Ottazzi, 2015).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.9)$$

2.3.5. Ductilidad

Es una propiedad fundamental en el comportamiento de estructuras de concreto armado frente a sismos. Esta propiedad recae mayormente en el acero de refuerzo, el cual permite alcanzar grandes deformaciones, mientras que el concreto presenta una ductilidad mínima convirtiéndolo en un material frágil y con poca resistencia a tracción. (Wendel y Keller, 2013).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la Universidad Nacional de Cajamarca – Facultad de Ingeniería, con coordenadas E 776616 m y N 9207008 m y una altitud aproximada de 2682 m.s.n.m.



Figura 3.1. Ubicación del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” – Edificio 1C de la UNC (Fuente Google Earth Pro)

3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó durante el periodo de enero del año 2020 a marzo del año 2021. Teniendo en cuenta que estuvo paralizada desde marzo del 2020 a inicios de marzo del 2021, según el decreto supremo N.º 044-2020-PCM, que declara estado de emergencia nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la nación a consecuencia del brote del COVID-19.

3.3.DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO

Las estructuras en estudio fueron las vigas de concreto armado elaboradas de sección transversal es de 0.15m x 0.20m y 1.00m de longitud, empotradas en columnas de sección transversal 25 cm x 25 cm que en conjunto forman pórticos.

La muestra estuvo compuesta por 6 vigas de concreto armado, de las cuales 3 vigas fueron simplemente reforzadas con acero estructural y los 3 restantes estuvieron reforzadas con fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en un valor del 2% del volumen de mezcla de concreto usado.

3.4.ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

▪ Etapa preliminar

Se revisó el marco normativo E 0.60, E 0.30 y ACI 318-19, para obtener la información necesaria sobre la elaboración de vigas de concreto armado, desde su diseño de mezcla, pasando por el diseño estructural hasta llegar a considerar el diseño por corte de las vigas.

▪ Etapa de laboratorio

Para el desarrollo de esta etapa se dividió en tres fases, la primera orientada al diseño de mezclas para un concreto con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², en esta fase se logró el reajuste de mezcla que nos proporcionó la resistencia requerida; la segunda fase orientada a la elaboración de pórticos de concreto armado, teniendo en cuenta que es necesario tener apoyos empotrados para un correcto análisis estructural de la viga sometida a esfuerzos cortantes; y en la última fase se ensayaron las vigas de concreto armado en la máquina de ensayo universal de 100 ton, de dichos ensayos se recolectó los datos en tiempo real que sirvieron para el análisis posterior.

▪ Etapa de gabinete

Se calculó y comparó los resultados obtenidos en laboratorio, tanto de las probetas cilíndricas de concreto, así como de cada una de las vigas y se determinó la influencia de la incorporación de fibras de acero en su resistencia al esfuerzo cortante.

3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Diseño de mezcla

a. Diseño de mezcla:

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, con el fin de obtener los datos necesarios para la elaboración del diseño de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Durante la elaboración de las probetas cilíndricas se obtuvo las características de la mezcla como el slump de 10.1cm y una consistencia plástica.



Figura 3.2. Verificación del Slump del diseño de mezcla.

Se realizó el diseño de mezcla para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$, el cual se reajustó en laboratorio con el fin de obtener, a los 7 días, una resistencia a la compresión del 80%.

b. Ensayos a compresión:

Se realizó los ensayos a compresión de las probetas cilíndricas con ayuda de la Máquina de Carga Axial en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Figura 3.3. Ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto a los 7 días.

Después de ensayar las probetas cilíndricas a los 7 días de su elaboración se obtuvieron los siguientes resultados, de los cuales se obtuvo un $f'c$ promedio:

Tabla N°3.1. Resistencia a compresión promedio de las probetas cilíndricas ensayadas.

diseño	resistencia (tn)	área (cm ²)	$f'c$ (kg/cm ²)	$f'c$ prom. (kg/cm ²)
a/c=0.70	30.05	170.46	176.29	168.17
	30.05	181.89	165.21	
	29.00	177.89	163.02	

El diseño a/c=0.70, con 168.17kg/cm², representa un 80,08% del $f'c=210$ kg/cm².

c. Reajuste del diseño de mezcla seleccionado:

Teniendo en cuenta las características de la mezcla se determinó el reajuste del diseño de mezcla teniendo como resultados lo siguiente:

Tabla N°3.2. Parámetros de diseño.

parámetro	medida
asentamiento	3" - 4"
cantidad de agua (lt/m³)	215.8
aire total (%)	2.5
relación a/c	0.69

Después del reajuste la relación agua cemento (a/c) varía de 0.70 a 0.69.

Tabla N°3.3. Materiales corregidos por humedad.

material	cantidad	und
cemento	310	kg
agua efectiva	173.73	lt
agregado fino	1148	kg
agregado grueso	643	kg
aire total	2.5	%

3.5.2. Predimensionamiento y estructuración de pórticos de concreto armado

Utilizando los criterios de la norma E 0.30 y E 0.60 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se logró el predimensionamiento de los elementos estructurales del pórtico tales como son viga, columnas y zapatas. El refuerzo longitudinal y transversal cumplen con los requerimientos establecidos en las normas ASTM 615.

a. Vigas:

Primero se realizó el predimensionamiento de la viga, obteniendo los siguientes datos con los que se hará el diseño estructural:

Tabla N°3.4. Predimensionamiento de la Viga de diseño.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LUZ ENTRE APOYOS	1	m
PERALTE MÍNIMO	0.10	m
PERALTE MÁXIMO	0.08	m
PERALTE DE VIGA ELEGIDO	0.2	m
BASE MÍNIMA	0.06	m
BASE MÁXIMA	0.1	m
BASE DE VIGA ELEGIDA	0.15	m

Recubrimiento de Concreto para el Refuerzo según la Norma E 0.60 será de 0.025m.

Tabla N°3.5. Datos necesarios para el diseño estructural de la Viga de diseño.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LONGITUD	1	m
PERALTE	0.2	m
BASE	0.15	m
RECUBRIMIENTO	0.015	m
f'c	210	kg/cm ²
fy	4200	kg/cm ²
CARGA DE DISEÑO (P)	5	Tn
PERALTE EFECTIVO	0.15	m
Mu Positivo	0.52	Tn · m
Mu Negativo	1.16	Tn · m
ø=	0.9	

Se realizó el diseño estructural para una carga de diseño de 5Tn, y una sección de viga de 0.15x0.20m, a fin de determinar la distribución de acero corrugado:

- Acero longitudinal:

Tabla N°3.6. Acero longitudinal de la Viga de diseño.

DESCRIPCIÓN	Diámetro	UND.
Acero Positivo	8	mm
Acero negativo	1/2	pulg

- Distribución de estribos:

$$1\emptyset 6mm@5cm + 2\emptyset 6mm@8cm + \text{Resto } @20cm$$

b. Columnas:

Dado que la función de la Columna fue de idealizar un empotramiento perfecto, siendo su luz de 0.7m y considerando una sobrecarga de 5tn, se asumió una sección de 0.25m x 0.25m y un refuerzo de acero convencional tal como se muestra a continuación:

- El Acero Longitudinal será de 1/2" y los Estribos de 3/8" distribuidos de la siguiente forma:

$$1\emptyset 3/8"@5cm, \text{Resto } \emptyset 3/8"@10cm$$

c. Zapatas:

Siendo que el pórtico no se apoya directamente en el suelo, la única función de las zapatas es darle estabilidad al pórtico por lo que se tiene:

- Dimensiones de b=0.65m y d=0.25m en X y de b=0.25m y d=0.25m en Y
- En Dirección X-X:

$$As_{min} = 0.0014 b d = 2.275cm^2$$

$$2\emptyset 1/2" @ 35cm$$

- En Dirección Y-Y:

$$As_{min} = 0.0014 b d = 0.875cm^2$$

$$- 1\emptyset 1/2" @ 12.5cm$$

Nota: El diseño del pórtico y los planos se encuentran en Anexos – Diseño de Pórtico y Anexos – Planos.

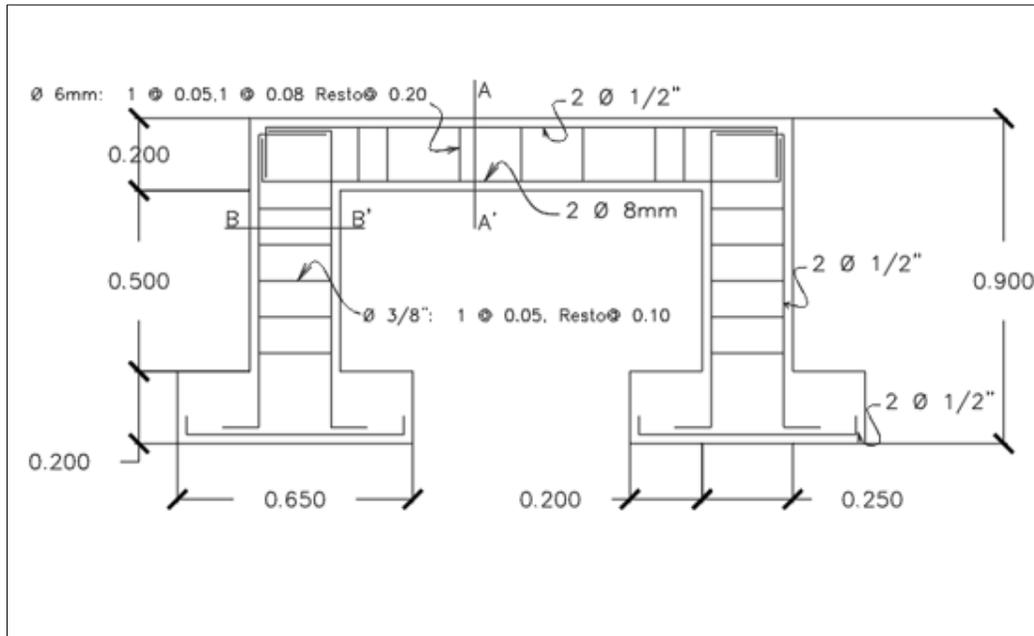


Figura 3.4. Plano de detalle del Pórtico de diseño.

3.5.3. Elaboración del encofrado para el pórtico de diseño.

Los encofrados de madera Tornillo tenían 1” de espesor y fueron realizados con ayuda de un maestro carpintero. El plano de encofrados se encuentra en Anexos – Planos.



Figura 3.5. Encofrado de madera tornillo para pórtico de concreto armado.

3.5.4. Selección de fibra de acero

Para la selección de la fibra se tomó en cuenta la calidad y recomendación por parte del Ingeniero Asesor. Optando por la fibra Sika Fiber CHO 65/35 NB, en una proporción del 2% del volumen del concreto, según la dosificación dada en ficha técnica.

La ficha técnica de la fibra Sika Fiber CHO 65/35 NB se encuentra en Anexos – Fichas Técnicas.

3.5.5. Curado de pórticos de concreto armado

Para conseguir un buen concreto con las propiedades deseadas, se optó por el uso de una capa del aditivo Sika Cem Curador, aplicada con ayuda de un Aspersor manual en todas las caras de los pórticos construidos.

La Ficha técnica del aditivo Sika Cem Curador se encuentra en Anexos – Fichas Técnicas.

3.5.6. Ensayo de los pórticos de concreto armado

Lo recomendado es ensayar los pórticos a los 28 días de elaboradas las probetas, dado que en este periodo el concreto llega a su resistencia de diseño. No obstante, por motivo de la pandemia Covid – 19, las actividades de todo el país se vieron afectadas, entre ellas nuestra casa Superior de Estudios Universidad Nacional de Cajamarca.

Con la autorización de las autoridades competentes se programó el ingreso al laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción de la Universidad Nacional de Cajamarca exactamente un año después de la creación de los especímenes de concreto armado. Por lo que se ensayó los pórticos a los 365 días de edad. Y se propuso ajustar los resultados obtenidos durante el ensayo, según el autor Harmsen en su libro “Diseño de estructuras de concreto armado”

3.5.7. Hipótesis de carga

Para lograr una falla por corte de las vigas ensayadas, se cuenta con la maquina universal de 100 toneladas, la carga transmitida por la maquina universal se realizó de forma puntual, ubicada a una distancia “l”, denominada hipótesis de carga.



Figura 3.6. Distancia “l”, donde se aplicó la carga puntual en la Viga de concreto armado.

La hipótesis de carga “l”, fue medida desde la cara de la columna, dicha distancia es igual al peralte efectivo de la viga:

- Peralte de la viga: 20cm
- Recubrimiento de la viga: 1.5cm
- Peralte efectivo de la viga: 17cm
- Hipótesis de carga (l): 17cm.

3.6.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CORTE DE LAS VIGAS FABRICADAS.

3.6.1. Ensayos de vigas de concreto armado:

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los pórticos simplemente reforzados, a través de tablas, donde se muestran los tonelajes usados y se calculan las deformaciones de las vigas, así como los gráficos de diagrama de esfuerzo versus deformación de las vigas ensayadas, que nos muestran el comportamiento de las Probetas:

- **PÓRTICO PS-1:**

Tabla N°3.7. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-1.

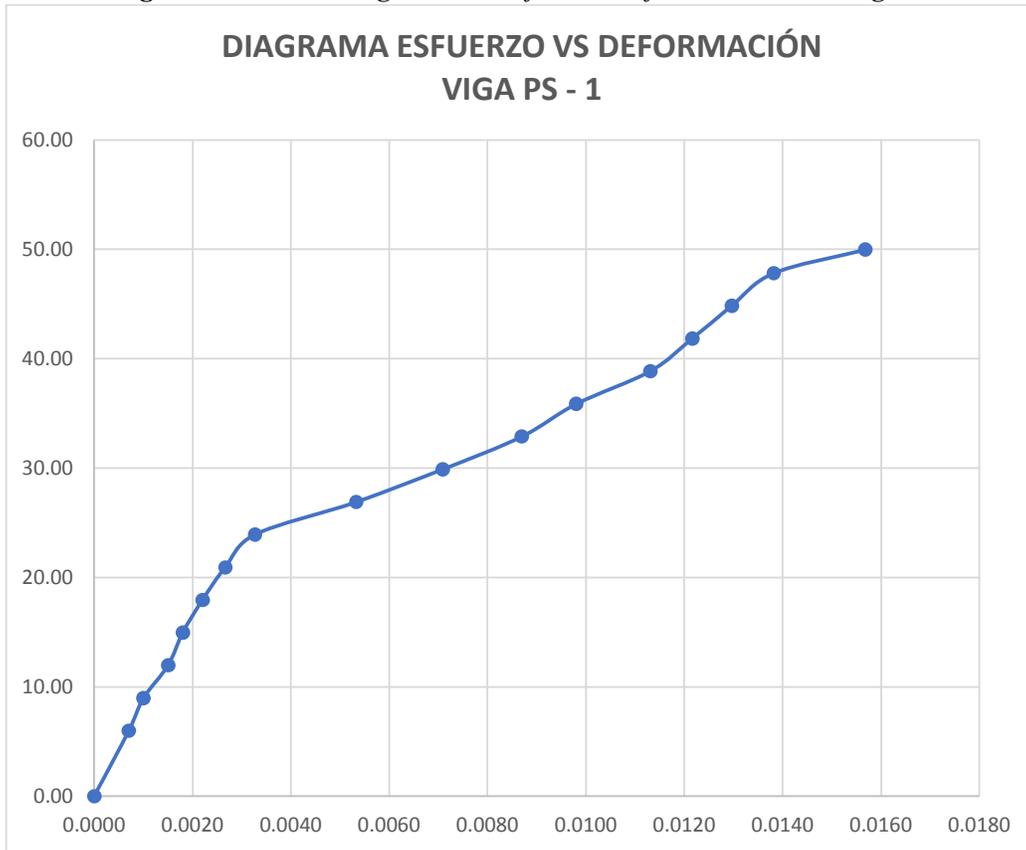
VIGA PS-1			
Radio (cm)	7.3	Área (cm²)	167.33
Altura (cm)	19.9	Desp. Lat.(mm)	4.02
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	2.99	0.0001
1	0	5.98	0.0005
1.5	0	8.96	0.0010
2	0.07	11.95	0.0015
2.5	0.25	14.94	0.0018
3	0.48	17.93	0.0022
3.5	0.53	20.92	0.0027
4	0.65	23.90	0.0033
4.5	1.06	26.89	0.0053
5	1.41	29.88	0.0071
5.5	1.73	32.87	0.0087
6	1.95	35.86	0.0098
6.5	2.25	38.85	0.0113
7	2.42	41.83	0.0122
7.5	2.58	44.82	0.0130
8	2.75	47.81	0.0138
8.36	3.12	49.96	0.0157
Carga R. (Ton)	11.3	Grieta Max(mm)	1.2

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas

por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

Figura 3.7. Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-1.



• **PÓRTICO PS-2:**

Tabla N°3.8. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-2.

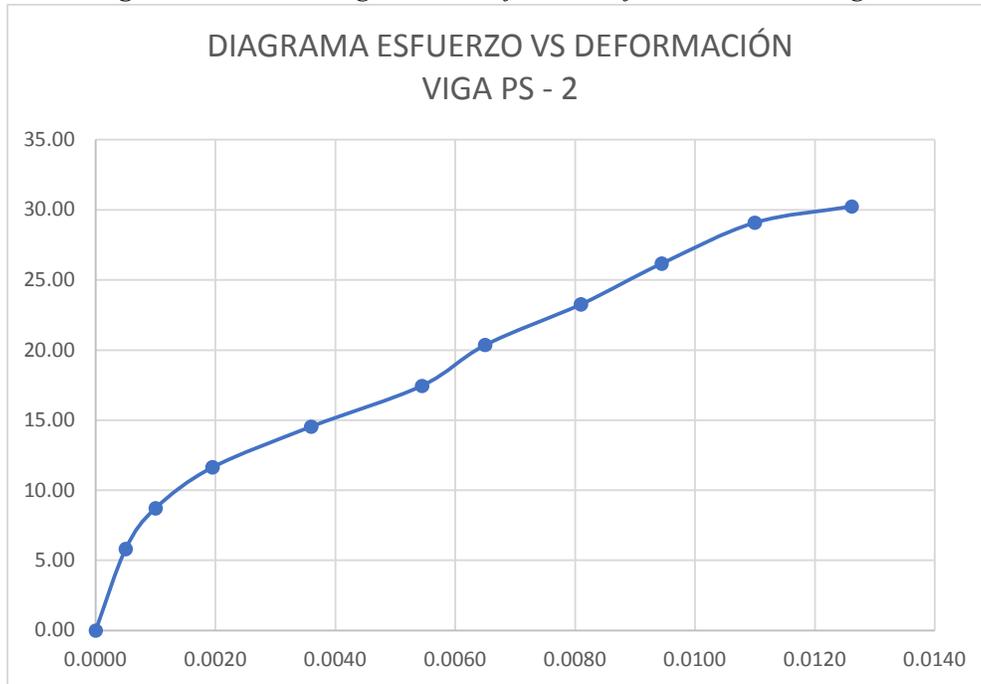
VIGA PS-2			
Radio (cm)	7.4	Área (cm²)	171.95
Altura (cm)	20.01	Desp. Lat.(mm)	4.5
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	2.91	0.0000

1	0.002	5.82	0.0005
1.5	0.009	8.72	0.0010
2	0.39	11.63	0.0019
2.5	0.72	14.54	0.0036
3	1.089	17.45	0.0054
3.5	1.3	20.36	0.0065
4	1.62	23.26	0.0081
4.5	1.89	26.17	0.0094
5	2.201	29.08	0.0110
5.2	2.525	30.24	0.0126
Carga R. (Ton)	11	Grieta Max(mm)	0.91

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

Figura 3.8. Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-2.



- **PÓRTICO PS-3**

Tabla N°3.9. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PS-3.

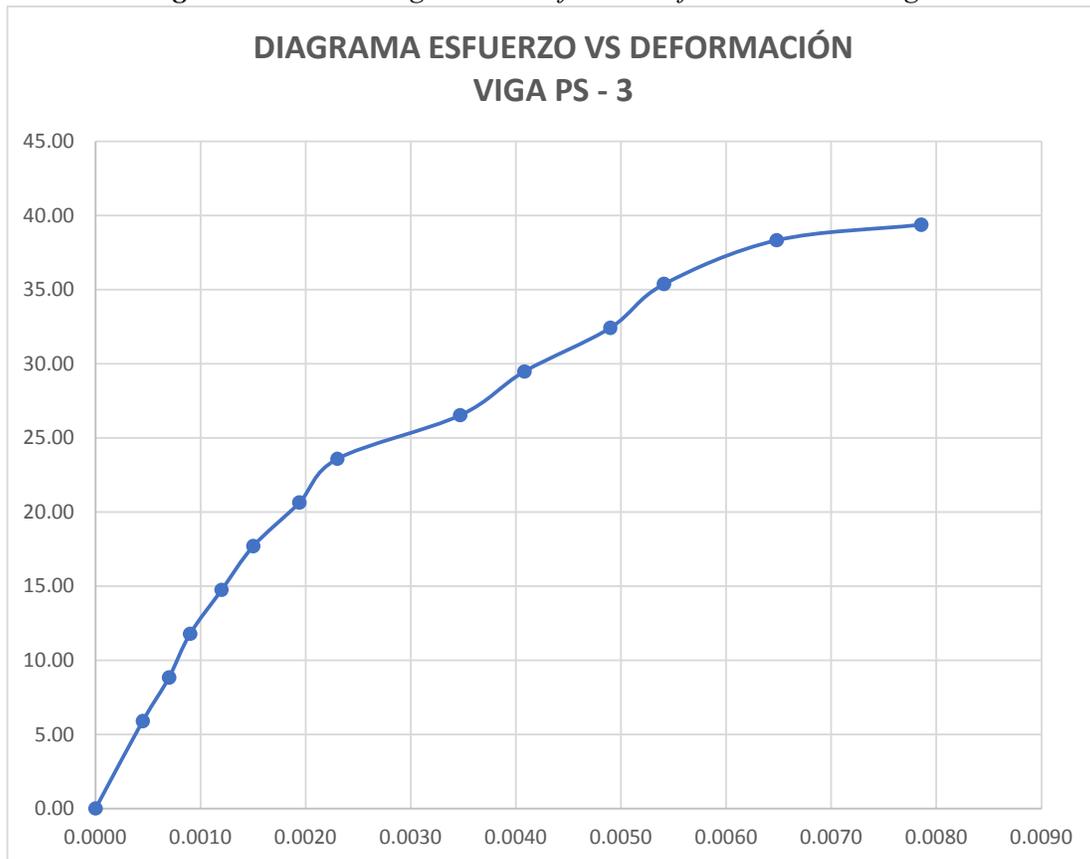
VIGA PS-3			
Radio (cm)	7.35	Área (cm²)	169.63
Altura (cm)	19.6	Desp. Lat.(mm)	2.05
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	2.95	0.0001
1	0	5.90	0.0004
1.5	0.01	8.84	0.0007
2	0.13	11.79	0.0009
2.5	0.29	14.74	0.0012
3	0.35	17.69	0.0015
3.5	0.38	20.63	0.0019
4	0.42	23.58	0.0023
4.5	0.68	26.53	0.0035
5	0.8	29.48	0.0041
5.5	0.96	32.42	0.0049

6	1.06	35.37	0.0054
6.5	1.27	38.32	0.0065
6.68	1.54	39.38	0.0079
Carga R. (Ton)	9.5	Grieta Max(mm)	0.72

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

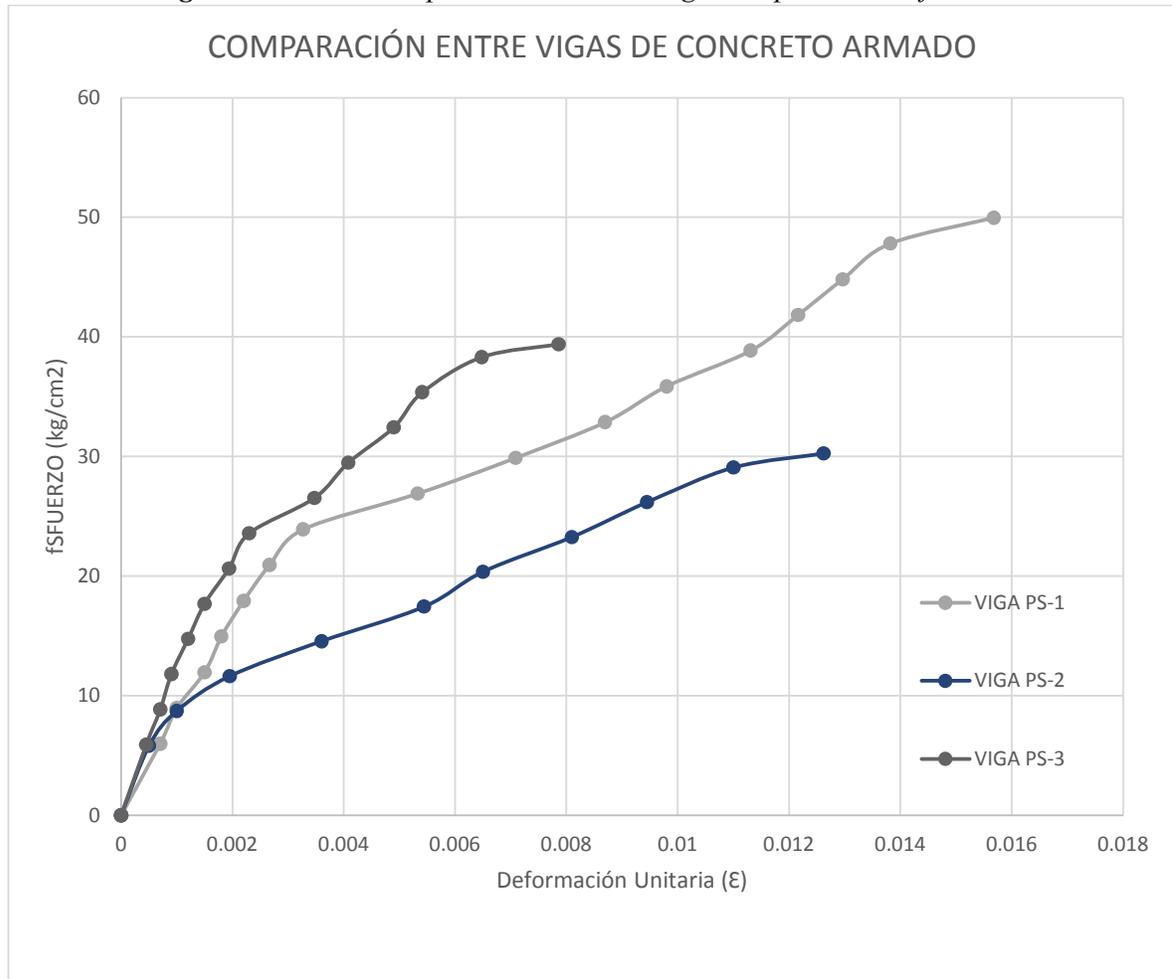
Figura 3.9. Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PS-3.



a. Comparación entre las gráficas:

En la siguiente gráfica se comparan los comportamientos de los testigos ensayados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, del ensayo al Corte de las Vigas de concreto armado:

Figura 3.10. Comparación entre las Vigas Simplemente Reforzadas.



3.6.2. Ensayos de vigas de concreto armado con adición de fibras de acero

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los pórticos reforzados con fibra de acero, así como los gráficos de diagrama de esfuerzo versus deformación de las vigas ensayadas:

- **PÓRTICO PF-1:**

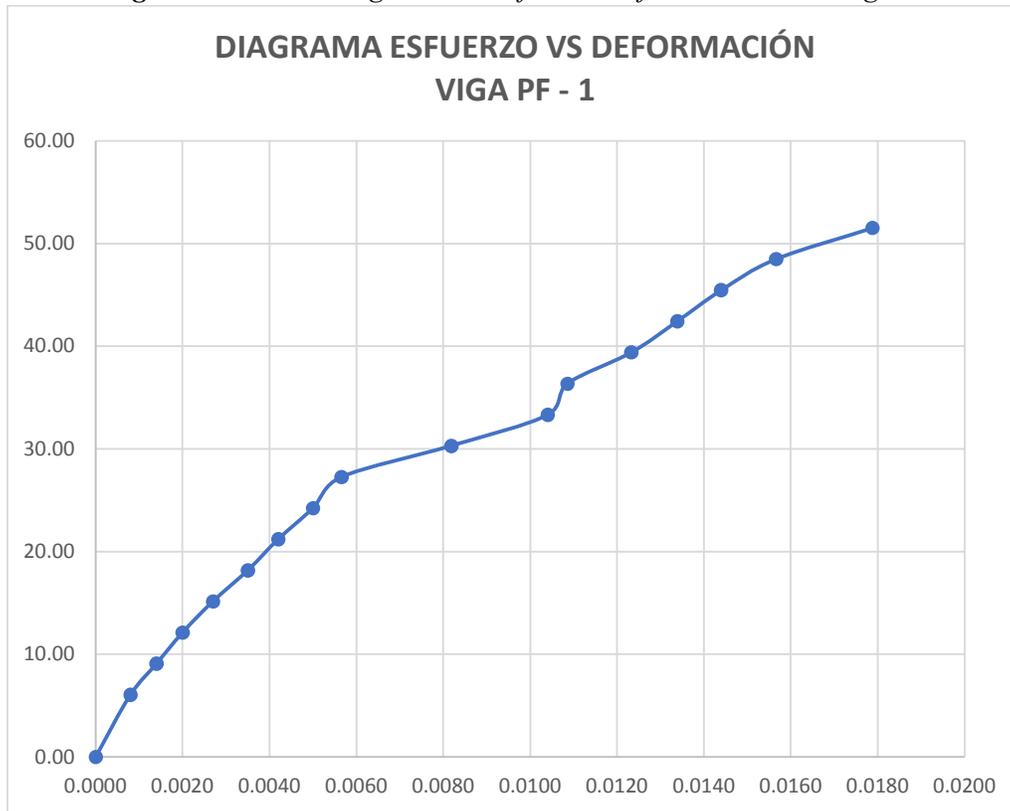
Tabla N°3.10.Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-1.

VIGA PF-1			
Radio (cm)	7.25	Área (cm²)	165.05
Altura (cm)	19.8	Desp. Lat.(mm)	4.05
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	3.03	0.0000
1	0.01	6.06	0.0005
1.5	0.04	9.09	0.0011
2	0.29	12.12	0.0020
2.5	0.47	15.15	0.0027
3	0.7	18.18	0.0035
3.5	0.89	21.21	0.0042
4	0.99	24.24	0.0050
4.5	1.12	27.27	0.0057
5	1.62	30.29	0.0082
5.5	2.06	33.32	0.0104
6	2.15	36.35	0.0109
6.5	2.44	39.38	0.0123
7	2.65	42.41	0.0134
7.5	2.85	45.44	0.0144
8	3.1	48.47	0.0157
8.5	3.54	51.50	0.0179
Carga R. (Ton)	10	Grieta Max(mm)	1.3

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

Figura 3.11. Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-1.



- **PÓRTICO PF-2:**

Tabla N°3.11. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-2.

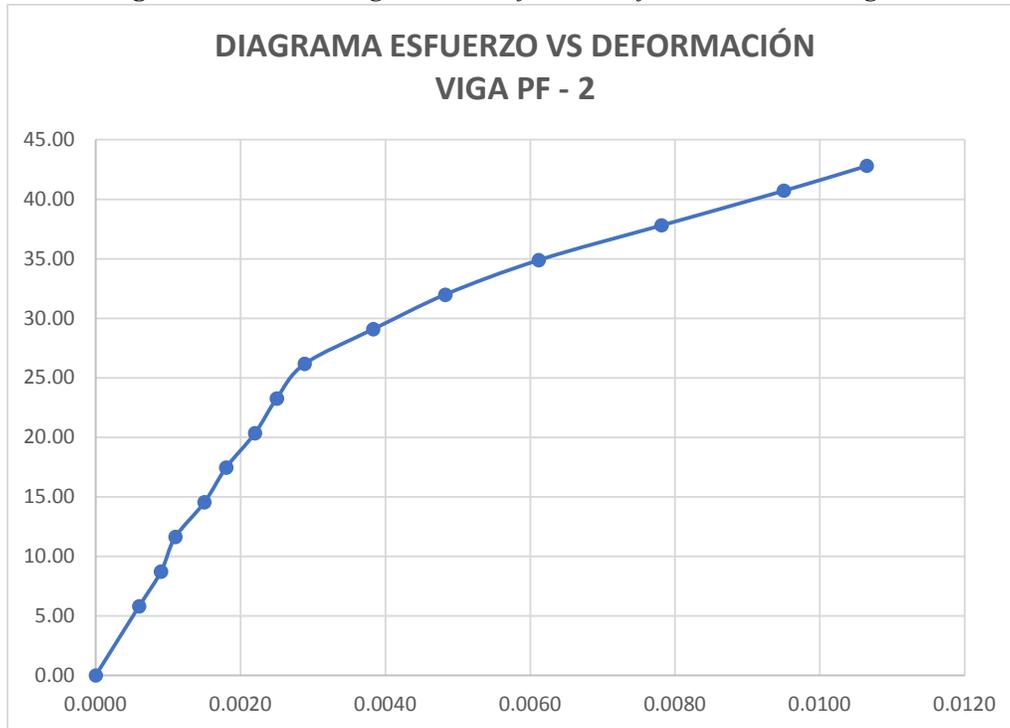
VIGA PF-2			
Radio (cm)	7.4	Área (cm²)	171.95
Altura (cm)	20.1	Desp. Lat.(mm)	3.57
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	2.91	0.0001
1	0	5.82	0.0005
1.5	0.001	8.72	0.0009
2	0.003	11.63	0.0011
2.5	0.005	14.54	0.0015

3	0.01	17.45	0.0018
3.5	0.1	20.36	0.0022
4	0.24	23.26	0.0025
4.5	0.58	26.17	0.0029
5	0.77	29.08	0.0038
5.5	0.97	31.99	0.0048
6	1.23	34.89	0.0061
6.5	1.57	37.80	0.0078
7	1.91	40.71	0.0095
7.36	2.14	42.80	0.0106
Carga R. (Ton)	9.5	Grieta Max(mm)	1.2

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

Figura 3.12. Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-2.



- **PÓRTICO PF-3:**

Tabla N°3.12. Resultados del ensayo de resistencia al esfuerzo cortante en la Viga PF-3.

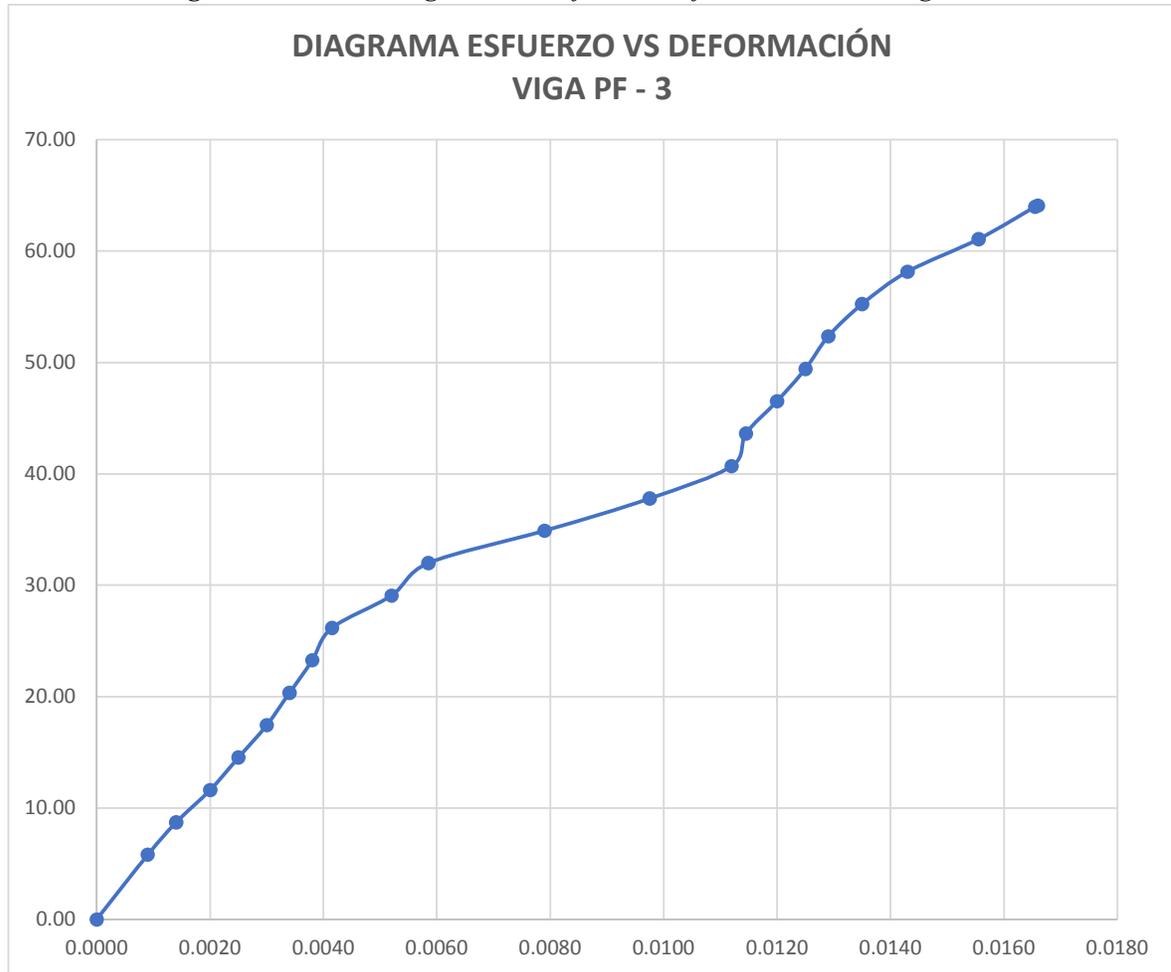
VIGA PF-3			
Radio (cm)	7.4	Area (cm²)	171.95
Altura (cm)	20	Desp. Lat.(mm)	2.19
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
Ton	mm	Kg/cm²	ε
0.5	0	2.91	0.0000
1	0.01	5.82	0.0007
1.5	0.03	8.72	0.0014
2	0.07	11.63	0.0020
2.5	0.21	14.54	0.0025
3	0.41	17.45	0.0030
3.5	0.59	20.36	0.0034
4	0.76	23.26	0.0038
4.5	0.83	26.17	0.0042

5	1.04	29.08	0.0052
5.5	1.17	31.99	0.0059
6	1.58	34.89	0.0079
6.5	1.95	37.80	0.0098
7	2.24	40.71	0.0112
7.5	2.29	43.62	0.0115
8	2.4	46.53	0.0120
8.5	2.5	49.43	0.0125
9	2.58	52.34	0.0129
9.5	2.7	55.25	0.0135
10	2.86	58.16	0.0143
10.5	3.11	61.07	0.0156
11	3.31	63.97	0.0166
11.02	3.32	64.09	0.0166
Carga R. (Ton)	12.7	Grieta Max(mm)	0.94

En la tabla se muestra inicialmente datos de la sección transversal de la viga ensayada, así como el desplazamiento lateral medido con ayuda de un nivel topográfico. La primera columna muestra los tonelajes añadidos progresivamente durante el ensayo, marcando resultados cada media tonelada aumentada, en la segunda columna se muestran las deformaciones marcadas por el deformímetro. Finalmente, en la parte inferior de la tabla se muestra la Carga de rotura y la Grieta máxima alcanzada en el ensayo.

De los datos anteriores se pudo calcular las dos últimas columnas que representan los esfuerzos y deformaciones unitarias, necesarios para la gráfica que se muestra a continuación.

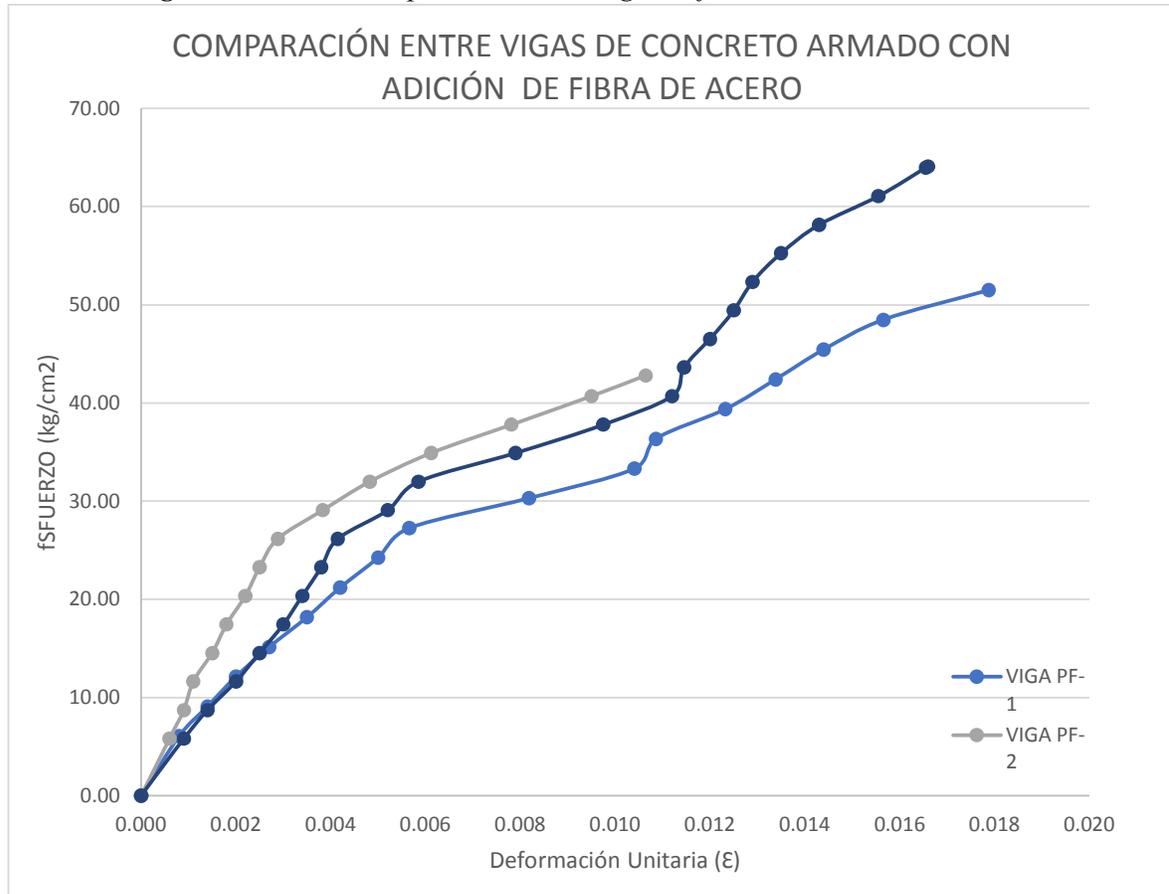
Figura 3.13. *Diagrama de Esfuerzo-Deformación de la Viga PF-3.*



a. Comparación entre las gráficas:

En el siguiente grafico se comparan los comportamientos de los testigos ensayados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, del ensayo al Corte de las Vigas Simplemente Reforzadas:

Figura 3.14. Comparación entre Vigas Reforzadas con Fibra de Acero.



3.6.3. Reajuste de resultados por edad del concreto

Los ensayos realizados a las probetas de concreto armado, se realizaron 365 días por lo que se optó por hacer un reajuste de los resultados obtenidos en laboratorio usando la tabla de relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días:

Tabla N°3.13. Relación entre Resistencia del concreto de diferentes edades y la resistencia a los 28 días.

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
f'c(t)/f'c28	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

Fuente: Tabla N°2.3. Relación entre la resistencia del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días. (E. Harmsen, 2002)

Con el factor “1.27”, obtenido de la tabla anterior, se hace el reajuste de esfuerzos de las gráficas seleccionadas obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N°3.14. Corrección de la resistencia de las vigas de Concreto armado por edad del Concreto.

Vigas		Deformación (mm)	E. Cortante (kg/cm ²)	E. Cortante Corregido (kg/cm ²)
V. Concreto Armado	PS-1	3.12	49.96	39.34
	PS-2	2.53	30.24	23.81
	PS-3	1.54	39.38	31.01
V. Con Adición de Fibra	PF-1	3.54	51.50	40.55
	PF-2	2.14	42.80	33.70
	PF-3	3.32	64.09	50.46

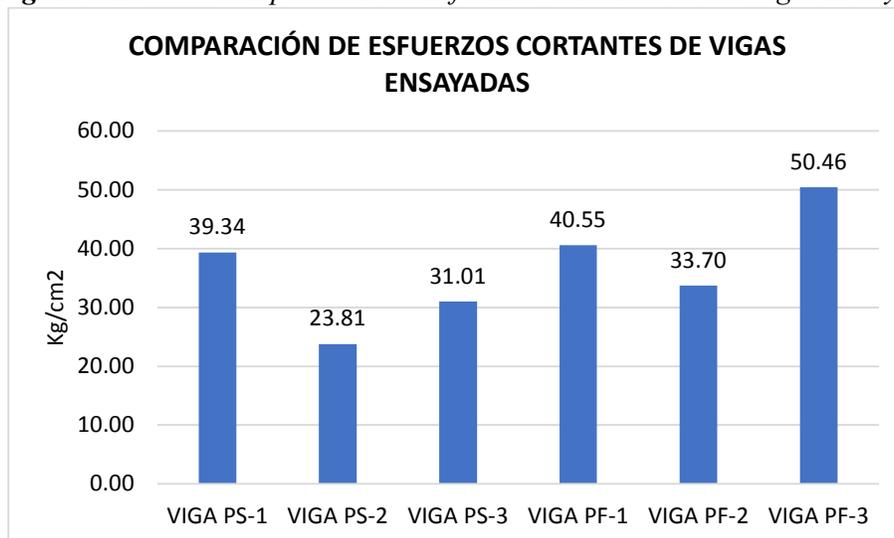
En la tabla anterior se muestra la variación de las resistencias a Corte de las Vigas de Concreto armado PS y PF, al realizar el ajuste por edad del concreto utilizando el factor 1.27, que representa a un año de antigüedad de las probetas.

3.7. COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE VIGAS ENSAYADAS AL CORTE:

- **Comparación de esfuerzos cortantes de vigas ensayadas:**

Se realizó un comparativo general de esfuerzos máximos entre las Vigas de concreto Armado y las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero:

Figura 3.15. Comparación de Esfuerzos Cortantes de las Vigas Ensayadas.

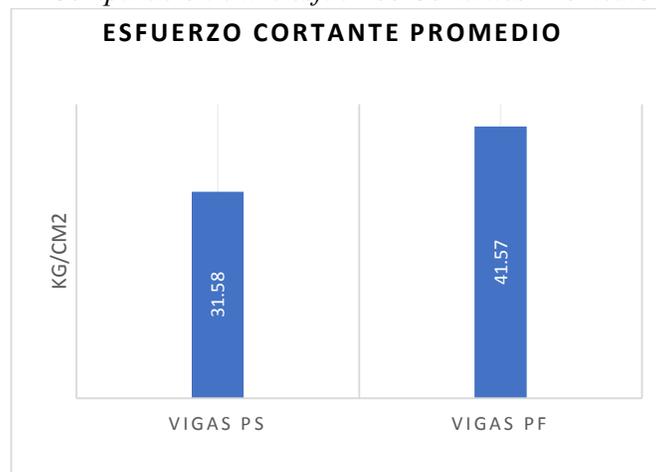


Se observa una mayor resistencia en las Vigas de concreto armado con adición de fibra de acero siendo el resultado mayor de la “Viga PF-3” con 50.46 kg/cm² y el resultado menor de la Viga de concreto armado “Viga PS-2” con 23.81 kg/cm².

- **Comparación de esfuerzos cortantes promedio:**

Se muestra la comparación de los esfuerzos promedio entre las Vigas de concreto armado y las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero:

Figura 3.16. Comparación entre esfuerzos Cortantes Promedio Vigas PS-Vigas PF.

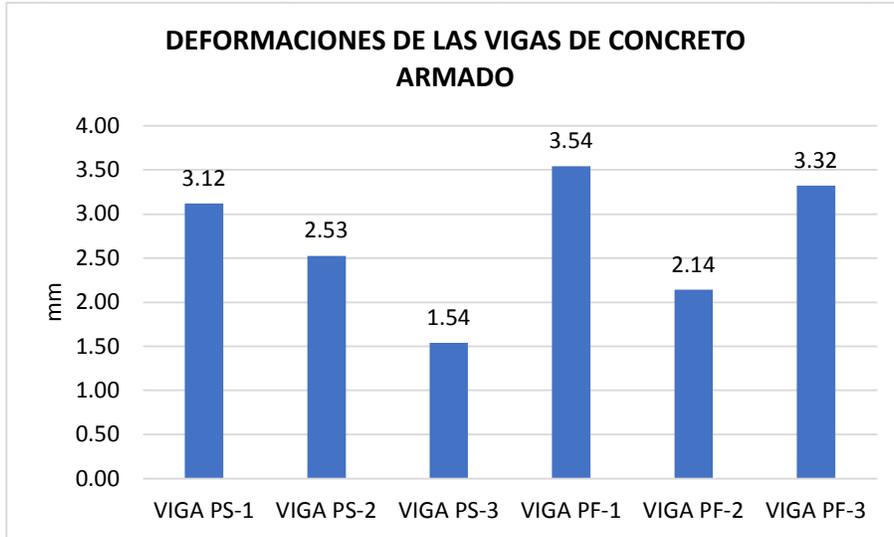


Claramente se puede ver el dominio de las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero (41.57 kg/cm²), con respecto a las Vigas de concreto armado (31.58 kg/cm²). Afirmando que se obtuvo un incremento en la resistencia al corte de las vigas de concreto armado de un 31.66%, cuando se añade la Fibra de acero.

- **Comparación de deformaciones de las vigas de concreto armado ensayadas:**

Se realizó un comparativo general de deformaciones de todas las Vigas Simplemente Reforzadas como las Vigas Reforzadas con Fibras de Acero:

Figura 3.17. Comparación entre Deformaciones de las Vigas Ensayadas.



Se observa una mayor deformación en las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero siendo el resultado mayor de la “Viga PF-1” con 3.54mm y el resultado menor de la Vigas de concreto armado “Viga PS-3” con 1.54mm.

- **Comparación de Deformaciones Promedio:**

Se muestra la comparación de las deformaciones promedio entre las Vigas de concreto armado y las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero:

Figura 3.18. Comparación entre Deformaciones Promedio Vigas PS-Vigas PF.



Se obtuvo una deformación de 3mm en las Vigas de concreto armado con adición de fibras de acero y una deformación de 2.4mm en las Vigas de concreto armado. Afirmando que se obtuvo una mayor deformación en las Vigas de concreto armado de un 25.26%, cuando se añade la Fibra de acero.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Diseño de Mezcla

- 4.1. De la Tabla N°3.1. se identificó la resistencia promedio de las probetas cilíndricas, obteniendo como resultado una resistencia a la compresión de 168.17kg/cm², que representa un 80,08% del $f'_c=210\text{kg/cm}^2$.
- 4.2. De los datos obtenidos en laboratorio tras la fabricación y ensayo de las probetas cilíndricas se realizó un reajuste de la mezcla para obtener el resultado esperado, lo que ocasionó que la relación A/C=0.70 varíe a una relación A/C=0.69, con la cual se tuvo los parámetros de diseño en la Tabla N°3.2. y las cantidades de los materiales por tanda en la Tabla N°3.3.

Elaboración de Pórticos

- 4.3. Utilizando los criterios de las normas E 0.30 y E 0.60, se logró el predimensionamiento de la viga, tal como se muestra en la Tabla N°3.4., donde se tiene una sección de viga de 0.15m x 0.20m.
- 4.4. En la Tabla N°3.5. se plantean los datos necesarios para realizar el diseño estructural, el cual fue realizado siguiendo la normativa ASTM 615. Obteniendo los resultados en la Tabla N°3.6., para el acero longitudinal, con varillas de 8mm y ½” y estribos de 6mm.
- 4.5. La sección de columna fue de 0.25m x 0.25m, para simular un empotramiento perfecto, siguiendo las normativas E 0.30 y E 0.60. A su vez contó con un refuerzo de ½” y estribos de 3/8” siguiendo la normativa ASTM 615.
- 4.6. La zapata asumió dimensiones de 0.65m x 0.25m x 0.25m, con el fin de dar estabilidad al pórtico. Contó con refuerzo metálico longitudinal de ½” y un refuerzo transversal de ½”.
- 4.7. Según la ficha técnica dada por el productor Sika, para la fibra Sika Fiber CHO 65/35 NB, se estandariza la dosificación variando de 1% a 2%, se optó por la dosificación máxima, buscando obtener un mejor resultado.
- 4.8. La ubicación de la hipótesis de carga “1” como se muestra en la Figura 3.6., estuvo dada por el peralte efectivo de la viga, tomando el valor de 0.17m.

Análisis de Ensayos al Corte de Vigas de Concreto Armado

- 4.9.** En la Tabla N°3.7. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PS-1, la cual alcanzó una carga de rotura de 11.3Ton y una grieta máxima de 1.2mm. En la Figura 3.7. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PS-1 durante el ensayo al corte. La primera etapa muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, la gráfica nos muestra la deformación del acero, el cual en determinado momento llega a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.
- 4.10.** En la Tabla N°3.8. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PS-2, la cual alcanzó una carga de rotura de 11Ton y una grieta máxima de 0.91mm. En la Figura 3.8. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PS-2 durante el ensayo al corte. La primera etapa muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, la gráfica nos muestra la deformación del acero, el cual, tiene un momento de endurecimiento y en determinado punto llega a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.
- 4.11.** En la Tabla N°3.9. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PS-3, la cual alcanzó una carga de rotura de 9.5Ton y una grieta máxima de 0.72mm. En la Figura 3.9. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PS-3 durante el ensayo al corte. La primera etapa muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, la gráfica nos muestra la deformación del acero, el cual tiene una etapa de endurecimiento y cristalización, para luego llega a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.
- 4.12.** Tal como se muestra en la Figura 3.10. Se realizó la comparación de las gráficas Esfuerzo vs Deformación unitaria de las vigas PS-1, PS-2 y PS-3, para mostrar la similitud en el tipo de gráfica observado, así como las diferencias de comportamiento tras someterlas a los mismos esfuerzos.
- 4.13.** En la Tabla N°3.10. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PF-1, la cual alcanzó una carga de rotura de 10Ton y una grieta máxima de 1.3mm. En la Figura 3.11. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PF-1 durante el ensayo al corte. La primera etapa

muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, en la segunda etapa el concreto transmite esfuerzos a la matriz fibrorreforzada, en donde la fibra resiste los esfuerzos de sobrecarga, finalmente el Acero es el que soporta los esfuerzos finales hasta llegar a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.

4.14. En la Tabla N°3.11. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PF-2, la cual alcanzó una carga de rotura de 9.5Ton y una grieta máxima de 1.2mm. En la Figura 3.12. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PF-2 durante el ensayo al corte. La primera etapa muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, en la segunda etapa el concreto transmite esfuerzos a la matriz fibrorreforzada, en este ensayo se pudo observar que la fibra y el acero actúan conjuntamente soportando los esfuerzos finales hasta llegar a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.

4.15. En la Tabla N°3.12. Se muestra los resultados del ensayo al corte de la viga PF-3, la cual alcanzó una carga de rotura de 12.7Ton y una grieta máxima de 0.94mm. En la Figura 3.13. se muestra el diagrama de Esfuerzo VS Deformación unitaria, lo que nos permite ver el comportamiento de la viga PF-3 durante el ensayo al corte. La primera etapa muestra un aumento progresivo lineal, que representa al concreto que soporta los esfuerzos iniciales, al obtener las primeras micro fisuras, en la segunda etapa el concreto transmite esfuerzos a la matriz fibrorreforzada, en donde la fibra resiste los esfuerzos de sobrecarga, finalmente el Acero es el que soporta los esfuerzos finales hasta llegar a su punto de fluencia lo que provoca el final del ensayo.

4.16. Tal como se muestra en la Figura 3.14. Se realizó la comparación de las gráficas Esfuerzo vs Deformación Unitaria de las vigas PF-1, PF-2 y PF-3, para mostrar la similitud en el tipo de gráfica observado, comprobando que existe un comportamiento similar de las 3 vigas durante el ensayo al corte.

4.17. Se optó realizar el reajuste por edad del concreto, de los resultados obtenidos en los ítems anteriores, según el Autor E. Harmsen, dado que el concreto tras alcanzar la resistencia de diseño a los 28 días, continúa adquiriendo mayor resistencia de forma mínima, lo cual se muestra resumido en la Tabla N°3.13, de la cual se seleccionó el factor $f_c(t)/f_{c28} = 1.27$. En la Tabla N°3.14, se muestran los resultados corregidos para las vigas PS-1, PS-2, PS-3, PF-1, PF-2 Y PF-3, respectivamente.

- 4.18.** En la Figura 3.15. Se muestra la comparación de esfuerzos cortantes entre las vigas PS y vigas PF, donde se observa una mayor resistencia en las vigas de concreto armado con adición de fibra de acero siendo el resultado mayor de la “Viga PF-3” con 50.46 kg/cm² y el resultado menor de la viga de concreto armado “Viga PS-2” con 23.81 kg/cm².
- 4.19.** En la Figura 3.16. se realiza la comparación de esfuerzos cortantes promedio entre las vigas PS y PF, donde claramente se puede ver el dominio de las vigas de concreto armado con adición de fibras de acero (41.57 kg/cm²), con respecto a las vigas de concreto armado (31.58 kg/cm²). Afirmando que se obtuvo un incremento en la resistencia al corte de las vigas de concreto armado de un 31.66%, cuando se añade la fibra de acero.
- 4.20.** En la Figura 3.17. se presentó las deformaciones de las vigas PS y PF, donde se observa una mayor deformación en las vigas de concreto armado con adición de fibras de acero siendo el resultado mayor de la “Viga PF-1” con 3.54mm y el resultado menor de las vigas de concreto armado “Viga PS-3” con 1.54mm. Esto demuestra a que pese al fisuramiento del concreto las fibras aportan un comportamiento dúctil a la viga, provocando que se deforme progresivamente y retrasando la falla frágil.
- 4.21.** En la Figura 3.18. Se realiza la comparación de deformaciones promedio entre las vigas PS y PF, donde se obtuvo una deformación de 3mm en las vigas de concreto armado con adición de fibras de acero y una deformación de 2.4mm en las vigas de concreto armado. Afirmando que se obtuvo una mayor deformación en las vigas de concreto armado de un 25.26%, cuando se añade la fibra de acero.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La resistencia en vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante aumenta en 9.99 kg/cm², representando un 31.66%, al incorporar fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en una dosificación del 2 % del volumen de concreto.
- Las resistencias en las vigas de concreto armado simplemente reforzadas para PS-1, PS-2 y PS-3 son: 39.34kg/cm², 23.81kg/cm² y 31.01kg/cm² respectivamente.
- Las resistencias en las vigas de concreto armado simplemente reforzadas incorporando fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en 2% para PF-1, PF-2 y PF-3 son: 40.55kg/cm², 33.7kg/cm² y 50.46kg/cm² respectivamente.
- Las deformaciones de las vigas de concreto armado simplemente reforzadas para PS-1, PS-2 y PS-3 son: 3.12mm, 2.53mm y 1.45mm respectivamente.
- Las deformaciones de las vigas de concreto armado simplemente reforzadas incorporando fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB en 2% para pf-1, pf-2 y pf-3 son 3.54mm, 2.14mm, 3.32mm respectivamente.
- La deformación promedio de las vigas de concreto armado simplemente reforzadas es de 2.4mm, mientras que las vigas de concreto armado con incorporación de fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB es de 3mm, incrementando la capacidad de deformación en la viga hasta en 25.26%, asegurando un comportamiento dúctil.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el comparativo de costos entre la elaboración de un pórtico simplemente reforzado y un pórtico reforzado con fibras de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB, debido a la incorporación de un nuevo material en la construcción de elementos estructurales.
- Se recomienda a los tesisistas realizar una variación de dosificaciones de fibra de acero, para determinar una brecha de y funcionabilidad según la dosificación de la fibra en vigas de concreto armado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (2019). *Fierro Corrugado*. URL:
https://www.acerosarequipa.com/sites/default/files/fichas/2020-07/HOJA%20TECNICA_FIERRO%20CORRUGADO-A706.pdf?fv=CRFIGIr2
- Alegre Gago, G. (2017). *Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*. [Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- American Concrete Institute. (2015). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. (2ª Edición). ACI 318S-14
- Anguiano Gómez, J. R., & Pérez Fletes, M. O. (2013). *La importancia del concreto como material de construcción*. Instituto Tecnológico de Titepec, Titepec, México. URL:
https://www.academia.edu/7037474/La_importancia_del_concreto_como_material_de_construccion
- Arqhys Construcción. (2012). *Vigas de concreto*. URL:
<https://www.arqhys.com/construccion/vigas-de-concreto.html>
- Beltrán Riveros, A. A. (2011). *Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado*. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil]. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- Blanco Blasco, A. (2002). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. (3ª Edición). Lima: Princeliness E.I.R.L.
- Cotrina Garay, N. L. (2016). *Uso de concreto reforzado con fibras de acero para mejorar la ductilidad en vigas rectangulares*. [Tesis para optar por Título Profesional]. Universidad Nacional “Hermilio Valdizán” Huánuco, Huánuco, Perú.
- Fernández Canovas, M. (1981). *Las Resinas Epoxi en la Construcción*. (2ª Edición). Madrid, España.
- Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado (4ta edición)*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. URL:
www.pucp.edu.pe/publicaciones/fondo_ed/

- Juárez-Alvarado, C. A., Mendoza-Rangel, J. M., Terán-Torres, B. T., Valdez-Tamez, P. L., Castruita-Velázquez, G. (2021), *Comportamiento teórico-experimental de fibras de acero como reemplazo parcial del refuerzo a cortante en vigas de concreto reforzado* (11(3), pp. 31 –49), Revista ALCONPAT DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i3.548>
- Lefevre, R y Villar, D. (2014). *Resistencia de Materiales – Teoría*. Universidad Nacional de Rosario. URL: <http://hdl.handle.net/2133/2977>
- Lozano García, C. A. (2012). *Uso De Concreto Reforzado Con Fibras De Acero En Vigas Peraltadas*. [Tesis para optar por el grado de Especialista en Estructuras]. Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Mármol Salazar, P. C. (2010). *Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas*. [Tesis para optar por el grado de Máster en Ingeniería de estructuras, cimentaciones y materiales]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Ministerio Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones. (E.060 Concreto Armado)*.
- Ministerio Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones. (E.030 “Diseño Sismorresistente”)*.
- Ottazzi, G. (2015). *Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado*. [Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ramos Flores, J. J. (2021). *Estudio del comportamiento de vigas de concreto reforzadas y con refuerzo secundario adicional de fibras de acero, que presentan aberturas horizontales transversales*. [Tesis para optar por Título Profesional]. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Sika. (2019). *Hoja De Datos Del Producto SikaCem® Curador*. URL: https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/1/sikacem_curador.pdf
- Sika. (2019). *Hoja De Datos Del Producto SikaFiber® CHO 65/35 NB*. URL: https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/b/sikafiber_cho_6535nb.pdf
- Wendel, S., & Keller, T. (2013). *Ductility of Civil Engineering Structures Incorporating Fibre Reinforced Polymers (FRPs)*. Oxford: Elsevier.

ANEXOS

▪ DISEÑO DE PÓRTICO

a) PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

• VIGAS:

Para realizar el predimensionamiento de la Viga según Blanco Blasco:

$$h = \frac{L}{10 \text{ o } 12} \quad b = 0.30h \text{ o } 0.50h$$

- Se tiene como Luz libre L=1m.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LUZ ENTRE APOYOS	1	m
PERALTE MÍNIMO	0.10	m
PERALTE MÁXIMO	0.08	m
PERALTE DE VIGA ELEGIDO	0.2	m
BASE MÍNIMA	0.06	m
BASE MÁXIMA	0.1	m
BASE DE VIGA ELEGIDA	0.15	m

- Se seleccionó “h” y “b” por la trabajabilidad del acero.
- Recubrimiento de Concreto para el Refuerzo según la Norma E 0.60 será de 0.025m

• COLUMNAS:

Para realizar el predimensionamiento de las columnas según el Ing. Roberto Morales:

$$b * D = \frac{k * P}{n * f'_c}$$

Donde:

- P es Wu, obtenido del metrado de cargas:

$$W_u = 1.4W_D + 1.7W_L$$

$W_D = \text{Peso de la viga} + \text{Peso de la Columna} = 250\text{kg/m}$

$W_L = \text{Sobrecarga} = 5000\text{kg/m}$, se asume como carga de diseño.

$$W_u = 8850\text{kg/m}$$

- Asumimos los valores de $k=1.5$ u $n=0.2$

$$b * D = \frac{1.5 * 8850}{0.5 * 210} = 316\text{cm}^2$$

- Según la norma ACI el área mínima de la columna debe ser 600cm^2 , para poder lograr una representación de Empotramiento, se recomienda que las columnas cuenten con una rigidez 1.2 veces respecto a la viga, por lo que se asume una sección de columna de $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$.

b) DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

• VIGAS

- Especificaciones de Diseño:

DESCRIPCIÓN	VALOR	UND.
LONGITUD	1	m
PERALTE	0.2	m
BASE	0.15	m
RECUBRIMIENTO	0.015	m
f_c	210	kg/cm ²
f_y	4200	kg/cm ²
CARGA DE DISEÑO (P)	5	Tn
PERALTE EFECTIVO	0.15	m
Mu Positivo	0.52	Tn · m
Mu Negativo	1.16	Tn · m
$\phi=$	0.9	

- Para el Momento Positivo:

1. Cálculo del Área de Acero cuando “ $a=d/5$ ”:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y (d - \frac{a}{2})}$$

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
$\phi=$	0.9	-
Mu	52000	Kg · cm
f_y	4200	kg/cm ²

d	15	cm
a	3	cm
As=	1.019	cm ²

2. Cálculo de “a”:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = 1.60 \text{ cm}$$

3. Verificando valores de “a” hasta una constante:

VALOR DE "a"	As (cm)	NO/OK
1.60	0.969	NO
1.52	0.966	NO
1.52	0.966	OK

4. Cuantía:

a. Cuantía Calculada:

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho = 0.0043$$

b. Cuantía Balanceada:

$$\rho_b = \beta_1 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0.0213$$

c. Cuantía Máxima:

$$\rho_{max} = 0.50 \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0.0106$$

d. Cuantía Mínima:

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \text{ o } \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{min} = 0.0028 \text{ o } \rho_{min} = 0.0033$$

$$\rho_{min} = 0.0033 \dots \text{ ok}$$

e. Verificación:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0.0033 < 0.0043 < 0.0106 \dots \text{ok}$$

5. Selección de Diámetros:

$$A_s = 0.966 \text{cm}^2$$

$$2\emptyset 8 \text{mm}$$

- Para el Momento Negativo:

6. Cálculo del Área de Acero cuando “a=d/5”:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
ø=	0.9	-
Mu	116000	Kg · cm
fy	4200	kg/cm2
d	15	cm
a	3	cm
As=	2.273	cm2

7. Cálculo de “a”:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$a = 3.57 \text{cm}$$

8. Verificando valores de “a” hasta una constante:

VALOR DE "a"	As (cm)	NO/OK
3.57	2.322	NO
3.64	2.329	NO
3.65	2.329	OK
3.65	2.330	NO
3.65	2.330	OK

9. Cuantía:

a. Cuantía Calculada:

$$\rho = \frac{A_s}{b * d}$$

$$\rho = 0.0104$$

b. Cuantía Balanceada:

$$\rho_b = \beta_1 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$
$$\rho_b = 0.0213$$

c. Cuantía Máxima:

$$\rho_{max} = 0.50\rho_b$$
$$\rho_{max} = 0.0106$$

d. Cuantía Mínima:

$$\rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} \text{ o } \rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$
$$\rho_{min} = 0.0028 \text{ o } \rho_{min} = 0.0033$$
$$\rho_{min} = 0.0033 \dots \text{ok}$$

e. Verificación:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$
$$0.0033 < 0.0104 < 0.0106 \dots \text{ok}$$

10. Selección de Diámetros:

$$A_s = 2.33\text{cm}^2$$
$$2\emptyset 1/2''$$

- La Distribución de estribos será:

$$1\emptyset 6\text{mm}@5\text{cm} + 2\emptyset 6\text{mm}@8\text{cm} + \text{Resto}@20\text{cm}$$

• COLUMNAS

Dado que la Columna debe de idealizar un empotramiento perfecto, siendo su luz de 0.7m y considerando una sobrecarga de 5tn, se asumió un refuerzo de acero convencional tal como se muestra a continuación:

- El Acero Longitudinal será de 1/2" y los Estribos de 3/8" distribuidos de la siguiente forma:

$$1\emptyset 3/8''@5\text{cm}, \text{Resto}\emptyset 3/8''@10\text{cm}$$

• ZAPATAS

Una zapada se diseña en función de la capacidad portante del suelo y el peso de la estructura, dado que en esta investigación no estuvo directamente apoyada en el suelo y el peso de la estructura es mínimo, la zapata asumirá valores mínimos de diseño:

- Se Asumió valores de $b=0.65\text{m}$ y $d=0.25\text{m}$ en X y de $b=0.25\text{m}$ y $d=0.25\text{m}$ en Y

- En Dirección X-X:

$$A_{s_{min}} = 0.0014 b d = 2.275cm^2$$

$$2\phi 1/2" @ 35cm$$

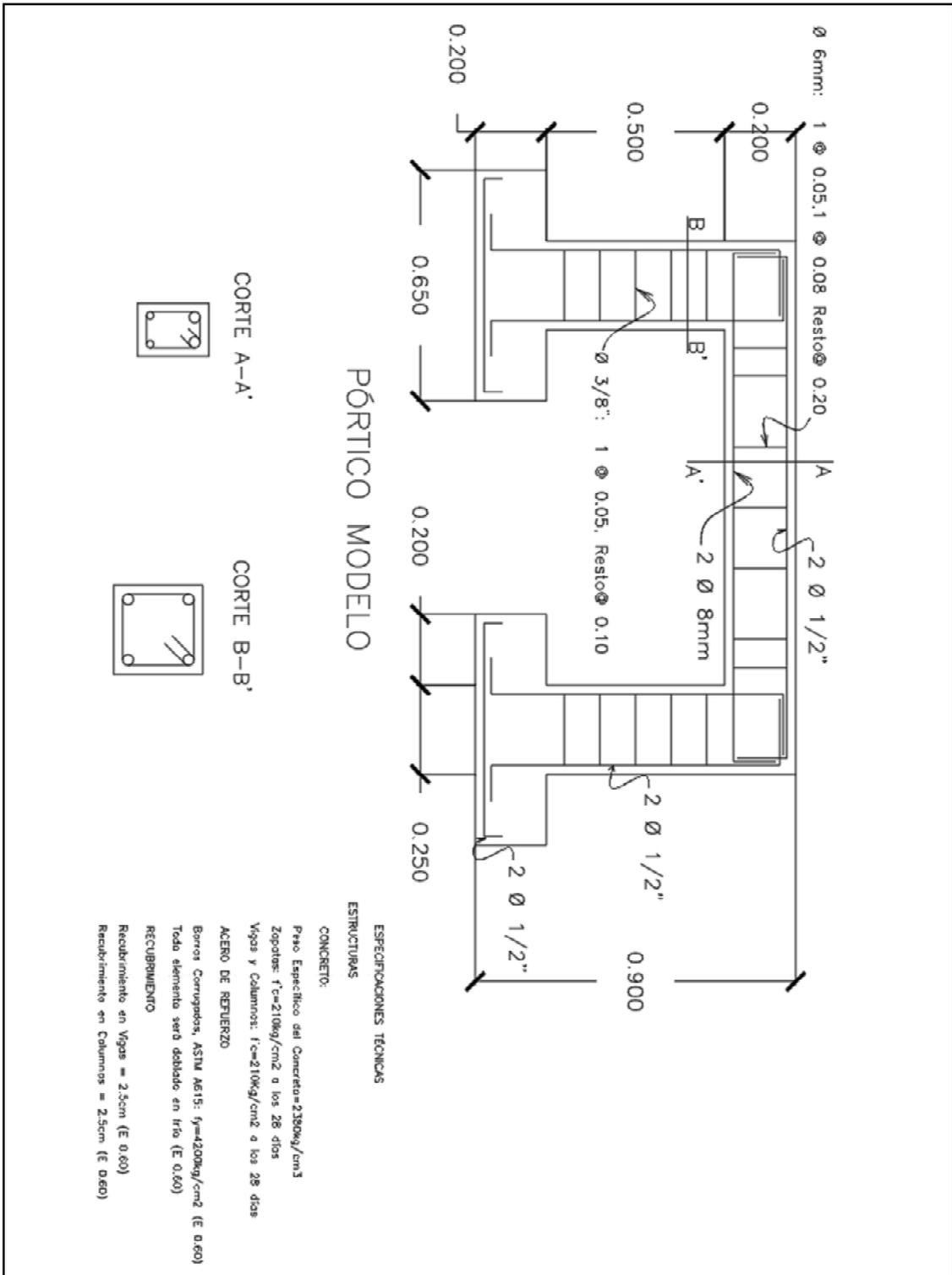
- En Dirección Y-Y:

$$A_{s_{min}} = 0.0014 b d = 0.875cm^2$$

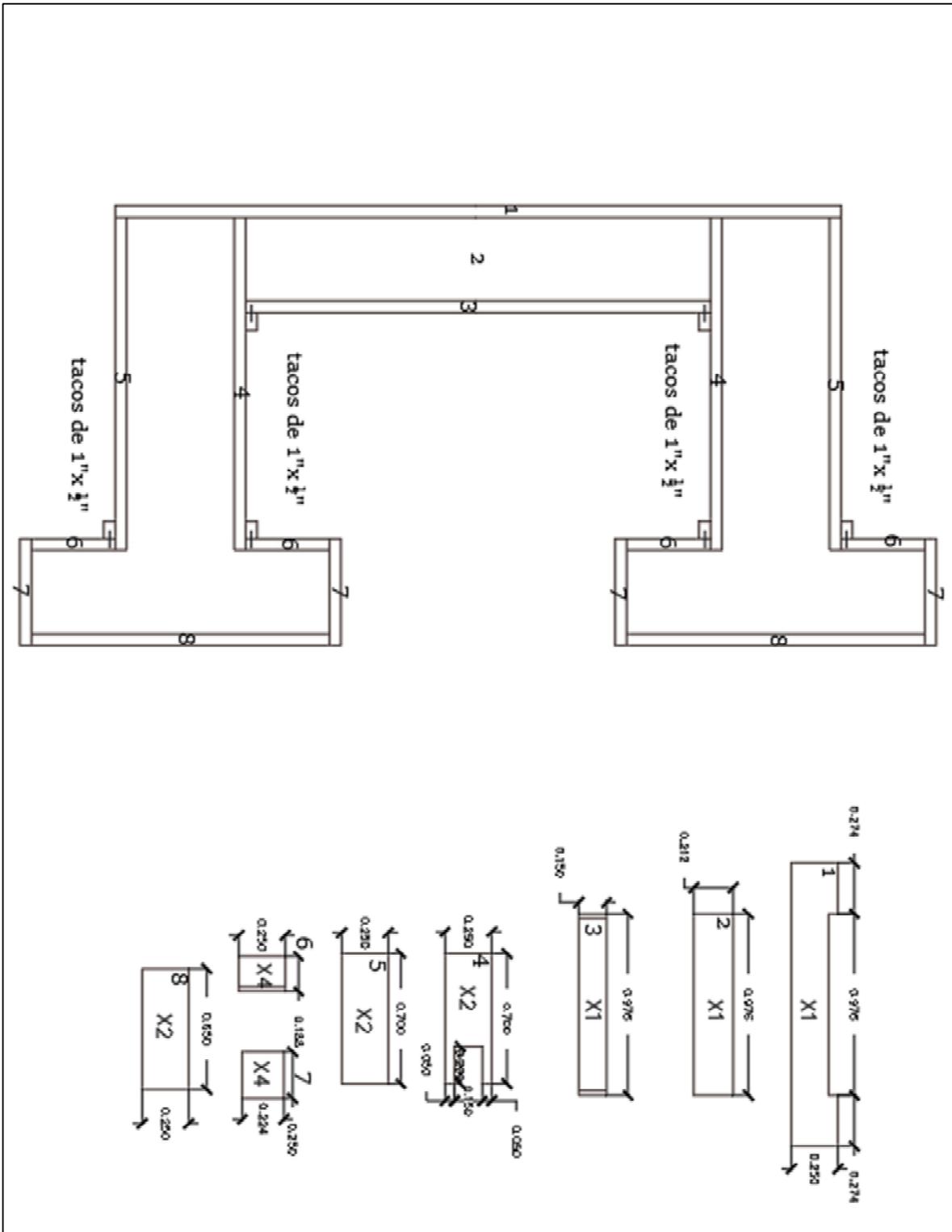
$$- 1\phi 1/2" @ 12.5cm$$

- PLANOS

1. PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE ACERO:



2. PLANO DE ENCOFRADO DE MADERA:



▪ FICHAS TECNICAS:

1. FICHA TÉCNICA DE SIKACEM CURADOR:



CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaCem® Curador

Curador químico para concreto y mortero

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem® Curador es un compuesto de curado que al ser pulverizado sobre el concreto fresco se adhiere a la superficie de éste (concreto), formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de la mezcla y el secado prematuro del concreto por efectos del sol y/o viento.

USOS

- Techos
- Losas o pisos
- Vigas y/o columnas
- Veredas
- Rampas de acceso
- Canales de riego
- Carreteras
- Puentes
- Construcciones en generales de concreto

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Reducir el riesgo de fisuración por secado prematuro del agua.
- Rapidez y facilidad de aplicación, ya que se pulveriza sobre la superficie del concreto.
- Reduce los tiempos de curado con agua (7 días) y la mano de obra.

Después de 3 horas de aplicado, SikaCem® Curador no es afectado por las lluvias y su efecto se mantiene durante 3 semanas mínimo.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	• Balde x 4 L • Balde x 18 L
Apariencia / Color	Incoloro
Vida Útil	2 años
Condiciones de Almacenamiento	SikaCem® Curador puede ser almacenado en un sitio libre de congelamiento a temperaturas sobre los +5 °C .
Densidad	1.11 +/- 0.01 Kg/L

2. FICHA TÉCNICA DE FIBRA SIKA FIBER CHO 65/35 NB:



CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaFiber® CHO 65/35 NB

Fibra de acero pegadas para refuerzo del concreto

<p>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</p> <p>Sika® Fiber CHO 65/35 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto tradicional y concreto proyectado (shotcrete) especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto, evitando la aglomeración de las fibras individuales. Sika® Fiber CHO 65/35 NB son fibras de acero de alta relación longitud / diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.</p> <p>USOS</p> <p>Sika® Fiber CHO 65/35 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones y especialmente concreto proyectado (shotcrete) reduciendo tiempo y costos asociados al tradicional reforzamiento con mallas de acero; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto. En concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (trafico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.</p> <p>CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.• Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).• Reducción de la fisuración por retracción.• Su condición de encolada (pegada) asegura una distribución uniforme en el concreto y shotcrete vía húmeda.• Relación longitud / diámetro igual a 65 para un máximo rendimiento.• Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.	<p>CERTIFICADOS / NORMAS</p> <p>Sika® Fiber CHO 65/35 NB cumple con las normas ASTM A 820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" Tipo I y DIN 17140-D9 para acero de bajo contenido de carbono, EN 14889-1</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

▪ **PANEL FOTOGRÁFICO**

Fotografía N°1. Diseño de mezcla para un concreto de $f'c=210$ kg/cm² en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fotografía N°2. Elaboración de Probetas cilíndricas de Concreto $f'c=210$ kg/cm² en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fotografía N°3. Prensa de Ensayos de resistencia a compresión del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



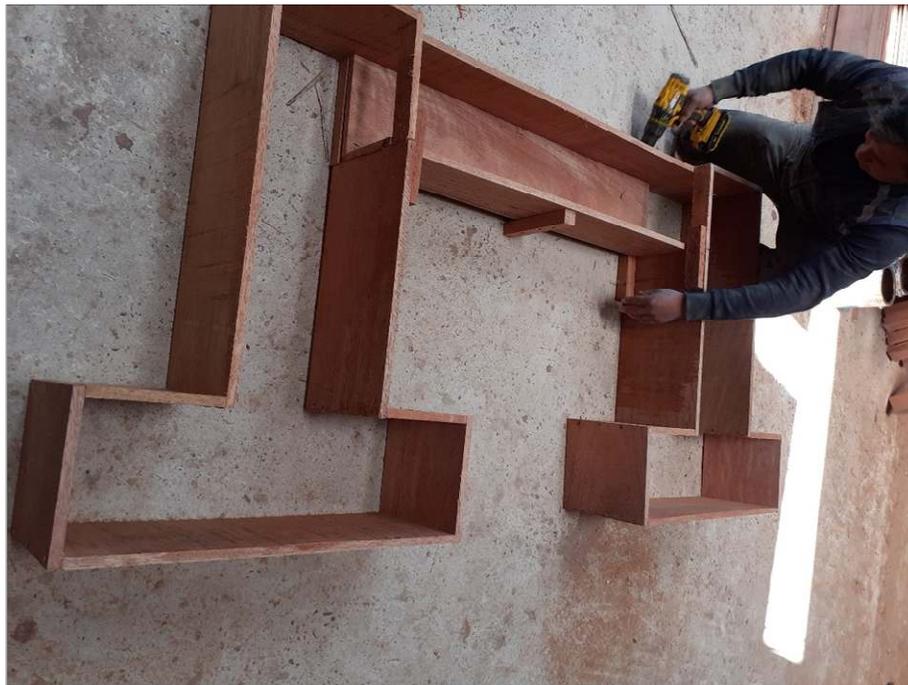
Fotografía N°4. Maquina Universal de 100 ton del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fotografía N°5. Ensayo a Compresión de probetas cilíndricas de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fotografía N°6. Elaboración de Encofrados de madera tornillo para pórtico de concreto Armado.



Fotografía N°7. Elaboración del refuerzo metálico de pórticos de Concreto Armado.



Fotografía N°9. Preparación de Pórticos Pre-Ensayo en la Maquina Universal de 100 ton del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fotografía N°10. Movilización y Ubicación de Pórticos de Concreto Armado para el Ensayo al Corte en la Maquina Universal de 100 ton del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca



Fotografía N°11. Preparación de la Maquina Universal de 100 ton del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, con ayuda del Técnico Ing. Edwin Germán Chaffo Mendoza



Fotografía N°12. Tesista verificando fisuras producidas por el esfuerzo cortante en las vigas de concreto armado.



Fotografía N°13. Asesor y Tesista Post-Ensayo al Corte de Viga de Concreto Armado.



Fotografía N°14. Falla al Corte de Viga de Concreto Armado.



Fotografía N°15. Falla en Zapata de Pórtico de Concreto Armado.



Fotografía N°16. Verificación del comportamiento de la Falla al corte de Viga de Concreto Armado.

