

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL

**“INFLUENCIA DE LA ADICION DE LAS FIBRAS DE ACERO EN LA
DUCTILIDAD DE COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO”**

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AUTOR : Br. Vílchez Ulloa, Frank Anderson

ASESOR : Ing. Cancino Rodas, César Leónidas

TRUJILLO, ABRIL DEL 2017

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	viii
AGREDECIMIENTO	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. ENUNCIADO	2
1.3. HIPOTESIS.....	2
1.4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.....	3
CAPITULO II	4
MARCO TEORICO	4
2.1. Antecedentes de la Investigación	4
2.2. Comportamiento de las Columnas Cortas Cargadas Axialmente	6
2.3. Influencia de las fibras de Acero en la Ductilidad.....	7
2.4. Efecto de la inclusión de la fibra de acero en la columna	9
2.5. Diferencia entre un Material Frágil versus Dúctil.....	10
2.6. Resistencia a Compresión de CRFA.....	11
2.7. Resistencia al corte de CRF	11
2.8. Resistencia a la Fisura.....	12
2.9. Calculo Analítico de Ductilidad en columna (Foster y Attard)	13
2.9. Requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para el Diseño de Columnas	18
CAPITULO III	20
MATERIALES Y METODOS.....	20

3.1. Descripción de Muestras.....	20
3.2. Etapa de Prueba	24
3.3. Construcción de Muestras	25
3.4. Proporciones del Concreto Reforzado con y sin Fibras de Acero	27
3.4.1. Fibras de Acero.....	29
3.5. Propiedades de los Materiales.....	31
3.5.1. Resistencia de las Probetas de Concreto Reforzadas con y sin fibras de acero.....	31
CAPITULO IV.....	34
ANALISIS Y RESULTADOS EXPERIMENTAL.....	34
4.1. Efectos de la Inclusión de las Fibras de Acero en la Resistencia a la compresión del Concreto	34
4.1.1. Caracterización de las Fisuras de las Probetas de Concreto.....	36
4.2. Efectos de las Fibras de Acero en la Resistencia a la Carga axial y Ductilidad en Columnas	39
4.3. Carga Máxima de Resistencia y Ductilidad por Deformación	40
4.4. Efectos de la Fibra de Acero en la Tenacidad	45
4.5. Cálculo del Índice de Ductilidad	49
4.6. Comparación de resultados Ductilidad por Deformación vs Índice de Ductilidad (I10).....	50
4.7. Caracterización de Modo de Falla de las Muestras.	51
CAPITULO V.....	60
CONCLUSIONES	60
CAPITULO VI.....	62
RECOMENDACIONES.....	62
CAPITULO VII.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63

ANEXOS 65

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1.- Cantidad de Estribos insuficiente y sin ganchos sísmicos. (2011). Centro de investigaciones periodísticas. Chile.	6
Figura 2.- Monthian Setkit. (2012). seismic behavior of slender coupling beams constructed with high-performance fiber-reinforced concrete. Michigan: University of Michigan.	8
Figura 3.- Ductilidad por Deformación. Fuente: Propia.....	8
Figura 4.- Curva esfuerzo - deformación. Fuente: Ing. Francisco Rodríguez Lezama. (2013). Resistencia de Materiales I. México: Instituto Politécnico Nacional.....	10
Figura 5.- Curva esfuerzo vs. Deformación. Karlos Santuites (2015). Módulo de Young. Universidad Carlos III de Madrid.....	10
Figura 6.- Acción de los estribos. Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda.....	13
Figura 7.- Acción de los estribos. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq.....	14
Figura 8.- Ilustración del comportamiento de las columnas de concreto con estribos cuadrados. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq.....	15
Figura 9.- Índice de Ductilidad aportado por los estribos. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq.....	15

Figura 10.- Índice de Ductilidad aportado por los estribos más fibras de acero. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq.....	16
Figura 11.- Ejemplo de refuerzo transversal y longitudinal en columnas. Fuente: Marcelo Romo Proaño. (2008). Flexo Compresión en los Elementos de Hormigón Armado. Escuela politécnica del Ejecito. Ecuador.	18
Figura 12.- Ecuación de Compresión Pura para columnas. Fuente: Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda	19
Figura 13.- Diagrama carga axial vs deformación en columnas. Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda	19
Figura 14.- Dimensión y características de las muestras. Fuente: Propia	23
Figura 15.- Maquina de prueba para especímenes de columnas. Fuente: Propia	25
Figura 16.- Refuerzo longitudinal de especímenes y encofrado. Fuente: Propia	26
Figura 17.- Influencia de la relación agua / cemento. Fuente: Eduardo Moreno Almansa y Manuel Fernández Cánovas. Dosificación de hormigón reforzado con fibras de acero. (1997). Depto. de Ingeniería Civil-Construcción. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Univ. Politécnica de Madrid.....	28
Figura 18.- Fibra de Acero ZM 80/60 utilizada en esta tesis. Fuente: Propia	29
Figura 19.- Presentación de Venta de las Fibras de Acero. Fuente: Propia	30
Figura 20.- Detalle de las fibras de Acero. Fuente: Propia	30
Figura 21.- Probetas de Concreto. Fuente: Propia	32
Figura 22.- Molde de para Probetas de Concreto Fuente: Propia	32
Figura 23.- Curado de las probetas de concreto. Fuente Propia	32

Figura 24.- Probeta ensayada en la Maquina Universal Tecnotest. Fuente: Propia	33
Figura 25.- Probeta SF. Fuente: Propia	36
Figura 26.- FA0.5R80. Fuente: Propia	37
Figura 27.- FA0.75R80. Fuente: Propia	38
Figura 28.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente. Propia	40
Figura 29.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente: Propia	41
Figura 30.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente: Propia	43
Figura 31.- Método de suma de Riemann.- Fuente: Propia.....	45
Figura 32.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con \varnothing 3/8". Fuente: Propia	45
Figura 33.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con \varnothing 12mm. Fuente: Propia	46
Figura 34.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con \varnothing 1/2". Fuente: Propia	48
Figura 35.- Muestra SF- \varnothing 3/8E10. Fuente: Propia.....	51
Figura 36.- Muestra FA0.5R100- \varnothing 3/8E10. Fuente: Propia.....	52
Figura 37.- Muestra FA0.75R100- \varnothing 3/8E10. Fuente: Propia.....	53
Figura 38.- Muestra SF- \varnothing 12mm. Fuente: Propia	54
Figura 39.- Muestra FA0.5R100- \varnothing 12mmE10. Fuente: Propia.....	55
Figura 40.- Muestra FA0.75R100- \varnothing 12mmE10.....	56
Figura 41.- Muestra SF- \varnothing 1/2E10.....	57
Figura 42.- Muestra FA0.5R100- \varnothing 1/2E10.....	58
Figura 43.- Muestra FA0.75R100- \varnothing 1/2E10.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1.- Descripción de las Probetas. Fuente: Propia	22
Tabla 2.- Proporciones en volumen. Fuente: Propia	27
Tabla 3.- Características físicas y mecánicas de la Fibra de Acero ZM 80/60. Fuente: Propia.	30
Tabla 4.- Resistencia de las Probetas de Concreto. Fuente: Propia	34
Tabla 5.- Grafica de Probetas de Concreto. Fuente: Propia.....	35
Tabla 6.- Resistencia Máxima a Carga Axial. Fuente: Propia.....	39
Tabla 7.- Ductilidad con cuantía de acero 2.85%. Fuente: Propia	41
Tabla 8.- Ductilidad con cuantía de acero 4.52%. Fuente: Propia	42
Tabla 9.- Ductilidad con cuantía de acero 5.07%. Fuente: Propia	44
Tabla 10.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia .	46
Tabla 11.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia .	47
Tabla 12.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia .	48
Tabla 13.- Índice de Ductilidad. Fuente: Propia.....	49
Tabla 14.- Ductilidad por Deformación vs Índice de Ductilidad. Fuente: Propia .	50

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido en poder terminar mi carrera, dándome salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis Padres Segundo y Elena

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada su amor.

A mis hermanas Karen y Evelyn

Por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mi Abuela Esperanza

Por su apoyo directamente o indirectamente para el término de esta tesis y por sus constantes consejos.

AGREDECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de manera directa o indirecta, han contribuido con la materialización y culminación de este proyecto, que de manera especial mencionaré:

A mi asesor Ing. Cancino Rodas, Cesar Leónidas, por su continuo apoyo en esclarecer todas las dudas presentadas en este proyecto a la vez reconocer su apoyo académico e invaluable apoyo personal e la dirección de esta presente investigación.

Un agradecimiento especial a los Ingenieros Pereda Medina, Andre y Tene Mendoza, Jorge de la inmobiliaria Los Portales SA y amigos, por las facilidades que me brindaron para el término de la tesis.

A la Universidad Nacional de Trujillo por facilitarme su Laboratorio de Mecánica de Materiales, para el ensayo de las probetas como de las columnas de concreto reforzado con y sin fibra de acero.

Agradezco al ing. Alexander Vega Amticono y a todo el personal del laboratorio por su paciencia y apoyo constante para el desarrollo de la presente Investigación en el Laboratorio de Materiales.

A todos los mencionados gracias.

RESUMEN

Las columnas de concreto reforzado deben incursionar en el rango inelástico para disipar gran parte de la energía, con el fin que, se mantenga la resistencia y capacidad de disipar energía se requiere que el elemento sea dúctil, por tal motivo en la norma E060 del año 2009 del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones), se establecen requisitos, como por ejemplo, refuerzo transversal, separaciones máximas, longitud de confinamiento (L_o) y ganchos sísmicos.

Cuando una columna se comprime axialmente, el material es empujado hacia fuera, dando como resultado dimensiones aumentadas de la sección transversal conllevando a la disminución de su resistencia a carga axial.

Es por ello que surge la necesidad de incluir las fibras de acero en la matriz de concreto para que actúen activándose una serie de mecanismos que se oponen al avance del desprendimiento del concreto, denominándose a este efecto aumento de la tenacidad dando como resultado incremento de la ductilidad.

Se realizó el programa experimental incluyendo el diseño, construcción y prueba de las 18 columnas bajo carga concentrada concéntrica. Fueron 6 muestras las cuales fueron construidas con concreto convencional con áreas de acero longitudinal de $3/8"$, 12 mm y $1/2"$, además se construyó 12 muestras con misma área de acero ya mencionadas pero incluyéndolas a las muestras los respectivos porcentaje de fibra de acero 38.25kg/m^3 y 58.87kg/m^3

Con la inclusión de 58.87 kg/m^3 de fibras de acero se obtiene mejores resultados en cuanto la Ductilidad y capacidad de Resistencia a Carga Axial.

ABSTRACT

Reinforced concrete columns must venture the inelastic range to dissipate much of the energy, so that, if resistance and energy dissipation are maintained, the element is required to be ductile. In the E060 standards of the RNE 2009, transverse reinforcement requirements are established, such as maximum separations, confinement length (L_o) and seismic hooks.

When a column was compressed axially, the material is pushed outward, resulting in increased cross-sectional dimensions and in turn lowering its axial load resistance.

It is for this reason that the need arises to include the steel fibers in the concrete matrix so that they act by activating a series of mechanisms that oppose to the advance of the detachment of the concrete, denominating to this effect increase of the tenacity resulting in increase of the ductility.

The experimental program was carried out including the design, construction and testing of the 18 columns under concentrated concentric load. There were 6 samples which were constructed with conventional concrete with areas of 3/8 ", 12 mm and 1/2" longitudinal steel, in addition 12 samples with the same area of steel already mentioned but including the respective percentage of Steel fiber 38.25kg/m³ and 58.87kg/m³

With the inclusion of 58.87 kg / m³ of steel fibers, better results was obtained in terms of Ductility and capacity of Resistance to Axial Load.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los elementos de concreto armado (como las columnas) deben incursionar en el rango inelástico para disipar gran parte de la energía, con el fin que, se mantenga la resistencia y capacidad de disipar energía se requiere que el elemento sea dúctil, para tal efecto las normas de diseño requieren que se dispongan de refuerzo transversal y cuantías de aceros de acuerdo al análisis estructural.

En la norma E060 del año 2009 del RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones), a fin de que los elementos de concreto mantenga su resistencia y capacidad de disipar energía cuando incursionen en el rango inelástico, se establecen requisitos de refuerzo transversal, como por ejemplo, separaciones máximas, longitud de confinamiento (L_o) y ganchos sísmicos, que estos requisitos mencionados deben permitir mejorar su capacidad de carga y ductilidad, pero siempre se presenta el desprendimiento temprano de las áreas no confinadas del concreto de las partes superficiales dando continuidad a la pérdida de área confinada, esto surge debido que el efecto de confinamiento proporcionado por el refuerzo horizontal solo confina áreas internas de la columna y la separación de estribos es muy amplia. Cuando una columna se comprime axialmente, el material es empujado hacia fuera, dando como resultado dimensiones aumentadas de la sección transversal y a su vez disminución de su resistencia a carga axial.

De manera que las fibras de acero actúan activándose una serie de mecanismos que se oponen al avance del desprendimiento del concreto, denominándose a este efecto aumento de la tenacidad dando como resultado la restricción de la generación de dimensiones aumentadas de la

sección transversal que dan aporte a la pérdida de la capacidad de resistencia conllevando así a la pérdida de ductilidad.

Siguiendo los requerimientos indicados en el Reglamento Nacional de Edificaciones, para una columna corta de 10 cm. x 10 cm que está solamente gobernada por la resistencia de los materiales y las dimensiones de la sección transversal, se ha obtenido que cuando la carga axial está por encima de la condición balanceada se requiere que los estribos tengan una separación muy reducida, esta separación entorpece a que el concreto fluya de manera normal por toda la columna, debido a la conglomeración del agregado y provocando así evidencia de cangrejas después del desencofrado, conllevando así a la disminución de su resistencia, por lo tanto, para evitar espaciamiento reducidos se añadieron las fibras de acero manteniendo así la ductilidad del concreto.

Por este motivo la inclusión de 39.25kg/m³ y 58.87kg/m³ que representan 0.5% y 0.75% respectivamente de volumen de fibras de acero en la matriz de concreto con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con cuantías de acero de 2.85%, 4.52% y 5.07%, se espera que el comportamiento dúctil de la columna y su tenacidad incrementen de tal medida que le ofrezcan mayor capacidad de disipar energía cuando se encuentra en estado plástico debido a las grandes deformaciones, a la vez mejorar el comportamiento en zonas medias de la columna, ya que las fibras de acero tienen la facilidad de distribuirse a lo largo de la columna.

1.2. ENUNCIADO

¿En qué medida influyen las fibras de acero en la ductilidad de una columna corta fabricada con concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y cuantías de acero de 2.85%, 4.52% y 5.07%?

1.3. HIPOTESIS

Si la cantidad de fibra de acero del orden de 58.87kg/m³ en la matriz de concreto, la ductilidad de la columna fabricada con concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y cuantías de acero de 2.85%, 4.52% y 5.07% incrementará en un 20%

1.4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS

- **Objetivos Generales**

Determinar en qué medida influyen las fibras de acero en la ductilidad de una columna fabricada con concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y cuantías de acero de 2.85%, 4.52% y 5.07%.

- **Objetivos Específicos**

- ❖ Establecer la dosificación correcta para obtener una mezcla óptima.
- ❖ Construir prototipo de columna de concreto con y sin fibras de acero, para posteriormente realizar las pruebas necesarias en laboratorio.
- ❖ Obtener en laboratorio la carga máxima de resistencia.
- ❖ Obtener la curva Carga – deformación de cada una de las muestras para determinar comportamiento post – fisuración.
- ❖ Obtener la ductilidad por deformación

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

- A. "Behavior of Steel Fiber-Reinforced High-Strength Concrete Columns under Uniaxial Compression". (2010). Autores: P. Paultre, M.ASCE; R. Eid; Y. Langlois; and Y. Lévesque. Estados Unidos. ASCE

Este trabajo presenta ensayos que se realizaron sobre columnas cuadradas de concreto de alta resistencia reforzadas con fibra de acero (HSC) a gran escala bajo carga de compresión concéntrica. El programa experimental fue diseñado principalmente para examinar el efecto de la relación volumétrica de acero y fibra sobre el comportamiento de los elementos reforzados HSC a gran escala sometidos a carga de compresión axial. Los resultados muestran que la adición de fibras discretas a mezclas HSC en columnas de concreto armado no sólo evita el desprendimiento prematuro de la cubierta de hormigón sino que también aumenta la resistencia y ductilidad del miembro reforzado cargado axialmente. Este comportamiento fue predicho por el modelo de tensión-deformación de concreto reforzado con fibra, que tiene en cuenta la mayoría de los parámetros que influyen en la efectividad del confinamiento: la resistencia del concreto; La separación, la resistencia elástica, la relación volumétrica y la configuración del refuerzo transversal; La distribución del refuerzo longitudinal; Y el diámetro, la longitud, la forma, la relación volumétrica y la resistencia de unión por fricción de las fibras. Las predicciones se encontraron en buen acuerdo con los resultados experimentales.

- B. “Bond Studies of High-Strength Concrete Joints Confined with Stirrups, Steel Fibers, or Fiber-Reinforced Polymer Sheets” (2015) Autores: Bilal S. Hamad, M.ASCE; and Elias Y. Abou Haidar. Estados Unidos. ASCE

El artículo presenta un estudio de correlación de los resultados de tres programas de investigación llevados a cabo en barras enganchadas ancladas en unión de viga-columna de concreto de alta resistencia (HSC) en la Universidad Americana de Beirut (AUB). La muestra simuló la conexión rígida de una viga en voladizo a una columna. En dos programas anteriores, la unión viga-columna estaba confinada externamente con láminas de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) o internamente con fibras de acero incorporadas en la mezcla de concreto. Aunque se incluyeron estribos en los elementos de viga y columna de las muestras de los dos programas, los estribos de columna no se extendieron en la unión viga-columna. Era necesario llevar a cabo un tercer programa en el que el confinamiento de la articulación se proporcionaba internamente mediante estribos que cruzaban la región de las barras enganchadas críticas. Los resultados de los tres programas indicaron el efecto positivo de los diferentes modos de confinamiento sobre la resistencia de unión de las barras ancladas y la ductilidad del historial de carga-deflexión.

2.2. Comportamiento de las Columnas Cortas Cargadas Axialmente

Las columnas son elementos estructurales utilizados primordialmente para soportar cargas de compresión. Una columna corta es aquella en que la carga última para una excentricidad dada está solamente gobernada por la resistencia de los materiales y las dimensiones de la sección transversal.

Las columnas con estribos cuadrados y espiral se comportan casi idénticamente hasta la carga P_0 . Una vez alcanzada la carga P_0 una columna con estribos cuadrados que no estén espaciados estrechamente fallan de una manera abrupta (ver figura1), acompañada de ruptura del concreto y pandeo de las varillas de acero longitudinal entre los estribos, debido a que la separación entre los estribos es generalmente demasiado espacioso para impedir la falla general del concreto y el pandeo de las varillas.



Figura 1.- Cantidad de Estribos insuficiente y sin ganchos sísmicos. (2011). Centro de investigaciones periódicas. Chile.

Después de alcanzarse la carga P_o en una columna con estribos cuadrados, se agrieta o se destruye el recubrimiento de concreto fuera del estribo. La capacidad de carga se ve reducido debido a la pérdida de área de concreto, esto va acompañado por la deficiencia de los estribos de acero para impedir el pandeo de las varillas longitudinales. En consecuencia, las varillas longitudinales continúan transmitiendo la carga; se llega a una elevada deformación y el concreto del núcleo tiende a aumentar en volumen, flexiona los lados del estribo hacia fuera, lo que provoca que el estribo ejerza una reacción de confinamiento cerca de las esquinas del estribo. El esfuerzo de compresión radial resultante aumenta la capacidad de transmisión de carga del concreto del núcleo, y a pesar de la pérdida del recubrimiento, la carga última de una columna con cuantía de acero horizontal elevada puede llegar a ser mayor que P_o .

2.3. Influencia de las fibras de Acero en la Ductilidad

Los factores que afectan a la ductilidad de Concreto Reforzado con fibras de acero son la inclusión de las fibras, geometría de fibra, y composición de la matriz. Como se observa en la figura 2, un incremento de cantidad de fibras mejora la capacidad de absorción de energía. Incrementando la relación de aspecto de las fibras también incrementa la tenacidad. La contribución de la composición de la matriz de concreto a la ductilidad puede ser atribuible a la adherencia característica y resistencia del concreto. Por ejemplo, una matriz que contiene humo de sílice, generalmente tiene muy buena adherencia con las fibras y se exhibe un incremento en la ductilidad. También, el hecho que el concreto normal es menos frágil que el concreto de alta resistencia hace que la adición de fibras con la misma fracción de volumen es más eficaz que el concreto de resistencia normal. ⁽³⁾

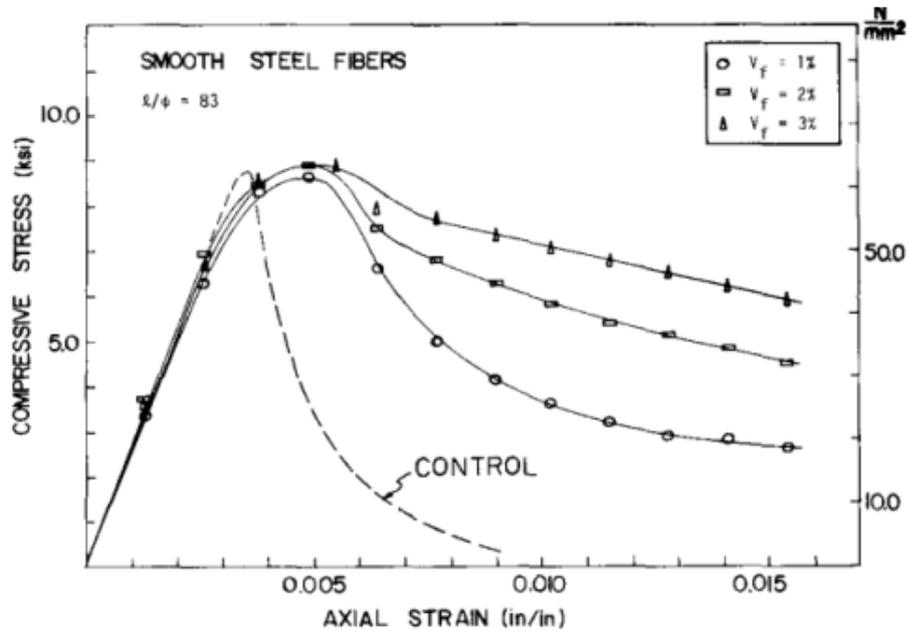


Figura 2.- Monthian Setkit. (2012). seismic behavior of slender coupling beams constructed with high-performance fiber-reinforced concrete. Michigan: University of Michigan.

La ductilidad es la capacidad de las columnas a soportar grandes deformarse sin una perdida significante de su resistencia.

Por tal motivo el uso de la ductilidad por deformación, la cual se tomará como la relación entre deformación experimentada a inicios del rango plástico “ ϵ_y ” y la deformación ultima que puede experimentar el elemento “ ϵ_u ”, por consiguiente, la ductilidad por deformación se expresa de la siguiente manera.

$$u = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$$

Figura 3.- Ductilidad por Deformación. Fuente: Propia

2.4. Efecto de la inclusión de la fibra de acero en la columna

La inclusión de las fibras en la matriz de concreto, demostrará que la ductilidad de las columnas de concreto de resistencia normal se mejorará mediante la inclusión de fibras de acero.

La mejora en su ductilidad se va ver afectada por las fibras debido a que estas ayudan a detener el desprendimiento temprano de las áreas no confinadas y mejora el comportamiento del área confinada del núcleo de concreto.

Cuando una columna se comprime axialmente, el material es empujado hacia fuera activándose las propiedades de las fibras de acero, surgiendo una serie de mecanismos que se oponen a su avance, denominándose a este efecto aumento de la tenacidad dando como resultado la restricción de la generación de dimensiones aumentadas de la sección transversal.

El concreto no confinado en el exterior del refuerzo horizontal este sigue siendo empujado hacia fuera, en esta parte actúan las fibras de acero restringiendo la tensión que se genera producto de la carga axial y forzando a la no separación del núcleo de concreto. Una vez que ésta área no confinada no se desprenda de manera abrupta, la columna tendrá mayor capacidad de resistir carga axial, y por lo tanto, tendrá una mayor capacidad de deformación dando como resultado aumento en la ductilidad.

2.5. Diferencia entre un Material Frágil versus Dúctil

¿Qué es tenacidad?

Es el área total bajo la curva esfuerzo – deformación, la cual es la energía que es capaz de absorber por unidad de volumen antes de colapsar, lo cual lo hace un material dúctil. Ver figura 4

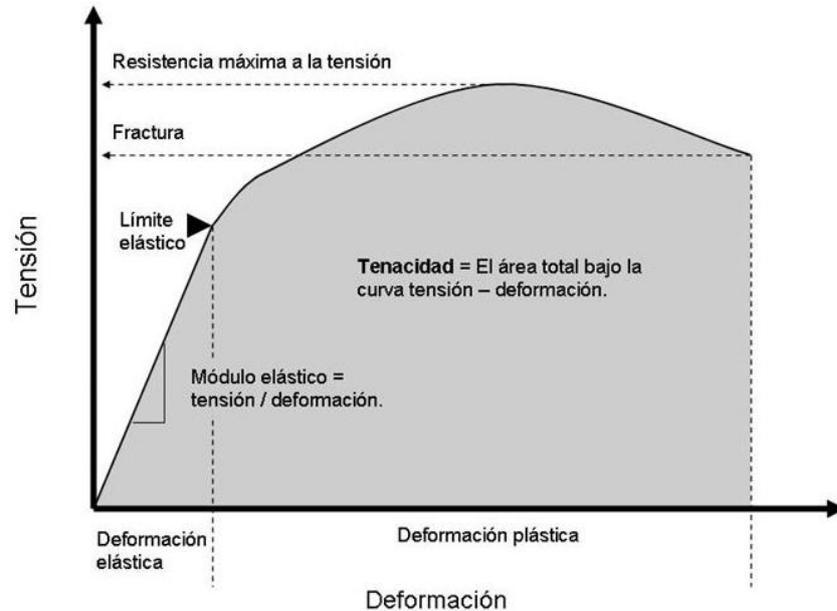


Figura 4.- Curva esfuerzo - deformación. Fuente: Ing. Francisco Rodríguez Lezama. (2013). Resistencia de Materiales I. México: Instituto Politécnico Nacional.

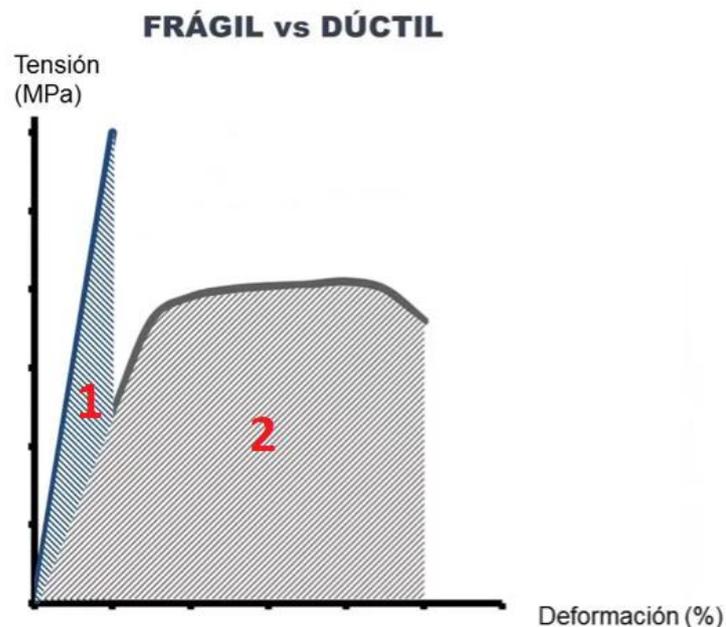


Figura 5.- Curva esfuerzo vs. Deformación. Karlos Santuities (2015). Módulo de Young. Universidad Carlos III de Madrid

En la figura 5 se muestran dos curvas, la curva 1 es un material frágil y la curva 2 es un material dúctil, la cual se puede apreciar que el material frágil es más resistente que el material de la curva 2 (no siempre va ser así), esto se debe a que el esfuerzo que alcanza la curva 1 es superior al de la curva 2, sin embargo la curva 1 es más frágil, si dibujamos el área debajo de la curva esfuerzo – deformación que se produce desde que iniciamos la carga hasta que se produce la rotura, esa área es la energía capaz de absorber por unidad de volumen antes de fallar, como vemos a simple vista la curva 1 tiene menos área que la curva 2, por consiguiente la curva 2 es un material dúctil y capaz de absorber más energía.

2.6. Resistencia a Compresión de CRFA

En **CRFA** con fibras con relación de esbeltez (L/d) 80, y en volúmenes de fibras de 0.5%, 0.75%, se espera encontrar incrementos de la resistencia a compresión entre 4 a 15% respecto a concretos convencionales sin fibras. En concretos jóvenes (antes de los 28 días) la capacidad de mantener la carga máxima a compresión se incrementa con la adición de fibras, a medida que madura el concreto este incremento se reduce y la capacidad de absorción de energía y la ductilidad se concentran principalmente en la región post-agrietamiento. ⁽⁹⁾

2.7. Resistencia al corte de CRF

El uso de fibras en el concreto reforzado, para incrementar la resistencia al corte, es una de las bondades más prometedoras aplicaciones. A diferencia del acero de refuerzo, las fibras se distribuyen aleatoriamente por todo el concreto. Por lo tanto, pueden cubrir grietas en todas las direcciones, que es particularmente útil en los miembros que experimentan agrietamiento diagonal debido al corte.

Batson, Jenkins, and Spatney (1972) investigaron por primera vez la posibilidad del uso de Las fibras de acero en lugar de estribos en vigas. Los resultados indicaron que efectivamente las fibras de acero incrementan la resistencia al corte. ⁽³⁾

2.8. Resistencia a la Fisura

El concreto reforzado con fibras de acero puede ser considerado una variante del principio de refuerzo con barras de acero. En este caso, el refuerzo se realiza con un gran número de pequeñas fibras, distribuidas de forma aleatoria en la mezcla. Las fibras de acero son las que tienen la función de soportar las tracciones. Sin embargo, es necesario precisar que la manera de trabajar de las fibras es diferente a la del armado convencional.

En el caso del armado convencional, las barras están ancladas de forma que se alcanza el límite elástico del acero y su capacidad última, se desarrolla cuando tiene lugar la rotura del acero. A diferencia de las barras, las fibras de acero se diseñan para que no alcancen el límite elástico del acero, antes de alcanzarlo deben desarrollar su máxima eficiencia. La razón es que todas las fibras que evitan una fisura tienen diferente longitud de anclaje y orientación. Esto significa que las deformaciones en las diversas fibras durante la apertura de la fisura son muy distintas, existiendo la posibilidad de que algunas de ellas rompan mientras que otras aún están sometidas a tracciones bajas.

2.9. Calculo Analítico de Ductilidad en columna (Foster y Attard)

La ductilidad de las columnas ensayadas también se calculó mediante el procedimiento analítico desarrollado por Foster y Attard (2001).

Foster y Attard (2001) utilizaron un modelo matemático que implica un índice de ductilidad I_{10} que permite la comparación entre columnas de concreto armado convencional y concreto convencional reforzado con diferentes porcentajes de fibra de acero.

Como se mencionó anteriormente la presión ejercida por el refuerzo transversal sólo puede aplicarse al área del núcleo de concreto, donde el esfuerzo de confinamiento se ha desarrollado, los estribos cuadrados sólo pueden aplicar reacciones de confinamiento cerca de las esquinas de los estribos, debido a que la presión del concreto contra los lados de los estribos tiende a flexionar hacia afuera, como se aprecia en la figura 6. En consecuencia, una porción considerable de la sección transversal del concreto puede no estar confinada, debido al arqueado interno entre las esquinas. El concreto está confinado efectivamente sólo en las esquinas y en la región central de la sección.

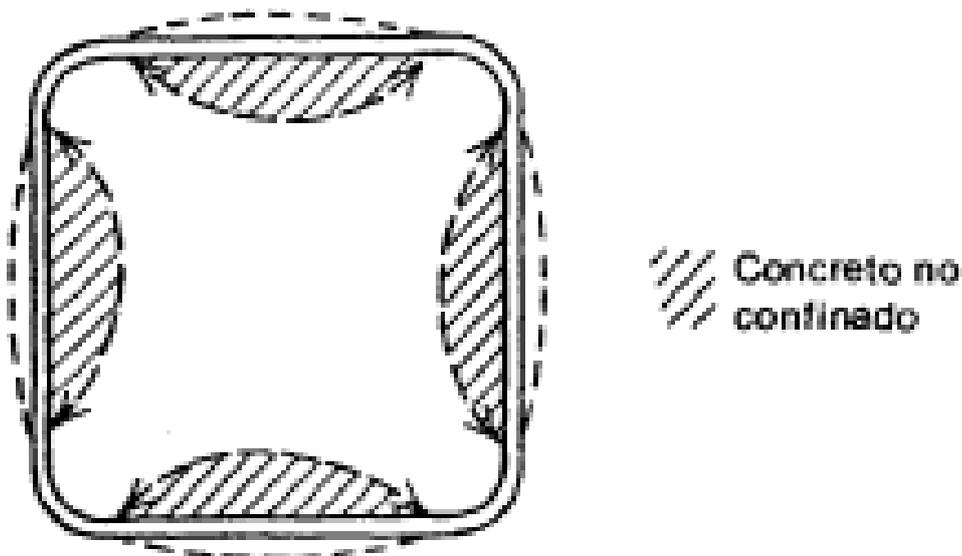


Figura 6.- Acción de los estribos. Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda

El concepto de área eficaz de concreto confinado fue desarrollado por Sheikh and Uzumeri. Se calculó aplicando un factor de reducción al área nominal de concreto confinado delimitado por el perímetro de los estribos de las columnas prismáticas.

El factor de reducción (ke) representa la relación entre el área más pequeña efectivamente confinada de concreto, entre dos capas de refuerzo transversal ver figura 8. Al área nominal de concreto confinado, se le asigna como coeficiente de efectividad de confinamiento. Este coeficiente se determina solo para columnas prismáticas. La ecuación de factor de reducción (ke) ver figura 7.

$$K_e = \frac{\left[1 - \frac{\sum w_i^2}{6c_x c_y} \right] \left[1 - \frac{s'}{2c_x} \right] \left[1 - \frac{s'}{2c_y} \right]}{1 - \rho_c}$$

Figura 7.- Acción de los estribos. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

Donde:

$\sum w_i^2$: Sumatoria de los cuadrados de los espaciamientos libres horizontales, donde w_i : distancia entre las barras de acero longitudinal a lo largo del perímetro de la sección transversal.

s' : Espaciamiento vertical libre entre dos capas de refuerzo transversal de diámetro d_h .

ρ_c : Relación entre el área del refuerzo longitudinal a la sección de la columna.

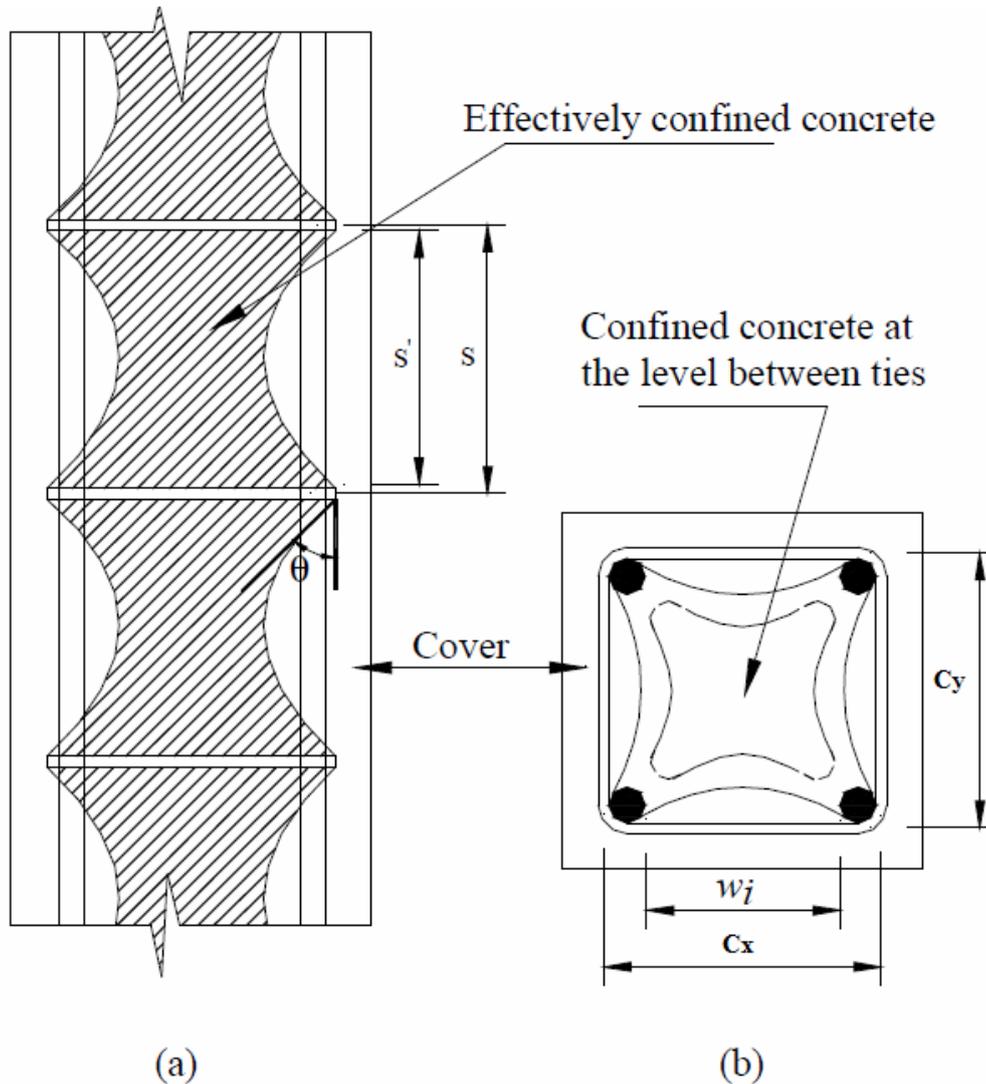


Figura 8.- Ilustración del comportamiento de las columnas de concreto con estribos cuadrados. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

En la figura 9 se puede observar la ecuación de índice de ductilidad cuando la columna está construida con concreto convencional. ⁽⁹⁾

$$(I_{10})_{rie} = 1.9 \ln \left(1000 \frac{\times 2k_e f_l}{f'_c} \right)$$

Figura 9.- Índice de Ductilidad aportado por los estribos. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

En la figura 10 se puede observar la ecuación de índice de ductilidad cuando la columna está construida con concreto convencional reforzado con fibra de acero. ⁽⁹⁾

$$I_{10} = 1.9 \left[\ln \left(1000 \frac{\times 2k_e f_l}{f'_c} \right) + \ln \left(1000 \times \frac{2f_{lf}}{f'_c} \right) \right]$$

Figura 10.- Índice de Ductilidad aportado por los estribos más fibras de acero. Fuente: Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi. *BEHAVIOR OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE COLUMNS*. (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

Donde:

f'_c = resistencia del concreto a los 28 días.

f_l = esfuerzo del confinamiento lateral en núcleo de concreto proporcionado por los estribos.

f_{lf} = esfuerzo de confinamiento lateral proporcionado por las fibras de acero.

Calculo del f_l

$$f_l = 2 A_{st} f_{yt} / d_c s$$

Donde:

A_{st} = Área de acero transversal.

f_{yt} = Esfuerzo de fluencia del acero transversal.

s = espaciamiento entre estribos.

d_c = Dimensión de la sección transversal medida desde centro a centro del estribo.

Calculo del f_{lf}

$$f_{lf} = \frac{3}{8} \alpha_f \rho_f \tau_b$$

α_f = Relación de aspecto de las fibras de acero.

ρ_f = Relación volumétrica de las fibras de acero $V_f * \gamma_c / \gamma_s$.

τ_b = Resistencia al corte divido al vínculo fibra – concreto $0.6(f'_c)^{2/3}$.

2.9. Requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para el Diseño de Columnas

Los requerimientos para el diseño de columnas son mencionadas en el RNE E060. Esta sección aplica a columnas que forman parte del sistema de resistencia de fuerzas sísmicas y que se diseñan principalmente para resistir flexión, cortante y fuerzas axiales.

- El área de refuerzo longitudinal, A_{st} , debe ser al menos $0.01A_g$ y no debe exceder $0.06A_g$ (ver figura 11)
- El refuerzo transversal debe detallarse en cantidades especificadas en una longitud (l_0) medida desde la cara del nudo y a ambos lados de cualquier sección donde pueda ocurrir la fluencia.

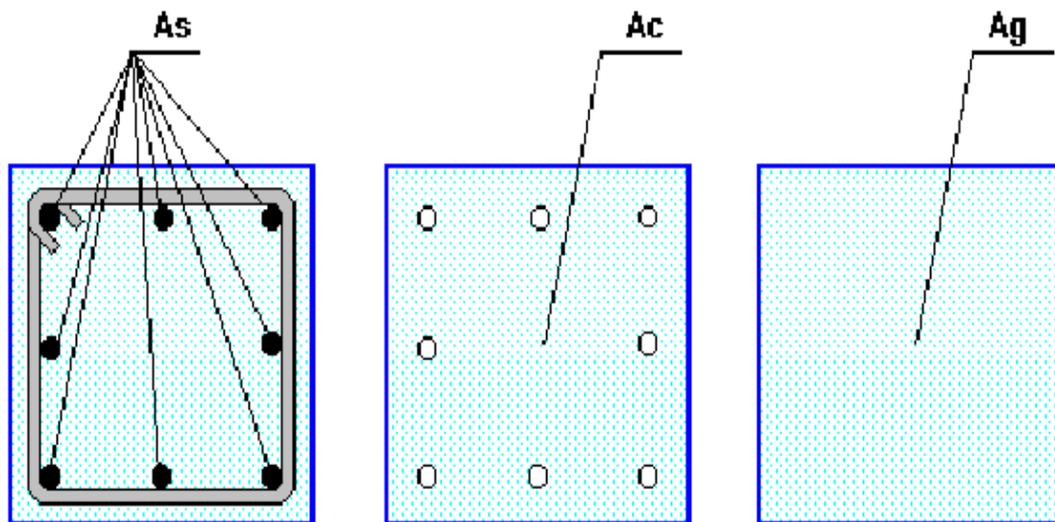


Figura 11.- Ejemplo de refuerzo transversal y longitudinal en columnas. Fuente: Marcelo Romo Proaño. (2008). Flexo Compresión en los Elementos de Hormigón Armado. Escuela politécnica del Ejecito. Ecuador.

- Debe colocarse una barra longitudinal en cada esquina de una sección rectangular y adicionalmente barras longitudinales espaciadas a no más de la mitad de la menor dimensión lateral del elemento compuesto.

- Los estribos transversales deben tener un diámetro no menor que 0,02 veces la mayor dimensión lateral del elemento compuesto, excepto que los estribos no deben ser menores de 3/8" y no necesitan ser mayores que 5/8". Puede emplearse refuerzo electro soldado de alambre de un área equivalente.

Carga máxima que puede soportar una columna con estribos cuadrados es la suma de la resistencia de cedencia del acero más la resistencia del concreto:

$$P_o = [(A_g - A_{st}) * 0.85 * f'_c + (A_{st} * f_y)]$$

Figura 12.- Ecuación de Compresión Pura para columnas. Fuente: Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda

¿Por qué 0.85 f'c?

Se debe a que la resistencia del concreto en una columna cargada axialmente es aproximadamente 0.85f'c, en que f'c es la resistencia a compresión de un cilindro ver figura 13.

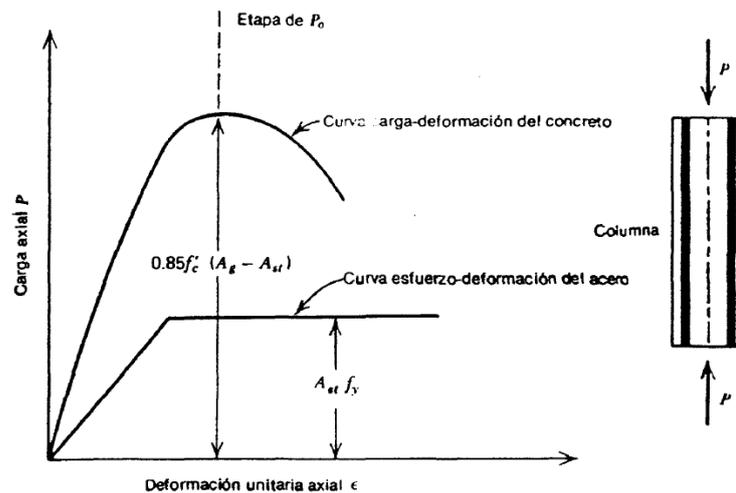


Figura 13.- Diagrama carga axial vs deformación en columnas. Fuente: R.Park y T.Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

Como se mencionó en el capítulo II, las fibras de acero dan un gran aporte en lo que corresponde a reforzamiento estructural, el programa experimental de las columnas conllevó a la construcción de columnas de sección 10 cm x 10 cm x 60 cm y recubrimiento de 1.5 cm, se definió estas dimensiones de columna por las limitaciones que se tuvo en el ensayo, las cuales fue la capacidad de carga de la maquina universal Tecnotest y la altura de los cabezales reduciendo la altura de las muestras a ensayar, los ensayos fueron realizado por el Ing. Alexander Vega Amticono encargado del laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

Los siguientes parámetros fueron considerados en la tesis experimental.

- Resistencia de las probetas de concreto reforzadas con y sin fibras de acero.
- Porcentaje de reforzamiento longitudinal.
- Volumen de fibras.
- Carga máxima de Resistencia

3.1. Descripción de Muestras

El programa experimental incluye el diseño, construcción y prueba de las 18 columnas bajo carga concentrada concéntrica. Fueron 6 muestras las cuales fueron construidas con concreto convencional con áreas de acero longitudinal de 3/8", 12 mm y 1/2", además se construyó 12 muestras con misma área de acero ya mencionadas pero incluyéndolas a las muestras cantidades de fibras de acero, siendo las siguientes dosificaciones 38.25kg/m³ y 58.87kg/m³, que representa 0.5% y 0.75% de volumen de fibra de acero respectivamente. En la siguiente sección, describiremos detalladamente el programa experimental, incluyendo diseño de especímenes, proceso constructivo, etapa de prueba, instrumentación, y propiedades de los materiales.

Las principales características de los especímenes de prueba están provistas en la tabla 1 y la interpretación de codificación de las muestras de columnas está provistas en la figura 14

Además se realizó el control de la resistencia a la compresión del concreto con y sin fibra de acero con muestras cilíndricas de 15 cm x 30 cm. El control de las probetas fue preparado y curado hasta un día antes de ser ensayadas.

Los cilindros sometidos a ensayos de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034

CUADRO DE MUESTRAS DE COLUMNAS			
<i>Código de Columnas</i>	<i>Acero Transversal</i>	<i>Fibra de Acero</i>	<i>Tipo de Concreto</i>
SF-Ø3/8"E10	Si	No	Concreto Convencional
FA0.5R80-Ø3/8"E10	Si	Si	CRFA
FA0.75R80-Ø3/8"E10	Si	Si	CRFA
SF-Ø12mmE10	Si	No	Concreto Convencional
FA0.5R80-Ø12mmE10	Si	Si	CRFA
FA0.75R80-Ø12mmE10	Si	Si	CRFA
SF-Ø1/2"E10	Si	No	Concreto Convencional
FA0.5R80-Ø1/2"E10	Si	Si	CRFA
FA0.75R80-Ø1/2"E10	Si	Si	CRFA

Tabla 1.- Descripción de las Probetas. Fuente: Propia

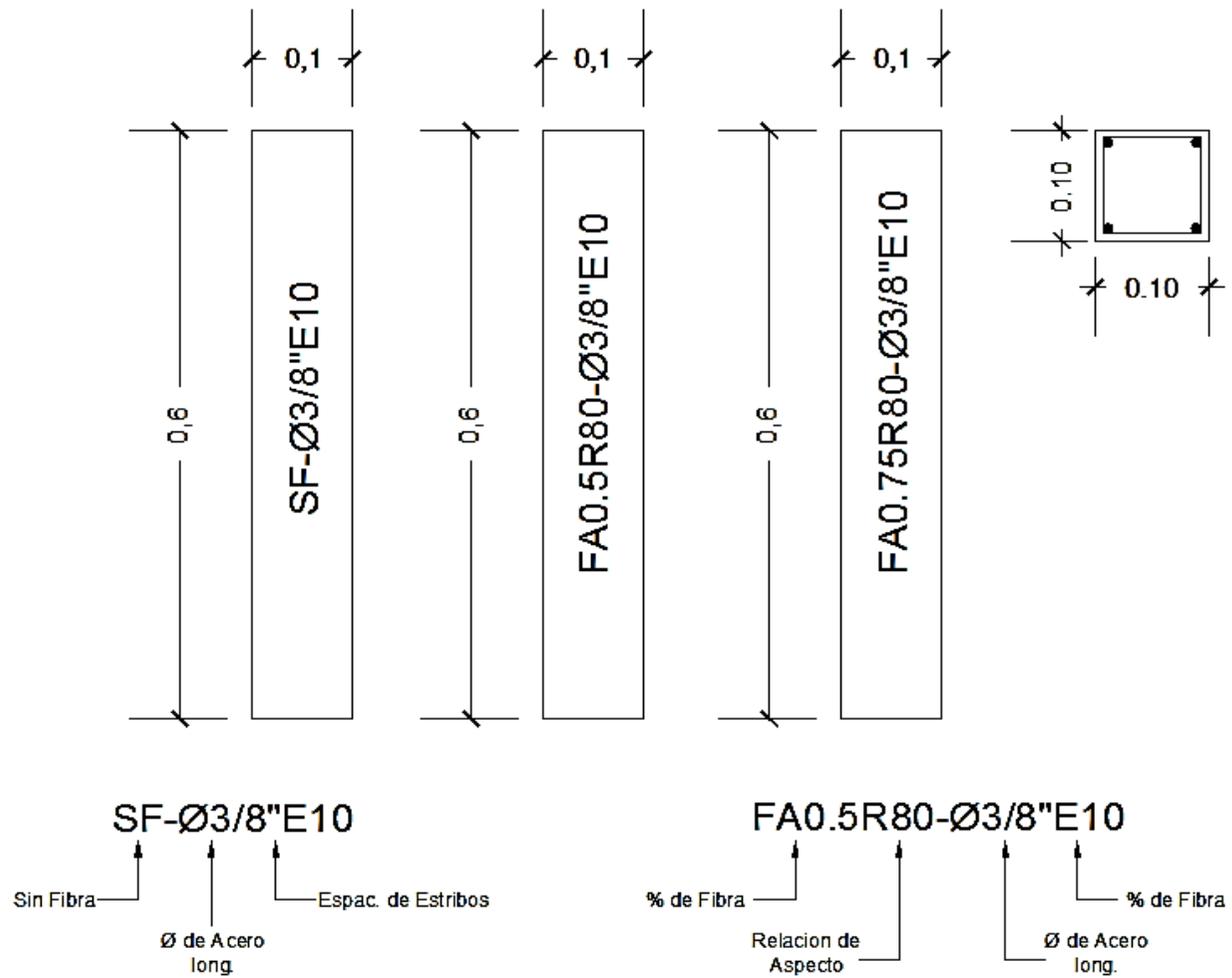


Figura 14.- Dimensión y características de las muestras. Fuente: Propia

3.2. Etapa de Prueba

Todas las muestras de columnas fueron prefabricadas de concreto con y sin fibras de acero y codificadas según sus características ver figura 14.

Las columnas tuvieron una sección transversal de 10 x 10 cm con una altura de 60 cm y recubrimiento de 1.5 cm. Estas dimensiones de muestras de columnas de concreto fueron ordenadas por la configuración de prueba existente disponible en el laboratorio. Todos los ensayos referentes a las muestras de columnas de concreto se realizó en la Máquina Universal Tecnotest de procedencia italiana (ver figura 15) con una capacidad máxima de carga de 60 toneladas de propiedad de la Universidad Nacional de Trujillo, ubicada en el Laboratorio de Ingeniería de Materiales. Las columnas ensayadas fueron pintadas de blanco para facilitar la detección de grietas y caracterización con codificaciones ya planteadas .

En todo proceso del ensayo las muestras de columnas de concreto fueron orientadas verticalmente para esperar al pistón de carga vertical en la cara superior de la columna a ensayar.

La velocidad de carga del cabezal que se aplicó a las muestras de columnas fue de 5.30 KN/seg.

La Máquina Universal registró datos por cada incremento de carga, como se muestra en la (figura 15) correspondiente a columnas de concreto con y sin fibras de acero, que incluyen las variación de las deformaciones longitudinales durante la aplicaciones de la carga.



Figura 15.- Maquina de prueba para especímenes de columnas. Fuente: Propia

3.3. Construcción de Muestras

Todas las muestras fueron construidas en un patio habilitado para la construcción de las columnas de concreto, las barras de refuerzo longitudinal fueron de 3/8", 12 mm y 1/2", los cuales se usaron 4 barras de acero longitudinales uno a cada esquina de la sección transversal de las columnas, los estribos fueron barras de acero de 1/4", estas fueron cortados por personal capacitado, los estribos tuvieron un espaciamiento $S=10$ cm, se utilizaron dados de concreto para cumplir con el recubrimiento de 1.5 cm. planteados con fines de estudio para esta tesis (esta dimensión de recubrimiento solo es válida para fines de estudios experimentales como es el caso de esta tesis, mas no para otros fines, ya sea para construcción de edificaciones u otros).

Se utilizó panel fenólico para encofrado, este material resulto idóneo para el desarrollo de esta tesis, debido que presenta un acabado de primera en la etapa de post desencofrado.

Tanto los lados laterales y la base de los moldes se recubrieron ligeramente con petróleo antes de vaciar el concreto para evitar la presencia de cangrejas que puedan presentarse al producto del desencofrado y para mayor facilidad al momento del desencofrado. Ver figura 16.

Una vez construida la armadura de acero, se pasa a colocar en el encofrado y amarrar los dados de concreto a los estribos con el fin de cumplir con el recubrimiento ya establecidos, una vez hecho todos los pasos ya mencionados, se pasa a mezclar el concreto en la mezcladora con las dosificaciones previamente ya diseñadas, para luego vaciar el concreto a los molde. Se pasó a retirar el encofrado una semana más tarde con el fin de que no presente deformaciones producto del desmolde del encofrado a temprana edad.

El ensayo a carga axial se realizó a los 30 días. El desfase de dos días de los ensayos se produjo por la falta de tiempo por parte del ingeniero encargado, ya que solo disponía de los fines de semana para realizar los ensayos.

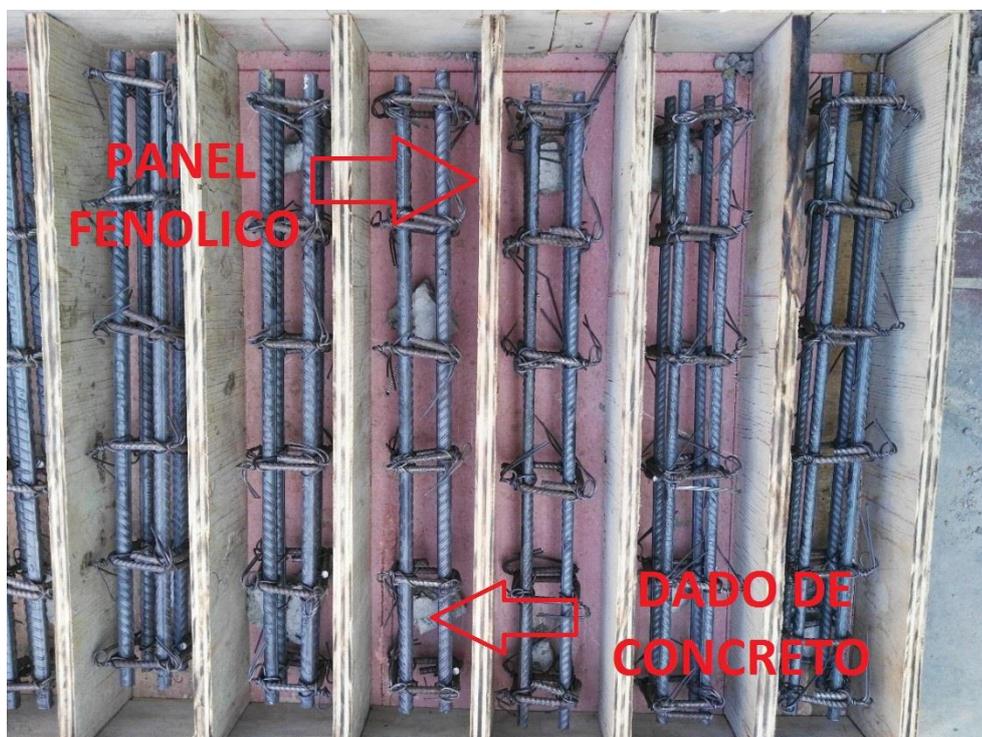


Figura 16.- Refuerzo longitudinal de especímenes y encofrado. Fuente: Propia

3.4. Proporciones del Concreto Reforzado con y sin Fibras de Acero

Las proporciones en peso se presentan en la tabla 2, la dosificación con fibras de acero están de acuerdo a las recomendaciones dadas según el ACI Committee 544 1R-96 (2009), que para agregado grueso de 1/2" recomienda una proporción de cemento que este en el rango de 300 y 500kg/m³, la dosificación para el concreto convencional se realizó en el laboratorio de materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego.

Material	CRFA 0.75%	CRFA 0.50%	Concreto Convencional
Cemento (kg/m ³)	413.46	413.46	413.46
Agregado Fino (kg/m ³)	857.32	857.32	857.32
Agregado Grueso (kg/m ³)	901.9	901.9	901.9
Agua (kg/m ³)	236.71	236.71	236.71
Fibra (kg/m ³)	58.87	39.25	-----

Tabla 2.- Proporciones en volumen. Fuente: Propia

Las literaturas recomiendan que para obtener mezclas uniformes la relación de esbeltez (long./diam.) debe ser como máximo de 100 y no usar agregados con diámetro superior 20mm ver (figura17). También se ha podido comprobar que los concretos son difíciles de trabajar cuando la cantidad de fibras de acero sobrepasa el 1.0 % en volumen absoluto de pasta. Estas cifras pueden aumentarse siempre que se trabaje con aspectos muy reducidos, lo que trae consigo una disminución de la eficacia del refuerzo. La buena docilidad de las mezclas y la eliminación de la formación de bolas aconsejan no emplear agregado grueso de tamaño superior a 20 mm, lo cual no es un grave inconveniente, ya que para muchas aplicaciones éste es un tamaño ideal.⁽⁴⁾

La Instrucción Española del Hormigón Estructural vigente (EHE) menciona que es conveniente favorecer la docilidad del CRFA incrementando la cantidad de finos mediante la incorporación de adiciones activas (materiales de naturaleza inorgánica como por ejemplo cenizas volantes) en la fabricación del concreto. Esta opción es delicada, pues exige un riguroso control in situ de la adición de finos; dicho control, por otra parte, es obligatorio en la fabricación del cemento Portland con **adiciones**. Así pues, es posible fabricar CRFA con contenidos de cemento entre 450 y 300 kg/m³. No es recomendable hacer caso omiso por su repercusión en la durabilidad y, en todo caso, bajos contenidos de cemento exigirán el empleo de adiciones activas. En el caso de morteros, la demanda de cemento será mayor, no debiendo sobrepasar, en cualquier caso los 500 kg/m³. La adición de fibras no impone ninguna especificación adicional al agua que será usada en la mezcla, pero impone un incremento en el volumen de pasta y, por tanto, en el volumen de agua de mezcla por m³. Tal incremento puede obtenerse respetando la relación agua/cemento mediante el aumento de volumen del conglomerante, ya sea aumentando el contenido de cemento.

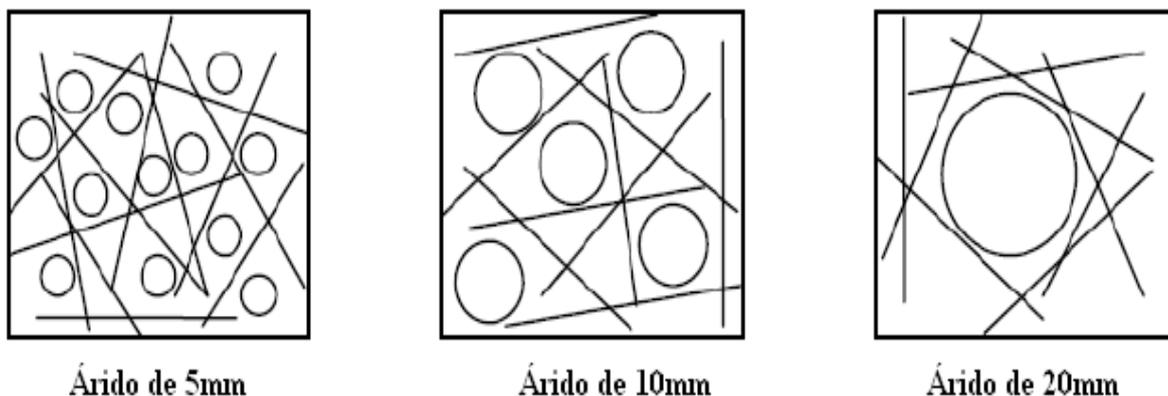


Figura 17.- Efecto del tamaño del árido en la distribución de las fibras. Fuente: Heisin Ramos Salcedo. *Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8*. (2012). Depto. Ingeniería de Estructuras y Construcción. Univ. Politécnica de Catalunya.

3.4.1. Fibras de Acero

Las fibras de acero ancladas fueron usadas en todas las mezclas de CRFA. Estas fibras comercializadas por Z Aditivos, han sido exitosamente usadas en investigaciones y se pueden conseguir en el mercado, bajo el nombre de "ZM 75/60" Fig. 18. Presentación de venta de las fibras de acero Fig. 19

Los anclajes (doblados) en el final de las fibras crean un mecanismo de adherencia adicional para el concreto Fig.20. Las fibras usadas en este estudio tuvieron una resistencia a la ruptura de 1200 MPa. También, estas fibras tuvieron un diámetro de 0.8mm, Lo cual es más comercial que de la mayoría de las fibras de acero promedio del mercado. Las características físicas y mecánicas de las fibras usadas en la investigación son listadas en la tabla 3.



Figura 18.- Fibra de Acero ZM 80/60 utilizada en esta tesis. Fuente: Propia



Figura 19.- Presentación de Venta de las Fibras de Acero. Fuente: Propia

ESBELTEZ o RATIO: L/d

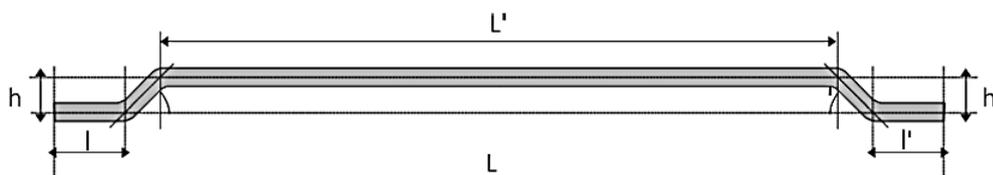


Figura 20.- Detalle de las fibras de Acero. Fuente: Propia

Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Longitud / Diámetro	Resistencia la Tensión MPa
60	0.75	80	1200

Tabla 3.- Características físicas y mecánicas de la Fibra de Acero ZM 80/60. Fuente: propia.

3.5. Propiedades de los Materiales

Cada muestra de columna fue construida con acero estructural de grado 60. Los CRFA y los concretos convencionales fueron mezclados en un patio habilitado para el proceso de mezclado y vaciado. Los detalles de las propiedades del material son presentados en las siguientes secciones.

3.5.1. Resistencia de las Probetas de Concreto Reforzadas con y sin fibras de acero

La resistencia promedio a la compresión del concreto convencional y de los CRFA se determinó mediante pruebas de compresión a probetas cilíndricas de concreto de 6 x 12 pulgadas ver figura 21, estos requerimientos son establecidos Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034. Se prepararon 2 cilindros para cada lote de material mezclado ver figura 22, la mezcla se llevó a cabo en un lugar propio del tesista. Se ensayaron todas las probetas de concreto a los 30 días. Las probetas de concreto se sumergieron en agua desde un día después del vaciado del concreto a los moldes hasta un día antes de la prueba de compresión ver figura ,23. Los cilindros fueron ensayados usando la Maquina Universal Tecnotest de procedencia italiana y de propiedad de la Universidad Nacional de Trujillo ver figura 24.



Figura 21.- Probetas de Concreto. Fuente: Propia



Figura 22.- Molde de para Probetas de Concreto Fuente: Propia



Figura 23.- Curado de las probetas de concreto. Fuente Propia



Figura 24.- Probeta ensayada en la Maquina Universal Tecnotest. Fuente: Propia

CAPITULO IV

ANALISIS Y RESULTADOS EXPERIMENTAL

4.1. Efectos de la Inclusión de las Fibras de Acero en la Resistencia a la compresión del Concreto

CUADRO DE RESISTENCIA DE PROBETAS DE CONCRETO						
<i>N° DE Probeta</i>	<i>Código de Probetas</i>	<i>Fecha de Toma de muestra</i>	<i>Fecha a Ensayar</i>	<i>Resistencia de Diseño f'c (kg/cm2)</i>	<i>Resistencia de Muestras (kg/cm2)</i>	<i>Resistencia Promedio de Muestras (kg/cm2)</i>
1	SF (sin fibra)	07/10/2016	05/11/2016	210	213.43	214.22
					215.01	
2	FA0.5R80	07/10/2016	05/11/2016	210	249.71	247.95
					246.19	
3	FA0.75R80	07/10/2016	05/11/2016	210	252.91	251.72
					250.52	

Tabla 4.- Resistencia de las Probetas de Concreto. Fuente: Propia

Los ensayos se realizaron a los 30 días.

La capacidad de resistencia de las probetas de concreto con y sin fibras de acero se indica en la tabla N°4. Se puede concluir que la resistencia a compresión se eleva, a medida que se aumenta la proporción de fibra de acero a la mezcla de concreto.

Probetas FA0.5R80 con un cantidad de fibra de acero de 39.25kg/m³ tuvieron una resistencia promedio de 247.95 kg/cm², la cual se considera un incremento porcentual de 15.7% con respecto a probetas SF (sin fibra).

Probetas FA0.75R80 con un cantidad de fibra de acero de 58.87kg/m³ tuvieron una resistencia promedio de 251.72, la cual se considera un incremento porcentual de 17.6% con respecto a probetas SF (sin fibra).

Influencia de la Adición de las Fibras de Acero en la Ductilidad de Columnas de Concreto Reforzado

Para probetas FA0.75R80, el incremento porcentual es de 1.6% con respecto a probetas FA0.5R80, es un incremento despreciable de unas muestra a otra, también teniendo en consideración que la diferencia porcentual de fibra de acero entre ambas es muy corta.

Ver tabla N°5 comparativa de probetas de concreto

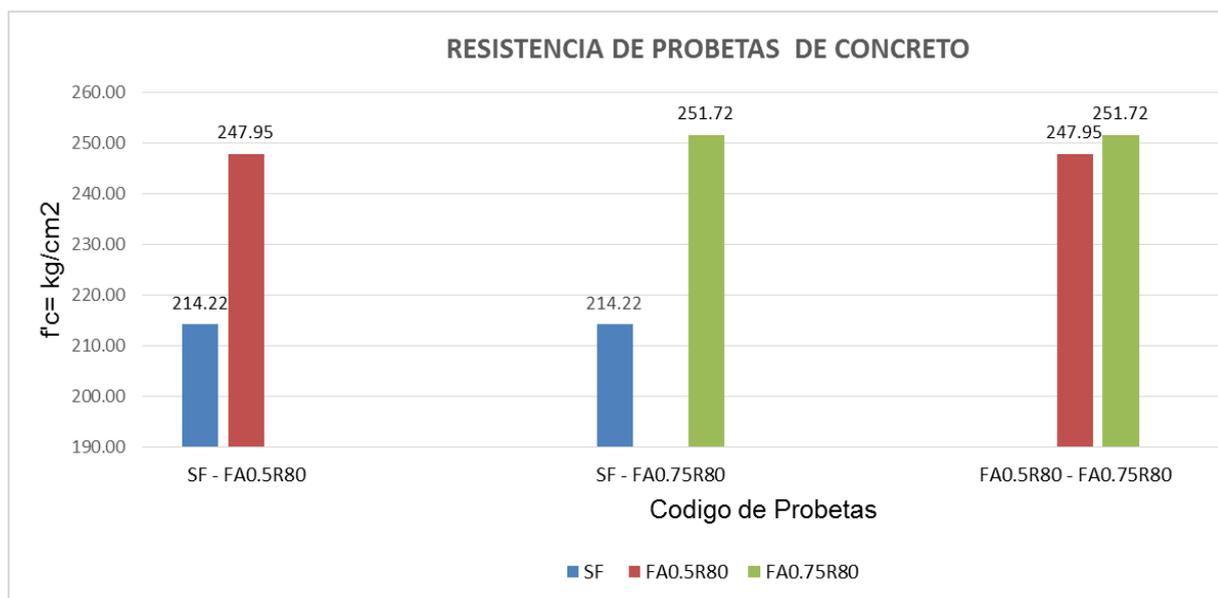


Tabla 5.- Grafica de Probetas de Concreto. Fuente: Propia

4.1.1. Caracterización de las Fisuras de las Probetas de Concreto



Figura 25.- Probeta SF. Fuente: Propia

Probeta SF (sin fibra) ver figura 25, presentó 2 grandes fisuras paralelas a la dirección de la carga, iniciando desde la parte superior hasta aproximadamente 7 cm antes de llegar a la base inferior, formándose gradualmente un cono.



Figura 26.- FA0.5R80. Fuente: Propia

Probeta FA0.5R80 ver figura 26, las fisuras se concentraron en la parte superior de la probeta, logrado obtener un esfuerzo de 247.95kg/cm², las fisuras fueron paralelas a la dirección de la carga, tomando una longitud de recorrido a de aprox. 11 cm. medido desde la parte superior a inferior.



Figura 27.- FA0.75R80. Fuente: Propia

Probeta FA0.75R80 ver figura 27, las fisuras se concentraron en la parte superior de la probeta, logrado obtener un esfuerzo de 251.72kg/cm², las fisuras fueron paralelas a la dirección de la carga, tomando una longitud de recorrido a de aprox. 18 cm. medido desde la parte superior a inferior.

4.2. Efectos de las Fibras de Acero en la Resistencia a la Carga axial y Ductilidad en Columnas

CAPACIDAD DE RESISTENCIA MAXIMA DE ESPECIMENES DE COLUMNAS ENSAYADAS										
N° DE COLUMNA	Código de Columna	TIPO DE CONCRETO	TIPO DE FIBRA	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO F'C (kg/cm ²)	PORCENTAJE DE REFORZAMIENTO LONG. ρ_v (%)	PORCENTAJE DE REFORZAMIENTO HORIZ. ρ_h (%)	VOLUMEN DE FIBRAS V_f (%)	RELACION DE ASPECTO DE LAS FIBRAS (L/d)	CARGA MAXIMA DE RESISTENCIA (KN)	ϵ (mm)
1	SF- \emptyset 3/8E10	CRN		214.22	2.85%	1.23%	-	-	286.05	7.25
2	FA0.5R100- \emptyset 3/8E10		FIBRA DE ACERO	247.95	2.85%	1.23%	0.50%	80	383.59	8.01
3	FA0.75R80- \emptyset 3/8E10		FIBRA DE ACERO	251.72	2.85%	1.23%	0.75%	80	388.65	9.21
4	SF- \emptyset 12mmE10	CRN		214.22	4.52%	1.23%	-	-	353.19	5.27
5	FA0.5R80- \emptyset 12mmE10		FIBRA DE ACERO	247.95	4.52%	1.23%	0.50%	80	427.06	6.57
6	FA0.75R80- \emptyset 12mmE10		FIBRA DE ACERO	251.72	4.52%	1.23%	0.75%	80	435.57	6.75
7	SF- \emptyset 1/2E10	CRN		214.22	5.07%	1.23%	-	-	380.89	6.20
8	FA0.5R80- \emptyset 1/2E10		FIBRA DE ACERO	247.95	5.07%	1.23%	0.50%	80	420.31	7.68
9	FA0.75R80- \emptyset 1/2E10		FIBRA DE ACERO	251.72	5.07%	1.23%	0.75%	80	444.73	8.16

Tabla 6.- Resistencia Máxima a Carga Axial. Fuente: Propia

4.3. Carga Máxima de Resistencia y Ductilidad por Deformación

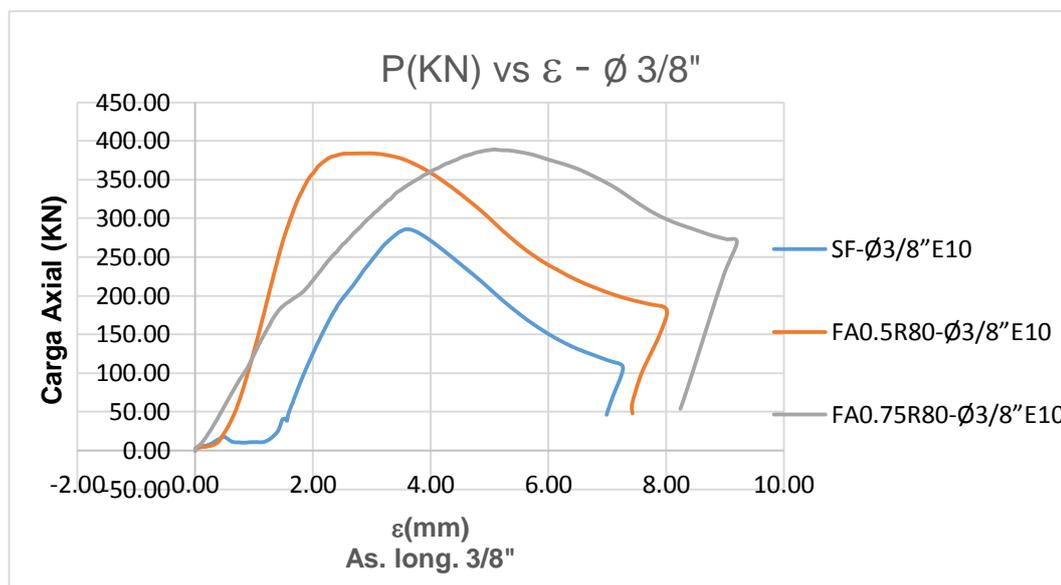


Figura 28.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente. Propia

La capacidad máxima de resistencia a carga axial de las muestras de columnas con y sin fibras de acero son indicados en la tabla N°6.

Se puede observar en la figura N°28 un incremento de la muestra FA0.75R80-Ø3/8E10 en la resistencia a carga axial de 35 % con respecto a la muestra SF-Ø3/8E10 que tuvo una resistencia a carga axial de 286.05 KN y un incremento no tan notorio de 1.3% con respecto a la muestra FA0.5R100-Ø3/8E10 que tuvo una resistencia a carga axial de 383.59 KN.

Las diferencias de capacidades de deformación una muestra con respecto a la otra son expresadas de la siguiente manera, la muestra FA0.75R80-Ø3/8"E10 tiene un incremento de deformación ultima del 27% con respecto a la muestra SF-Ø3/8"E10 que tuvo una deformación de 7.25 mm y un incremento del 14.9% con respecto a la muestra FA0.5R80-Ø3/8"E10 que tuvo una deformación de 8.01 mm.

Los picos máximos de resistencia se pueden apreciar en las muestras en las cuales cuentan con una dosificación de 58.87 kg/m³ que representa el

0.75% de presencia de volumen de fibra de acero en la muestra de columna.

Muestra	Ductilidad ϵ
SF- \emptyset 3/8E10	3.17
FA0.5R100- \emptyset 3/8E10	5.56
FA0.75R80- \emptyset 3/8E10	6.48

Tabla 7.- Ductilidad con cuantía de acero 2.85%. Fuente: Propia

En la tabla N°7 muestra valores de ductilidad por deformación, la muestra SF- \emptyset 3/8E10, la cual no cuenta con fibra de acero, tuvo una deformación que dio inicio a la fluencia (ver anexo 3) del elemento en análisis que fue de 2.29 mm y una deformación ultima de 7.25, que la relación de estas se interpreta, que la ductilidad es de $u = 3.17$, respecto a la muestra anterior el valor de la deformación ultima se incrementó en un 27%, que significa que la ductilidad creció hasta $u=6.48$ con la muestra FA0.75R80- \emptyset 3/8E10 que tuvo una dosificación de 57.87 kg/m³ de fibra de acero.

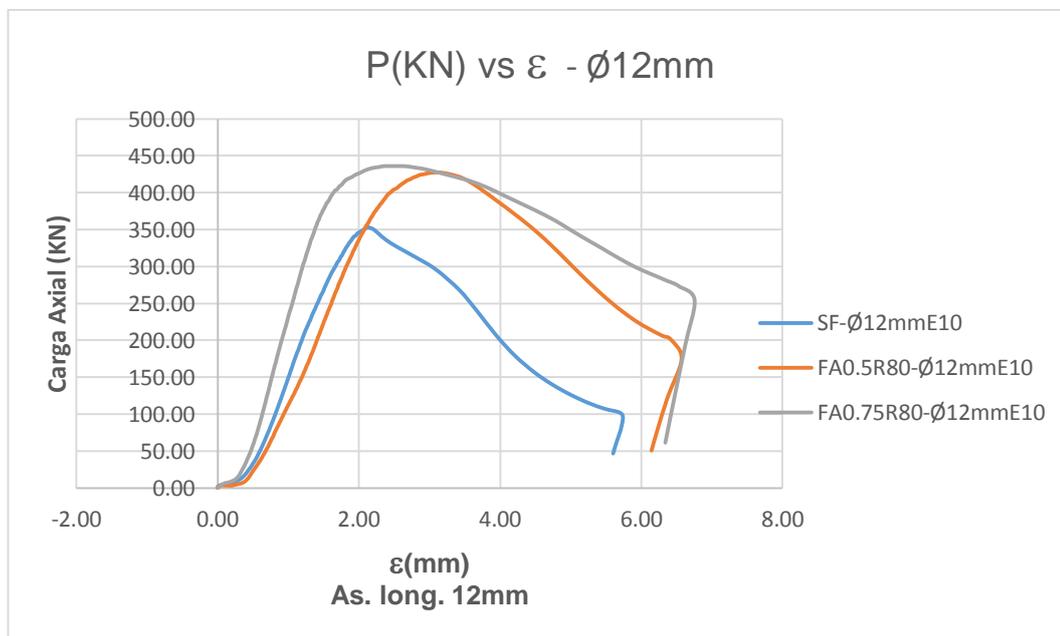


Figura 29.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente: Propia

Se puede observar en la figura N°29 un incremento de la muestra FA0.75R80- \emptyset 12mmE10 en la resistencia a carga axial de 23% con

respecto a la muestra SF-Ø12mmE10 que tuvo una capacidad de resistencia a carga axial de 353.19 KN, tuvo un incremento no tan notorio de 1.9% con respecto a la muestra FA0.5R100-Ø12mmE10 que tuvo una resistencia a carga axial de 427.06.

Las diferencias de capacidades de deformación una muestra con respecto a la otra son expresadas de la siguiente manera, por ejemplo la muestra FA0.75R80-Ø12mmE10 tiene un incremento de deformación última del 28% con respecto a la muestra SF-Ø12mmE10 que tuvo una deformación de 5.27 mm y un incremento del 2.73% con respecto a la muestra FA0.5R80-Ø12mmE10 que tuvo una deformación de 6.57 mm.

Los picos máximos de resistencia se pueden apreciar en las muestras en las cuales cuentan con una dosificación de 58.87 kg/m³ que representa el 0.75% de presencia de volumen de fibra de acero en la muestra de columna.

Muestra	Ductilidad ϵ
SF-Ø12mmE10	3.92
FA0.5R80-Ø12mmE10	3.37
FA0.75R80-Ø12mmE10	5.19

Tabla 8.- Ductilidad con cuantía de acero 4.52%. Fuente: Propia

En la tabla N°8 muestra valores de ductilidad por deformación, la muestra SF-Ø12mmE10, la cual no cuenta con fibra de acero, tuvo una deformación que dio inicio a la fluencia (ver anexo 3) del elemento en análisis que fue de 1.46 mm y una deformación última de 5.72, que la relación de estas se interpreta que la ductilidad es de $u=3.92$, respecto a la muestra anterior el valor de la deformación última se incrementó en un 18% que significa que la ductilidad creció hasta $u=5.19$ con la muestra FA0.75R80-Ø12mmE10 que tuvo una dosificación de 57.87 kg/m³ de fibra de acero.

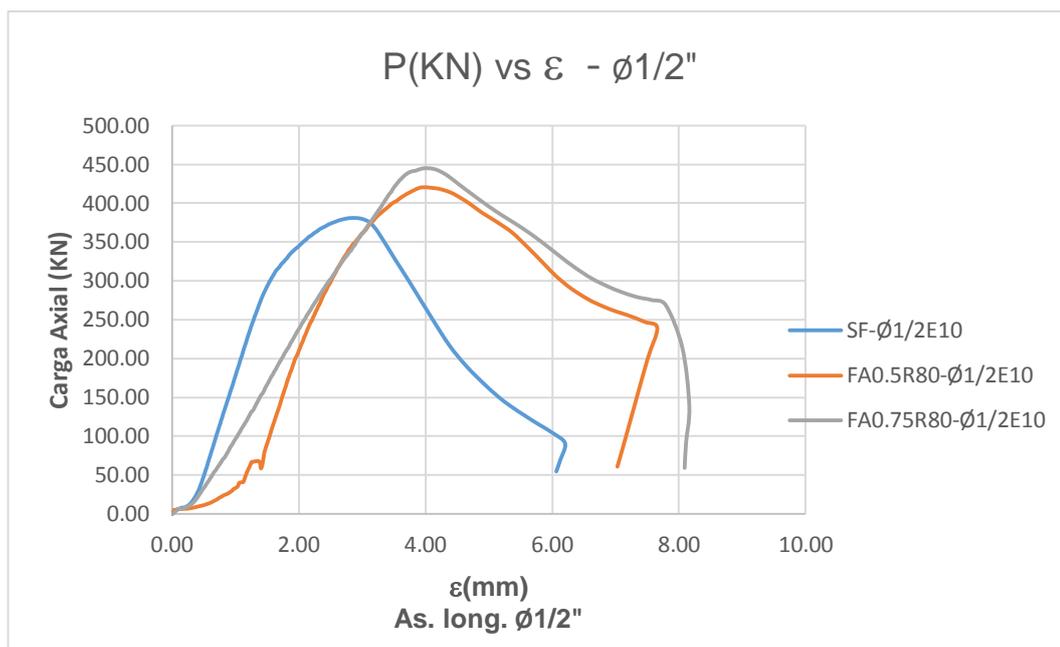


Figura 30.- Capacidad de Resistencia a Carga Axial. Fuente: Propia

Se puede observar en la figura N°30 que la muestra FA0.75R80-Ø1/2"E10 tiene un incremento del 13% con respecto a la muestra SF-Ø1/2"E10 que tuvo una resistencia a carga axial de 380.89 KN, este porcentaje de incremento no están significativo en comparación con muestras con menor área de acero longitudinal vistas en gráficos anteriores.

Las diferencias de capacidades de deformación una muestra con respecto a la otra son expresadas de la siguiente manera, por ejemplo la muestra FA0.75R80-Ø1/2"E10 tiene un incremento de deformación ultima de 31.6% con respecto a la muestra SF-Ø1/2"E10 que tuvo una deformación de 6.20 mm y un incremento del 6.25% con respecto a la muestra FA0.50R80-Ø12"E10 que tuvo una deformación de 7.68 mm.

La muestra de columna que mejor capacidad de resistencia a carga axial mostró fue la muestra FA0.75R80-Ø1/2"E10 y su vez tener gran capacidad de deformación

Los picos máximos de resistencia se pueden apreciar en las muestras en las cuales cuentan con una dosificación de 58.87 kg/m³ que representa el

0.75% de presencia de volumen de fibra de acero en la muestra de columna.

Muestra	Ductilidad ϵ
SF-Ø1/2"E10	3.48
FA0.5R80-Ø1/2"E10	3.70
FA0.75R80-Ø1/2"E10	4.08

Tabla 9.- Ductilidad con cuantía de acero 5.07%. Fuente: Propia

En la tabla N°9 muestra valores de ductilidad por deformación, la muestra SF-Ø1/2"E10, la cual no cuenta con fibra de acero, tuvo una deformación que dio inicio a la fluencia (ver anexo 3) del elemento en análisis que fue de 1.78 mm y una deformación última de 6.20, que la relación de estas, se interpreta que la ductilidad es de $u=3.48$, respecto a la muestra anterior el valor de la deformación última se incrementó en un 31.6% que significa que la ductilidad creció hasta $u=4.08$ con la muestra FA0.75R80-Ø1/2"E10 que tuvo una dosificación de 57.87 kg/m³ de fibra de acero.

4.4. Efectos de la Fibra de Acero en la Tenacidad

La valoración de la tenacidad se calculó mediante el método de suma de Riemann para aproximar el área bajo las curvas esfuerzo versus deformación. Ver figura 31

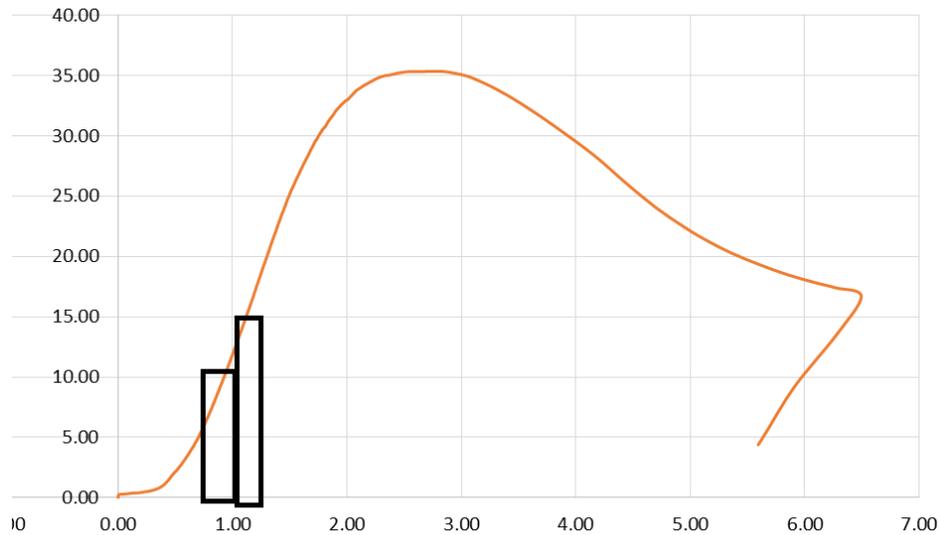


Figura 31.- Método de suma de Riemann.- Fuente: Propia

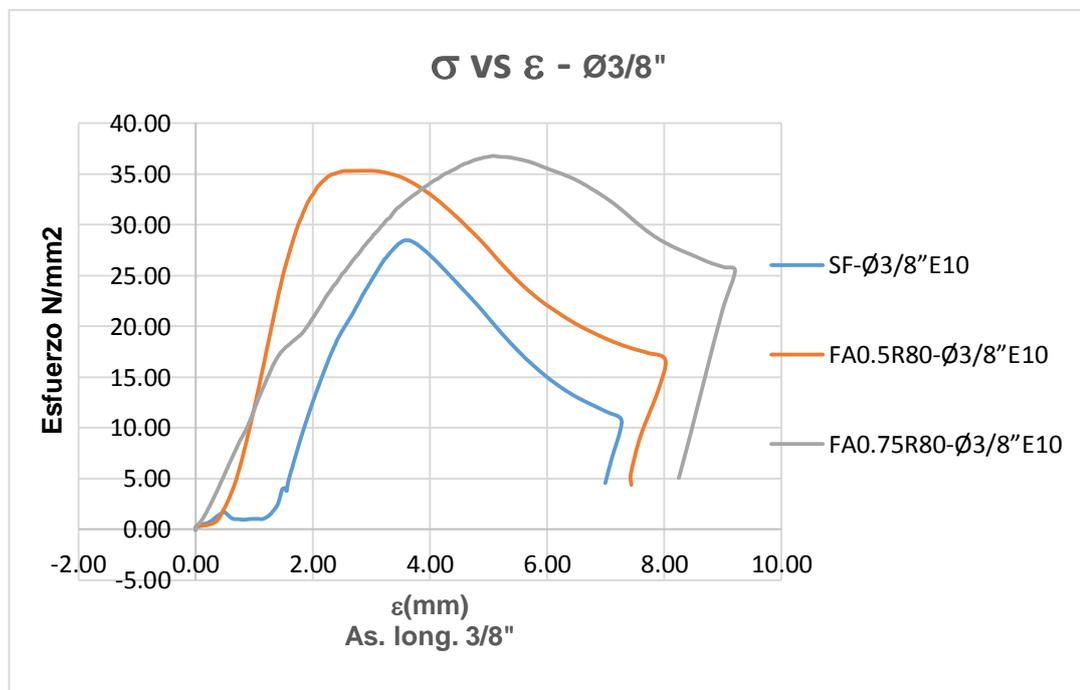


Figura 32.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con $\varnothing 3/8''$. Fuente: Propia

Influencia de la Adición de las Fibras de Acero en la Ductilidad de Columnas de Concreto Reforzado

Muestra	Tenacidad	$\sigma_{\text{máx.}}$ (N/mm ²)	ϵ (mm)
SF-Ø3/8E10	111.91	28.45	7.25
FA0.5R100-Ø3/8E10	197.10	35.34	8.01
FA0.75R80-Ø3/8E10	263.03	36.75	9.21

Tabla 10.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia

Tanto en la figura N°32 y en la tabla N°10 se puede apreciar claramente que la muestra FA0.75R80-Ø3/8E10 es la que mayor capacidad de energía puede absorber antes de colapsar, conteniendo una tenacidad de 263.03, superando en un 135% a la muestra SF-Ø3/8E10 y en un 33.4% con respecto a la muestra FA0.5R100-Ø3/8E10, por otro lado, el esfuerzo máximo de resistencia a carga axial de la muestra FA0.75R80-Ø3/8E10 respecto a las muestras SF-Ø3/8E10 y FA0.5R100-Ø3/8E10, con la inclusión de una dosificación de 58.87 kg/m³ de fibra de acero representa un incremento del 29.1% y 4.10% respectivamente.

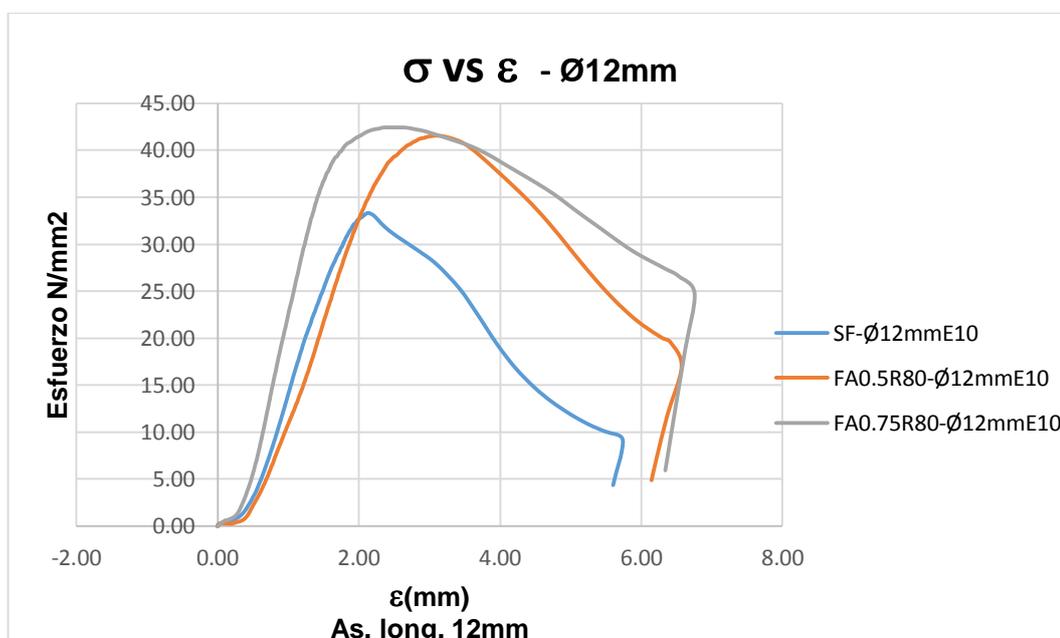


Figura 33.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con Ø 12mm. Fuente: Propia

Influencia de la Adición de las Fibras de Acero en la Ductilidad de Columnas de Concreto Reforzado

Muestra	Tenacidad	$\sigma_{\text{máx.}}$ (N/mm ²)	ϵ (mm)
SF-Ø12mmE10	108.01	33.33	5.27
FA0.5R80-Ø12mmE10	178.88	41.58	6.57
FA0.75R80-Ø12mmE10	220.02	42.40	6.75

Tabla 11.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia

Tanto en la figura N°33 y en la tabla N°11 se puede apreciar claramente que la muestra FA0.75R80-Ø12mmE10 es la que mayor capacidad de energía puede absorber antes de colapsar, conteniendo una tenacidad de 220.2, superando en un 103% a la muestra SF-Ø12mmE10 y un 22.9% con respecto a la muestra FA0.5R80-Ø12mmE10, por otro lado, el esfuerzo máximo de resistencia a carga axial de la muestra FA0.75R80-Ø12mmE10 respecto a las muestras SF-Ø12mmE10 y FA0.5R100-Ø12mmE10, con la inclusión de una dosificación de 58.87 kg/m³ de fibra de acero representa un incremento del 27.2% y 1.90% respectivamente.

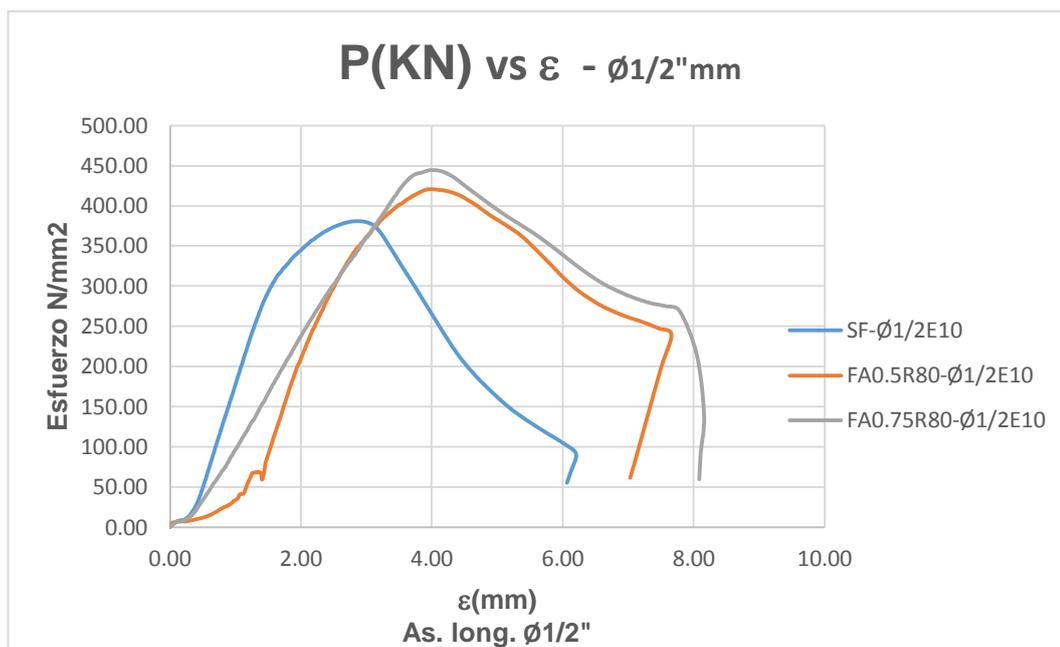


Figura 34.- Curva esfuerzo vs deformación de muestra de columna con $\phi 1/2$ ". Fuente: Propia

Muestra	Tenacidad	$\sigma_{\text{máx.}}$ (N/mm ²)	ϵ (mm)
SF- $\phi 1/2$ E10	132.31	35.66	6.20
FA0.5R80- $\phi 1/2$ E10	207.59	41.33	7.66
FA0.75R80- $\phi 1/2$ E10	220.91	42.13	8.16

Tabla 12.- Características Mecánicas de muestra de columna. Fuente: Propia

Tanto en la figura N°34 y en la tabla N°12 se puede apreciar claramente que la muestra FA0.75R80- $\phi 1/2$ "E10 es la que mayor capacidad de energía puede absorber antes de colapsar, conteniendo una tenacidad de 220.91, superando en un 66.9% a la muestra SF- $\phi 1/2$ "E10 y un 6.4% con respecto a la muestra FA0.75R80- $\phi 1/2$ "E10, por otro lado, el esfuerzo máximo de resistencia a carga axial de la muestra FA0.75R80- $\phi 1/2$ "E10 respecto a las muestras SF- $\phi 12$ mmE10 y FA0.5R100- $\phi 1/2$ "E10, con la inclusión de una dosificación de 58.87 kg/m³ de fibra de acero representa un incremento del 18.14% y 1.90% respectivamente.

4.5. Cálculo del Índice de Ductilidad

INDICE DE DUCTILIDAD PARA LAS MUESTRAS ANALIZADAS EN COLUMNAS					
Código de Columna	f'c (Mpa)	Coeficiente de Eficiencia de Confinamiento	Esfuerzo Aplicado por Estribos de Confinamiento	Esfuerzo Aplicado por Fibras de Acero	Índice de Ductilidad
		<i>ke</i>	<i>fl</i> (Mpa)	<i>f_{lf}</i> (MPa)	<i>I₁₀</i>
SF-Ø3/8"E10	214.22	0.0767	4.04	--	2.02
FA0.5R100-Ø3/8"E10	247.95	0.0767	4.04	1.09	5.87
FA0.75R100-Ø3/8"E10	251.72	0.0767	4.04	1.65	6.60
SF-Ø12mm	214.22	0.0841	4.04	--	2.19
FA0.5R100-Ø12mmE10	247.95	0.0841	4.04	1.09	6.04
FA0.75R100-Ø12mmE10	251.72	0.0841	4.04	1.65	6.77
SF-Ø1/2"E10	214.22	0.0862	4.04	--	2.24
FA0.5R100-Ø1/2"E10	247.95	0.0862	4.04	1.09	6.09
FA0.75R100-Ø1/2"E10	251.72	0.0862	4.04	1.65	6.82

Tabla 13.- Índice de Ductilidad. Fuente: Propia

4.6. Comparación de resultados Ductilidad por Deformación vs Índice de Ductilidad (I10)

Muestra	Ductilidad por Deformación	Índice de Ductilidad
SF-Ø3/8"E10	3.17	2.02
FA0.5R100-Ø3/8"E10	5.56	5.87
FA0.75R100-Ø3/8"E10	6.48	6.60
SF-Ø12mm	3.92	2.19
FA0.5R100-Ø12mmE10	3.37	6.04
FA0.75R100-Ø12mmE10	5.19	6.77
SF-Ø1/2"E10	3.48	2.24
FA0.5R100-Ø1/2"E10	3.70	6.09
FA0.75R100-Ø1/2"E10	4.08	6.82

Tabla 14.- Ductilidad por Deformación vs Índice de Ductilidad. Fuente: Propia

Las muestras de columnas ensayadas con cuantía de acero de 2.85%, muestran una similitud con los valores calculados analíticamente.

Las incongruencias de los valores calculados experimentalmente versus analíticamente se dan, motivados por las dimensiones de los elementos en análisis.

4.7. Caracterización de Modo de Falla de las Muestras.



Figura 35.- Muestra SF-Ø3/8E10. Fuente: Propia

En la figura 35, se puede observar un desprendimiento total en los bordes de la muestra de columna, este desprendimiento de concreto es paralelo a la acción de la carga, afectando al área no confinada en la parte superior de la columna tras la finalización de la prueba. Este tipo de falla se consideró falla por adherencia entre el concreto confinado y el que se encuentra fuera del alcance del estribo.



Figura 36.- Muestra FA0.5R100-Ø3/8E10. Fuente: Propia

En la figura 36, se puede observar un desprendimiento parcial en la parte inferior de la columna, tras la finalización de la prueba con presencia de grietas pronunciadas y discontinuas en la base. Este tipo de falla se le considera también falla por compresión, debido a la presión de la carga ejercida más el peso propio de la columna.



Figura 37.- Muestra FA0.75R100-Ø3/8E10. Fuente: Propia

En la figura 37 se puede observar un desprendimiento menor en comparación a las muestras anteriores, el concreto en la parte inferior de la columna tras la finalización de la prueba se puede observar fisuras discontinuas en la base. Este tipo de falla se le considera falla por compresión, debido a la presión de la carga ejercida más el peso propio de la columna.



Figura 38.- Muestra SF-Ø12mm. Fuente: Propia

En la figura 38 se puede observar un desprendimiento parcial del concreto en las esquinas de la muestra de columna paralelo a la acción de la carga del área no confinada en la parte superior de la columna tras la finalización de la prueba. Este tipo de falla se consideró falla por adherencia entre el concreto confinado y el que se encuentra fuera del alcance del estribo.



Figura 39.- Muestra FA0.5R100-Ø12mmE10. Fuente: Propia

En la figura 39 se puede observar un desprendimiento parcial del concreto en la parte superior de la columna tras la finalización de la prueba con presencia de grietas discontinuas en la parte superior de la columna con un recorrido de 17 cm aproximadamente. Este tipo de falla se le considera falla por compresión, es la falla más usual en cuando la presencia de carga axial en columnas.



Figura 40.- Muestra FA0.75R100-Ø12mmE10

En la figura 40 se puede observar en la columna tras la finalización de la prueba la presencia de fisuras discontinuas en la parte superior de la columna con un recorrido de 7 cm aproximadamente. Este tipo de falla se le considera falla por compresión, es la falla más usual en cuanto la presenta carga axial en columnas.



Figura 41.- Muestra SF-Ø1/2E10

En la figura 41 se puede observar un desprendimiento total del concreto en el lado superior de la columna, este desprendimiento es paralelo a la acción de la carga hacia el área no confinada en la parte superior de la columna tras la finalización de la prueba. Este tipo de falla se consideró falla por adherencia entre el concreto confinado y el que se encuentra fuera del alcance del estribo.



Figura 42.- Muestra FA0.5R100-Ø1/2E10

En la figura 42 se puede observar un desprendimiento en la base superior de la columna, este desprendimiento es paralelo a la acción de la carga hacia el área no confinada en la parte superior de la columna, quedando así como se observa en la figura tras la finalización de la prueba.

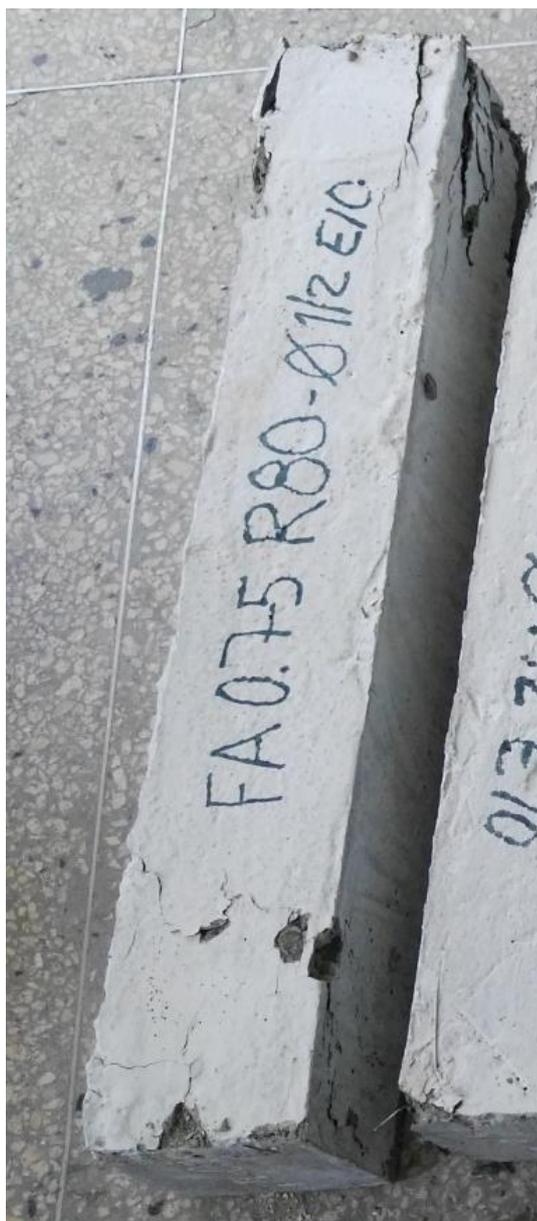


Figura 43.- Muestra FA0.75R100-Ø1/2E10

En la figura 43, se puede observar fisuras en los lados tanto superior como inferior de la columna, estas fisuras tomaron presencia en la etapa última de prueba. Esto se debe a que los estribos cuadrados solo ejercer confinamiento en las esquinas mas no en las partes laterales de la columna.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- La adición de fibras de acero mejoró sustancialmente la capacidad de carga y la capacidad de deformación, de tal manera que pueda tener un mejor comportamiento dúctil.
- Con la inclusión de 58.87 kg/m³ de fibras de acero se obtiene mejores resultados en cuanto la Ductilidad y capacidad de Resistencia a Carga Axial.
- Para columnas a las cuales se dosificaron con 58.87 kg/m³ que representa 0.75% de volumen de fibra de acero, las deformaciones ultimas tuvieron un incremento superior al 22% con respecto a columnas sin fibra de acero que tuvieron una deformación de alrededor de 6mm, teniendo un incremento de capacidad de soportar deformaciones antes de colapsar, dando factor $u=6.82$ que representa la ductilidad. Desde este punto de vista el empleo de fibra de acero aparece como una de las mejores maneras para incrementar la ductilidad.
- La tenacidad de los concretos reforzados con fibra de acero se incrementó en 1.35 veces, superando la Capacidad de Absorción de Energía de los concretos convencionales que contaron una tenacidad de 111.91.
- Los resultados de los ensayos de columnas muestran claramente el efecto de las fibras sobre la resistencia a carga axial, se obtuvo un incremento superior al 30% con inclusión de 58.87 kg/m³ de fibras de acero en la matriz de concreto con respecto a muestras sin fibras.
- La inclusión de las fibras de acero a la matriz de concreto mejora en un 17.6% la resistencia a la compresión en probetas con respecto a concretos convencionales que contaron una resistencia promedio de 214.22 kg/cm² a los 30 días.
- Los resultados obtenidos reflejan una respuesta eficiente de las fibras utilizadas en el comportamiento post - fisuración del concreto,

observándose que estas presentan un buen anclaje al concreto, que les permite comportarse en forma adecuada antes las sollicitaciones a las que fueron sometidas.

- La trabajabilidad del concreto depende mucho del porcentaje de fibra que se va a emplear en la mezcla, a mayor dosificación de fibra de acero, superando los 58.87kg/m³, mayor será la dificultad del proceso de mezclado debido a la conglomeración de las fibras de acero.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- Para próximas investigaciones se recomienda la utilización de un pórtico de carga, la cual pueda generar cargas cíclicas a las columnas y ensayos a flexión.
- Construir para próximas investigaciones columnas a escala reforzadas con y sin fibra de acero.
- Evitar el uso de porcentajes mayores del 1% de fibras de acero, a menos que la dimensión de la sección transversal de la columna lo pueda ameritar.
- Para próximos ensayos emplear concreto de alta resistencia con fibras de acero, para ver si se cuantifica un incremento considerable en la resistencia de las columnas.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Carles Puid Becerra (2011) Comportamiento Mecánico del Hormigón con fibras de acero Pág. 7-8
- (2) Monthian Setkit. (2012). seismic behavior of slender coupling beams constructed with high-performance fiber-reinforced concrete. Michigan: University of Michigan. Pág. 17,23
- (3) ACI (1996). State of art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.IR-96. ACI Fannington Hillis, MI.
- (4) Javier Ainchil Lavin. (2012) Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. Universidad Politecnica de Cataluña. Pág. 5,13,66
- (5) Ing. Enrique Pasquel Carbajal (2001) Tópicos de Tecnología del Concreto. CIP-Lima. Pág. 59-60
- (6) Hannant, D. J (1978). "Fiber Cements and Fiber Concretes," J. Wiley, Pág. 215
- (7) Naaman, A.E (2000). "Fibre Reinforcements for Concrete: looking back, looking ahead", Rilem Proceedings 15-60, BEFIB.
- (8) Fibras de acero para la sustitución total o parcial de armadura tradicional en prefabricados de hormigón (1º, Valencia, España, 2015). Sales Manager Building Products de BEKAERT.
- (9) Wasan Ismail Khalil, Ikbal Naeem Gorgis and Zeinab Raad Mahdi, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences (2012). Department of Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq. Pag. 1455- 1480
- (10) Ding. Y. (2000). " Compressive Stress-Strain Relationship of Steel Fibre Reinforced Concrete at Early Age", Construction and building Materials, Vol. 21, pp. 1250- 1253.

(11) D. N. (1975). "Methodes d'essais et caracteristiques des bétons armés des fibres métalliques", Rilem Symposium: Fibre Reinforced Cement and Concrete, Ed. Construction Press.

ANEXOS

ANEXO 1: Obtención del Material de la Cantera “Cieza Tejada”



ANEXO 2: Proceso de Diseño de Mezcla



En el proceso de ensayo del peso unitario compactado del agregado fino





En el proceso de Cuarteo de la Arena fina



Colocado de muestras al horno

ANEXO 3: Deformaciones en Estado de Fluencia y Deformación Última

	ϵ_y(mm)	ϵ_u(mm)
SF-Ø3/8"E10	2.29	7.25
FA0.5R100-Ø3/8"E10	1.44	8.01
FA0.75R80-Ø3/8"E10	1.42	9.21
SF-Ø12mmE10	1.46	5.72
FA0.5R80-Ø12mmE10	1.95	6.57
FA0.75R80-Ø12mmE10	1.30	6.75
SF-Ø1/2"E10	1.78	6.20
FA0.5R80-Ø1/2"E10	2.07	7.68
FA0.75R80-Ø1/2"E10	2.00	8.16

ANEXO 4: Características de los materiales y Diseño de mezcla

PROPIEDADES DEL AGREGADO

AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
CANTERA:		CANTERA:	
Modulo de fineza	2.86	Tamaño máximo	3/4
Peso volumétrico seco y suelto	1,502.74 g/cm ³	Peso volumétrico seco y suelto	1,468.87 g/cm ³
Peso volumétrico seco y compactado	1,654.32 g/cm ³	Peso volumétrico seco y compactado	1,615.48 g/cm ³
Absorción	3.86%	Absorción	3.07%
Humedad natural	1.87%	Humedad natural	1.45%

PARAMETROS DE DISEÑO

Resistencia deseada	fc=	210 kg/cm ²
Resistencia de calculo	fc cal=	242 kg/cm ²
Asentamiento máximo		4 plg
Estimacion de agua de mezclado		215 kg/m ³
Relación agua/cemento	(a/c)	0.52
Contenido de cemento		413.46 kg/m ³
Contenido de cemento		9.7 Bolsas/m ³
volumen de agregado grueso		0.561 m ³
Peso del concreto		2400 kg/m ³

MATERIALES SECOS POR METRO CUBICO EN PESO

Agua	215 kg/m ³
cemento	413.46 kg/m ³
agregado grueso	889 kg/m ³
Sub total	1,517.46
agregado fino	832.54 kg/m ³

MATERIALES POR METRO CUBICO EN PESO (CORREGIDOS POR HUMEDAD)

Agua de mezcla	236.71 kg/m ³	Ajuste por humedad del agregado grueso	-14.34
cemento	413.46 kg/m ³	Ajuste por humedad del agregado fino	-7.37
agregado grueso	901.9 kg/m ³		
agregado fino	857.32 kg/m ³		

ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Ubicación de Laboratorio: Laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego

Muestra: Arena

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

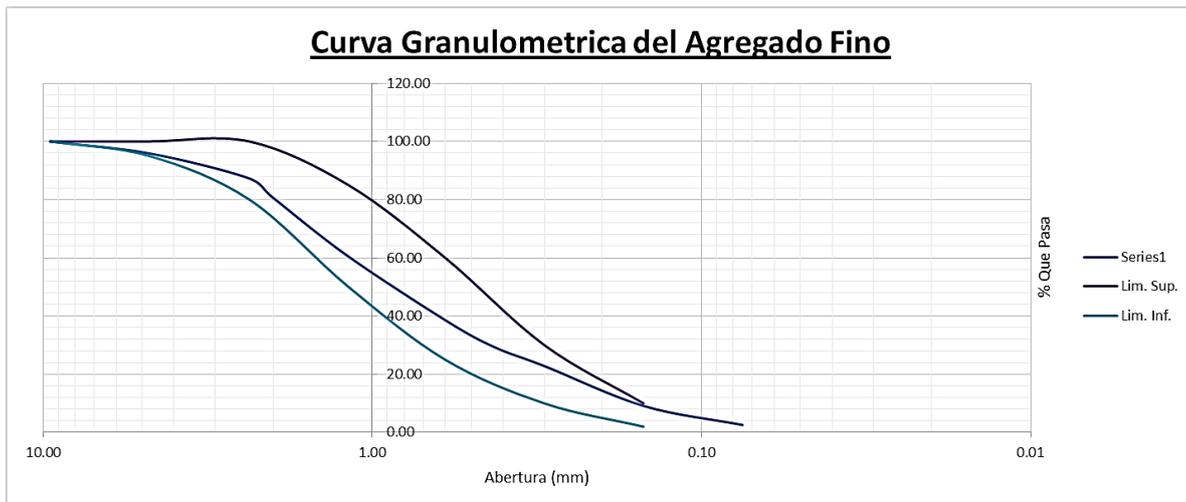
Norma Técnica Utilizada: NTP 400.012

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Peso Ret. Acum.	% Que Pasa	
2 1/2"	75.00					
2"	50.00					
1 1/2"	37.50					
1"	25.00					
3/4"	19.00					
1/2"	12.70					
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	4.75	76.47	4.10	4.10	95.90	Peso de Material (gr.): 1864.72
N° 8	2.38	158.13	8.48	12.58	87.42	Peso seco (gr.): 1864.72
N° 10	2.00	126.29	6.77	19.35	80.65	
N° 16	1.19	371.22	19.91	39.26	60.74	Descripción:
N° 30	0.59	422.66	22.67	61.93	38.07	% Grava
N° 40	0.43	163.42	8.76	70.69	29.31	
N° 50	0.30	120.79	6.48	77.17	22.83	% Arena
N° 100	0.15	255.22	13.69	90.86	9.14	% Finos
N° 200	0.08	122.49	6.57	97.42	2.58	
Recipiente		48.02	2.58	100.00		M.F. 2.86
Peso Total (gr)		1864.72				

MODULO DE FINURA	
Ideal	2.5 - 3.0

La Norma NTP 400.012 brinda el siguiente análisis granulométrico para agregado fino:

TAMIZ	Abertura del Tamiz (mm)	Lim. Sup.	Lim. Inf.
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.75	100	95
N° 8	2.36	100	80
N° 16	1.18	85	50
N° 30	0.6	60	25
N° 50	0.3	30	10
N° 100	0.15	10	2



ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Ubicación de Laboratorio: Laboratorio de la Universidad Privada Antenor Orrego

Muestra: Grava de 1/2"

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

Norma Técnica Utilizada: NTP 400.012

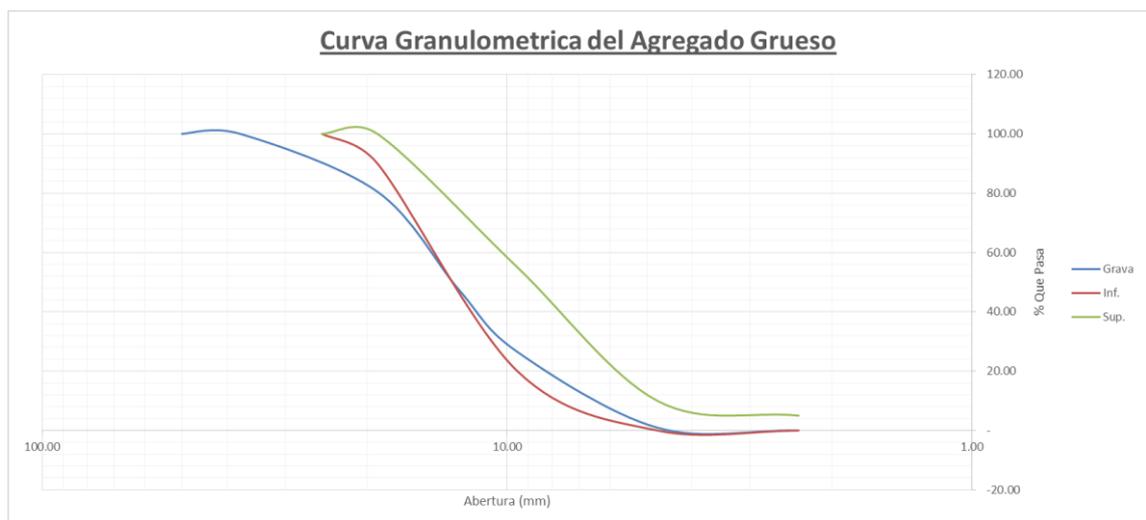
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Peso Ret. Acum.	% Que Pasa
2 1/2"	75.00	0.00	0.00	0.00	
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	371.23	19.50	19.50	80.50
1/2"	12.70	628.24	33.00	52.50	47.50
3/8"	9.50	399.79	21.00	73.50	26.50
N° 4	4.75	486.41	25.55	99.05	0.95
N° 8	2.38	18.09	0.95	100.00	0.00
Peso Total (gr)		1903.75			

Peso de Material (gr.): 1903.75
 Peso seco (gr.): 1903.75
 Descripción:
 % Grava
 % Arena
 % Finos

TMN: 1/2"
 TM: 3/4"

La Norma NTP 400.012 brinda el siguiente análisis granulométrico para agregado grueso

TAMIZ	Abertura del Tamiz (mm)	Lim. Sup.	Lim. Inf.
1"	25	100	100
3/4"	19	100	90
3/8"	9.5	55	20
N° 4	4.75	10	0
N° 8	2.36	5	0



Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Ubicación de Laboratorio: UPAO-Pabellon G

Muestra: Grava de 1/2"

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

Norma Tecnica Utilizada: 339.185

Muestra	M1
W_{tara} (grs)	115.00
$W_{\text{tara+agregado}}$ (grs)	1077.96
W_{agregado} (grs)	962.96
$W_{\text{tara+agregado seco}}$ (grs)	1064.20
$W_{\text{agregado seco}}$ (grs)	949.20
Contenido de Humedad (%)	1.45%

Contenido de Humedad del Agregado Fino

Ubicación de Laboratorio: UPAO-Pabellon G

Muestra: Arena

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

Norma Tecnica Utilizada: 339.185

Muestra	M2
W_{tara} (grs)	37.70
$W_{\text{tara+agregado}}$ (grs)	228.20
W_{agregado} (grs)	190.50
$W_{\text{tara+agregado seco}}$ (grs)	224.70
$W_{\text{agregado seco}}$ (grs)	187.00
Contenido de Humedad (%)	1.87%



Peso Unitario del Agregado Grueso

Ubicación de Laboratorio: Pabellon G de la Universidad Privada Antenor Orrego

Muestra: Grava

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

Norma Tecnica Utilizada: 400.017

Muestra	Suelto	Compactado
	M1	
$W_{\text{molde}} \text{ (grs)}$	7289.10	7289.10
$W_{\text{molde+agregado}} \text{ (grs)}$	21107.10	22486.20
$W_{\text{agregado}} \text{ (grs)}$	13818.00	15197.10
$W_{\text{molde+agua}} \text{ (grs)}$	16696.30	16696.30
$V_{\text{molde}} \text{ (cm}^3\text{)}$	9.41	9.41
P.U.A.G. (grs/cm³)	1468.87	1615.48

Peso Unitario del Agregado Fino

Ubicación de Laboratorio: Pabellon G de la Universidad Privada Antenor Orrego

Muestra: Grava

Procedencia del agregado: Cantera Cieza Tejada

Norma Tecnica Utilizada: 400.017

Muestra	Suelto	Compactado
	M1	
W_{molde} (grs)	7289.10	7289.10
$W_{\text{molde+agregado}}$ (grs)	21425.50	22851.60
W_{agregado} (grs)	14136.40	15562.50
$W_{\text{molde+agua}}$ (grs)	16696.20	16696.30
V_{molde} (cm ³)	9.41	9.41
P.U.A.F. (grs/cm³)	1502.74	1654.32



ANEXO 5: Construcción de Muestras de Columnas y Probetas de Concreto



Construcción de Muestras de Columnas



Construcción de Probetas de Concreto

ANEXO 6: Protocolo de Proceso de Rotura de Probetas y Muestras de columnas



Ajustando los pernos para una perfecta anclaje del disco al pistón



Monitoriando los protocolos de ensayos



Midiendo las dimensiones de las muestras con vernier digital



Inicio de las pruebas de uso de la Maquina Universal Tecnotest de Procedencia italiana



Se mide sus características físicas para ingresar datos al sistemas como diametro, altura y peso de cada probeta, se realiza este procedimiento antes de cada ensayo.



Midiendo las dimensiones de las Columnas a Ensayar



Se mide sus características físicas para ingresar datos al sistemas como diametro, altura y peso de cada probeta, se realiza este procediminto antes de cada ensayo.



Tesis manipulando la Maquina Universal Tecnotest

ANEXO 7: Calculo de Coeficiente de Eficiencia de Confinamiento

COEFICIENTE DE EFICIENCIA DE CONFINAMIENTO												
N° DE COLUMNA	Codigo de Columna	$\sum w_i^2$	Cy (cm)	Cx (cm)	S(cm)	S'(cm)	$\rho_c(\%)$	$\left[1 - \frac{\sum w_i^2}{6c_x c_y}\right]$	$\left[1 - \frac{s'}{2c_x}\right]$	$\left[1 - \frac{s'}{2c_y}\right]$	$1 - \rho_c$	ke
1	SF-Ø3/8E10	59.136	6.38	6.38	10	8.75	2.85%	0.757	0.314	0.314	0.971	0.0767
2	FA0.5R100-Ø3/88E10	59.136	6.38	6.38	10	8.75	2.85%	0.757	0.314	0.314	0.971	0.0767
3	FA0.75R100-Ø3/88E10	59.136	6.38	6.38	10	8.75	2.85%	0.757	0.314	0.314	0.971	0.0767
4	SF-Ø12E10	44.890	6.38	6.38	10	8.75	4.52%	0.816	0.314	0.314	0.955	0.0841
5	FA0.5R100-Ø12E10	44.890	6.38	6.38	10	8.75	4.52%	0.816	0.314	0.314	0.955	0.0841
6	FA0.75R100-Ø12E10	44.890	6.38	6.38	10	8.75	4.52%	0.816	0.314	0.314	0.955	0.0841
7	SF-Ø1/2E10	41.216	6.38	6.38	10	8.75	5.07%	0.831	0.314	0.314	0.949	0.0862
8	FA0.5R100-Ø1/2E10	41.216	6.38	6.38	10	8.75	5.07%	0.831	0.314	0.314	0.949	0.0862
9	FA0.75R100-Ø1/2E10	41.216	6.38	6.38	10	8.75	5.07%	0.831	0.314	0.314	0.949	0.0862

ANEXO 8: Esfuerzo Aplicado por los Estribos de Confinamiento

ESFUERZO APLICADO POR LOS ESTRIBOS DE CONFINAMIENTO						
N° DE COLUMNA	Código de Columna	Ast (mm²)	f_{yt} (Mpa)	dc (mm)	S (mm)	f_l (Mpa)
1	SF-Ø3/8E10	30.68	420	63.75	100	4.04
2	FA0.5R100-Ø3/8E10	30.68	420	63.75	100	4.04
3	FA0.75R100-Ø3/8E10	30.68	420	63.75	100	4.04
4	SF-Ø12E10	30.68	420	63.75	100	4.04
5	FA0.5R100-Ø12E10	30.68	420	63.75	100	4.04
6	FA0.75R100-Ø12E10	30.68	420	63.75	100	4.04
7	SF-Ø1/2E10	30.68	420	63.75	100	4.04
8	FA0.5R100-Ø1/2E10	30.68	420	63.75	100	4.04
9	FA0.75R100-Ø1/2E10	30.68	420	63.75	100	4.04

ANEXO 9: ESFUERZO APLICADO POR LAS FIBRAS

ESFUERZO APLICADO POR LAS FIBRAS					
N° DE COLUMNA	Código de Columna	α_f	Relación Volumétrica de Fibras	Resistencia al Corte de las Fibras	f_{if} (MPa)
1	SF-Ø3/8E10	80	--	21.48	--
2	FA0.5R100-Ø3/88E10	80	0.001529	23.68	1.09
3	FA0.75R100-Ø3/88E10	80	0.002293	23.92	1.65
4	SF-Ø12E10	80	--	21.48	--
5	FA0.5R100-Ø12E10	80	0.001529	23.68	1.09
6	FA0.75R100-Ø12E10	80	0.002293	23.92	1.65
7	SF-Ø1/2E10	80	--	21.48	--
8	FA0.5R100-Ø1/2E10	80	0.001529	23.68	1.09
9	FA0.75R100-Ø1/2E10	80	0.002293	23.92	1.65

ANEXO 10: FOTO POST ENSAYO



Con el equipo Técnico de l Universidad Nacional de Trujillo- Laboratorio de Ingeniería de Materiales. A la izquierda Ing. Alexnder Vega Amticono y a la derecha el asistente y Bach. Neyra

ANEXO 10: Ficha Técnica de Fibras de Acero



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campaña - Chorrillos.
Telf: 2523058 Cel: 998126514/998330130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 0816

Fibra para concreto

Fibra Metálica Z

Descripción: Fibra de acero fabricada bajo carbonado al frío para el aumento de la tenacidad del concreto. ASTM A 820 Alta tensión. ASTM C 94 Concreto lanzado ASTM A 116 Tenacidad ASTM A 108 Tenacidad. Viene en dos presentaciones: Fibra Metálica Z 65/35 (Shotcrete), Fibra Metálica Z 80/60 (losas)

Ventajas

- Alta resistencia a la flexión.
- Alta resistencia a los impactos.
- Alta resistencia a la fatiga.
- Resistencia al corte.
- Resistencia a la torsión.
- Aumento de la resistencia a las 24 horas.
- Proyecta el hormigón de una forma rápida.
- Se asegura mejor a la roca.
- Reemplazo a la malla.
- Consume menos gunit, la fibra rellena los vacíos o desniveles.
- Reducción del ciclo de trabajo.
- Fibras adheridas con pigmentos que se diluyen con la humedad de los agregados.

Usos

- Reparación de túneles.
- Muelles.
- Soporte de terreno.
- Paredes de retención.
- Estabilización de taludes.
- Pisos industriales tráfico pesado.
- Túneles convirtiéndose en tuberías reforzadas con fibra.
- Túneles seco o húmeda.
- Cimentación de equipos.
- Prefabricados.

Cuidado

Consultar con nuestras oficinas para recomendar el tipo de Fibra Metálica Z de acuerdo al tipo de trabajo

E-mail: ventas@zcorporacion.com.pe / entidad@zcorporacion.com.pe / web: www.zfibras.com.pe
ZETITA: Av. San Luis 3061 - San Borja - T: 011 5714 / 298 288 456 | Av. Faucel 1431 - Callao: 715 5770 / 998128493
Piura: Av. Bolognesi 311 lln. 3 Telf: (073) 321430 / 972001351 - Sullana: (073) 509408 | Chiclayo: Jr. Los Tombos 505 telf: (074) 223 718 / 994 278 779
Cuzco: Av. Teresa Tito Condorayta 1032 - Wanchaq Telf: (084) 267 111 / 994 366 766 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 213 Telf: (061) 573 591 / 998128495
Arequipa: Calle Paucarpata 323-A - Cercado Telf: (084) 207 368 / 994044994 | Trujillo: Av. Américo Sur 820 Urb. Palermo Telf: (044) 425 642 / 998127657



ADITIVOS

EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los falsanios N° 675 Urb. La Campaña - Chorrillos.
Tel: 2523058 Cel: 99812854 / 996350130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 0816

Dosificación

- Túneles vía seca o húmeda: 40 Kg. x m³
- En losas: 20 Kg x m²
- Se presenta en medidas encoladas con un pegamento que se disuelva fácilmente.
- Al usar aditivos plastificantes como Z Fluidizante SR, Z Fluidizante IR, Z Fluidizante RE, primero agregar la Fibra Metálica Z.

Características Técnicas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Tensión a la ruptura: 1200 MPA (ACI 544-3R-08)
- Alargamiento a la ruptura: ≤ 4%
- Módulo de Elasticidad : 210000 MPa
- 1Kg. / Cm² = 0.0980065MPa = Resistencia = 815.77 Kg. /Cm²
- Relación entre largo y el Diámetro= 65/35 largo
- Relación entre largo y el diámetro = 80/60 = Largo

¿POR QUÉ SE USA LA FIBRA METÁLICA EN REEMPLAZO DEL FIERRO DE TEMPERATURA?

- Porque el uso de las fibras metálicas para el armado disperso del hormigón aumenta considerablemente la resistencia del mismo a los choques dinámicos.
- Porque ofrece ventajas, tanto constructivas como económicas, en relación con el armado con malla de acero
- Porque mejora considerablemente las propiedades mecánicas del hormigón.
- Porque aumenta la resistencia del hormigón a fluctuaciones de temperatura.
- Porque el hormigón armado con fibra metálica presenta mayor resistencia a la corrosión.
- Porque, debido al armado tridimensional con fibra metálica, la superficie reforzada de esta forma registra mayor crecimiento de la tensión soportada.
- Porque en un número importante de aplicaciones ya no hace falta el uso de armadura de red metálica.
- Porque el proceso de insertar las fibras en el cemento se puede realizar directamente en la hormigonera, sin bomba.
- Porque su uso lleva automáticamente a una reducción de los gastos de armado y del tiempo de ejecución.
- Porque el sector del uso del hormigón armado con fibra metálica es muy amplio: Conducciones de hormigón, elementos prefabricados, pistas para aeropuertos, cimientos, pavimentos, encofrados perdidos, obras de reforzamiento de túneles (hormigón, gunitado).

Envases

Bolsa de 20Kg.

E-mail: ventas@zaditivos.com.pe / codiza@zaditivos.com.pe / web site: www.zaditivos.com.pe
ZETRA: Av. San Luis 3051 - San Borja - 7155744 / 998 288 455 | Av. Pallas 1631 - Callao 718 5770 / 998128493
Piura: Av. Bolognesi 311 Int. 3 ToM. (073) 321480 / 972001331 | Sullana (073) 5094108 | Chetayo Jr. Los Rumbos 505 Tel: (071) 233 748 / 994 276 776
Cuzco: Av. Tomasa Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Tel: (084) 257 111 / 924 086 746 | Puno: Av. Coronel Portillo 748 Tel: (061) 575 521 / 990126495
Arequipa: Calle Pausanias 523 - A - Cercado - Tel: (084) 203 998 / 994044e94 | Tumbes: Av. América Sur 820 Urb Palermo Iq. I. (044) 425 546 / 996127657