

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**SIMULACIÓN DE LA RESISTENCIA Y FLEXIÓN DE UNA  
COLUMNA CUADRADA  $F'C= 210 \text{ KG/CM}^2$  USANDO FIBRAS DE  
CARBONO Y DE MANERA CONVENCIONAL – 2018**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. GAMARRA MELGAREJO, JEAN VICTOR**

**ASESOR:**

**ING. AGUIRRE ORTIZ, ROMAN**

**HUACHO - PERÚ**

**2019**

**SIMULACIÓN DE LA RESISTENCIA Y FLEXIÓN DE UNA  
COLUMNA CUADRADA  $F'C= 210 \text{ KG/CM}^2$  USANDO FIBRAS DE  
CARBONO Y DE MANERA CONVENCIONAL – 2018**

---

Ing. Canales Changanqui, Aldo Manuel  
PRESIDENTE

---

Ing. Barrenechea Alvarado, Julio Cesar  
SECRETARIO

---

Ing. Pozo Gallardo, Emerson  
VOCAL

---

Ing. Aguirre Ortiz, Román  
ASESOR

### **DEDICATORIA**

Hago un reconocimiento muy especial y dedico este trabajo a mis padres, con la mayor gratitud y admiración por los esfuerzos realizados para lograr concretar mi carrera profesional, siendo para mí la mayor ilusión y la mejor herencia.

## **AGRADECIMIENTO**

Al término de este Proyecto de Tesis que representa la culminación satisfactoria de mi carrera profesional de Ingeniería Civil, quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar al final de esta etapa, a mis padres, a mi hermano y a mi familia quienes me brindaron su apoyo, ayuda y entusiasmo en todo momento y confiaron siempre en esto.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
MIEMBROS DEL JURADO Y ASESOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. Problema General.....	3
1.2.2. Problemas Específicos.....	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	11
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	32
2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	37
2.4.1. Hipótesis General.....	37
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>38</b>
3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.1.1. Tipo.....	38
3.1.2. Enfoque.....	38

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES.....	40
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	41
3.4.1. Técnicas a emplear.....	41
3.4.2. Descripción de los instrumentos.....	42
3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	42
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
4.1. RESULTADOS.....	43
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y</b> <b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>67</b>
5.1. DISCUSIÓN.....	67
5.2. CONCLUSIONES.....	73
5.3. RECOMENDACIONES.....	74
<b>CAPÍTULO VI: FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>75</b>
6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.....	75
6.2. FUENTES HEMEROGRÁFICAS.....	80
6.3. FUENTES DOCUMENTALES.....	81
6.4. FUENTES ELECTRÓNICAS.....	84
<b>ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Guía para la selección de fibra utilizando el sistema Sika Carbodur.....	14
Tabla 2. Peso y diámetro de las varillas de acero Grado 60.....	16
Tabla 3. Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	27
Tabla 4: Límites permisibles para agua de mezcla y curado.....	32
Tabla 5. Operacionalización de las Variables.....	41
Tabla 6. Cuadro comparativo Sin FRP – Con FRP.....	67
Tabla 7. Incremento para una columna de sección 0.30x0.30 con concreto f'c 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	68
Tabla 8. Porcentaje de incremento para una columna de sección 0.30x0.30.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1: Curva supuesta esfuerzo – deformación del concreto $f'c$ 210.....	43
Gráfico 2: Curva supuesta esfuerzo - deformación del acero.....	44
Gráfico 3: Diagrama de interacción carga axial - momento de una sección 0.30 x 0.30 de concreto armado $f'c$ 210 SIN FRP.....	51
Gráfico 4: Curva supuesta esfuerzo – deformación del acero.....	52
Gráfico 5: Diagrama de interacción carga axial – momento de una sección 0.30x0.30 de concreto armado $f'c$ 210 CON FRP.....	66
Gráfico 6: Diagrama completo de interacción para $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> cuya sección es 0.3 x 0.3.....	68
Gráfico 7: Diagrama de interacción en el en eje $x=0$ e $y=0$ para $f'c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> cuya sección es 0.30 x 0.30.....	69
Gráfico 8: Diagrama de interacción para diferentes espesores de reforzamiento mejora las resistencias (Axial y Momento) conforme aumenta el espesor de reforzamiento.....	70
Gráfico 9: Diagrama de interacción con deformación ultima de FRP obtenida por cálculo.....	71



---

**Simulación de la resistencia y flexión de una columna cuadrada F'C= 210 kg/cm<sup>2</sup> usando fibras de carbono y de manera convencional – 2018****Simulation of the strength and bending of a square column F'C = 210 kg / cm<sup>2</sup> using carbon fibers and conventionally– 2018**Gamarra Melgarejo, Jean Víctor <sup>(1)</sup>

---

**RESUMEN**

**Objetivo:** El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el Analizar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y una sin refuerzo de fibra de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018. **Materiales y Métodos:** El tipo de investigación que se realizó fue pura, de nivel cuasi-experimental, de corte transversal. Teniendo una población de 20 pruebas de las cuales se seleccionó 10 pruebas para el posterior estudio de investigación y comparación, la técnica que se empleo fue la observación y el instrumento fue la ficha de cotejo para ambas variables. **Resultados:** La capacidad a carga axial se incrementa en un promedio de 59.68% y de momento es 39.88% para la columna de sección rectangular de sección 0.30x0.30m. Para la columna cuadrada se puede observar que existe una mejora con la eficiencia de la fibra como refuerzo, se observa mejoras en Carga Axial y Momento, también se ve que existe un decremento conforme la resistencia del concreto aumenta; esto indica que existe una mayor mejora a flexión si la resistencia a compresión del concreto es menor. **Conclusiones:** La evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y otra sin refuerzo de fibra de carbono influyen de manera significativa para medir la mejora estructural en columnas -2018.

**Palabra Clave:** Resistencia de materiales, resistencia de columnas, flexión de columnas cuadradas.

**ABSTRACT**

**Objective:** The aim of this research work is to analyze the results of the evaluation of the flexural strength of a square column with carbon fiber reinforcement and one without carbon fiber reinforcement, which will influence the structural improvement in columns -2018. **Materials and Methods:** The type of research that was carried out was pure, of quasi-experimental level, of cross-section. Having a population of 20 tests of which 10 tests were selected for the subsequent study of research and comparison, the technique that was used was the observation and the instrument was the check card for both variables. **Results:** The axial load capacity increases by an average of 59.68% and for the moment it is 39.88% for the rectangular section column of 0.30x0.30m section. For the square column it can be seen that there is an improvement with the efficiency of the fiber as reinforcement is observed improvements in Carga Axial and Momentum, also it is seen that there is a decrease as the resistance of the concrete increases; this indicates that there is a greater improvement to bending if the compressive strength of the concrete is lower. **Conclusions:** The evaluation of the flexural strength of a square column with carbon fiber reinforcement and another without carbon fiber reinforcement significantly influence to measure the structural improvement in columns -2018.

**Keyword:** Resistance of materials, resistance of columns, bending of square columns.

---

<sup>(1)</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho - Perú

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el hombre ha ido perfeccionando los materiales de construcción para mejorar su condición de vida en la sociedad. Así fue como empezó a añadir paja a los bloques de adobe, pelos de caballo a la mampostería de mortero, entre otras técnicas de construcción que se remontan a tiempos memorables. En tiempos recientes, las industrias de la producción de materiales de construcción optaron por usar fibras en los diversos productos como cerámicos, plásticos, cementos con el fin de mejorar las propiedades tales como la resistencia a la tracción, a la compresión, mejor comportamiento ante el impacto, control de fisuras entre otros. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

El área de la construcción, es uno de los pilares de la ingeniería Civil, se apoya en el campo de los materiales de construcción. Estos elementos se encargan de dar forma mediante la aplicación de una tecnología, a todo tipo de construcciones ya sea rudimentaria o perfeccionada, en cuya realización interviene en mayor o menor grado el ingeniero Civil. Para comparar la resistencia y flexión de columnas cuadras, nos basaremos a las normas establecidas de Estructuras de Concreto Reforzado de R.Park y T. Paulay y la normativa alemana DAfStb; generara una comparación de las curva de flexo-compresión de la columna de concreto armado versus la curva de flexo-compresión de una columna de concreto armada reforzada externamente con fibra de carbono y en ellas se verificara si genera aumento. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

El presente trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo I. El planteamiento del problema, se presenta la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema general, problemas específicos, los objetivos de la investigación general y específicos.

Capítulo II. Marco teórico, se presenta los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, la definición de términos, hipótesis general e hipótesis específicas.

Capítulo III. Metodología, se presenta el diseño de la investigación, técnicas, instrumentos de recolección de datos población, muestra, operacionalización de las variables y técnica de procesamiento de la información.

Capítulo IV. Resultados, los resultados nos muestran la simulación y pruebas de resistencia y flexión de columnas cuadradas.

Capítulo V. Nos muestran la discusión, las conclusiones y las recomendaciones.

Capítulo VI. Fuentes de información, en este capítulo nos muestra las fuentes bibliográficas, las fuentes hemerográficas, las fuentes documentales y las fuentes electrónicas.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El reforzamiento estructural de una edificación es empleado para aquellas estructuras o elementos que por alguna razón presentan déficit en alguna de sus propiedades respecto a una nueva sollicitación de su vida útil. Generalmente estas nuevas sollicitaciones se presentan por el aumento en su carga de servicio, problemas de durabilidad debido a la utilización de materiales pobres e inapropiados durante la etapa de construcción, inadecuado diseño o construcción, cambios en el ambiente omitidos en el estudio y diseño inicial, incremento de cargas originada por el cambio de uso de la estructura o incremento de su vida útil para afrontar el deterioro de la edificación. Asimismo es importante para la Ingeniería Civil conocer las distintas metodologías y materiales empleados en el reforzamiento estructural que tiene como finalidad contrarrestar las falencias estructurales que presenta una edificación. Por ejemplo el reforzamiento mayormente utilizado mediante el uso de concreto y acero de refuerzo o de reforzamientos estructurales utilizando materiales compuestos por fibras poliméricas, fibras de vidrio, fibras de carbono, etc. (Alegre, 2017)

La fibra de carbono (CFRP) es un material compuesto esencialmente de átomos de carbono, constituido por pequeñas fibras de 50-10 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro. Los átomos de carbono que conforman las fibras de carbono se encuentran entrelazadas entre sí a través de cristales, los cuales están alineados paralelamente al eje longitudinal de la fibra, lo cual le produce a la fibra una alta resistencia en relación a su tamaño (Ojeda, 2011).

Entre las principales propiedades que poseen las fibras de carbono es que son materiales muy flexibles, son altamente resistentes, son elementos livianos y de baja densidad en comparación al acero, son resistentes a altas temperaturas y baja expansión térmica, poseen un bajo costo de instalación y una rápida puesta en servicio; estos beneficios las hacen muy conocidas en la industria aeronáutica, de la construcción, automovilística, etc. (Ojeda, 2011).

Los materiales aglomerantes como el concreto o mortero, son utilizados para su uso como materiales de construcción dado a que tiene características favorables, como por ejemplo su bajo costo, su durabilidad y su resistencia a la compresión para un uso estructural.

Ante ello este material nos da muchas ventajas pues es trabajable siempre y cuando estén en estado fresco, su deficiencia se prolonga en sus características de baja resistencia a la flexión, al impacto, pues el concreto es bueno para la compresión mas no para la flexión, una de las soluciones ante esta problemática es un reforzamiento mediante fibras de vidrio que es un conveniente, práctico y económico material para superar estas deficiencias del concreto, por consiguiente ofrece varias ventajas que favorece sus propiedades mecánicas del concreto dado que es resistente al impacto, mejora la resistencia de la flexión, la compresión, tiene bajo peso y sobre todo que es resistente a la corrosión.

En Perú, La fibra de carbono usada en el reforzamiento de elementos estructurales, es una ciencia relativamente moderna y reciente, ya que si bien tiene algunos años de estar en el medio, no hay mucho conocimiento y confianza en su efectiva resistencia. La ya mencionada fibra ha sido usada mayormente en la tecnología aeronáutica y debido a las grandes propiedades que este material le aportaba a las maquinas aeronáuticas, es que se hicieron estudios para poder aplicarla en diferentes áreas, en este caso para usarla en el área de la construcción.

Además, el uso de fibras de carbono en el concreto es poco usual y por ello es una nueva tecnología de aplicación, normalmente la fibra de carbono y la fibra de vidrio se utiliza para fines náuticos, transporte, construcción pues son resistentes al impacto. Viendo la problemática es que se planteara la adición de la fibra de vidrio tipo E para la mejora a las propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexión del concreto  $f' c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuáles son los resultados de una evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y una sin refuerzo de fibra de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo serán las columnas de sección cuadrada reforzada externamente con mantas y calcular por primera vez su deformación última y comparar la deformación última de columna sin refuerzo - 2018?
- ¿Cuáles serán los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?
- ¿Cuáles serán los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada sin refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y una sin refuerzo de fibra de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar columnas de sección cuadrada reforzada externamente con mantas y calcular por primera vez su deformación última y comparar la deformación última de columna sin refuerzo - 2018.

- Comparar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada sin refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.
- Comparar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Baldemebro, F. (2015), en su investigación titula: “Estudio numérico-experimental de fibras de Pet y su comportamiento en una matriz de concreto”, para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de la Coruña, nos menciona:

El presente proyecto tiene como objeto Evaluar el desempeño mecánico que presentan las fibras de PET embebidas en una matriz de concreto mediante pruebas experimentales y el modelado por elemento finito. La metodología que fue empleada en el presente estudio consiste en tres grandes partes: la búsqueda bibliográfica, el estudio experimental y el estudio numérico. El estudio experimental consistirá en toda la etapa realizada en el laboratorio, misma que se desarrollará en tres partes: La primera y segunda parte correspondiente a la caracterización por espectroscopía y microscopía se desarrollaran en los laboratorios del CIMAV y la parte correspondiente a la caracterización mecánica se desarrollará en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la UACH. Resultados: Se propone un valor de  $x$  aproximado a  $H/2$ , hasta que se encuentra equilibrio, una vez encontrado el equilibrio, se calculan directamente los esfuerzos en cada fibra, el momento resistente, los brazos de palanca, la carga y deflexión crítica, para luego correr el programa, y nos otorgue las cargas y desplazamientos de la viga, graficándose así mismo. Conclusión: La caracterización realizada a los materiales residuales utilizados para la elaboración de fibras muestra que presentan un bajo módulo elástico y valores medios en resistencias a la tensión. Esto hace que su empleo se recomiende para refuerzo de matrices utilizadas en la elaboración de elementos constructivos que requieren tenacidad más que resistencia. En relación al concreto reforzado con fibras de PET reciclado, los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que es factible que fibras



obtenidas directamente del reciclaje de los envases de plástico post-consumo puedan utilizarse con el objetivo de fabricar concretos con mejores propiedades mecánicas. El método de corte y forma de obtención de la fibra por vías mecánicas es una cuestión importante. La relación de aspecto de las fibras, el tipo de fibras (cortas o continuas) son un factor importante en el comportamiento mecánico y sus propiedades finales. Los resultados de las pruebas a flexión obtenidos demuestran que las fibras continuas permiten obtener valores mayores de resistencia a flexión que con fibras cortas.

Beltrán, A. (2013), en su investigación titula: “Uso de fibras de carbono como reforzamiento a flexión en vigas de concreto reforzado”, para optar el grado de Doctor en Ingeniería Civil en la Universidad de la Salle en Colombia, nos menciona:

El presente trabajo investigativo tiene por objeto determinar el comportamiento de vigas falladas a flexión reforzadas con tela SikaWrap 103 C adheridas con epóxico Sikadur 301, en la zona inferior de la viga, disponiendo la tela en sentido longitudinal. Según lo anterior, esta investigación hace parte de la línea de Comportamiento de estructuras especiales del grupo de investigación y Desarrollo Tecnológico (INDETEC); esta línea es la encargada de desarrollar y profundizar en las nuevas tecnologías referentes al campo de las estructuras por medio de la modelación experimental. La relación de la investigación con esta línea es la modelación y estudio directo del comportamiento de elementos de concreto armado reforzados a la flexión con tela SikaWrap 103 C, adherida con epóxico Sikadur 301 a una viga de sección 2 15x30 elaborada con un concreto de 3500 p.s.i (245 Kg/cm ). Conclusión: El uso de materiales compuestos por fibra de carbono, en este caso SikaWrap 103C adherido en una matriz de epóxico Sikadur - 301, como reforzamiento a flexión en elementos de concreto armado es muy eficiente, sobre todo al plantearlo como una alternativa a los métodos estructurales de reforzamiento tradicionales,

desde que se garantice una adecuada adherencia (Tn el caso de la tela SikaWrap) o anclaje (En el caso de las platinas SikaCarbodur).

López, J. (2015) en su trabajo de investigación titulado: “Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado”, para optar en Magister en Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México, nos menciona:

En el presente trabajo se evalúa mediante los resultados obtenidos de un estudio experimental la influencia que tiene dos tipos particulares de fibras, fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno, en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, cuando dichas fibras se emplean en diferentes porcentajes volumétricos iguales o menores al 1% en mezclas de concreto fabricadas con agregados traídos del Edo de México y del Edo de Hidalgo. El estudio comprende la fabricación de mezclas de concreto con agregado grueso de origen calizo de 3/8” de tamaño máximo, arena andesítica, cemento Portland compuesto resistente a los sulfatos (CPC 40 RS), fibra de acero DRAMIX (RC 65/35 BN) y macrofibra de polipropileno (MAC Matriz). En total se fabricaron ocho mezclas; una sin fibra (mezcla testigo o de referencia), tres con fibras cortas de acero para porcentajes volumétricos de 0.5, 0.75 y 1.0% (0, 40, 60 y 80 kg/m<sup>3</sup>) y cuatro con macrofibras de polipropileno para porcentajes volumétricos de 0.25, 0.5, 0.75 y 1.0% (2.3, 4.6, 7.0 y 9.3 kg/m<sup>3</sup>). Los parámetros para el diseño de mezclas fueron el revenimiento de 15 cm, un porcentaje de volumen absoluto para los agregados de 52% para la grava y de 48% para la arena, y una relación de agua/cemento de 0.5 para el concreto sin fibra. En el caso de las mezclas con fibras, se mantuvo el diseño de la mezcla del concreto de referencia, más la adición del tipo y consumo de fibra y en todos los casos se añadió un aditivo plastificante compuesto por lingosulfonatos (Pozzolith 322N) para mantener el revenimiento en el rango deseado, mismo que cumple con la Norma ASTM C 494 para aditivos Tipo A. Se determinaron las propiedades en

estado fresco de cada una de las mezclas: revenimiento, masa volumétrica, contenido de aire atrapado, cono invertido y resistencia al agrietamiento por contracción plástica. Además, en estado endurecido se determinó: resistencia a compresión, tensión, flexión, cortante, impacto, abrasión, módulo elástico, contracción por secado, tenacidad, permeabilidad al agua y flujo plástico (CREEP). A partir de los resultados experimentales obtenidos y del análisis efectuado, se podrá evaluar la influencia y desempeño del tipo y porcentaje de fibra en las diversas propiedades estudiadas en estado fresco y endurecido del concreto.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Calla, F. (2015), en su investigación titula: “Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado con fibra de carbono”, para optar en título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Santa María, nos menciona:

La presente Tesis tiene como objetivo determinar el Reforzamiento por flexión de vigas de concreto armado con fibra de carbono. La fibra de carbono usada en el reforzamiento de elementos estructurales, es una ciencia relativamente moderna y reciente, ya que si bien tiene algunos años de estar en el medio, no hay mucho conocimiento y confianza en su efectiva resistencia. La ya mencionada fibra ha sido usada mayormente en la tecnología aeronáutica y debido a las grandes propiedades que este material le aportaba a las maquinas aeronáuticas, es que se hicieron estudios para poder aplicarla en diferentes áreas, en este caso para usarla en el área de la construcción. Se ha podido demostrar que en las vigas simplemente reforzadas, el momento resistente calculado bajo la normativa NTE E.060 presenta un 15% a 20% de margen de seguridad, según las vigas ensayadas. Además estas presentan una gran cantidad de ductilidad del orden 2 – 3 antes de llegar al colapso. 2. Se pudo demostrar la efectividad del reforzamiento con fibra de carbono por flexión, ya que en todas las vigas ensayadas se obtuvo momentos resistentes mayores, llegando así a un aumento

aproximado de 30% a 40% en comparación a las que no fueron reforzadas.

Sánchez, J. (2017), en su investigación titula: “Comparación de la resistencia a la flexión de una columna cuadrada  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de fibras de carbono y de manera convencional, utilizando el mathcad”, para optar en título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada del Norte, nos menciona:

El presente trabajo se realiza para determinar y comparar en forma teórica la capacidad a flexo – compresión de columnas cuadradas de concreto armado sin reforzar y reforzadas mediante la adición del confinamiento externo con mantas de fibra de carbono. Generar por primera vez un procedimiento general de diseño para una columna cuadrada que sea simple de usar, además de mostrar por la curva de esfuerzo-deformación obtenida de este procedimiento; para esto se construirá la curva de flexo-compresión de las columnas, estas graficas se basarán en la metodología seguida en el libro de Estructuras de Concreto Reforzado de R.Park y T. Paulay y la normativa alemana DAfStb; generara una comparación de las curva de flexo-compresión de la columna de concreto armado versus la curva de flexo-compresión de una columna de concreto armada reforzada externamente con fibra de carbono y en ellas se verificara si genera aumento. Las curvas se construirán para la resistencia de concreto armado de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ; se usará la sección típica de concreto armado, también se responderán a las dudas si las columnas reforzadas tienen el mismo punto de falla que las columnas sin reforzar o si son iguales las deformaciones ultimas. Se hace mención que las gráficas de las curvas de flexo-compresión son dos ejemplos (Ver Anexo 02, pág. 75), para la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y sección cuadrada de columna de concreto armado, en estas graficas se responderá que nunca una columna reforzada con fibra de carbono y una columna sin refuerzo tienen la misma deformación unitaria ultima y si la sección reforzada tendrá una falla dúctil. Se procede al análisis

de los principales modelos de confinamiento aplicados a una sección de columna circular reforzada para esto se usará la normativa alemana “COMISIÓN ALEMANA PARA CONCRETO ARMADO” (Cuyas siglas son DAfStb- Deutsche Ausschuss für Stahlbeton), la cual se basa en las curvas de Liam y Teng que se van a usar como solo como guía para la construcción de un procedimiento propio para generar las gráficas de flexo-compresión de las secciones de columna cuadradas, creando una propia teoría de refuerzo de columnas cuadradas o rectangulares.

Carrillo, J. (2017) en su trabajo de investigación titulado: “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de compresión y flexión de un concreto patrón  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup> y un concreto reemplazado en porcentajes del 1, 2, 3 y 4% con Dramix 3D respecto al volumen del agregado fino de la mezcla, elaborado con agregados de las canteras de Vicho y Cunyac.”, para optar en título de Ingeniero Industrial en la Pontificia Universidad Andina del Cuzco, nos menciona:

La presente tesis de investigación tiene como objetivo principal hacer un análisis comparativo de un concreto patrón  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> y un concreto adicionado con fibras de acero Dramix 3D, en la resistencia del concreto tanto a compresión y flexión. Los concretos fueron elaborados con cemento Portland IP, agregado fino de las canteras de Cunyac (75%) y confitillo de Vicho (25%), agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ ” de la cantera de Vicho, pues estos fueron los agregados escogidos que cumplieron con las características exigidas por las Normas Técnicas Peruanas, fibras de acero Dramix 3D en porcentajes de 1, 2, 3 y 4% respecto al volumen del agregado fino de la mezcla y aditivo plastificante Sika HE-98, el concreto fue diseñado con el método ACI (American Concrete Institute). Se realizaron 90 probetas cilíndricas y 90 testigos prismáticos de acuerdo a la Norma ASTM C 31/C 31M – 03a (American Society of Testing Materials), las cuales fueron sometidas a ensayos de resistencia a compresión y flexión con la inclusión de la fibra de acero en dosificaciones de 1, 2, 3 y 4% respecto

al volumen del agregado fino de la mezcla, cantidades que se consideraron razonables para la investigación, basados en fichas técnicas de los proveedores de este material. De la misma manera se consideró la influencia de estas fibras de acero en la consistencia de concreto, estudiada a través del Cono de Abrams. Los resultados obtenidos con la inclusión de fibras de acero Dramix 3D al 2%, presentaron un mejor comportamiento a compresión para 28 días de curado, y la inclusión de fibras de acero Dramix 3D al 3%, presentaron un mejor comportamiento a flexión para 28 días. En conclusión, el reemplazo en 2% y 3% con fibras de acero Dramix 3D respecto al volumen del agregado fino de la mezcla, dan como resultado un mejor comportamiento a compresión y flexión en el concreto.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Fibra de carbono para reforzamiento estructural**

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de 5–10 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro, compuesto principalmente por carbono. Cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos de carbono. (Cavette, 2012)

Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero.

La principal aplicación es la fabricación de materiales compuestos, en la mayoría de los casos —aproximadamente un 75% con polímeros termoestables. El polímero es habitualmente resina epoxi, de tipo termoestable, aunque también puede asociarse a otros polímeros, como el poliéster o el viniléster. (Cavette, 2012)

Las propiedades principales de este material son:

- Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros materiales como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.

- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.

Los principios para la adhesión externa de platinas o tejidos CFRP a las estructuras de concreto son muy similares a los principios utilizados en la aplicación de platinas de acero adheridas. (Cavette, 2012)

En general, la resistencia a flexión, a fuerza del elemento es incrementada por las aplicaciones externas del material que trabaja a la tensión. El reforzamiento externo con CFRP es adecuado para varias aplicaciones estructurales, entre ellas:

- Aumento de capacidad debido a algún cambio en el uso.
- Confinamiento pasivo para aumentar la resistencia sísmica.
- Control y reparación de fisuras.
- Reforzamiento alrededor de las nuevas aberturas en las placas.

El uso de CFRP para el reforzamiento estructural tiene un corto historial y son necesarias pruebas de laboratorio adicionales, así como soporte con datos analíticos, para ampliar su uso. (Cavette, 2012)

En consecuencia, el uso de CFRP en reforzamiento estructural y aplicaciones de rehabilitación debe ser llevado a cabo con precaución y con el juicio de un ingeniero competente. CFRP no debe ser usado en las siguientes situaciones:

- La condición del substrato es desconocida o está muy deteriorado.
- Existe una corrosión sustancial en curso en el acero de refuerzo interno.
- No existe acero de refuerzo suave para proporcionar comportamiento dúctil.

### 2.2.2. Propiedades y guías de selección del tipo de fibra sika carbodur

(Cavette, 2012) menciona que: un sistema de reforzamiento de alto desempeño para concreto armado. Sistema de dos componentes: Adhesivo Sikadur-30 para la unión del reforzamiento y platina Sika Carbodur.

<b>Platinas Sika Carbodur</b>	
Base	Fibras de carbono
Color	Negro
Contenido de fibra en volumen	>68%
Resistencia a temperatura	>150°C

Guías de selección del Tipo de Fibra Las fibras solas presentan buenas características de durabilidad a largo plazo, pero son todavía afectadas directa o indirectamente por la humedad; los ciclos de temperatura, exposición a químicos y exposición UV. (Cavette, 2012)

El refuerzo a flexión está controlado por el módulo de rigidez del material, ya que el refuerzo en general se da en grandes luces con la necesidad de limitar las deformaciones. Por esta razón para el refuerzo a flexión se recomienda el uso de fibras de carbono por su alto módulo de rigidez comparado con otros tipos de fibras y su bajo peso. (Cavette, 2012)

El cuadro que se presenta a continuación proporciona algunas guías básicas para la selección de la fibra de acuerdo con el uso y la exposición ambiental. Las recomendaciones también se basan en consideraciones económicas una vez la idoneidad de la fibra es tomada en consideración. (Cavette, 2012)

El carbono puede siempre ser sustituido por vidrio; lo contrario no es cierto.



Tabla 1. Guía para la selección de fibra utilizando el sistema Sika Carbodur

Condición		Fibra de carbono	Fibra de vidrio
Carga pasiva	Tejidos adicionales como soporte estructural auxiliar		X
Carga activa	Estructura primaria, esfuerzo menor al 25% (Ultimate tensión strength – resistencia ultima a la tensión)		X
Carga activa	Estructura primaria, entre el 25% y 80% UTS	X	
Bajo agua	Completamente sumergido o mojado constante	X	
Bajo agua	Zonas de salpicadura	X	
Aplicaciones regidas por resistencia			X
Aplicaciones regidas por rigidez		X	
Bajo tierra	Condiciones de humedad cíclica, seco y mojado		X
Conductibilidad eléctrica/problemas con celdas galvánicas			X
Concreto joven – Aplicación interna o externa		X	
Condiciones alcalinas extremas; pH 9.5-13.5		X	
Condiciones ácidas extremas; pH 2.0 a 7.0			X
Bajos esfuerzos, alto ciclo de fatiga			X
Altos esfuerzos, alto ciclo de fatiga		X	
Altos esfuerzos de compresión		X	

Nota: (Aire Untiveros, 2002)

- **Resina epoxi (matriz):**

Las resinas epoxi son consideraras como el mejor material matriz para el uso con Sika Wrap, debido a su resistencia superior, propiedades adhesivas, resistencia a la fatiga, resistencia química y baja retracción. El factor determinante en la durabilidad CFRP a largo plazo es la habilidad de la resina para mantener las propiedades del material a lo largo de la vida de servicio de la rehabilitación. (Aire U., 2002)

- **Imprimante y/o adhesivo:**

El imprimante es usado como adhesivo para unir los compuestos del Sika Wrap al elemento estructural y para sellar el substrato previniendo la pérdida del epoxi

desde el tejido saturado. Es frecuente un epoxi básico como se describe arriba, mostrando las mismas buenas características de durabilidad como el epoxi matriz. La calidad del imprimante y/o adhesivos es crítica porque es responsable de la transferencia de varios esfuerzos entre los compuestos Sika Carbodur y el concreto. (Aire U., 2002)

- **Concreto armado:**

El concreto es un material compuesto muy empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añaden partículas o fragmentos de un agregado (arena y piedra), agua y aditivos específicos. El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero. Existe concreto que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el concreto asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

- **Cemento**

El cemento es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que, mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

El cemento consiste esencialmente en silicato cálcico hidratado (S-C-H) Este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas. Se denomina cemento hidráulico cuando el cemento, resultante de su hidratación, es estable en condiciones de entorno acuosas. Para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se añaden aditivos (en cantidades inferiores al 1% de la masa total del concreto), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

- **Esfuerzos de compresión uniaxial en el concreto**

La resistencia a compresión del concreto se obtiene del ensayo de probetas de 12" de altura por 6" de diámetro. Las probetas se cargan longitudinalmente a una tasa lenta de deformación para alcanzar la deformación máxima en 2 o 3 minutos. La curva esfuerzo-deformación se obtiene de este ensayo, en el cual se relaciona la fuerza de compresión por unidad de área versus el acortamiento por unidad de longitud. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

- **Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo en el concreto armado está conformado por varillas de sección redonda, las cuales tienen corrugaciones cuyo fin es restringir el movimiento longitudinal de la varilla relativa al concreto que las rodea. A continuación, se da una tabla con varillas de producción común en nuestro medio. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

Tabla 2. Peso y diámetro de las varillas de acero Grado 60

Barra número.	Diámetro		Peso kg/m	Área cm <sup>2</sup>	Perímetro cm
	Pulg.	cm			
3	3/8	0.95	0.559	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.993	1.27	3.99
5	5/8	1.59	1.552	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.235	2.85	5.98
7	7/8	2.22	3.042	3.88	6.98
8	1	2.54	3.973	5.07	7.98
9	1 1/8	2.66	5.028	6.41	8.98
10	1 1/4	3.18	6.207	7.92	9.97
11	1 3/8	3.49	7.511	9.58	10.97
12	1 1/2	3.81	8.938	11.40	11.97

Nota: (ICG, 2014)

a) **Módulo de elasticidad del acero y módulo de elasticidad del concreto**

El módulo de elasticidad del acero está dado por la pendiente de la porción elástica lineal de la curva esfuerzo – deformación. El valor del módulo de

elasticidad de los distintos tipos de acero cambia muy poco y generalmente se toma igual  $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .

Para el concreto el módulo de elasticidad del concreto está dado por la pendiente de la porción elástica lineal de la curva esfuerzo – deformación. El valor del módulo de elasticidad de los distintos tipos de concreto se obtiene por el valor  $E_c = 15000 \times f'_c$  (Morales, 2006), donde  $f'_c$  es el valor de la resistencia a compresión, valor obtenido de la rotura de una probeta de concreto en laboratorio. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

#### **b) Confinamiento del concreto por el refuerzo**

En la práctica, se confina al concreto mediante refuerzo transversal por estribos (zunchos y/o aros rectangulares de acero). El concreto queda confinado cuando a esfuerzos que se aproximan a la resistencia uniaxial  $f'_c$ , las deformaciones transversales se hacen muy elevadas debido al agrietamiento interno progresivo y el concreto se apoya contra el refuerzo transversal, el que entonces aplica una reacción de confinamiento al concreto. El refuerzo transversal proporciona confinamiento pasivo.

Las pruebas realizadas por investigadores han demostrado que el confinamiento por el refuerzo transversal puede mejorar considerablemente las características esfuerzo-deformación del concreto a deformación del concreto a deformaciones elevadas; además se ha demostrado que los zunchos confinan al concreto con mayor eficiencia que los estribos. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

### **2.2.3. COLUMNA**

Una columna es un elemento largo de forma vertical sujeto a una fuerza de compresión axial, se utilizan como soporte para estructuras como edificios, puentes, etc. Siempre que se diseña una columna, es necesario que se satisfagan requisitos específicos de resistencia, deflexión y estabilidad. En algunas columnas, si son muy largas o esbeltas la carga puede ser suficientemente grande como para provocar deflexión lateral (llamada pandeo). El pandeo de una columna puede conducir a la

falla de una estructura o mecanismo y, por tanto, debe presentarse especial atención al diseño de columnas, de modo que sean capaces de soportar cargas sin pandearse. La carga máxima que una columna puede soportar cuando está a punto de pandearse se llama carga crítica, cualquier carga adicional provocara que la columna se pandee y, por consiguiente, se deflexione lateralmente. (Hibbeler, 2010)

Una columna ideal es un elemento homogéneo, de sección recta constante, inicialmente perpendicular al eje, y sometido a compresión. La curvatura inicial de la columna, junto con la posición de la carga, dan lugar a una excentricidad indeterminada, con respecto al centro de gravedad, en una sección cualquiera. El estado de carga en esta sección es similar al de un poste corto cargado excéntricamente, y el esfuerzo resultante está producido por la superposición del esfuerzo directo de compresión y el esfuerzo de flexión o, mejor dicho, por flexión. Si la excentricidad es pequeña u el elemento es corto, la flexión lateral es despreciable, y el esfuerzo de flexión es insignificante comparado con el esfuerzo de compresión directo. Sin embargo, en un elemento largo, que es mucho más flexible ya que las flexiones son proporcionales al cubo de la longitud, con un valor relativamente pequeño de la carga  $P$  puede producirse un esfuerzo de flexión grande, acompañado de un esfuerzo directo de compresión despreciable. Así, pues, en las dos situaciones extremas, una columna corta soporta fundamentalmente el esfuerzo directo de compresión, y una columna larga está sometida principalmente al esfuerzo de flexión. (Hermosta & Tupayachi, 2015)

(Hermosta & Tupayachi, 2015) Cuando aumenta la longitud de una columna disminuye la importancia y efectos del esfuerzo directo de compresión y aumenta correlativamente las del esfuerzo de flexión. Por desgracia, en la zona intermedia no es posible determinar exactamente la forma en que varían estos dos tipos de esfuerzos, o la proporción con la que cada una contribuye al esfuerzo total. Es esta indeterminación la que da lugar a la gran variedad de fórmulas para las columnas intermedias. (Nash) Para dimensionar correctamente una columna son necesarias las siguientes especificaciones:

- a) Las columnas deben dimensionarse conforme a todos los momentos flectores relacionados con una condición de carga.
- b) En el caso de columnas situadas en esquina y de otras cargadas en forma desigual en lados opuestos de direcciones perpendiculares, deben tomarse en consideración los momentos flectores biaxiales.
- c) Es necesario dimensionar todas las columnas para por lo menos una excentricidad  $0.6 + 0.03h$  donde  $h$  es el peralte del elemento y para cargas axiales máximas no superiores a  $0.80 P_o$  cuando las columnas con estribos o de  $0.85P_o$  cuando llevan refuerzo en espiral o helicoidal.
- d) La cuantía mínima de refuerzo longitudinal (respecto al área transversal total de la columna,  $A_g$ ) es 0.01. La cuantía máxima es de 0.06. Sin embargo, en el caso de columnas cuya área seccional sea mayor que la exigida por las cargas puede usarse un valor más pequeño para  $A_g$ , aunque nunca inferior a la mitad del área bruta de dichas columnas, para calcular la capacidad de carga y el área mínima de varillas longitudinales. Esta excepción permite reutilizar encofrados para columnas más grandes de lo necesario y permite que el área de las varillas longitudinales sean apenas 0.005 veces el área real de la columna. Deberán utilizarse por lo menos cuatro varillas longitudinales en los arreglos rectangulares del refuerzo y seis en los circulares.

#### **2.2.4. Carga Axial**

Una fuerza axial es una fuerza que actúa directamente sobre el centro axial de un objeto en la dirección del eje longitudinal. Estas fuerzas pueden ser de compresión o de tensión, dependiendo de la dirección de la fuerza. Cuando una fuerza axial actúa a lo largo del eje longitudinal y este eje pasa por el centro geométrico del objeto, será además una fuerza concéntrica; en caso contrario será una fuerza excéntrica. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

Las fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del objeto se denominan normalmente como fuerzas verticales. Una de las partes importantes al analizar una fuerza axial es el concepto de centro geométrico y de centro axial. El centro geométrico es un punto dentro del espacio delimitado por la forma del objeto y que es el centro perfecto de

su masa, en otras palabras, desde este punto encontraremos la misma cantidad de masa del objeto en cualquier dirección. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

En un objeto simple y simétrico, como un cilindro, es fácil encontrar exactamente el centro geométrico realizando unas simples medidas de sus lados. El eje axial de un objeto va de un lado a otro del objeto pasando por el llamado centro axial. Esta línea depende de la forma del objeto y no de su masa. Por tanto, el centro axial y el centro geométrico pueden coincidir en el mismo punto o puede que no. Cuando una fuerza actúa directamente sobre el centro axial, coincida o no con el centro geométrico, es una fuerza axial. Una fuerza axial actúa comprimiendo o tensionando (estirando) el eje axial en dos direcciones opuestas. Una fuerza axial, por tanto, no hace moverse al objeto. Un ejemplo típico de fuerza axial se puede observar en las columnas de un edificio. La columna tiene un eje axial que la atraviesa desde arriba hacia abajo. La columna está sometida constantemente a una fuerza axial de compresión ejercida por el techo del edificio. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

### **2.2.5. Flexión**

Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término “alargado” se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. (Flores Colín & Gallegos Arzate, 2010)

La flexión se presenta acompañada de fuerzas cortantes. Sin embargo, la resistencia a flexión puede estimarse con suficiente precisión despreciado el efecto de la fuerza cortante. Podemos ver el comportamiento de elementos sujetos a flexión y efecto de las principales variables, y se presentan métodos para calcular la resistencia.

Toda sección transversal desarrolla internamente un par de esfuerzos normales a la sección (de tracción a un lado del elemento y de compresión al otro lado). (ARQHYS, 2017)

### **2.2.6. Reforzamiento a flexión**

El reforzamiento por flexión en elementos de concreto, mampostería o madera mediante el empleo de compuestos puede lograrse adhiriendo los materiales con resina epóxica a la superficie del elemento que se encuentre a tensión, orientando las

fibras en forma paralela a la dirección de los esfuerzos principales. La transmisión de los esfuerzos al reforzamiento externamente adherido se realiza a través de esfuerzos cortantes y normales generados en la interfase del sustrato y el adhesivo epóxico de liga. De aquí la importancia de asegurar que el sustrato tenga la resistencia requerida para que lleve a cabo esta transferencia de esfuerzos. (Flores Colín & Gallegos Arzate, 2010)

Es importante evitar que se presenten mecanismos de falla frágiles en el elemento reforzado. Por ende, se debe asegurar que la deformación en la zona de compresión del concreto no sea mayor al valor asociado a su falla (0.003), que se garantice la fluencia del acero de refuerzo dentro de un rango de deformación apropiado (normalmente entre 0.0035 y 0.05), y que se eviten fallas de separación y delaminación del refuerzo por efectos de esfuerzos locales. (Flores Colín & Gallegos Arzate, 2010)

- **Flexo – compresión**

Todos comenzamos estudiando el caso de columnas sometidas a carga axial o carga concéntrica, es decir columnas inicialmente rectas y sin excentricidad. Adicional a ello, sabemos que las columnas son elementos que están sometidos principalmente a esfuerzos de flexo-compresión. La mayor parte de los elementos estructurales sometidos a compresión también están solicitados por momentos flectores, por lo que en su diseño debe tomarse en consideración la presencia simultánea de los dos tipos de acciones. En zonas sísmicas, como las existentes en nuestro país, el efecto flexionante usualmente domina el diseño con relación a las solicitaciones axiales por lo que, a pesar de que los momentos por cargas gravitacionales sean importantes, se suelen escoger columnas con armadura simétrica, dada la reversibilidad de los sismos. El comportamiento de secciones específicas de columnas de concreto armado es descrito más claramente mediante gráficos denominados curvas o diagramas de interacción. Sobre el eje vertical se dibujan las cargas axiales resistentes y sobre el eje horizontal se representan los correspondientes momentos flectores resistentes, medidos con relación a un eje principal centroidal de la sección



transversal de la columna. (Rincón) (Flores Colín & Gallegos Arzate, 2010)

### **2.2.7. Concreto**

#### **Definición**

Según Rivva : El concreto es un producto compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentra embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado. La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo conjunto de este. El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas de otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida. El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregado y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Rivva, 2000)

De esta definición, se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes que bien proporcionados aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original. (Pasquel, 1998)

#### **Importancia**

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, mantenimiento de los elementos estructurales. (Hermeza & Tupayachi, 2015)

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o

menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanente para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al ingeniero. (Rivva, 2000)

### **Requisitos de la mezcla**

Riva (2000) mencionó que: Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados.
- Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.
- La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
- El costo de la unidad cubica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

### **Componentes del concreto**

La tecnología del concreto moderno define para este material cuatro componentes:

#### **Cemento**

Según Rivva define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerada capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. (Rivva, 2000).

Pese a intervenir en tan pequeñas proporciones su efecto es determinante en el concreto. La mayoría de beneficios en el concreto también provienen del cemento. Según Pasquel: La hidratación es un proceso químico que depende de la humedad, temperatura y tiempo. (Pasquel, 1998)

## **Agregados**

Sabemos que el concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de material conocido como agregado, el cual ocupa aproximadamente del 65% al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto. No obstante que el agregado constituye el material que en el más alto porcentaje interviene en la unidad cubica de concreto, el estudio del importante rol que él desempeña en el comportamiento de este fue durante muchos años descuidado. Este descuido fue principalmente debido a tres razones: que su costo, en general, era bastante menor que el del cemento, que las resistencias en compresión de los concretos eran, en general, bajas; y que se le consideraba como un material inerte de relleno. Hoy se sabe que el agregado tiene influencia determinante sobre las propiedades del concreto tanto en su estado plástico como ya endurecido. (Hermoza & Tupayachi, 2015)

En relación con su origen y su procedimiento de preparación del agregado puede ser natural o artificial. Las arenas y gravas son producto del intemperismo y la acción del viento y el agua. Las arenas manufacturadas, no empleadas en el Perú, y la piedra partida son producto de la trituración de piedras naturales. En el procesamiento de cualquier agregado puede utilizarse lavado y tamizado. Los agregados pueden ser obtenidos o producidos a partir de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. La presencia o ausencia de un tipo geológico determinado no es suficiente para definir a un agregado como adecuado o inadecuado. (Rivva, 2000)

### **Clasificación de los agregados para concreto (Hermoza & Tupayachi, 2015)**

- **Por su procedencia**

- a) **Agregados naturales**

Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto. Estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto.

- b) **Agregados artificiales**

Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. Algunos agregados de este tipo los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, el micro sílice, etc.

- **Por su Gradación** (Hermoza & Tupayachi, 2015)

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas que como ya hemos mencionado tiene suma importancia en el concreto. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75mm (malla estándar ASTM #4). Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo.

- a) Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5mm (3/8 pulg) y que cumple con lo establecido en la NTP 400.021 (2002)

- b) Agregado grueso

Es el agregado retenida en el tamiz normalizado 4.75mm (nº4) proveniente de la desegregación natural o artificial de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la norma presente. }

- **Por su Densidad**

Según (Pasquel, 1998): Entendiendo densidad como la gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, e acostumbra clasificarlo en:

- ✓ NORMALES: con  $g_e = 2.5$  a  $2.75$
- ✓ LIGEROS: con  $g_e < 2.75$ .

- ✓ PESADOS: con  $g_e > 2.75$ . Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso.

### **Propiedades físicas de los agregados**

Según (Hermoza & Tupayachi, 2015), Estará conformado de fragmentos cuyos perfiles sean preferentemente angulares o semiangulares, limpios, duros, compactos, resistentes y de textura preferentemente, rugosas y libres de material escamoso o partículas blandas.

La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm<sup>2</sup> Estará graduado dentro de los límites especificados en la Tabla de requisitos obligatorios.

El tamaño máximo de agregado a tomar será: 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados o 1/3 de la altura de las losas o 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo.

Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión.

- **Granulometría del agregado grueso** (Hermoza & Tupayachi, 2015)

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximadamente al 0.1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de materia de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150um (n°100); 300um (n°4); 600um (n°30); 1.18mm (n°16); 2.36mm (n°8); 4.75mm (n°8); 4.75mm (n°4); 9.5mm (3/8 de pulgada); 19.0 (3/4 de pulgada); 37.5mm (1 1/2 pulgada).

La granulometría del agregado grueso, deberá cumplir con los límites de la Tabla siguiente:

Tabla 3. Requisitos granulométricos del agregado grueso

Talla Nominal	% Pasa por los tamices normalizados												
	100 mm (4'')	90 mm (3 ½'')	75 mm (3'')	63 mm (2 ½'')	50 mm (2'')	37.5 mm (1 ½'')	25 mm (1'')	19 mm (¾'')	12.5mm (½'')	9.5mm (3/8'')	4.75mm (Nº4)	2.36 mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)
90 mm a 35.5 mm (3 ½'' a 1 ½'')	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
63 mm a 35.5 mm (2 ½'' a 1 ½'')	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
50 mm a 25 mm (2'' a 1'')	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
50 mm a 4.75 mm (2'' a nº4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
37.5 mm a 19 mm (1 ½'' a ¾'')	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
37.5 mm a 4.75 mm (1 ½'' a nº4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
25 mm a 12.5 mm (1'' a ½'')	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
25 mm a 9.5 mm (1'' a ¾'')	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
25 mm a 4.75 mm (1'' a nº4'')	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 65	-	0 a 10	0 a 5	-
19 mm a 9.5 mm (¾'' a ¾'')	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
19 mm a 4.75 mm (¾'' a nº4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
12.5 mm a 4.75 mm (½'' a nº4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
9.5 mm a 2.38 mm (¾'' a nº8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Nota: (Aire Untiveros, 2002)

- **Peso específico del agregado grueso**

Es el cociente entre el peso de las partículas dividido entre el volumen de los sólidos únicamente, es decir no incluye los vacíos entre ellas. Su valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 kg/m<sup>3</sup>.

- **Peso específico aparente agregado grueso**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} * 100$$

(AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso Específico y absorción del agregado grueso. NTP 400.021, 2002)  
Calculo de peso específico aparente (Pea)

Dónde:

A = peso de la muestra seca en el aire, gramos.

C = peso en el agua de la muestra saturada.

- Peso específico de masa agregado grueso (Hermoza & Tupayachi, 2015)

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas. (AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso Especifico y aborsion del agregado grueso. NTP 400.021, 2002) Calculo de peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} * 100$$

Dónde:

A = peso de la muestra seca en el aire, gramos.

B = peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos.

C = peso en el agua de la muestra saturada.

- Peso específico de masa saturada superficialmente seco agregado grueso (sss) (Rivva, 2000)

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa de agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas. (AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso Especifico y aborsion del agregado grueso. NTP 400.021, 2002)

Calculo de peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)} * 100$$

Dónde:

A = peso de la muestra seca en el aire, gramos.

B = peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos.

C = peso en el agua de la muestra saturada.

- Peso unitario

Es el cociente entre el peso de las partículas dividido entre el volumen total incluyendo los vacíos. Su valor para agregados normales oscila entre 1500 y 1700 kg/m<sup>3</sup>.

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, basados en la misma determinación. (Rivva, 2000)

Este método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150mm.



Calculo de peso unitario compactado o suelto, como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Dónde:

M = peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup>

G = peso del recipiente de medida más el agregado en kg T = peso del recipiente de medida en kg

V = volumen de la medida en m<sup>3</sup>

- Humedad

(Rivva, 2000) Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado.

Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. La humedad se expresa de la siguiente manera según ASTM C-566 (Pasquel, 1998).

El contenido de humedad

$$P = 100 * \frac{(W-D)}{D}$$

Dónde:

P = contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = masa de la muestra húmeda original en gramos

D = masa de la muestra seca en gramos

## Agua

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades. El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesarios en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que intervienen en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de estas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su habilidad para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto. Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos, etc. (Pasquel, 1998)

Para el diseño de mezclas el agua debe ameritar la realización de análisis físico y químico del agua, de tal manera que se establezca a composición real estableciendo una comparación con los porcentajes dados por las normas podamos decidir sobre el uso o no de una determinada agua. (Flores, 2009)

### **Requisitos de calidad**

El agua utilizada para la preparación de concretos debe cumplir con los requisitos establecidos en la NTP 339.088, esta establece que las aguas aptas para la preparación y curado del concreto son aquellas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están en los siguientes rangos.

Tabla 4: Límites permisibles para agua de mezcla y curado.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE (MÁXIMO)
Sólidos en suspensión	5,000 ppm
Materia Orgánica	3 ppm
Alcalinidad (nahco <sub>3</sub> )	1,000 ppm
Sulfatos (ion so <sub>4</sub> )	600 ppm
Cloruros (ion cl)	1,000 ppm
PH	5 a 8

Nota: CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. NTP 339.088, 2002)

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES SEGÚN (Alegre, 2017); (Hermeza & Tupayachi, 2015)

- **Acabado:** Conjunto de operaciones finales ejecutadas sobre una superficie a fin de dotarla de un determinado aspecto o aplicar sobre ésta un producto de protección. Es la textura final que se le da a una superficie; de esta manera se pueden encontrar pisos, muros, paredes, de diferentes apariencias: lisos, rugosos, rústicos, con distintos materiales como maderas, granito, morteros, cerámicas y muchos otros más.
- **Adherencia:** Capacidad de agarre entre materiales distintos, considerando la fricción entre los mismos.
- **Agregado:** Material granular de composición mineral que se mezcla en distintos tamaños junto con cemento y agua, para formar concreto.
- **Apuntalamiento:** El apuntalamiento es una técnica empleada para soportar estructuras inseguras, para reforzarla o para evitar que se derrumbe; es una

técnica temporal, utilizada mientras se llevan a cabo acciones definitivas para resolver el problema de estabilidad de la estructura.

- **Armadura:** Este término es empleado para varias definiciones, sin embargo, al que se hace referencia en este trabajo, es a la armadura como conjunto de cabillas y alambres que forman el esqueleto de un elemento de concreto armado.
- **Carga:** Fuerza externa que según el tipo que sea, actúa en distintas direcciones sobre una estructura.
- **Columna corta:** Es una columna que se encuentra restringida en parte de su longitud, por elementos que no le permiten comportarse dúctilmente, y al momento de recibir fuertes cargas, falla frágilmente por la zona que no se encuentra confinada. **Compresión:** es la acción de una fuerza que tiende a oprimir un elemento, intentando acortarlo o comprimirlo, lógicamente, en dirección de la fuerza.
- **Centros de tratamiento y/o aprovechamiento:** sitios en donde se podrán realizar actividades de separación, clasificación, tratamiento y almacenamiento temporal de los escombros implementando las medidas ambientales que manejen los impactos generados. Pueden ser fijos o móviles.
- **Estructura:** Puede definirse como cualquier disposición de materiales realizada para soportar cargas verticales (como el peso de los elementos estructurales, de las personas y de sus objetos) y cargas horizontales (acciones como el viento y los sismos); su función es delimitar, cubrir y sustentar un espacio donde se realizan actividades humanas.
- **Evento:** Es un suceso de origen natural, socio natural o antrópico, que se caracteriza por su ubicación, severidad y área de influencia. Un evento es la materialización en el tiempo y en el espacio de una amenaza, puede ser potencial o latente (cuando constituye una amenaza de ocurrencia), o un fenómeno como tal (una vez que se presenta u ocurre).

- **Fisuración:** Desarrollo de fisuras sobre una superficie de mortero o concreto. Las fisuras son fracturas de longitud, ancho, profundidad y características variables, que se presentan en los distintos elementos de las estructuras a diferentes intervalos de separación entre sí. Son causadas por múltiples orígenes y tienen diversos niveles de peligrosidad para la edificación.
- **Flexión:** Es un tipo de esfuerzo que incluye tracción y compresión, pero en lugar de actuar a lo largo de la dirección en que se aplican las fuerzas, como sucede con la tracción y compresión, lo hace cambiando la dirección de ellas. La flexión es un mecanismo propio de de las viga, que con la acción de su propio peso y cualquier carga adicional existente, inciden fuerzas perpendiculares que producen una deformación en la pieza que tiende a curvarse hacia abajo.
- **Granulometría:** Es la distribución de los tamaños de las partículas del agregado empleado para la mezcla de concreto. Dichos tamaños se determinan por medio de tamices con mallas de alambre de aberturas de diferentes tamaños. La granulometría afecta las proporciones de los agregados a emplear en el concreto, la trabajabilidad, la economía, la porosidad, la durabilidad y resistencia de la mezcla, así como los requerimientos de agua y cemento.
- **Grietas:** Son fisuras de mayor tamaño, generalmente cuando una fisura tiene un ancho mayor a 3milímetros, se le llama grieta. Tienen formas diversas y pueden ser causadas por muchas razones. Las grietas habitualmente representan problemas que afectan la estabilidad de las estructuras o sus miembros.
- **Licuefacción:** Es un fenómeno que se origina especialmente en suelos arenosos saturados, consiste en el hundimiento súbito del suelo debido a la pérdida de consistencia o solidez a causa del aumento de presión del agua contenida en el suelo; ocurre durante eventos sísmicos, con la vibración del terreno. Es un fenómeno similar a lo que se conoce como “arenas movedizas”, puede llegar a causar grandes problemas.

- **Normas:** es un documento que establece las condiciones mínimas que debe reunir un producto o servicio para que sirva al uso al que está destinado, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que establece; para usos comunes y repetidos; reglas, criterios o características para las actividades o sus resultados. Las normas son un instrumento de transferencia de tecnología, aumentan la competitividad de las empresas y mejoran y clarifican el comercio internacional.
- **Normalización:** consiste en la elaboración, difusión y aplicación de normas. La normalización de las diversas herramientas de gestión así como las de calidad, favorece el progreso técnico, el desarrollo económico y la mejora de la calidad de vida. Para el caso de esta tesis estudiaremos la normalización de las herramientas de gestión utilizadas en la industria.
- **Procedimiento:** manera o forma especificada de realizar una actividad. Por lo general es el listado de una serie de pasos claramente definidos, disminuyendo la probabilidad de errores o accidentes.
- **Proceso:** Es la forma y orden de ejecutar las actividades o procedimientos de una tarea, en especial trata de prever la calidad del producto de dicho proceso. Se puede señalar que el uso de los procedimientos escritos podrían mejorar enormemente el resultado de los procesos.
- **Proveedor:** Empresa industrial, comerciante, profesional, o cualquier otro agente económico que proporciona a otra empresa o persona un bien o servicio a cambio de una retribución con fines comerciales.
- **Proyectistas:** empresa o profesionales responsables del diseño del proyecto, encargados de transformar las necesidades o requerimientos de los propietarios en un expediente técnico que contenga especificaciones técnicas y planos de detalle en las diferentes especialidades necesarias.

- **Proyecto de construcción:** Es una célula o parte de un todo que conforma la organización o empresa, en este caso particular sería una parte de la gerencia de operaciones de una empresa constructora. Su característica empresarial es operar con autonomía a base de objetivos y resultados. Dentro de esa autonomía debe poder perfeccionar y propiciar el perfeccionamiento del personal humano que la compone, así como planear su futuro y programar sus actividades de acuerdo a sus estrategias para alcanzar sus objetivos.
- **Recubrimiento:** Es la distancia que existe entre la superficie exterior del concreto y la superficie de la armadura más cercana al borde del elemento. El recubrimiento es una capa de concreto que debe dejarse en todos los elementos de concreto armado, con la finalidad de proteger la armadura de los efectos del medio ambiente, y de proporcionarle cierto confinamiento a la misma.
- **Reforzamiento:** Es la adaptación de las propiedades de las estructuras para lograr mayor resistencia y resiliencia frente a los efectos dañinos de las amenazas. El reforzamiento se plantea según las consideraciones de diseño y de la función de la estructura, de las tensiones estimadas, de la utilidad práctica y de los costos de las diferentes opciones de reforzamiento.
- **Supervisión:** los clientes o propietarios de los proyectos no suelen ser especialistas en proyectos de construcción, por lo que normalmente se encuentran representados en el proyecto por una empresa supervisora o profesionales encargados de supervisar la correcta ejecución de los trabajos del contratista, de acuerdo al expediente técnico elaborado por los proyectistas.
- **Tensión:** Las fuerzas de tensión son aquellas que tienden a estirar o alargar un elemento. La tensión es producida por un par de fuerzas opuestas sobre la misma línea de acción. También llamadas fuerzas de tracción.
- **Transportador:** Cualquier persona natural o jurídica que preste servicios de recolección y traslado de RCD en distintos puntos de generación, pudiendo asumir o no la titularidad de los mismos.

- **Tratamiento:** Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de reutilización o y se minimizan los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana.
- **Trazabilidad:** Conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos que permiten conocer el origen, tipo, ubicación, cantidad y la trayectoria, en este caso de los RCD, en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas, así como los históricos de origen, tipo, ubicación, cantidad y trayectoria para un periodo de tiempo determinado.
- **Sitio de disposición final:** Lugar autorizado destinado para recibir y acopiar de forma definitiva el material residual del aprovechamiento en las plantas y todo aquel RCD pétreo que por sus características físicas no pudo ser objeto de aprovechamiento.

## **2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y otra sin refuerzo de fibra de carbono influye de manera significativa para medir la mejora estructural en columnas - 2018.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Tipo**

El tipo de investigación que se realizó en el presente trabajo de tesis fue de tipo Básica, concentra su atención en las posibilidades fácticas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver los problemas y necesidades que se plantean los hombres en sociedad en un corto, mediano o largo plazo. Es decir, se interesa fundamentalmente por la propuesta de solución en un contexto físico-social específico (Tamayo, 2001), este tipo de investigación se caracteriza por el interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y a las consecuencias prácticas que de ella se deriven; fundamentalmente en la propuestas de un plan de aseguramiento de la calidad en empresas constructoras de edificaciones en la Región Lima-2018.

##### **3.1.2. Enfoque**

El nivel de investigación que se realizó en el presente trabajo de tesis fue de nivel Cuasi-experimental, ya que consiste en una serie de mediciones periódicas que se hacen en las personas en estudio, antes y después que se ha introducido la variable experimental. La cual es definida: “Son aquellas situaciones sociales en que el investigador no puede presentar los valores de la Variable Independiente a voluntad ni puede crear los grupos experimentales por aleatorización pero sí puede, en cambio, introducir algo similar al diseño experimental en su programación de procedimientos para la recogida de datos” (Campbell y Stanley, 1973).

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1. Población**

Travers y Cooper (1997), entendemos por población a todos los posibles miembros de un grupo de entre los cuales se extrae una muestra. En nuestro caso, la población de estudio en el presente trabajo de investigación lo conformaron 20 pruebas a

columnas donde se evaluara la resistencia y flexión de las columnas cuadradas con refuerzo de fibras de carbono y sin refuerzo de fibras de carbono - 2018.

### 3.2.2. Muestra

En nuestro caso, la muestra de estudio en el presente trabajo de investigación lo conformaron 10 pruebas a columnas donde se evaluara la resistencia y flexión de las columnas cuadradas con refuerzo de fibras de carbono y sin refuerzo de fibras de carbono - 2018., esta información se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 P Q N}{E^2 (N - 1) + Z^2 P Q}$$

Donde:

N: tamaño de la población.

Z: Grado de confianza que se establece.

E: Error absoluto precisión de la estimación de la proporción.

P: Proporción de unidades que poseen el atributo de interés.

Q: la diferencia aritmética de P respecto a la unidad.

Entonces reemplazando tenemos:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)(20)}{(0.05)^2 (19) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} = 19 \text{ pruebas.}$$

Tamaño final de muestra (n) corregida por KISH:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

Entonces reemplazando tenemos:

$$n = \frac{19}{1 + \frac{19}{20}} = 10 \text{ pruebas.}$$

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES E INDICADORES

#### 3.3.1. Variable Independiente

Resistencia a la comprensión de la columna reforzada.

##### **Definición Conceptual.-**

Es la acción de una fuerza que tiende a oprimir un elemento, intentando acortarlo o comprimirlo, lógicamente, en dirección de la fuerza.

#### 3.3.2. Variable Dependiente

Resistencia a la flexión de la columna reforzada.

##### **Definición Conceptual.-**

Es un tipo de esfuerzo que incluye tracción y compresión, pero en lugar de actuar a lo largo de la dirección en que se aplican las fuerzas, como sucede con la tracción y compresión, lo hace cambiando la dirección de ellas. La flexión es un mecanismo propio de las vigas, que con la acción de su propio peso y cualquier carga adicional existente, inciden fuerzas perpendiculares que producen una deformación en la pieza que tiende a curvarse hacia abajo.

Tabla 5. Operacionalización de las Variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Fuente de Verificación</b>
<b>Variable Independiente:</b>			
Resistencia a la comprensión de la columna reforzada	Columnas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo</li> <li>• Estructura</li> <li>• Resistencia</li> <li>• Pruebas</li> </ul>	Observación/ Ficha técnica
<b>Variable Dependiente:</b>			
Resistencia a la flexión de la columna reforzada	Columnas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo</li> <li>• Estructura</li> <li>• Resistencia</li> <li>• Pruebas</li> </ul>	Observación/ Ficha técnica

**Nota:** Elaboración Propia

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.4.1. Técnicas a emplear

La técnica que se empleó en el presente trabajo de investigación de tesis, fue la observación, que es una herramienta más usada en los trabajos de investigación científica, por facilitarnos una mejor perspectiva de la población en estos casos. Siguiendo a Tamayo (2001) La técnica de observación es una técnica de investigación que consiste en observar personas, fenómenos, hechos, casos, objetos, acciones, situaciones, etc., con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación.

### **3.4.2. Descripción de los instrumentos**

En base a la evidencia experimental existente, Kent y Park propusieron la curva esfuerzo-deformación para concreto confinado por estribos rectangulares. Para lograr calcular los resultados de manera rápida y precisa, en la investigación se empleara como instrumento un software para poder resolver las ecuaciones.

El software MATHCAD, es un software de computadora diseñado principalmente para la verificación, validación, documentación y re-uso de cálculos de ingeniería. Finalmente, la recolección de datos ha sido producto de la búsqueda bibliográfica y el cálculo comparativo se realizó mediante la adición del módulo de elasticidad de la fibra de carbono SIKA WRAP 600C, presente en la especificación técnica.

### **3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para la simulación de la resistencia y flexión de columnas cuadradas, serán analizadas y organizadas, según la metodología del caso de estudio, donde se plasmaran diagramas de flujo, los procesos y gráficos circulares y/o barras necesarias. Además, para relaciones esfuerzo-deformación para el concreto confinado por estribos, se usara el Modelo de Kent Park.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS

**Diagrama de interacción carga axial – momento de una sección 0.30 de concreto armado  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  SIN Reforzamiento de fibra de carbono**

**Características para una sección cuadrada:**

$$b := 30 \text{ cm} \quad h := 30 \text{ cm}$$

**CONCRETO  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$**

Esfuerzo máximo del concreto:

$$f'_c := 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**Deformación correspondiente al esfuerzo máximo:**

$$\varepsilon_o := 0.002$$

La función de esfuerzo en el concreto está dada por:

$$f(\varepsilon_c) := \begin{cases} f'_c \left[ 2 \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)^2 \right] & \text{if } \varepsilon_c \leq 0.002 \\ f'_c [1 - 100(\varepsilon_c - \varepsilon_o)] & \text{if } \varepsilon_c > 0.002 \end{cases}$$

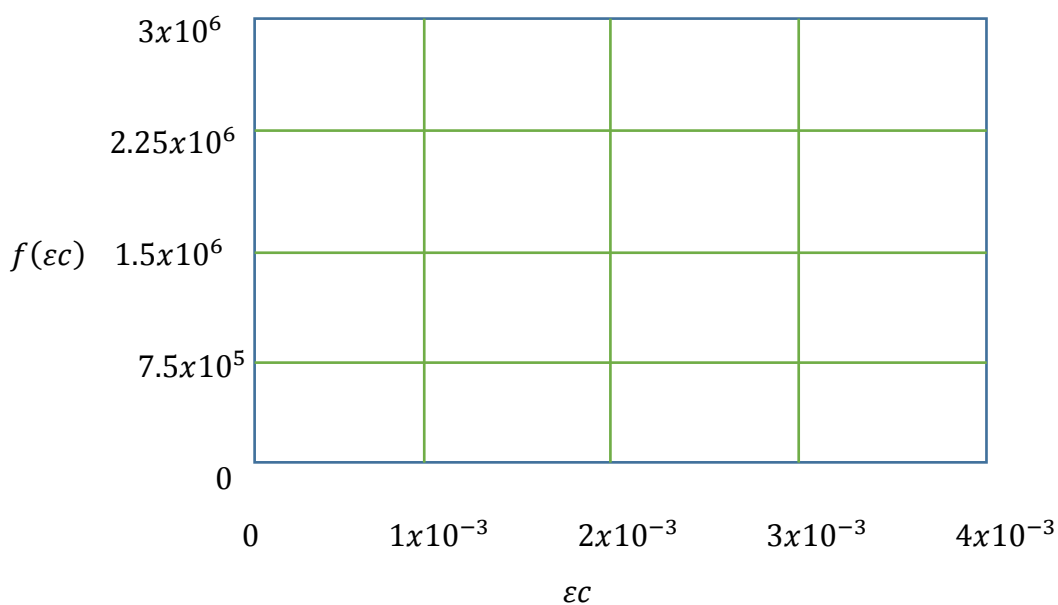


Gráfico 1: Curva supuesta esfuerzo – deformación del concreto  $f'_c 210$

**ACERO**

Esfuerzo de fluencia para el acero

$$f_y := 4200 \frac{kg}{cm^2}$$

Módulo de elasticidad el acero

$$E_s := 29000000 \frac{lb}{in^2}$$

La deformación en las fluencias es

$$\epsilon_{s0} := \frac{f_y}{E_s} \quad \epsilon_{s0} = 2.06 * 10^{-3}$$

$$f_s(\epsilon_s) := \begin{cases} -f_y & \text{if } \epsilon_s < -\epsilon_{s0} \\ E_s \epsilon_s & \text{if } -\epsilon_{s0} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{s0} \\ f_y & \text{if } \epsilon_s > \epsilon_{s0} \end{cases}$$

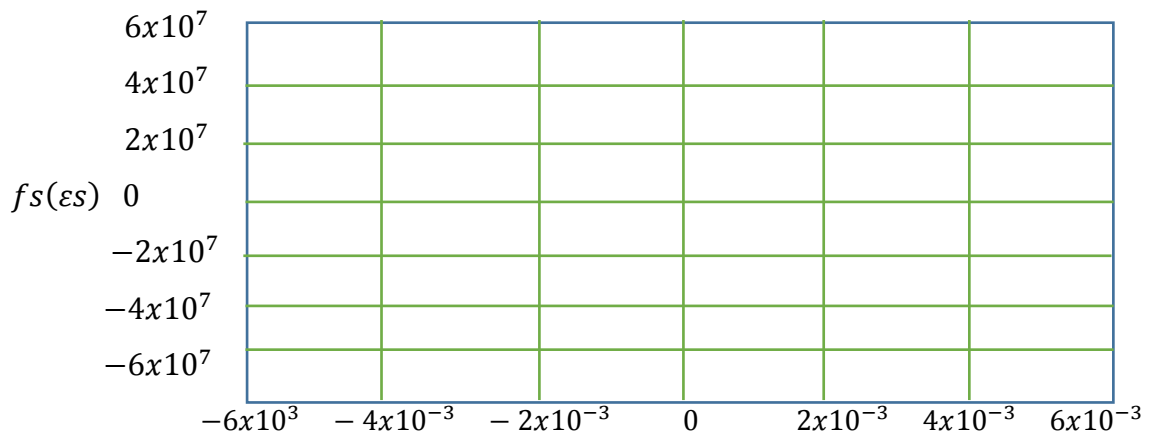


Gráfico 2: Curva supuesta esfuerzo - deformación del acero.

$$\alpha(\epsilon_c) := \begin{cases} \frac{10^3}{6} (3\epsilon_c - 500 \cdot \epsilon_c^2) & \text{if } \epsilon_c \leq .002 \\ \frac{-26}{3.10000 \epsilon_c} - 50 \cdot \epsilon_c + \frac{12}{10} & \text{if } \epsilon_c > 0.0 \end{cases}$$

$$\gamma(\varepsilon c) := \begin{cases} \frac{(2 - 250 \cdot \varepsilon c)}{2 \cdot (3 - 500 \cdot \varepsilon c)} & \text{if } \varepsilon c \leq 0.002 \\ 1 - \frac{\left[ \left( \frac{-56}{12 \cdot 10^7} \right) + \left( \frac{6}{10} \right) \cdot \varepsilon c^2 - \frac{100}{3} \cdot \varepsilon c^3 \right]}{\varepsilon c \left[ \left( \frac{-26}{3 \cdot 10^4} \right) + \left( \frac{12}{10} \right) \varepsilon c - 50 \cdot \varepsilon c^2 \right]} & \text{if } \varepsilon c > 0.002 \end{cases}$$

$$A_s := \begin{bmatrix} \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 \text{ cm} \right]^2 \right] \end{bmatrix} \quad d := \begin{pmatrix} 5 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 5 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \\ 25 \text{ cm} \end{pmatrix}$$

Nota: en las páginas siguientes, las fuerzas (-) son de tracción y las (+) son de compresión.

**Prueba 1:**  $kd := -5 \text{ cm}$      $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \frac{(kd - d_0)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \\ \frac{(kd - d_1)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \\ \frac{(kd - d_2)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \\ \frac{(kd - d_3)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \\ \frac{(kd - d_4)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \\ \frac{(kd - d_5)}{\varepsilon_{cu} \cdot kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 3 \times 10^{-3} \\ 3 \times 10^{-3} \\ 3 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ 15 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 3.058 \times 10^7 \\ 3.058 \times 10^7 \\ 3.058 \times 10^7 \end{pmatrix} m^{-2} \cdot kg$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_1 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f' \cdot c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_1 = 2.42 \times 10^4 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:



$$M_1 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_1 = -4.027 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 2:**  $kd := 10\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 1.5 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ -4.3 \times 10^{-3} \\ -4.3 \times 10^{-3} \\ -4.3 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 3.058 \times 10^7 \\ 3.058 \times 10^7 \\ 3.058 \times 10^7 \\ -4.1 \times 10^7 \\ -4.1 \times 10^7 \\ -4.1 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_2 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_2 = 4.008 \times 10^4 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_2 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_2 = 9.497 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 3:**  $kd := 15\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.1 \times 10^{-3} \\ 2.1 \times 10^{-3} \\ 2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.060 \times 10^7 \\ 4.060 \times 10^7 \\ 4.060 \times 10^7 \\ -4.060 \times 10^7 \\ -4.060 \times 10^7 \\ -4.060 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_3 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_3 = 7.231 \times 10^4 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_3 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_3 = 1.14 \times 10^4 m \cdot k$$

**Prueba 4:**  $kd := 20\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.30 \times 10^{-3} \\ 2.30 \times 10^{-3} \\ 2.30 \times 10^{-3} \\ -7.5 \times 10^{-4} \\ -7.5 \times 10^{-4} \\ -7.5 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ -1.529 \times 10^7 \\ -1.529 \times 10^7 \\ -1.529 \times 10^7 \end{pmatrix} m^{-2.kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_4 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_4 = 1.126 \times 10^5 \text{kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_4 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_4 = 9.976 \times 10^3 m \cdot kg$$

**Prueba 5:**  $kd := 25\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := \varepsilon_{cu}$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.35 \times 10^{-3} \\ 2.35 \times 10^{-3} \\ 2.35 \times 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} m^{-2.kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_5 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_5 = 1.421 \times 10^5 \text{kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_5 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_5 = 8.114 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 6:**  $kd := 30\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_0)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_1)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_2)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_3)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_4)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 4.5 \times 10^{-4} \\ 4.5 \times 10^{-4} \\ 4.5 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 1.019 \times 10^7 \\ 1.019 \times 10^7 \\ 1.019 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_6 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_6 = 1.759 \times 10^5 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_6 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_6 = 5.702 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 7:**  $kd := 35\text{cm}$   $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_0)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_1)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_2)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_3)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_4)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.6 \times 10^{-3} \\ 2.6 \times 10^{-3} \\ 2.6 \times 10^{-3} \\ 8.6 \times 10^{-4} \\ 8.6 \times 10^{-4} \\ 8.6 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 1.748 \times 10^7 \\ 1.748 \times 10^7 \\ 1.748 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_7 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_2 c \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_7 = 2.118 \times 10^5 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_7 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_7 = 2.488 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 8:**  $kd := 40\text{cm}$     $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.63 \times 10^{-3} \\ 2.63 \times 10^{-3} \\ 2.63 \times 10^{-3} \\ 1.12 \times 10^{-3} \\ 1.12 \times 10^{-3} \\ 1.12 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 2.294 \times 10^7 \\ 2.294 \times 10^7 \\ 2.294 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_8 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_8 = 2.362 \times 10^5 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_8 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_8 = -1.640 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 9:**  $kd := 45\text{cm}$     $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon_{cu} \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.68 \times 10^{-3} \\ 2.68 \times 10^{-3} \\ 2.68 \times 10^{-3} \\ 1.333 \times 10^{-3} \\ 1.333 \times 10^{-3} \\ 1.333 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 2.719 \times 10^7 \\ 2.719 \times 10^7 \\ 2.719 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_9 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_9 = 2.581 \times 10^5 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_9 := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_{9=} = -6.52 \times 10^3 \text{ m.kg}$$

**Prueba 10:**  $kd := 60\text{cm}$     $\varepsilon_{cu} := 0.003$

$$\varepsilon_{si} := \begin{bmatrix} \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_0)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_1)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_2)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_3)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_4)}{kd} \\ \frac{\varepsilon_{cu} (kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon_{si} = \begin{pmatrix} 2.75 \times 10^{-3} \\ 2.75 \times 10^{-3} \\ 2.75 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} f_s(\varepsilon_{si_0}) \\ f_s(\varepsilon_{si_1}) \\ f_s(\varepsilon_{si_2}) \\ f_s(\varepsilon_{si_3}) \\ f_s(\varepsilon_{si_4}) \\ f_s(\varepsilon_{si_5}) \end{pmatrix} \quad f_{si} = \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 3.568 \times 10^7 \\ 3.568 \times 10^7 \\ 3.568 \times 10^7 \end{pmatrix} \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial:**

$$P_{10} := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (f_{si_i} \cdot A_{si_i}) \quad P_{10} = 3.338 \times 10^5 \text{ kg}$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_{10} := \alpha(\varepsilon_{cu}) \cdot f_{2c} \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon_{cu}) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ f_{si_i} \cdot A_{si_i} \cdot \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_{10=} = -2.745 \times 10^4 \text{ m.kg}$$

Finalmente resumiendo las 10 pruebas ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) para la sección:

Prueba	Valor Pi	Prueba	Valor Mi
1	$2.42 \times 10^4$	1	$-4.027 \times 10^3$
2	$4.008 \times 10^4$	2	$9.497 \times 10^3$
3	$7.231 \times 10^4$	3	$1.14 \times 10^4$
4	$1.126 \times 10^5$	4	$9.976 \times 10^3$
5	$1.421 \times 10^5$	5	$8.114 \times 10^3$
6	$1.759 \times 10^5$	6	$5.702 \times 10^3$
7	$2.118 \times 10^5$	7	$2.488 \times 10^3$
8	$2.362 \times 10^5$	8	$-1.640 \times 10^3$
9	$2.581 \times 10^5$	9	$-6.652 \times 10^3$
10	$3.338 \times 10^5$	10	$-2.745 \times 10^4$

$P =$       Kg       $M =$       m.kg

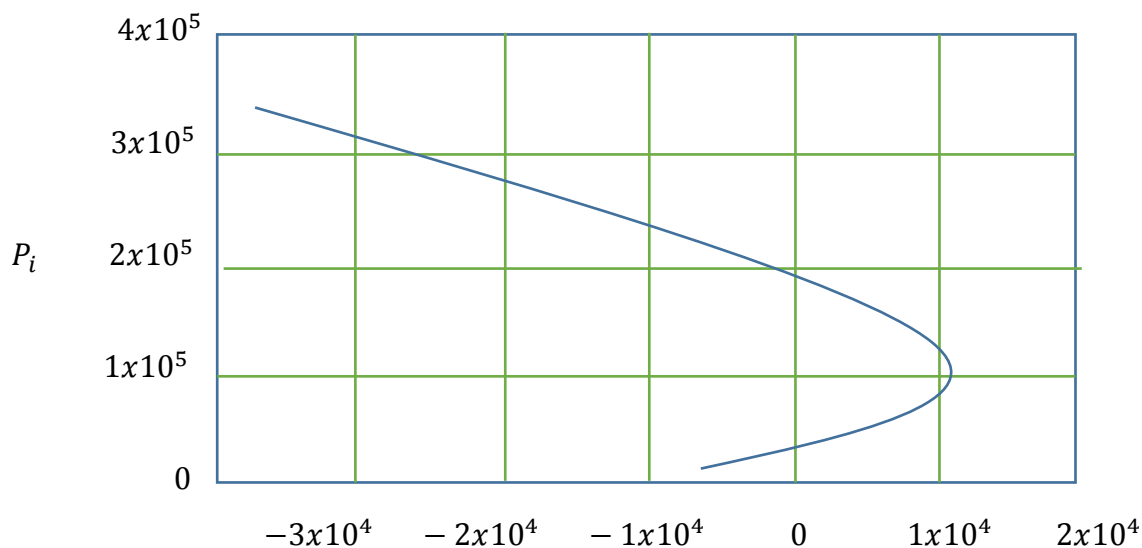


Gráfico 3: Diagrama de interacción carga axial - momento de una sección 0.30 x 0.30 de concreto armado f'c 210 SIN FRP

### Diagrama de interacción carga axial – momento de una sección 0.30 x 0.30 de concreto armado f'c210 CON FRP

#### Características para una sección cuadrada

$$b := 30 \text{ cm} \quad h := 30 \text{ cm} \quad A_g := 6.199 \text{ cm}^2$$

#### Acero

$$f_{syk} := 42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \quad E_s := 200 \frac{100\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

#### La deformación en la fluencia es:

$$\epsilon_{SO} := - \frac{f_{syk}}{E_s} \quad \epsilon_{SO} = 2.1 \times 10^3$$

$$f_s(\epsilon_{SO}) := \begin{cases} -f_{syk} & \text{if } \epsilon < -\epsilon_{SO} \\ E_s \cdot \epsilon & \text{if } -\epsilon_{SO} \leq \epsilon \leq \epsilon_{SO} \\ f_{syk} & \text{if } \epsilon > \epsilon_{SO} \end{cases}$$

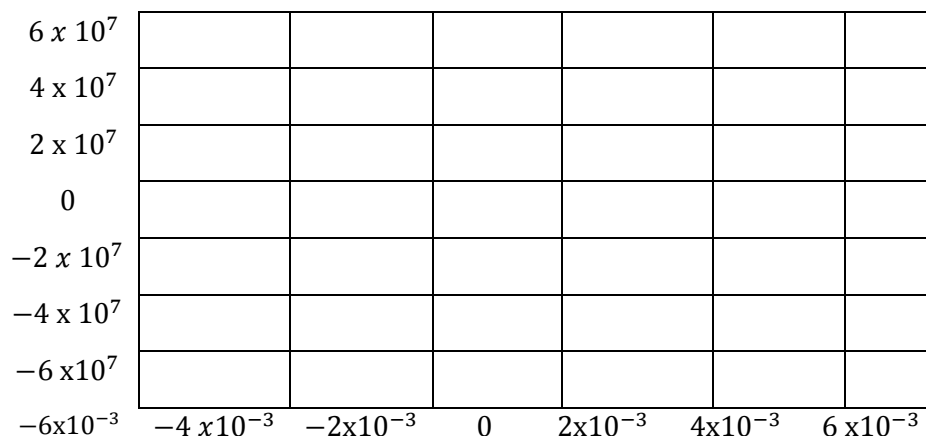


Gráfico 4: Curva supuesta esfuerzo – deformación del acero

## Materiales de construcción

### Concreto

$$f_{cm} := 2.10 \frac{kg}{mm^2} \quad E_{cm} := 1500\sqrt{2.10} \frac{kg}{cm^2} \quad f_{ck} := 1.5\sqrt{2.10} \frac{kg}{mm^2} \quad f_{ck} = 2.174 \times 10^6 \frac{kg}{mm^2}$$

### Acero

$$f_{syk} := 42 \frac{kg}{mm^2} \quad E_s := 200 \frac{100kg}{mm^2}$$

### Sistema de Reforzamiento:

Externamente el reforzamiento con CF, resistencia a la tracción  $f_{luk}$  y módulo de elasticidad  $E_l$ , se utiliza para el reforzamiento, este resultado en la siguiente deformación última.

$$e_{lk} := \frac{3500}{230} \quad \varepsilon_{lk} = 15.217 \quad E_l := 240000 \frac{kg}{mm^2}$$

**Espesor de la fibra de reforzamiento:**  $t_l := 0.337 \text{ mn}$

$$k_0 := 0.2 \frac{mm^2}{kg} \quad k_1 := 2 \frac{mm^2}{kg} \quad k_2 := 0.25 \frac{mm^2}{kg} \quad k_3 := 0.7 \frac{mm^2}{kg} \quad k_4 := 1 \frac{mm^2}{kg}$$

$$k5 := 1 \frac{\text{mm}^2}{\text{kg}} \quad k6 := 0.75 \frac{\text{mm}^2}{\text{kg}} \quad k7 := 0.39 \frac{\text{mm}^2}{\text{kg}} \quad k8 := 0.89 \frac{\text{mm}^2}{\text{kg}} \quad k9 := \frac{0.44 \frac{\text{mm}^2}{\text{kg}}}{100}$$

$$\alpha_f := k^2 \quad \alpha_z := k \quad \alpha_r := \quad v := 0.2$$

$$\alpha_e := k \quad \alpha_k := 1.5 \quad \alpha_d := k^3$$

$$\beta_{\text{fcm}} := \frac{16.8}{\sqrt{\frac{\frac{\text{fcm}}{\text{kg}}}{\text{mm}^2}}} \quad \sigma_{\text{cp}} := 0.45 \text{fcm}$$

$$\varepsilon_{\text{cc}\Delta t} := k7 \cdot \beta_{\text{fcm}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{\sigma_{\text{cp}}}{E_{\text{cm}}} \quad \varepsilon_{\text{cc}\Delta t} = 1.966 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{\text{juk}} := \left( \alpha_r \cdot \alpha_t \cdot \alpha_f \cdot \alpha_e \cdot \alpha_z \cdot \varepsilon_{\text{lk}} \cdot \frac{\text{kg}^4}{\text{mm}^8} - \alpha_k \cdot v \cdot \varepsilon_{\text{cc}\Delta t} \cdot 10^3 \right) \frac{1}{100}$$

$$\varepsilon_{\text{juk}} = 1.4076 \times 10^{-3}$$

$$D := \sqrt{b^2 + h^2} \quad D = 42.426 \alpha_r \quad c := 20 \text{mm}$$

$$\text{asw} := \frac{0}{100} \text{cm} \quad \text{twelf} := \frac{\text{asw}}{2} \quad \text{twelf} = 0 \text{mm}$$

$$D_c := D - 2 \cdot c - 2 \cdot \text{twelf}$$

$$\rho_{\text{wy}} := 42 \frac{\text{twelf}}{D_c} \quad \text{sw} := 150 \text{mn}$$

$$E_{\text{jl}} := \frac{2 \cdot E_{\text{ltl}}}{D} \quad E_{\text{jl}} := 3.813 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$p_1 := E_{\text{jl}} \cdot \varepsilon_{\text{juk}} \quad p_1 = 53.668 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$p_2 := \frac{2(\text{El. tl. } \varepsilon_{\text{juk}} + \text{twelf. fsyk}) - p_1 \cdot c}{D_c + c} \quad p_2 = 53.668 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta p := p_1 - \frac{2(\text{El. tl. } \varepsilon_{\text{juk}} - c \cdot (p_1 + p_2))}{D_c} \quad \Delta p = 1.164 \times 10^{-14} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



$$\rho g := \frac{b \cdot h}{A g}$$

$$AA := \frac{1 - \frac{b}{h} \cdot (h - 2 \cdot c)^2 + \frac{h}{b} \cdot (b - 2 \cdot c)^2}{3 \cdot A g} - \rho g$$

$$AA := \frac{\quad}{1 - \rho g}$$

$$kb := AA \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^{0.5} \quad ka := AA \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2$$

$$kb := 1.507 \quad ka = 1.507$$

$$\varepsilon_{cu} := 0.002 \left(1.75 + 19 \frac{E_{jl} \cdot \varepsilon_{juk}}{f_{cm}}\right)$$

$$f_c := f_{ck} + kb \cdot 2 \cdot (\rho_{wy} \cdot f_{syk} - \Delta p) \cdot \left(\frac{D_c - \frac{sw}{2}}{D}\right)^2 \quad f_c = 217.371 \frac{kg}{cm^2} \quad \varepsilon_{cu} := 0.003$$

$$f_{cck} := f_{ck} + kb \cdot 2 \left[ E_{jl} \cdot \varepsilon_{juk} + (\rho_{wy} \cdot f_{syk} - \Delta p) \cdot \left(\frac{D_c - \frac{sw}{2}}{D}\right)^2 \right] \quad f_{cck} = 3.79.177 \frac{kg}{cm^2}$$

$$E_2 := \frac{f_{cck} - f_c}{\varepsilon_{cu}} \quad E_2 = 5.394 \times 10^4 \frac{kg}{cm^2} \quad \varepsilon_0 := 0.003$$

$$E(\varepsilon c) := \left[ E_{cm} \cdot \varepsilon c - \frac{(E_{cm} - E_2)^2 \cdot \varepsilon c^2}{4 f_c} \right]$$

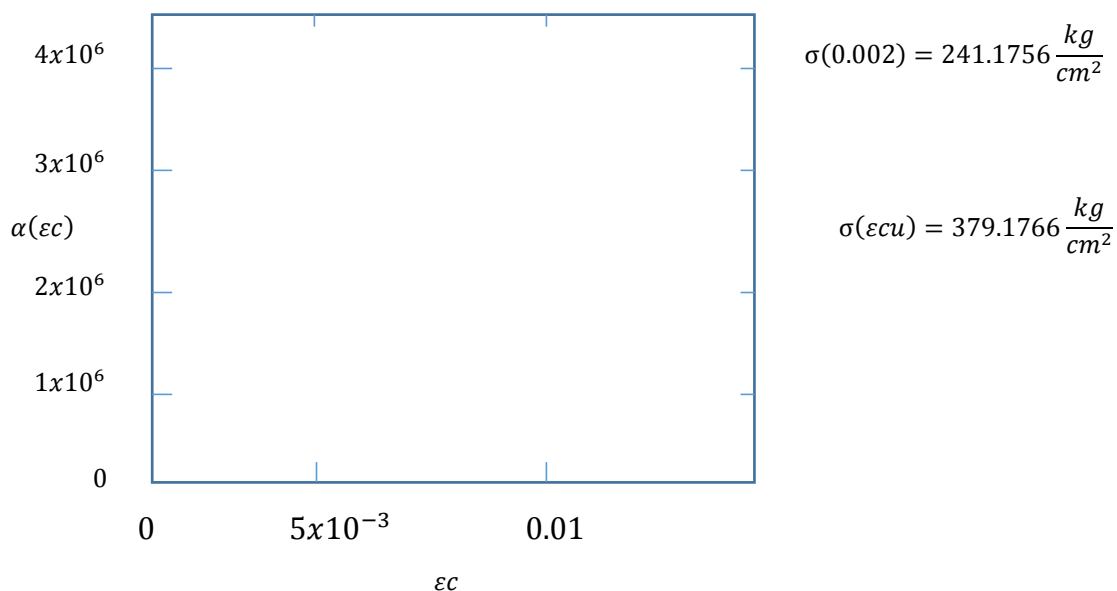
$$Z(\varepsilon c) := E_2 \cdot \varepsilon c + f_c$$

$$E(\varepsilon_0) := 311.859 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Z(\varepsilon_0) := 325.241 \frac{kg}{cm^2}$$

$$E(\varepsilon_0) - Z(\varepsilon_0) := 13.383 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma(\varepsilon_0) := \begin{cases} E_{cm} \cdot \varepsilon c - \frac{(E_{cm} - E_2)^2 \cdot \varepsilon c^2}{4 f_c} & \text{if } \varepsilon c \leq \varepsilon_0 \\ E_2 \cdot \varepsilon c + f_c & \text{if } \varepsilon_0 < \varepsilon c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases}$$



### Para el concreto confirmado

Cálculo del valor "α" del esfuerzo medio y del valor "γ" del centroide para cualquier deformación "ε<sub>cm</sub>" en la fibra extrema en compresión.

- 1) De las integrales generales para cualquier magnitud de ε<sub>cm</sub>

$$\alpha(\epsilon_{cm}) := \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \sigma(\epsilon c) d\epsilon c}{f_{ck} \cdot \epsilon_{cm}}$$

$$\gamma(\epsilon_{cm}) := 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon c \cdot \sigma(\epsilon c) d\epsilon c}{\epsilon_{cm} \cdot \int_0^{\epsilon_{cm}} \sigma(\epsilon c) d\epsilon c}$$

Varillas de acero

$$A_s := \begin{bmatrix} \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \\ \left[ \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{5}{8} \right) \cdot 2.54 cm \right]^2 \right] \end{bmatrix} \quad d := \begin{pmatrix} 5. cm \\ 5. cm \\ 5. cm \\ 2.5 cm \\ 2.5 cm \\ 2.5 cm \end{pmatrix}$$

El ejemplo para una columna con 10 ton de carga axial

Nota: en las páginas siguientes, las fuerzas (-) son de tracción y las (+)son de compresión.

**Prueba 1:**  $kd := -5cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 3.6 \times 10^{-3} \\ 3.6 \times 10^{-3} \\ 3.6 \times 10^{-3} \\ 6 \times 10^{-3} \\ 6 \times 10^{-3} \\ 6 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_1 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_1 = -120485kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_1 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_1 \\ = -41150.080mkg$$

La curvatura asociad es:

$$\psi_1 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_1 = -0.012m^{-1}$$

**Prueba 2:**  $kd := 10cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm. \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm. \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm. \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm. \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm. \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm. \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 1.5 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ 1.5 \times 10^{-3} \\ -4.5 \times 10^{-3} \\ -4.5 \times 10^{-3} \\ -4.5 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 3 \times 10^7 \\ 3 \times 10^7 \\ 3 \times 10^7 \\ -4.2 \times 10^7 \\ -4.2 \times 10^7 \\ -4.2 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_2 := \alpha(\varepsilon cm). fcm. b. kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i. As_i) \quad P_2 = -60876kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_2 := \alpha(\varepsilon cm). fcm. b. kd. \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm). kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i. As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] M_2$$

$$= 12025.036mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_2 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_2 = -0.03m^{-1}$$

**Prueba 3:**  $kd := 15cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 2x10^{-3} \\ 2x10^{-3} \\ 2x10^{-3} \\ -2x10^{-3} \\ -2x10^{-3} \\ -2x10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4x10^7 \\ 4x10^7 \\ 4x10^7 \\ -4x10^7 \\ -4x10^7 \\ -4x10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_3 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_3 = 102232kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_3 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_3 = 1.458x10^4 mkg$$

La curvatura asociada es :

$$\psi_3 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_3 = 0.02m^{-1}$$

**Prueba 4:**  $kd := 20cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 2.1 \times 10^{-3} \\ 2.1 \times 10^{-3} \\ 2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \\ -2.1 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4 \times 10^7 \\ 4 \times 10^7 \\ 4 \times 10^7 \\ -4 \times 10^7 \\ -4 \times 10^7 \\ -4 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_4 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_4 = 136420kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_4 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_4$$

$$= 1.535 \times 10^4 mkg$$

La curvatura asociada es :

$$\psi_4 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_4 = 0.017 m^{-1}$$

**Prueba 5:**  $kd := 25cm$        $\epsilon cm := \epsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \epsilon si := \begin{pmatrix} 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ -7.5 \times 10^{-4} \\ -7.5 \times 10^{-4} \\ -7.5 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\epsilon si_0) \\ fs(\epsilon si_1) \\ fs(\epsilon si_2) \\ fs(\epsilon si_3) \\ fs(\epsilon si_4) \\ fs(\epsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ -1.5 \times 10^7 \\ -1.5 \times 10^7 \\ -1.5 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_5 := \alpha(\epsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_5 = 103836kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_5 := \alpha(\epsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\epsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] M_5$$

$$= 1.385 \times 10^4 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_5 := \frac{\epsilon cm}{kd} \quad \psi_5 = -0.009 m^{-1}$$

**Prueba 6:**  $kd := 30cm$        $\epsilon cm := \epsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \epsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \epsilon si := \begin{pmatrix} 2.25 \times 10^{-3} \\ 2.25 \times 10^{-3} \\ 2.25 \times 10^{-3} \\ 5 \times 10^{-4} \\ 5 \times 10^{-4} \\ 5 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\epsilon si_0) \\ fs(\epsilon si_1) \\ fs(\epsilon si_2) \\ fs(\epsilon si_3) \\ fs(\epsilon si_4) \\ fs(\epsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 1 \times 10^7 \\ 1 \times 10^7 \\ 1 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_6 := \alpha(\epsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_6 = 202180kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_6 := \alpha(\epsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\epsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_6 \\ = 1.008 \times 10^4 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_6 := \frac{\epsilon cm}{kd} \quad \psi_6 = -0.012 m^{-1}$$



**Prueba 7:**  $kd := 35cm$        $\epsilon cm := \epsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \epsilon cm. \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \epsilon cm. \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \epsilon cm. \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \epsilon cm. \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \epsilon cm. \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \epsilon cm. \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \epsilon si := \begin{pmatrix} 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 8.5 \times 10^{-4} \\ 8.5 \times 10^{-4} \\ 8.5 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\epsilon si_0) \\ fs(\epsilon si_1) \\ fs(\epsilon si_2) \\ fs(\epsilon si_3) \\ fs(\epsilon si_4) \\ fs(\epsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 1.71 \times 10^7 \\ 1.71 \times 10^7 \\ 1.71 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_7 := \alpha(\epsilon cm). fcm. b. kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i. As_i) \quad P_7 = 270147kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_7 := \alpha(\epsilon cm). fcm. b. kd. \left( \frac{h}{2} - \gamma(\epsilon cm). kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i. As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_7$$

$$= 6.356 \times 10^3 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_7 := \frac{\epsilon cm}{kd} \quad \psi_7 = 0.008 m^{-1}$$

**Prueba 8:**  $kd := 40cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 2.5 \times 10^{-3} \\ 1.125 \times 10^{-3} \\ 1.125 \times 10^{-3} \\ 1.125 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial**

$$P_8 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_8 = 310220kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_8 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_8 \\ = 2.185 \times 10^3 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_8 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_8 = 0.077 m^{-1}$$

**Prueba 9:**  $kd := 45cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 2.7 \times 10^{-3} \\ 2.7 \times 10^{-3} \\ 2.7 \times 10^{-3} \\ 1.15 \times 10^{-3} \\ 1.15 \times 10^{-3} \\ 1.15 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \\ 2.25 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

### Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial

$$P_9 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_9 = 325430kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_9 := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_9$$

$$= 2.236 \times 10^3 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_9 := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_9 = 0.083 m^{-1}$$

**Prueba 10:**  $kd := 60cm$        $\varepsilon cm := \varepsilon cu$

$$As := \begin{bmatrix} \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_0)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_1)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_2)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_3)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_4)}{kd} \\ \varepsilon cm \cdot \frac{(kd - d_5)}{kd} \end{bmatrix} \quad \varepsilon si := \begin{pmatrix} 2.725 \times 10^{-3} \\ 2.725 \times 10^{-3} \\ 2.725 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \\ 1.75 \times 10^{-3} \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} fs(\varepsilon si_0) \\ fs(\varepsilon si_1) \\ fs(\varepsilon si_2) \\ fs(\varepsilon si_3) \\ fs(\varepsilon si_4) \\ fs(\varepsilon si_5) \end{pmatrix} \quad fsi := \begin{pmatrix} 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 4.2 \times 10^7 \\ 3.5 \times 10^7 \\ 3.5 \times 10^7 \\ 3.5 \times 10^7 \end{pmatrix} \frac{kg}{m^2}$$

**Equilibrio de fuerzas en la dirección Axial**

$$P_{10} := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd + \sum_{i=0}^5 (fsi_i \cdot As_i) \quad P_{10} = 454385kg$$

El momento flector asociado a esta deformación en el concreto es:

$$M_{10} := \alpha(\varepsilon cm) \cdot fcm \cdot b \cdot kd \cdot \left( \frac{h}{2} - \gamma(\varepsilon cm) \cdot kd \right) + \sum_{i=0}^5 \left[ fsi_i \cdot As_i \left[ \left( \frac{h}{2} \right) - d_i \right] \right] \quad M_{10} \\ = 2.742 \times 10^4 mkg$$

La curvatura asociada es:

$$\psi_{10} := \frac{\varepsilon cm}{kd} \quad \psi_{10} = 0.005 m^{-1}$$

Finalmente resumiendo las 10 pruebas ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) para la sección:

Prueba	Valor $P_i$	Prueba	Valor $M_i$
1	-120485	1	$-4.115 \times 10^4$
2	-60876	2	$1.202 \times 10^4$
3	102232	3	$1.458 \times 10^4$
4	136420	4	$1.535 \times 10^3$
5	103836	5	$1.385 \times 10^3$
6	202180	6	$1.008 \times 10^3$
7	270147	7	$6.356 \times 10^3$
8	310220	8	$2.185 \times 10^3$
9	325430	9	$2.236 \times 10^3$
10	454385	10	$2.742 \times 10^4$

Kg      M =      m.kg

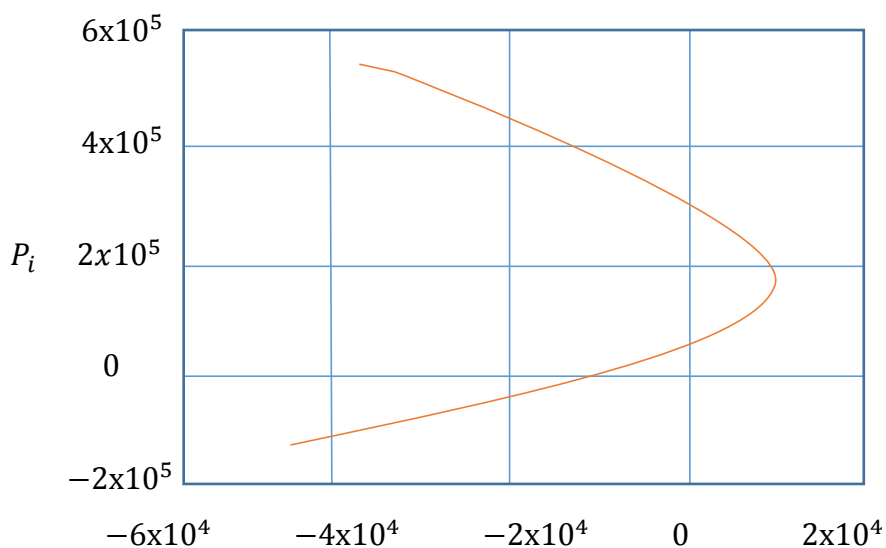


Gráfico 5: Diagrama de interacción carga axial – momento de una sección 0.30x0.30 de concreto armado  $f_c 210$  CON FRP

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. DISCUSIÓN

- Cuadros comparativos: Columna con sección cuadrada de 0.30m x 0.30m y  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> (con reforzamiento y sin reforzamiento)

Tabla 6. Cuadro comparativo Sin FRP – Con FRP

Prueba	SIN FRP		CON FRP	
	Momento (ton/m)	Carga Axial (ton)	Momento (ton/m)	Carga Axial (ton)
1	-4.03	24.20	-41.15	-120.49
2	9.50	40.08	20.02	-60.8
3	1.14	72.31	14.58	102.23
4	9.98	11.26	15.35	136.42
5	8.11	14.21	13.85	103.84
6	5.70	17.59	10.08	202.18
7	2.49	21.18	63.56	270.15
8	-1.64	23.62	21.85	310.22
9	-6.65	25.81	22.36	325.43
10	-2.75	23.38	27.42	454.39

Nota: Elaboración propia

Tabla 7. Incremento para una columna de sección 0.30x0.30 con concreto  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Prueba	% incremento M	% incremento P
1	89.12%	118.32%
2	22.62%	34.43%
3	23.70%	28.12%
4	35.33%	21.38%
5	39.57%	22.17%
6	44.61%	26.44%
7	66.32%	27.61%
8	135.05%	24.22%
9	72.16%	44.68%
10	68.32%	51.39%
<b>Promedio</b>	<b>59.68%</b>	<b>39.88%</b>

Nota: Elaboración propia

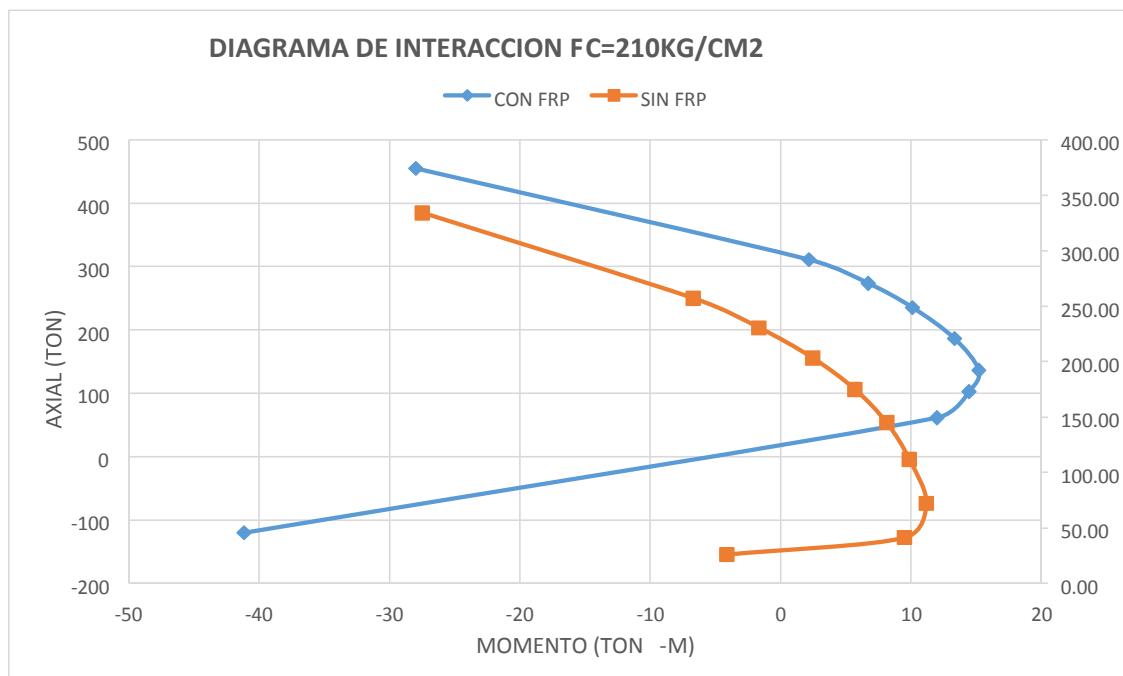


Gráfico 6: Diagrama completo de interacción para  $f_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup> cuya sección es 0.3 x 0.3

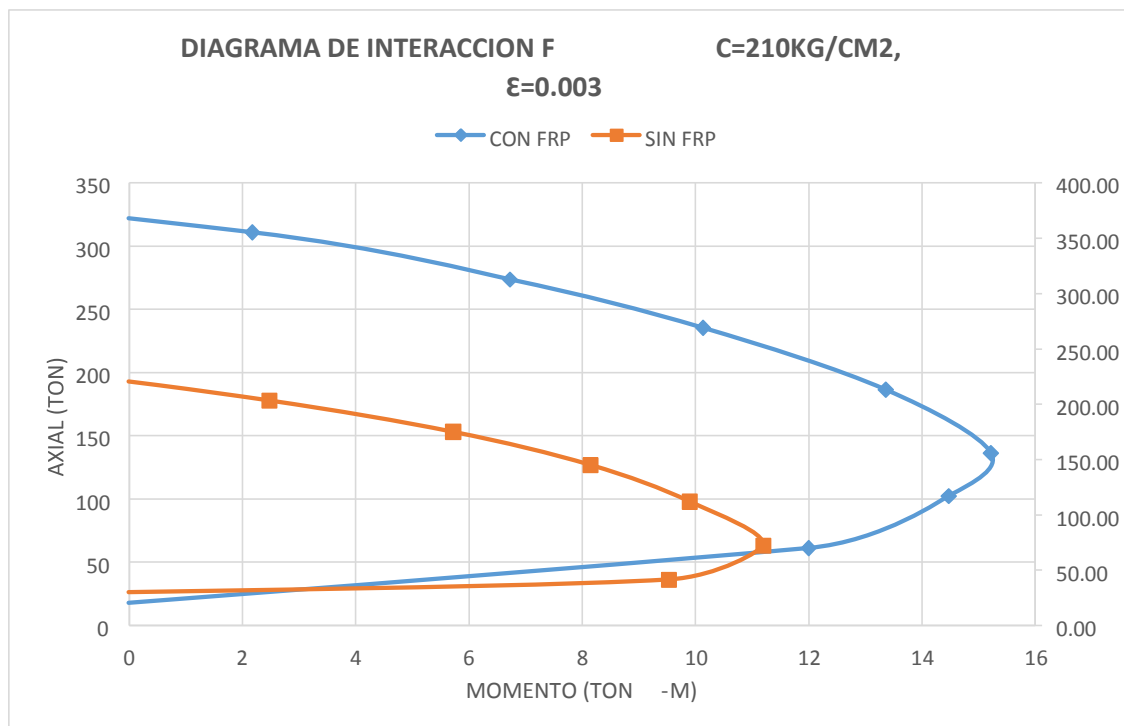


Gráfico 7: Diagrama de interacción en el en eje x=0 e y=0 para f'c 210 Kg/cm2 cuya sección es 0.30 x 0.30

Tabla 8. Porcentaje de incremento para una columna de sección 0.30x0.30

Esfuerzo máximo de compresión del concreto f'c	Incremento	
	Momento (kg-m)	Axial (kg)
210 kg/cm2	59.68%	39.88%

Nota: Elaboración propia

- Para la columna cuadrada se puede observar que existe una mejora con la eficiencia de la fibra como refuerzo se observa mejoras en Carga Axial y Momento, también se ve que existe un decremento conforme la resistencia del concreto aumenta; esto indica que existe una mayor mejora a flexión si la resistencia a compresión del concreto es menor.
- La capacidad a carga axial se incrementa en un promedio de 39.88% y de momento es 59.68% para la columna de sección rectangular de sección 0.30x0.30m.



- La capacidad a flexión mejora de manera eficaz en ambas secciones de columnas, pero la mejora se ve que es más eficiente en una columna de sección cuadrada.

➤ **Columna con sección rectangular de 0.30 x 0.30 y  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con diferentes espesores de reforzamiento de fibra de carbono.**

Se debe entender que para cada espesor de reforzamiento se tiene una deformación última, pero para poder comparar se presenta a continuación los diagramas de interacción para la deformación unitaria de  $\epsilon=0.003$

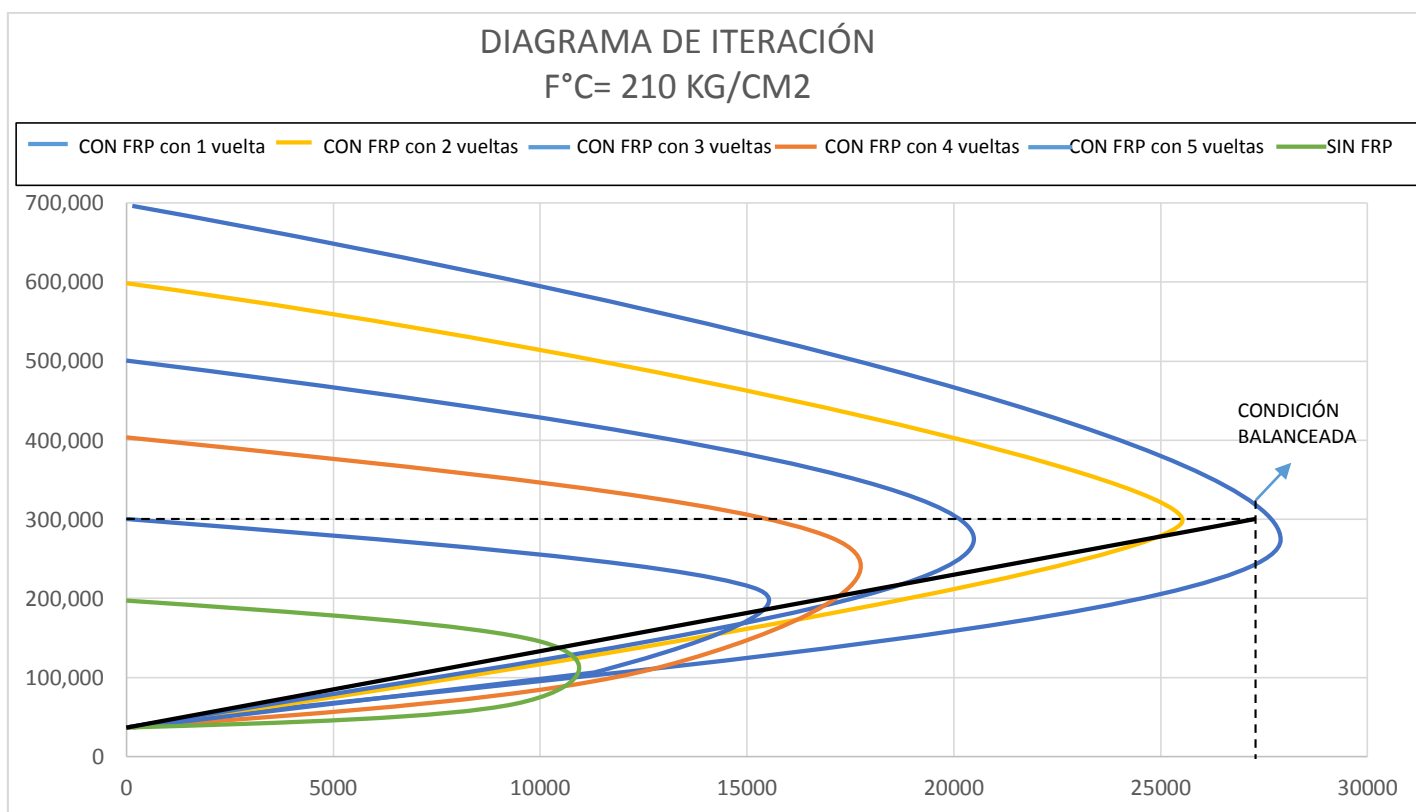


Gráfico 8: Diagrama de interacción para diferentes espesores de reforzamiento mejora las resistencias (Axial y Momento) conforme aumenta el espesor de reforzamiento

De la gráfica que a flexión pura ( $y = 0$ ) todas la graficas cortan por un mismo punto aproximado, esto quiere decir que para su resistencia a flexión pura (en este punto) solo aporta la resistencia la sección de concreto.

Se observa que sí mejora la capacidad axial de la columna.

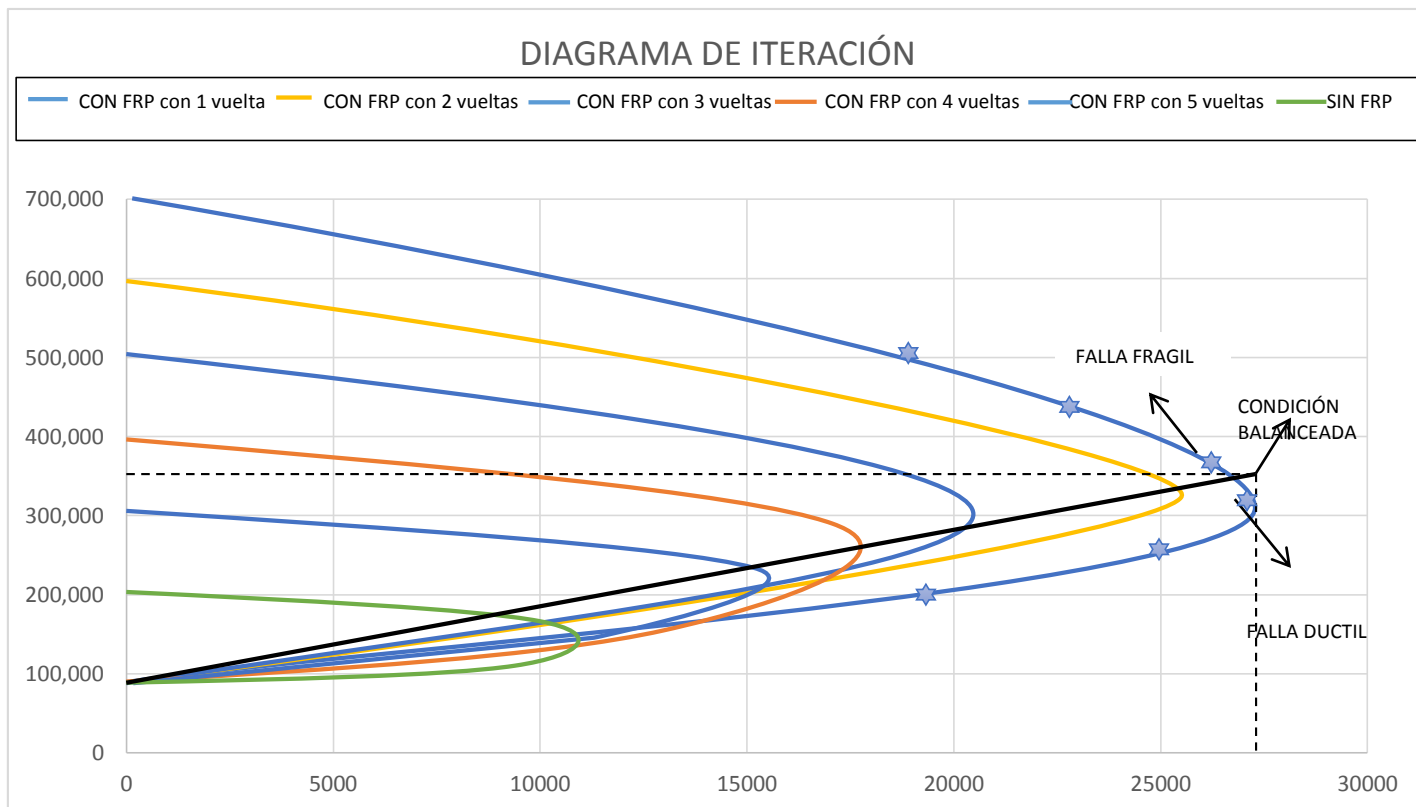


Gráfico 9: Diagrama de interacción con deformación ultima de FRP obtenida por cálculo

- La flexión y carga axial en columnas del concreto armado confinadas con polímeros reforzados con fibra de carbono (FRP) se incrementa aproximadamente en 60% y 40% respectivamente.
- El sistema de reforzamiento con FRP produce un incremento de 30% en promedio cuando los elementos columna son confinados; sin embargo, se observa una mejora en concretos de baja resistencia a compresión.

- Se observa que a flexión pura de una determinada sección solo interesa la sección del concreto, el reforzamiento contribuye en el incremento de esta resistencia.
- En las columnas cuadradas reforzadas con fibra de carbono versus una columna rectangular se observa que el reforzamiento es mejor en secciones cuadradas.
- La capacidad a carga axial se incrementa en 40% en promedio aproximadamente en ambas secciones (columna cuadrada y rectangular).
- Para la construcción de las gráficas teóricas de comparación se debe asumir una deformación unitaria equivalente a  $\epsilon=0.003$ , pero debe entenderse que la deformación última de un elemento compuesto (concreto más fibra de carbono) es mucho mayor que esta deformación.
- La grafica teórica obtenida con la deformación última obtenida del reforzamiento (Sección de concreto más reforzamiento con fibra de carbono)

## 5.2 CONCLUSIONES

- La evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y otra sin refuerzo de fibra de carbono influye de manera significativa para medir la mejora estructural en columnas - 2018.
- De la curva de flexo compresión de una columna reforzada con fibra de carbono se puede obtener que el punto de flexión pura es el mismo para una sección sin y con reforzamiento, se observa que la Momento nominal resistente se incrementa a medida que aumenta el reforzamiento al igual que la Carga Axial máxima.
- De este análisis se puede obtener los puntos  $M_{nb}$  y el  $P_{nmax}$  como puntos de diseño para la sección reforzada con fibra de carbono, se puede ver las zonas de Falla frágil y la zona de falla dúctil, de este análisis se podría plantear ábacos de diseño.

### 5.3 RECOMENDACIONES

- Implementar un centro de investigación de especialistas en el área de la construcción, con el fin de establecer normatizar las estructuras de concreto reforzado en nuestra región; por tener múltiples factores naturales y geográficos.
- Diseñar parámetros o deformaciones máximas a fin de que la sección concreto - fibra de carbono no llegue a su estado máximo de deformación unitaria y se produzca una falla frágil.
- Desarrollar software's o app's, que ayuden analizar el comportamiento de la estructura, requiriendo una verificación constante de resultados de tal forma que estos se encuentren dentro de los valores esperados por las normativas internacionales.

## CAPÍTULO V

### FUENTES DE INFORMACIÓN

#### 5.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

Antonio Blanco. (1997). *Estructuración y Diseño de Edificios de Concreto Armado*. 2da. Edición. Colección del Ingeniero Civil, Libro 2.

Arthur H. Nilson. (1987). *Design of Prestressed Concrete*. Second Edition. John Wiley & Sons

Arthur H. Nilson. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. 12a. Edición. McGraw Hill Interamericana.

A. M. Neville. 1997. *Properties of Concrete*. 4ta. edición. John Wiley & Sons.

Bazan E., Meli R. (2003). *Diseño sísmico de edificios* Editorial Limusa, Noriega Editores México

Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., Jaafar, A.H. (2006). *A benefit cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: the case of Malaysia*. Resources, Conservation and Recycling 2006 (48): 86–98.

Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., Jaafar, A.H. (2007). *Factors and values of willingness to pay for improved construction waste management – a perspective of Malaysia contractors*. Waste Management 27 (12): 1902–1909.

Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., Jaafar, A.H. (2009). *Attitude and behavioral factors in waste management in the construction industry of Malaysia*. Resources, Conservation and Recycling 53: 321–328

- Bergsdal, H. (2007). *Projection of construction and demolition waste in Norway*. Recuperado el 4 de Marzo de 2018
- Bio Intelligence service. (2011). *Final Report Task 2 – Management of C&D waste*. Report to DG ENV European Commission
- Bureau Veritas (2010). *Introducción a los modelos ISO 9001. Planificación del SGC*. Lima
- Bureau Veritas (2011). *Liderazgo y compromiso en el sistema de gestión de la calidad*. Lima.
- Bureau Veritas (2011). *Compromiso en la gestión de calidad*. Lima.
- Calavera Ruiz. (1999). *Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado*. Ediciones Intemac, Madrid.
- Canales, V.; Gutiérrez, G. (2013) *Análisis no lineal de muros de madera mediante modelos de elementos finitos*. Chile, fac. Cien. 117 P
- Campins, E. (1994). *La gestión de los residuos peligrosos en la comunidad Europea*. Madrid: Civitas. Recuperado el Diciembre 19 de 2017
- Camisón Cesar, Cruz Sonia, Gonzáles Tomás (2006). *Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Madrid.
- Cconislla, J. (2014). *Caracterización de los residuos de la construcción*. Civilizate, 25-27.
- Contreras, M. (2009). *Planta de tratamiento integral de residuos de la construcción y demolición*. Santiago de Chile.
- Córdova, M. (2003). *Estadística descriptiva e inferencial* (Vol. V). Lima. Recuperado el 16 de Marzo de 2018
- Czischke, J. (2006). *Análisis comparativo de la etapa i y ii, en la construcción de una obra en proceso I de implementación de un plan de calidad*. Chile.

- Delgado, Ericka (2006). *Comportamiento sísmico de un módulo de adobe de dos pisos con refuerzo horizontal y confinamientos de concreto armado*. (tesis pregrado), Perú: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Dominguez, L., & Martinez, E. (2007). *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas*. Redalyc, 43.
- Elias, X. (2009). *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Diaz de Santos. European
- Formoso, C., Soilbelman, L., & De Casare, C. (2002). *Material and waste building industry: Main causes and prevention*. *Journal of construction engineering and management*. Recuperado el 27 de Diciembre de 2017
- Garcia, L. (2004). *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 22 de Abril de 2018
- Garcia, S. (2012). *Utilización de hormigón reciclado (rca) como árido para microaglomerados asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos*.
- Glinka, M., Vedoya, D., & Pilar, C. (2006). *Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción*. Corrientes.
- Gómez, D. (2003). *Evaluación de impacto ambiental (Vol. II)*. Madrid, España: Ediciones MundiPrensa. Recuperado el 1 de Marzo de 2018
- González O. C. (2016). *Sistema de gestión de calidad teoría y práctica bajo la NORMA ISO 2015*. Colombia.
- Guarin, N., Montenegro, L., Walteros, L., & Reyes, S. (2015). *Estudio comparativo en la gestión de residuos de construcción y demolición en Brasil y Colombia*.



- Hao, J.L., Hills, M.J., Huang, T. (2007). *A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong*. *Construction Innovation* 7 (1): 7–21.
- Hao, J.L., Hills, M.J., Tam, V.W.Y. (2008). *The effectiveness of Hong Kong's construction waste disposal charging scheme*. *Waste Management and Research* 26 (6), 553– 558.
- Hassan L. Ahzahar N, Fauzi, Eman J. (2012). *Waste Management Issues in the Northern Region of Malaysia* *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 42: 175-181
- James G. MacGregor. (1997). *Reinforced Concrete – Mechanics and Design*. 3ra. Edición. Prentice Hall.
- Kiwitt-López, U. (2009). *Caracterización y categorización de los botaderos en Lima*. Lima: Deutscher Entwicklungsdienst.
- Kofoworola, O.F., Gheewala, S.H. (2009). *Estimation of construction waste generation and management in Thailand*. *Waste Management* 29 (2), 731–738.
- Kawashima, Kazuhiko. (2000) *Seismic design, response modification, and retrofit of bridges*.
- Lu Ws & Yuam H., (2010). *Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China*. *Journal of Construction*. Resources, Conservation and Recycling 55: 201–208
- Légergon and P.Paultre (2000) *Behavior of High-Strength Concrete Columns under Cyclic Flexure and Constant Axial Load*. *ACI Structural Journal* July-August 2000.
- Mander B. J. (1983) *Seismic Design of bridge piers*. Thesis for doctor of philosophy civil engineering, university Canterbury, Christchurch New Zealand
- Mander B. J. (1984), *Seismic Design of Bridge Piers*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, 1984.

- Michael Collins, Denis Mitchell. (2001). *Prestressed Concrete Structures*. Response Publications, Canada.
- Pacco, N. (2015). *Plan de calidad en la producción de mezcla asfáltica en caliente, en la planta de asfalto de la ciudad de Juliaca*. Puno.
- Riddell, Pedro Hidalgo. (2002). *Diseño Estructural*. 3ra. Edición. Textos Universitarios. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Russell s. Fling. (2007). *Practical Design of Reinforced Concrete*. John Wiley & Sons
- Sabino, C. (1996). *El proceso de investigación*. Colombia: Cometa de Papel.
- Sánchez, R. (2003). *Avances en la calidad en la construcción en el Perú y su proyección internacional*. Perú.
- Solminihaç, H., & Thenoux, G. (2003). *Procesos y técnicas de construcción*. México: Alfaomega. Recuperado el 11 de Febrero de 2018
- Tamayo, A (2001). *Auditoría de Sistemas – Una visión práctica*, Colombia: UNCSM
- Teodoro E. Harmsen. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. 3ra. Edición. Fondo Editorial 2002 PUCP.
- Torres M.A. y Rodríguez M. E. (2006) *Estudio Experimental de una Conexión de Columna de puente Urbano y una Cimentación tipo candelero sometido a acciones de tipo sísmico*, XV Congreso Nacional de Ingeniería estructural, Puerto Vallarta, Jalisco 2006.
- Thompson, K.J., and Park, R., (1980) *Moment-Curvature Behavior of Cyclically Loaded Structural Concrete Members*, " *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, Part 2, v. 69, June 1980, pp. 317-341.

Thompson. (1990). Determining impact significance in EIA: a review of 24 methodologies.  
Recuperado el 22 de Abril de 2018

Villegas, N., Souza, J., & Sacapuca, L. (2013). *El desarrollo de infraestructura como indicador de crecimiento de un país*. Iguazu: FLAE.

White, Peter Gergely, Robert G. Sexsmith. (2000). *Structural Engineering*, Volume 3, Behavior of Members and Systems. John Wiley & Sons.

Y. L. Mo, D.C. Wong, and K. Maekawa. (2003). *Seismic performance of Hollow Bridge Columns*. ACI Structural Journal May-June 2003.

Y.-K- Yeh, Y.L. Mo, and C. Y. Yang (2001). *Seismic Performance of Hollow Circular Bridge Piers*. ACI Structural Journal Nov-Dec 2001.

Zatar, W. and Mutsuyoshi, H. (1998b), *Seismic Behavior of Partially Prestressed Concrete Piers*, Proc. of 2nd Symposium on Ductility Design Method for Bridges, JSCE, Dec. pp.189-192.

## **5.2. FUENTES HEMEROGRÁFICAS**

American Concrete Institute. (1999). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99)*.

American Concrete Institute. (2002). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)*.

Berasategui L., F. Parés y L. G. Renart (2003) Caso Imaginarium. M-1173, IESE Business

ININVI. (1989). *Norma Técnica de Edificación E-060, Concreto Armado*. Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda. Lima, Perú.

Omran A, Mahmood A, Aziz A, Robinson Gm. (2009). *Investigating household's attitudes toward recycling of solid waste in Malaysia: a case study*. International Journal of Environmental Resources 3:275–88.

Osmani, M. (2011). *Construction Waste. En Waste A Handbook for Management*. Pages 207–218. Elsevier press.

Osmani, M., Glass J., Price, A.D.F. (2006). *Architect and Contractor Attitudes to Waste Minimization. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Waste and Resource Management 159 (2):65–72.

Osmani, M., Glass J., Price, A.D.F, (2008). *Architects perspectives on construction waste reduction by design*. Waste Management 28: 1147-1158

Ostrom E. (1990). *Governing the commons. The evolution of institutions for collective action*. New York: Cambridge University Press

### **5.3. FUENTES DOCUMENTALES**

Aldana, J., & Serpell, A. 2012). *Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis*.

Bazán, I. (2018) *Caracterización de residuos de construcción de Lima y Callao (estudio de caso)*, (tesis pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú: Lima

Bazán, I. (2018) *Caracterización de residuos de construcción de Lima y Callao (estudio de caso)*”, para optar en título de Ingeniero Civil Pontificia Universidad Católica del Perú, nos menciona:

Bueno, C., et al. (2014). *Caracterización cuantitativa y cualitativa de los residuos de la construcción sólida para nuevas construcciones de edificios*. Recuperado el 7 de Marzo de 2018, de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2013/trabajos/COA41\\_TC.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA41_TC.pdf)

- Burgos, D. (2010). *Guía para la gestión y tratamiento de residuos y desperdicios de proyectos de construcción y demolición*. Valdivia: Universidad austral de Chile. Recuperado el 19 de Diciembre de 2017
- Carhuamaca, E. & Mundaca, K. (2014) *Sistema de gestión de calidad para la ejecución del casco estructural de la torre de 5 pisos del Proyecto Los Parques de San Martín de Porres* (tesis pregrado) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas: Lima.
- Comisión Europea. (2011). *European Comission*. Obtenido de [http://ec.europa.eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/index_en.htm)
- Condori, Y. (2014). *Reutilización de Agregados en la Producción del Concreto para Edificaciones en la Ciudad de Juliaca*. Lima. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/84>
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica de evaluación ambiental*. Madrid: Mundi - Prensa. Conoma. (17 de Enero de 2010). Fundación Conoma. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de [www.conama.org](http://www.conama.org)
- Cyma. (2007). *Plan de residuos sólidos de Costa Rica*. San Jose, Costa Rica: Instituto fomento y asesoría municipal. Recuperado el 13 de Enero de 2018
- Environmental Protection Department (EPD) Hong Kong. (2012). *The legislation for the Construction Waste Disposal Charging Scheme (Charging Scheme)*. Recuperado de: <http://www.epd.gov.hk/epd/misc/cdm/scheme.htm#a>
- Escandón M, J.C. (2011). *Diagnóstico técnico económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en Santa Fe de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis de pregrado. 108p
- Fernández, L. (2014) *Diseño de un sistema integral de gestión de la calidad, medio ambiente y riesgos laborales* (tesis posgrado) Universidad politécnica de Valencia: España.

González, E. (2016). *Ministerio de ambiente y desarrollo sustentable Argentina*. Obtenido de <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/gaudiano01.pdf>

INEI. (2014). INEI. Obtenido de <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/housing/>

La República. (11 de Marzo de 2015). *Solo hay diez rellenos sanitarios para 30 millones de habitantes*. Recuperado el 24 de Junio de 2017, de <http://larepublica.pe/11-03-2015/solo-hay-diez-rellenos-sanitarios-para-30-millones-de-habitantes>

Li, W. (2002). *Composition analysis of construction and demolition Waste in construction industry in Hong Kong*. Hong Kong, China: The Hong Kong Polytechnic University. Recuperado el 11 de Enero de 2018

Libera, B. (2007). *Biblioteca virtual de salud de Cuba*. Recuperado el 6 de enero de 2018, de BVSCUBA: [http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol15\\_3\\_07/aci08307.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol15_3_07/aci08307.htm)

Luna, D. (2012). *Universidad nacional autónoma de México*. Recuperado el 02 de Febrero de 2018, de UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2398/Tesis.pdf?sequence=1>

Norma ISO 9000:2000 Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.

Norma ISO 9001:2000 Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.

Norma ISO 9004:2000 Sistemas de gestión de la calidad. Directrices para la mejora del desempeño.

Medina, J. (2013) *Propuesta para la implementación del sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO 9001:2008 en una empresa del sector construcción* (tesis pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú: Lima.

Medina, M. (2015) *Implementación de metodologías para la gestión de residuos de construcción y demolición en edificaciones de vivienda de material noble en Lima* (tesis pregrado) Universidad Ricardo Palma: Lima

Memorias Foro Internacional ISO 9000 versión 2000. Fabio Tobón Londoño, Director Ejecutivo Icontec.

Publicación especializada en calidad. “*Gestión de la Calidad ISO 9000 para empresas de Construcción*” Fabio Moreno Pinzón – Luis Fernando Botero Botero

Publicación especializada en calidad. “*Experiencias sobre aplicación de sistemas de calidad en empresas constructoras de Sudamérica*”.

Rosado, R. (2013) *Estudio y comparativa de los controles de calidad de los proyectos y obras de construcción en Europa* (tesis posgrado) Universidad Politécnica de Cataluña: España.

Segura, Z. (2013) *Propuesta de modelo de desarrollo de la gestión de la calidad en las empresas constructoras de edificaciones* (tesis pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería: Lima.

Vaquero, C. (2013) *Gestión del Control de calidad en la promoción pública de obras de construcción y propuesta de un Índice de Calidad* (tesis posgrado) Universidad de la Coruña: España.

#### **5.4. FUENTES ELECTRÓNICAS**

Agencia medio ambiental de los Estados Unidos. (2003). EPA. Recuperado el 17 de Setiembre de 2017, de EPA web site: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/cd-meas.pdf>

Casal, J., & Mateu, E. (2003). *Tipos de muestreo. Obtenido de Mat:* [http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20\(C%20C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta\)/TiposMuestreo1.pdf](http://www.mat.uson.mx/~ftapia/Lecturas%20Adicionales%20(C%20C3%B3mo%20dise%C3%B1ar%20una%20encuesta)/TiposMuestreo1.pdf)

Cascadia Consulting Group. (Junio de 2006). Carlecycle. Recuperado el 3 de Marzo de 2018, de <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Disposal%5C34106007.pdf>

Castañón, M. (Diciembre de 2006). *UNEP*. Recuperado el 6 de Junio de 2016, de [http://www.pnuma.org/gobernanza/documentos/Valoracion\\_Dano\\_Ambiental.pdf](http://www.pnuma.org/gobernanza/documentos/Valoracion_Dano_Ambiental.pdf)

Ciclo de vida de un edificio: <http://www.arqhys.com/arquitectura/construccion-ciclos-edificio.html>

Costos De No Calidad. 2011-2012. <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Costos-De-NoCalidad/110742.html>

De Jesus, R., Duchesne, M., & Hernandez, W. (2013). SlideShare. Recuperado el 2016 de Junio de 14, de <http://es.slideshare.net/Rossotoledo/reciclado-o-recuperacinde-metales-y-compuestos-metlicos-ferrosos>

Ecología, I. (2007). Ine. Obtenido de Ine: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/139/peligro\\_y\\_riesgo.html](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/139/peligro_y_riesgo.html)

Environment Agency. (2009). *European Environment Agency*. Recuperado el 15 de enero de 2018, de <http://www.eea.europa.eu/downloads/d528f3e78a3e334f8925723e0206e37c/1464921156/intro.pdf?direct=1>

Fernández, R. (2012). Google libros. Recuperado el 2018 de enero de 17, de [https://books.google.com.pe/books?id=m44Xfv7E7\\_4C&pg=PA173&lpg=PA173&dq=LaEvaluaci%C3%B3n+del+Impacto+Ambiental+\(EIA\)+es+un+procedimiento+jur%C3%ADico+administrativo+de+recogida+de+informaci%C3%B3n,+an%C3%A1lisis+y+predicci%C3%B3n+destinado+a+anticipar](https://books.google.com.pe/books?id=m44Xfv7E7_4C&pg=PA173&lpg=PA173&dq=LaEvaluaci%C3%B3n+del+Impacto+Ambiental+(EIA)+es+un+procedimiento+jur%C3%ADico+administrativo+de+recogida+de+informaci%C3%B3n,+an%C3%A1lisis+y+predicci%C3%B3n+destinado+a+anticipar),

García, C., García, M., & Agudelo, F. (2014). Scielo Colombia. Recuperado el 05 de Setiembre de 2017, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2014000400008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2014000400008)



Ministerio de ambiente. (2016). Plan nacional integrado de residuos, 2008 - 2015. Obtenido de [http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/ Documents/ISA\\_ PNIR\\_26 \\_11\\_2007.pdf](http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/ Documents/ISA_ PNIR_26 _11_2007.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2012). Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú. Lima. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <http://redrssi.minam.gob.pe/material/20140423145035.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Minam*. Obtenido de <http://redrssi.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal* 2013. Lima. <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/cuarto-informe-nacional-residuos-solidosmunicipales-no-municipales>

Ministerio del Ambiente. (2014). Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal del 2013. Lima. Obtenido de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/cuarto-informe-nacional-residuos-solidosmunicipales-no-municipales>

MINSA. (2005). Minsa. Recuperado el 4 de Mayo de 2018, de [ftp://ftp2.minsa.gob.pe/docconsulta/documentos/digesa/RM\\_Asbesto.pdf](ftp://ftp2.minsa.gob.pe/docconsulta/documentos/digesa/RM_Asbesto.pdf)

Pérez, C. (2013). *Foromic*. Recuperado el 15 de enero de 2018, de [http://www.fomin-events.com/pppamericas/2013/\\_upload/panelistas/2\\_0GIFQ.pdf](http://www.fomin-events.com/pppamericas/2013/_upload/panelistas/2_0GIFQ.pdf)

PWC. (2012). PWC. Recuperado el 15 de enero de 2018, de <https://www.pwc.es/es/sectorpublico/assets/brochure-estudios-impacto-economico.pdf>

Romero, E. (2006). *Residuos de construcción y demolición*. Recuperado el 6 de Febrero de 2015, de UHU: [http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos% 20Construccion.pdf](http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf)

# ANEXO

ANEXO N° 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

SIMULACIÓN DE LA RESISTENCIA Y FLEXIÓN DE UNA COLUMNA CUADRADA F' C= 210 KG/CM<sup>2</sup> USANDO FIBRAS DE CARBONO Y DE MANERA CONVENCIONAL – 2018

Problema	Objetivos	Hipótesis	variables	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema General</b> ¿Cuáles son los resultados de una evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y una sin refuerzo de fibra de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?</p> <p><b>Problema Específicos</b> 1) ¿Cómo serán columnas de sección cuadrada reforzada externamente con mantas y calcular por primera vez su deformación última y comparar la deformación última de columna sin refuerzo - 2018? 2) ¿Cuáles serán los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Analizar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y una sin refuerzo de fibra de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1) Diseñar columnas de sección cuadrada reforzada externamente con mantas y calcular por primera vez su deformación última y comparar la deformación última de columna sin refuerzo - 2018. 2) Comparar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> La evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada con refuerzo de fibras de carbono y otra sin refuerzo de fibra de carbono influye de manera significativa para medir la mejora estructural en columnas - 2018.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Resistencia a la comprensión de la columna reforzada.</p> <p><b>Dimensiones</b> • Columnas X<sub>1</sub></p> <p><b>Variable Dependiente:</b> Resistencia a la flexión de la columna reforzada.</p> <p>• Columnas Y<sub>1</sub></p>	<p>X<sub>1.1.</sub> Tipo X<sub>1.2.</sub> Estructura X<sub>1.3.</sub> Resistencia X<sub>1.4.</sub> Pruebas</p> <p>Y<sub>1.1.</sub> Tipo Y<sub>1.2.</sub> Estructura Y<sub>1.3.</sub> Flexión Y<sub>1.4.</sub> Pruebas</p>	<p><b>Población :</b> 40 empresas</p> <p><b>Muestra:</b> 19 empresas</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> Cuasi - Experimental</p> <p><b>Tipo de Investigación:</b> Básica</p> <p><b>Método de investigación:</b> Comparativo</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental</p> <p><b>Instrumentos:</b> <b>Para medir la variable X e Y:</b> Encuesta/ Cuestionario</p>

<p>3) ¿Cuáles serán los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada sin refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018?</p>	<p>3) Comparar los resultados de la evaluación de la resistencia a flexión de una columna cuadrada sin refuerzo de fibras de carbono, que influirán en la mejora estructural en columnas - 2018.</p>				
---	--	--	--	--	--

+

