



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA
REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO**

AUTOR: TOAPANTA CAISA JULIO RAÚL

TUTOR: ING. Mg. JORGE WASHINGTON CEVALLOS CABRERA

AMBATO-ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de graduación, certifico que la presente tesis realizada por el Sr. Julio Raúl Toapanta Caisa, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO”**. Por tal manera considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el Honorable Consejo Directivo.

En la ciudad de Ambato, a los 20 días del mes de Junio del 2016.

.....

Ing. Mg. Jorge Cevallos

DOCENTE FICM-TUTOR

AUTORÍA

Yo Julio Raúl Toapanta Caisa, C.I 18.422458-0 Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo experimental con el tema:

“ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO”, es de mi completa autoría.

Julio Raúl Toapanta Caisa

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO”, del egresado Julio Raúl Toapanta Caisa, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Agosto 2016

Para constancia firman.

Ing. Mg. Cristian Medina

Ing. Mg. Miguel Mora

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica d Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de investigación.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 17 de Agosto del 2016

Julio Raúl Toapanta Caisa

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primer lugar a mi DIOS por darme la salud y la fortaleza para llegar a culminar con bien mi etapa Universitaria.

De igual manera a mis PADRES Piedad Caisa y Julio Toapanta, quienes con su amor y perseverancia siempre estuvieron a mi lado levantándose cada vez que tropezaba, y hoy es el día de ver plasmado todo su esfuerzo y perseverancia el cual depositaron en mí.

A mis HERMANOS Santiago y Sebastián quienes fueron mi fuerza e inspiración para día a día luchar contra las dificultades y crecer como persona y como profesional.

Para ustedes y por ustedes mi FAMILIA.

Julio Toapanta C.

AGRADECIMIENTO

*El agradecimiento más profundo a **DIOS** que por su bondad he infinito amor me a regalo el privilegio de llegar a cumplir una meta mas en mi vida, a mi **MADRE** quien siempre estuvo en el momento y lugar adecuado cuando más le necesitaba, quien con su amor, bondad y ternura día a día fue formando unos hombres de bien gracias Mamita por ser la mejor madre del mundo.*

*A mi **PADRE Y HERMANOS** que con su apoyo fueron un eje muy importante en mi vida para formarme primero como persona y como profesional.*

*A **ADMIX CIA.LTDA**, Ing. Guillermo Loayza quien aportado con los materiales para la realización del presente trabajo experimental.*

Al Ing. Jorge Cevallos Cabrera, Tutor del presente trabajo quien con su conocimiento ha aportado para el desarrollo y culminación del mismo.

Julio Toapanta C.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERCHOS DE AUTOR.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
1.1 TEMA	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS	7
2.1.2 TIPOS DE FIBRAS	9
2.1.2.1 Fibras de Aramida	9
2.1.2.2 Fibras de Carbono CFRP	10
2.1.2.3 Fibras de Vidrio GRP	13
2.1.3 RESINA EPOXI	14
2.1.4 REPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	15
2.1.5 MOMENTO - CURVATURA	16
2.1.5.1 Curvatura	16
2.1.5.2 Diagrama Momento – Curvatura	17
2.1.5.3 Puntos Notables del Diagrama M-Ø.....	17
2.1.6 APLICACIONES DE LA RELACION MOMENTO-CURVATURA.....	18
2.1.6.1 Ductilidad por curvatura	18
2.1.6.2 Reserva de Ductilidad por Curvatura.....	19
2.1.6.3 Redistribución de momentos.....	20
2.1.7 ESTADOS LÍMITES DE DISEÑO DE LA SECCIÓN.....	20
2.1.8 HORMIGÓN	22
2.1.8.1 Diseño de hormigón	22
2.1.8.2 Funciones de la pasta de Hormigón	23
2.1.8.3 Factores que modifican la Calidad de la Pasta	23
2.1.8.4 Curado de Hormigón	23
2.1.8.5 Propiedades Mecánicas del Hormigón	24
2.1.9 ACERO DE REFUERZO.....	26

2.1.9.1 Propiedades Mecánicas del Acero	26
2.1.10 FLEXIÓN	27
2.1.10.1 Diseño por Flexión	27
2.1.10.2 Hipótesis de Diseño a Flexión	28
2.1.10.3 Criterios de Diseño por Flexión	31
2.1.10.4 Ensayos a Flexión	32
2.1.11 Criterios de Diseño por Desempeño	33
2.2 HIPOTESIS	35
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	35
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.2 POBLACIÓN Y MUESTREO	36
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: COMPORTAMIENTO DE LAS VIGAS REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO	38
3.3.2 Variable Dependiente: Análisis de de las Curvas de Desempeño.	39
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	40
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	40
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS (METODOLOGÍA DE TRABAJO)	41
4.1.1 EQUIPOS Y MATERIALES	41
4.1.2 ANTECEDENTES	42
4.1.3 FABRICACIÓN DE LAS VIGAS	43
4.1.4 REFORZAMIENTO DE VIGAS CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO.	47
4.1.4.1 Proceso de Colocación de las Fibras de Carbono y Fibras de Vidrio.....	49
4.1.5 ENSAYO A FLEXIÓN DE LAS VIGAS	51
4.1.5.1 PARÁMETROS DEL ENSAYO.....	51
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	52
4.2.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS	52
4.2.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	58
4.2.3 GRAFICAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS.....	62
4.2.4 CALCULO DEL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA	63
4.2.4.1 Ejercicio de Aplicación del Cálculo Manual de un punto del Diagrama Momento-Curvatura (Método de Fibras).	64
4.2.4.2 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado con reforzamiento de fibra de carbono).	78
4.2.4.3 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado con reforzamiento de fibra de Vidrio).	80
4.2.4.4 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado sin reforzamiento de fibra).	82
4.2.4.5 Puntos Notables del Diagrama Momento-Curvatura.	84
4.2.4.6 Comparación de Resultados Ensayo Practico v.s Método Matemático.	89
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	91
5.1 CONCLUSIONES	92
5.2 RECOMENDACIONES	94

C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	95
1. BIBLIOGRAFÍA	95
2. ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: FACTOR DE REDUCCIÓN AMBIENTAL DEBIDO A VARIAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN.....	8
TABLA 2 : COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN	22
TABLA 3: POBLACIÓN Y MUESTREO	37
TABLA 4 : VARIABLE INDEPENDIENTE: COMPORTAMIENTO DE LAS VIGAS REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO.....	38
TABLA 5: VARIABLE DEPENDIENTE: ANÁLISIS DE DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO ...	39
TABLA 6: PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	40
TABLA 7: DOSIFICACIÓN AL PESO (HORMIGÓN DE 240KG/CM ²)	43
TABLA 8: PROPIEDADES DE LA LÁMINA DE CARBONO.....	47
TABLA 9: PROPIEDADES DE LA LÁMINA DE VIDRIO.	48
TABLA 10: RESULTADO DEL ENSAYO DE LAS VIGAS SIN REFORZAMIENTO.	52
TABLA 11: RESULTADO DEL ENSAYO DE LAS VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO.	54
TABLA 12: RESULTADO DEL ENSAYO DE LAS VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRA DE CARBONO.....	56
TABLA 13: RESULTADO DE LOS VALORES PROMEDIOS DEL ENSAYO DE LAS VIGAS (CARGA MÁXIMA VS DEFORMACIONES).....	58
TABLA 14: RESULTADO DE LOS VALORES PROMEDIOS DEL ENSAYO DE LAS VIGAS (CARGA MÁXIMA V.S MODULO RUPTURA)	59
TABLA 15: COMPARACIÓN POR MODULO DE RUPTURA.....	60
TABLA 16: COMPARACIÓN POR CARGA MÁXIMA.	61
TABLA 17: COMPARACIÓN POR DEFORMACIÓN MÁXIMA.	61
TABLA 18:TABLA DE EFECTIVIDAD DEL CONFINAMIENTO (C _e).	70
TABLA 19:RESULTADOS DE LAS FIBRAS A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.	73
TABLA 20: RESULTADOS DE LAS FIBRAS A TRACCIÓN DEL HORMIGÓN.....	76
TABLA 21: DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO	79
TABLA 22: DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO.....	81

TABLA 23: DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN SIN REFORZADA DE FIBRA.....	83
TABLA 24: DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DEL PUNTO DE FLUENCIA.	85
TABLA 25 :DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DEL PUNTO DE SERVICIO.	86
TABLA 26: DATOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DEL PUNTO ÚLTIMO.	86
TABLA 27: MODULO DE RUPTURA OBTENIDOS POR EL MÉTODO MATEMÁTICO.....	86
TABLA 28: PUNTOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE CARBÓN.....	87
TABLA 29: PUNTOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO.....	88
TABLA 30: PUNTOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA SECCIÓN SIN REFORZAMIENTO DE FIBRA.....	88
TABLA 31: PUNTOS DEL DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA SECCIÓN SIN REFORZAMIENTO DE FIBRA.....	89
TABLA 32: MODULO DE RUPTURA OBTENIDOS POR EL MÉTODO MATEMÁTICO.	90
TABLA 33: MODULO DE RUPTURA OBTENIDOS POR EL ENSAYO PRÁCTICO.	90
TABLA 34: MODULO DE RUPTURA MÉTODO MATEMÁTICO V.S ENSAYO PRACTICO. .	90

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: FIBRA DE ARAMIDA.....	9
FIGURA 2: APLICACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO EN UNA VIGA.	12
FIGURA 3 : FIBRA DE VIDRIO.	14
FIGURA 4: GRAFICA DE LA CURVATURA DE UNA SECCIÓN H.A	16
FIGURA 5 : MODELO TRILINEAL Y UN MOMENTO ACTUANTE ANTE UN SISMO SEVERO	19
FIGURA 6: ESTADOS LÍMITES DE DISEÑO DE SECCIONES DE H.A	22
FIGURA 7: ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA DETERMINAR EL MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN.	25
FIGURA 8: DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA	27
FIGURA 9: FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO	28
FIGURA 10: AGRIETAMIENTO DEBIDO A LA FLEXIÓN.....	28
FIGURA 11: DIAGRAMA DE HIPÓTESIS DE DISEÑO A FLEXIÓN.....	30
FIGURA 12: ESQUEMA DEL APARATO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A FLEXIÓN, CON CARGA EN LOS TERCIOS.....	32
FIGURA 13: ESQUEMA DEL APARATO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A FLEXIÓN, CON CARGA EN EL CENTRO.	32
FIGURA 14: ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES Y ARMADO DE LA VIGA.	43
FIGURA 15: ESQUEMA DEL APARATO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A FLEXIÓN, CON CARGA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ.....	51
FIGURA 16: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S DEFORMACIÓN EN VIGAS SIN REFORZAMIENTO DE FIBRAS. FUENTE: EDG. JULIO TOAPANTA.	53
FIGURA 17: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S MODULO DE RUPTURA EN VIGAS SIN REFORZAMIENTO DE FIBRAS.	53

FIGURA 18: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S DEFORMACIÓN EN VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE VIDRIO. FUENTE: EDG. JULIO TOAPANTA	55
FIGURA 19: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S MODULO DE RUPTURA EN VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE VIDRIO.....	55
FIGURA 20: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S DEFORMACIÓN EN VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE CARBONO.	57
FIGURA 21: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S MODULO DE RUPTURA EN VIGAS CON REFORZAMIENTO DE FIBRAS DE FIBRAS DE CARBONO.	57
FIGURA 22: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S DEFORMACIONES EN LOS TRES TIPOS DE VIGAS ENSAYADAS. FUENTE: EDG. JULIO TOAPANTA.....	59
FIGURA 23: RELACIÓN DE CARGA MÁXIMA V.S MODULO DE RUPTURA EN LOS TRES TIPOS DE VIGAS ENSAYADAS.	60
FIGURA 24: ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES Y ARMADO DE LA VIGA.	65
FIGURA 25: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES Y FUERZAS DE LA SECCIÓN MÉTODO DE FIBRAS.....	66
FIGURA 26: SECCIÓN TRANSVERSAL PARA EL CÁLCULO DEL HORMIGÓN CONFINADO.....	69
FIGURA 27: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES Y FUERZAS DE LAS FIBRAS DEL HORMIGÓN EN COMPRESIÓN Y TRACCIÓN.	71
FIGURA 28: DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO.....	80
FIGURA 29: DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO.	82
FIGURA 30: DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA DE LA SECCIÓN SIN REFORZAMIENTO DE FIBRA.....	84
FIGURA 31: DIAGRAMA M-Ø DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO, INCORPORADO LOS LIMITES.....	88

FIGURA 32: DIAGRAMA M-Ø DE LA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO, INCORPORADO LOS LIMITES.	88
FIGURA 33: DIAGRAMA M-Ø DE LA SECCIÓN SIN REFORZAMIENTO DE FIBRA, INCORPORADO LOS LIMITES.....	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO 1 PREPARACIÓN DE ENCOFRADOS METÁLICOS.....	44
GRAFICO 2 PESAJE DE LOS MATERIALES.....	44
GRAFICO 3 FUNDICIÓN DE VIGAS.	45
GRAFICO 4 COLOCACIÓN DE ESTRUCTURA DE LA VIGA.....	45
GRAFICO 5 COMPACTACIÓN DEL HORMIGÓN.....	46
GRAFICO 6 DESENCOFRADO DE LAS VIGAS..	46
GRAFICO 7 CURADO DE LAS VIGAS.....	46
GRAFICO 8 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA VIGA.	49
GRAFICO 9 PROCESO DE IMPRIMACIÓN DE LA VIGA	49
GRAFICO 10 PROCESO CON LA FIBRA DE CARBONO. GRAFICO 11 PROCESO CON LA FIBRA DE VIDRIO.....	50
GRAFICO 12 SATURACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO. GRAFICO 13 SATURACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.....	50
GRAFICO 14 COLOCACIÓN DE LA FIBRA DE CARBONO. GRAFICO 15 COLOCACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO.....	51
GRAFICO 16 PROCESO DE ENSAYO VIGA SIN REFORZAMIENTO.....	54
GRAFICO 17 PROCESO DE ENSAYO VIGA CON REFORZAMIENTO DE FIBRA DE VIDRIO	56
GRAFICO 18 PROCESO DE ENSAYO VIGA CON REFORZAMIENTO DE FIBRA DE CARBONO	58
GRAFICO 19 GRAFICA COMPARATIVA ENTRE LOS MÓDULOS DE RUPTURA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VIGAS ENSAYADAS.	62
GRAFICO 20 GRAFICA COMPARATIVA ENTRE CARGA MÁXIMA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VIGAS ENSAYADAS. FUENTE: EDG. JULIO TOAPANTA.	62
GRAFICO 21 GRAFICA COMPARATIVA ENTRE DEFORMACIÓN MÁXIMA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VIGAS ENSAYADAS. FUENTE: EDG. JULIO TOAPANTA.	63

RESUMEN EJECUTIVO

TEMA: “ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO “

AUTOR: Toapanta Caisa Julio Raúl

TUTOR: Ing. M. Sc. Jorge Washington Cevallos Cabrera

El presente trabajo esta direccionado específicamente como un Tema Experimental, por lo tanto es necesario empezar indagando sobre los materiales a intervenir en el estudio.

Una vez indagado sobre los materiales se enfocara en el reforzamiento de elementos estructurales con fibras FRP en el cual implica un análisis del elemento a ser intervenido en la reparación, así como en el proceso de aplicación, el cual está establecido por el código ACI 440-2R

Ya obtenido un conocimiento del tipo de materiales se procede a la fabricación de las probetas, al reforzamiento de las mismas y a los respectivos ensayos a flexión con carga aplicada en los tercios de la luz (Norma de ensayo ASTM C78-84) en cada una de ellas, para así obtener los diferentes resultados los cuales diferenciaran de una viga reforzada con fibras de carbono, de una viga reforzada con fibras de vidrio y de una viga sin reforzamiento de fibras.

Posteriormente se realizara el cálculo del Diagrama Momento-Curvatura de cada viga ya sea esta reforzada con fibra de carbono, fibra de vidrio y sin reforzamiento de fibra, obteniendo mediante el Método de Fibras el diagrama $M-\phi$, para finalmente realizar un análisis de cada una de las curvas obtenidas.

EXECUTIVE SUMMARY

TOPIC: "ANALYSIS OF CURVES PERFORMANCE OF A BEAM STRENGTHENED WITH CARBON FIBER GLASS FIBER"

AUTHOR: Toapanta Caisa Julio Raúl

TUTOR: Ing. M. Sc. Jorge Washington Cevallos Cabrera

This work is addressed specifically as a topic Experimental therefore necessary to start inquiring about the materials involved in the study.

Once asked about the materials will focus on strengthening structural elements with FRP fibers which involves an analysis of the element to be involved in the repair as well as in the application process, which is set by the ACI 440- code 2R

And obtained a knowledge of the type of materials is applicable to the manufacture of test specimens, the reinforcement thereof and the respective assays to bending load applied in thirds of light (Standard ASTM C78-84) in each of them to obtain different results which differed from a beam reinforced with carbon fibers, a beam reinforced with glass fibers and a beam without reinforcing fibers.

Subsequently calculating diagram moment-curvature of each beam either it is reinforced with carbon fiber, glass fiber without fiber reinforcement, obtained by Method Fiber diagram M-Ø, to finally perform analysis be conducted each one of the curves obtained.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

“ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE DESEMPEÑO DE UNA VIGA REFORZADA CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO.”

1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad se han desarrollado nuevas técnicas empleadas en la optimización de trabajos de reparación, rehabilitación y reforzamiento estructural de los inmuebles, técnicas que vienen no solo a revolucionar y perfeccionar la industria de la construcción, si no que aún mejor, para garantizar la seguridad de las construcciones.

Desde mediados de los años 80 se ha implementado una nueva técnica de reforzamiento en base de textiles y platinas de fibra de carbono la cual; como es un material de muy poco peso, es utilizado como base de reforzamiento para aumentar la resistencia estructural de la construcción.

Desde la segunda mitad del siglo pasado, los materiales compuestos se han implementado en la industria de la construcción, superando significativamente en importancia a los metales, pero no han tenido un crecimiento lineal y continuo ya que en el período transcurrido durante la segunda guerra mundial, fue la industria metalúrgica la que se desarrolló ampliamente por razones que son de dominio público, sin embargo al finalizar la segunda guerra mundial los nuevos materiales poliméricos y cerámicos fueron desplazando a los metálicos y se comienza a

investigar la posibilidad de refuerzo estructural con materiales compuestos. Recientes avances en el campo de los materiales poliméricos reforzados con fibras, han dado como resultado el desarrollo de nuevos materiales con excelentes potenciales para el refuerzo de elementos de hormigón armado en áreas donde los materiales convencionales han fallado.

Entre los principales materiales compuestos reforzados con fibras tenemos al Glass Fiber Reinforced Cement (GRC) o cemento reforzado con fibra de vidrio que está compuesto por una matriz de mortero de cemento y fibras cortas de vidrio, el (AFRP) que son polímeros reforzados con fibras de aramida de origen orgánico y el Carbón Fiber Reinforced Polymers (CFRP) o polímero reforzado con fibra de carbono.

Los primeros ensayos de estructuras reforzadas con FRP adheridas exteriormente, se llevaron a cabo en 1984 en centros de investigación como el “Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research” en Suiza, “Federal Institute for Material Testing” y el “Institute for Building Materials, Concrete Construction and Fire Protection” en Alemania. Posteriormente se realizaron investigaciones en centros como el “Massachusetts Institute of Technology” en los Estados Unidos y algunos otros en Canadá y Japón.

La primera aplicación de un sistema de refuerzo FRP ocurre en Europa, en el puente “Kattenbush Bridge” (Alemania) entre 1986 y 1987, y luego desde 1991 casi 250 estructuras fueron reforzadas en Suiza incluyendo el puente “Ibach Bridge”. En Alemania y Suiza la publicación de los dos primeros documentos de construcción y recomendaciones de sistemas CFRP, aumentó la confianza a nivel de producción, proyecto y aplicación. Es por eso que su uso se extendió a la rehabilitación de edificios de carácter histórico en Grecia y el refuerzo contra sismo de muros en Italia.

Los sistemas FRP se desarrollan a finales de los años 80 en Japón y se aplican por primera vez en 1992 en el proceso de refuerzo y confinamiento de elementos en un puente en Tokio; luego se utilizan como refuerzo a sismo, flexión y corte para pilares, paredes, vigas de edificios y puentes de hormigón armado y

pretensado. Un claro ejemplo de su utilización en Japón es la reconstrucción de la ciudad de Kobe después de su devastación debida a un sismo en enero de 1995.

La necesidad de rehabilitar estructuras en la mayoría de países es uno de los factores que favorece el desarrollo de esta línea de investigación. Sin embargo, en el Ecuador, luego de 20 años del nacimiento de esta técnica de refuerzo, comienza su desarrollo y toma fuerza, tanto que, en términos generales se puede decir que en la construcción civil los sistemas de refuerzo basados en materiales compuestos FRP del tipo laminado y tejido flexible son los más estudiados y utilizados en nuestro medio, para el caso de reforzamiento exterior de estructuras de hormigón armado. [17]

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el mundo existe una innovación de materiales para mejoramiento y construcción de obras civiles, por esta razón surge la motivación de hacer un trabajo experimental en el cual se analizara un viga con diferentes fibras de reforzamientos como son fibras de carbono y fibras de vidrio.

Asimismo se busca comparar las Curvas de Desempeño con cada uno de los materiales expuestos anteriormente, para obtener a través del análisis del ensayo, números comparativos que reflejen su verdadero comportamiento y su desempeño estructural con la utilización de los diferentes materiales de reforzamiento en la viga, a lo largo del ensayo.

Además, este trabajo proporcionara un documento de investigación para los estudiantes de Ingeniería Civil y para persona que estén inmersas en el ámbito de la construcción quienes pudieren dar uso adecuado y responsable de la memoria técnica de este trabajo experimental. Una razón más para la realización de este trabajo experimental es el mantener formas arquitectónicas, ya que el país cuenta

[17] Jorge Rendón, Folleto Conferencia Reforzamiento con RFP , Ecuador-Quito,2012

con muchos edificios ricos en historia arquitectónica, que con el uso de estos tipos de refuerzos se lograría rescatar cualquier viga o elemento que exija alta resistencia a la flexión sin modificar su geometría, forma, o apariencia visual, conservando así las características originales de los elementos estructurales.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Analizar las curvas de desempeño de vigas reforzadas con fibras de carbono y fibras de vidrio.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la relación momento-curvatura.
- Definir las características de los materiales de reforzamiento con los que se van a trabajar.
- Graficar las Curvas de Desempeño mediante el ensayo en vigas armadas, reforzadas con fibra de carbono y fibra de vidrio, para su posterior análisis.
- Construir y ensayar una serie de muestras reforzadas con los materiales anteriormente planteados.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Fundamentación Teórica

Desde la antigüedad se ha realizado varios estudios relacionados con el refuerzo de fibras, los egipcios utilizaron paja para reforzar ladrillo prensado en seco siendo los primeros materiales artificiales conocidos en esa época.

Luego en los años cuarenta comienza el uso de productos compuestos de polímeros reforzados con fibras en el ámbito militar. En la década de los cincuenta se inicia las investigaciones de su uso como refuerzo del hormigón para la industria de la construcción.

En la década siguiente se incursiona a su vez, en la tecnología de los artículos deportivos. En los años setenta, se da la introducción comercial de dicho refuerzo para el hormigón, pero no hasta 1983 en Japón se hace los primeros trabajos de adhesión de lámina de fibra de carbono en hormigón. Un años después los mismo japoneses desarrolla en concepto de adhesión de laminas de fibra de carbono colocadas en obras y al siguiente año se instalan los primeros sistemas de reforzamiento de fibra de carbono en puentes.

En 1991 los suizos incursionan en esta tecnología, reforzando a flexión las vigas del puente Ibach en Lucerna. En la década de los noventa la fibra de carbono se emplea con mayor fuerza en los sistemas constructivos de los países desarrollados, alcanzando éxito como una tecnología de punta en el refuerzo de estructuras de hormigón armado.

Investigaciones y desarrollos realizados en el Centro Federal de Investigaciones y Ensayos de Materiales en Dubendorf en Suiza y otros centros de investigaciones, en la actualidad es posible reemplazar el acero(Material pesado)

por materiales compuestos livianos a base de fibras sintéticas, los cuales han sido utilizados con éxito en la industria aeroespacial.

Dichos compuestos están formados por delgadas fibras las cuales están unidas entre sí con una matriz de resina u otros materiales termorrígidos, la resina actúa solamente como agente de unión. Las fibras pueden ser de distintos materiales entre los que podemos mencionar; fibras de vidrio, fibras de aramida y fibras de carbono las cuales poseen las mejores características (resistencia a la tracción y alto modulo de elasticidad) y químicas.[18]

Estudios realizados en la Escuela Politécnica del Ejército en la Carrera de Ingeniería Civil acerca del “Reforzamiento de estructuras de Hormigón Armado con FRP Aplicado al “Refuerzo de una Losa y Columnas”, menciona que entre los diversos materiales compuestos existente, la fibra de carbono representa el material más apto para el refuerzo pasivo de estructuras de hormigón, debido a la inalterabilidad de sus características mecánicas ante la presencia de humedad, disolventes, ácidos o bases, agentes atmosféricos lo que hace que puedan operar en ambientes hostiles por grandes periodos de tiempo bajo fatiga y su mantenimiento y reparación son muy fáciles. La utilización de fibras de Carbono para el reforzamiento de estructuras de hormigón son alternativas atractivas, con su utilización se logra dar a las estructuras mayor resistencia, menor tiempo de ejecución y eliminar de costos ya que no sufren corrosión.

Además, podemos añadir un estudios realizado en la Universidad Técnica de Ambato en la Carrera de Ingeniería Civil con el tema “Análisis de Elementos Estructurales que Trabajan a Flexión con Fibras de Carbono” el cual detalla que la reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado mediante materiales compuestos, en especial mediante polímeros reforzados con fibras de Carbono (CFRP), se presenta como una alternativa interesante frente a los sistemas tradicionales de intervención, debido fundamentalmente a las grandes prestaciones mecánicas de estos nuevos materiales (mayores relaciones resistencia/peso y

[18] Revista Sistemas de Preservación Estructural, Publicaciones Master Builders, Maryland USA, 2001; p. 2-3

rigidez/peso), a su buen comportamiento frente a la corrosión y a su facilidad y rapidez de puesta en obra, además de no ser necesaria mano de obra especializada.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales de las estructuras tradicionales son pesados y requieren una cantidad considerable de trabajo para su mantenimiento y utilización. Nuevos materiales estructurales; fuertes, ligeros y más resistentes a la corrosión, impactos y ataques químicos se utilizan y son buenos sustitutos del acero hormigón y la madera.

Un material compuesto tiene el potencial de satisfacer estos requerimientos, se lo define como la unión de dos o más materiales físicamente distintos y separables mecánicamente, en donde la mezcla se hace de tal forma, que la dispersión de un material en el otro pueda hacerse de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas, obteniendo como resultado un nuevo material como propiedades superiores y posiblemente únicas en comparación con los componentes originales por separado.

La industria de la construcción e ingeniería empieza a conocer las bondades y ventajas de nuevos materiales estructurales de naturaleza sintética, provenientes de procesos químicos sofisticados; hoy en día conocidos como materiales compuestos.

Dichos materiales en un principio solo eran usados como materiales arquitectónicos decorativos, para pasar después a tener aplicaciones estructurales en construcción, en aeronáutica y posteriormente aplicaciones de reparación tanto estructural como estético.[6]

[6]. Composites in Constructions Congress, Portugal, 2001.

Esta guía describe brevemente las fibras más utilizadas como materiales de refuerzo con la finalidad de valorar las bondades y limitaciones de las mismas.

Se tiene tres tipos de fibras sintéticas que se utilizan para reforzar estructurales adhiriéndolas exteriormente; fibras de vidrio, fibras de carbono y fibras Aramida.

Existe otro tipo que es la fibra metálica, pero su aplicación esta más enfocada al refuerzo del hormigón como parte del mismo en forma homogénea, por lo que se encuentra fuera del tema de estudio.

La larga exposición a varios tipos de ambientes afecta las propiedades del FRP, por lo que en las ecuaciones de diseño se reduce el esfuerzo y deformación últimos mediante el factor de exposición ambiental CE mostrado en la siguiente tabla según el tipo de fibra empleado en el refuerzo.

Tabla 1: Factor de reducción ambiental debido a varias condiciones de exposición.

Condiciones de Exposición	Tipo de Fibra	Factor de reducción ambiental CE
Interior	Carbono	0.95
	Vidrio	0.75
	Aramida	0.85
Exterior (puentes, pilas y parqueaderos abiertos)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.65
	Aramida	0.75
Ambiente agresivo (humedad, salinidad y alcalinidad)	Carbono	0.85
	Vidrio	0.50
	Aramida	0.70

Fuente: Código ACI 440 2R

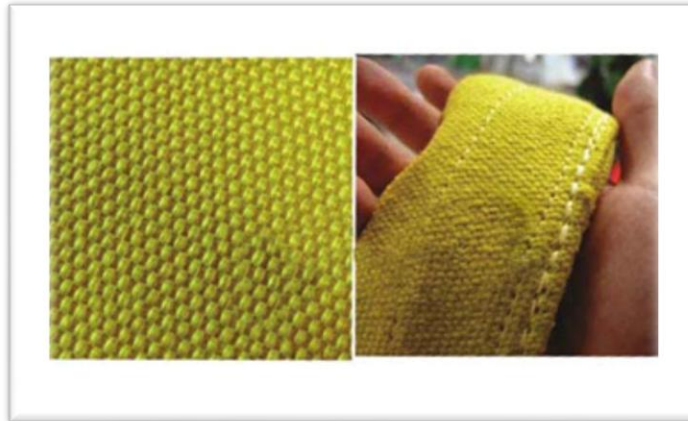
Los factores ambientales dados, son estimaciones conservativas basadas en la durabilidad relativa de cada fibra, mientras más investigaciones se desarrollen la información de estos valores cada vez serán más exactos.

2.1.2 TIPOS DE FIBRAS

2.1.2.1 Fibras de Aramida

Las fibras de aramida son fibras de origen orgánico y sintético que tienen alta resistencia y módulo de elasticidad debido a una perfecta alineación de los polímeros; de forma similar a las fibras de vidrio o carbono, la curva tensión – deformación es casi lineal hasta la rotura.

Figura 1: Fibra de Aramida



Fuente: Fibra de Aramida, <http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/aramida.html>, 2013

El nombre comercial de las fibras aramida es Kevlar y en la actualidad hay de dos tipos: Kevlar 29 y Kevlar 49. El Kevlar 29 tiene densidad baja, alta resistencia y un módulo elástico intermedio, su diseño es ideal para aplicaciones como protección balística, cuerdas y cables.

Las propiedades del Kevlar 49 hacen a estas fibras útiles para aplicaciones aeroespaciales, en marina, automotrices y otras aplicaciones industriales además del refuerzo de estructuras de hormigón armado.[5]

[5] Fibra de Aramida, <http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/aramida.html>, 2013

2.1.2.2 Fibras de Carbono CFRP

La fibra de carbono es un polímero 10 veces más resistente a la tracción que el acero (35.500 kg/cm² vs. 4.200 kg/cm²) y mucho más liviana. Este polímero se obtiene de calentar a altas temperaturas (hasta 1500°C) otro polímero llamado poliacrilonitrilo.

Este proceso de recalentamiento lleva a la formación de unas cintas perfectamente alineadas de casi carbono puro en su forma de grafito, por ello adopta el nombre de Fibra de Carbono.

El refuerzo de estructuras de hormigón es el campo de la construcción donde con mayor éxito se están aplicando los nuevos materiales compuestos (polímeros compuestos con fibras, o FRP). Los refuerzos con FRP se realizan de forma más rápida, con un número escaso de operarios y utilizando herramientas menores, minimizando la interrupción de uso de la estructura y las molestias a los usuarios. El empleo de estos materiales produce un ahorro en costes de mano de obra con respecto a los refuerzos tradicionales en un porcentaje de 40-50%, compensando con creces el costo de la materia prima y añadiendo la ausencia de mantenimiento requerido.

Aunque su utilización en nuestro medio es reciente, el uso de estos materiales de reforzamiento no es una novedad en el mundo, ya que hace más de 30 años se viene aplicando en la industria aeroespacial y manufacturas de productos de bajo peso, alta resistencia a la tensión y anti-corrosivos presentando diversas ventajas en el área de la construcción.[9]

Campo de aplicación:

Los campos de aplicación son los siguientes:

➤ Refuerzo a flexión:

Para el refuerzo a flexión de vigas, viguetas, forjados y otros elementos de

[9] Strengthening of structures with CFRP strips. W Steiner, AG, Tuffenwies 16-22, CH-8048 Zurich, Switzerland.

concreto armado se utiliza, principalmente, el método de pegado de laminados rectos. En algún caso también se puede utilizar el método de pegado de los tejidos. En ambos casos consiste en adherir el refuerzo que actuará como armadura externa de tracción. El adhesivo servirá para transmitir el esfuerzo cortante entre el refuerzo y el hormigón.

➤ **Refuerzo por confinamiento:**

Para elementos sometidos a compresión simple o compuesta se puede hacer un refuerzo por confinamiento. Este tipo de refuerzo se hace principalmente en pilares. El sistema a utilizar es el de tejidos, debido a su fácil adaptabilidad a cualquier forma del soporte. Con los tejidos se envuelve la pieza a reforzar completamente, de abajo a arriba. Se le pueden poner tantas capas de tejido como se desee. Esta envoltura provoca un confinamiento de la pieza que hace mejorar su comportamiento frente a cargas. Cuando la pieza se comprime, se acorta y por efecto Poisson se dilata transversalmente. El efecto de confinamiento es controlar esta dilatación transversal, mejorando así la capacidad portante.

➤ **Refuerzo a cortante:**

Para el refuerzo de piezas a cortante se colocan las fibras de carbono a modo de estribos externos, adheridos por la resina epóxica. Para realizar este tipo de refuerzo se puede utilizar tanto el sistema de tejidos como el de laminados pre - conformados en forma de “L” o en forma de “U”. En ambos casos, se trata de envolver o cercar transversalmente el elemento a reforzar. [20]

Entre las razones que justifican la rápida implantación de estos sistemas de refuerzo hay que destacar las siguientes:

- Los materiales compuestos de fibra de carbono son ligeros y fáciles de manejar. Por eso su colocación en obra es rápida y prácticamente no requiere la disposición de medios auxiliares.

[20] Revista Sistemas de Preservación Estructural; obra citada; p. 3

- Las bandas de fibra de carbono se adaptan mejor que las de acero a las posibles irregularidades de la superficie del hormigón original. Ello reduce en muchas ocasiones las labores previas de preparación del elemento a reforzar.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono pueden presentarse prácticamente en cualquier longitud, lo que evita la realización de juntas o empalmes.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono no se ven afectados por problemas de corrosión o de ataques químicos. Sólo una excesiva radiación o impactos directos pueden provocar su deterioro. Por ello, al contrario de lo que sucede con las bandas de acero, no es necesario protegerlas pintándolas periódicamente.
- Por otra parte, en caso de ser necesaria su protección frente a fuego, los requerimientos de los refuerzos mediante bandas de fibra de carbono encoladas no son muy superiores a los que exigen los refuerzos mediante bandas de acero igualmente encoladas.

El creciente uso de refuerzos con fibra de carbono, así como el carácter novedoso de este material en el ámbito de las estructuras ha favorecido el desarrollo de numerosos trabajos de investigación.[21]

[21] Rio, A. Patología , Reparación y Refuerzo de estructuras de H.A

Figura 2: Aplicación de la fibra de carbono en una viga.



Fuente: <http://es.slideshare.net/sikamexicana/reforzamiento-de-estructuras-con-fibra-de-carbono>.

2.1.2.3 Fibras de Vidrio GRP

La fibra de vidrio es un material que resulta de la fundición del vidrio el cual fluye a través de una pieza de agujeros muy finos que al solidificarse tiene suficiente flexibilidad característica que le atribuye para ser usada como fibra.

Las fibras de vidrio es otro excelente material compuesto, de reforzamiento estructural a un costo más bajo que las fibras de carbono y tiene una mayor deformación a la rotura; pero menor resistencia a la tracción que las fibras de carbono (15.200 kg/cm² vs. 35.500 kg/cm²), y de igual manera menor modulo de elasticidad por lo que es menos frágil a la fibra de carbono.

Sus características principales es de ser un material ligero, resistente, con un excelente comportamiento a la corrosión y al desgaste, buen aislante térmico, acústico y eléctrico; por otra parte sus desventajas son la dificultad de reciclaje, mal comportamiento al fuego y principalmente la ausencia de normativas que regulen sobre su uso ya que sus propiedades mecánicas dependen mucho del proceso de fabricación y el tipo de resina utilizada.

Figura 3 : Fibra de vidrio.



Fuente: Fibra de Vidrio, <http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/vidrio.html>, 2013

Los tipos de vidrio más importantes que se utilizan para fabricar fibras de materiales compuestos son:

- Vidrios E(Eléctricos)
- Vidrios S(De alta resistencia)

Los vidrios S tienen una relación alta resistencia/peso y son más caros que el tipo E pero más económicos que las fibras de carbono, los vidrios S se utilizan principalmente en aplicaciones militares, aeroespaciales y en la construcción. [19]

2.1.3 RESINA EPOXI

Una Resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor. La resina epoxi más frecuentes son productos de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol A. Los primeros intentos comerciales de producción tuvieron lugar en 1927 en los Estados Unidos.

Las resinas epoxidicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería; el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianocrilato. Estos adhesivos se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas, esquís. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos y se puede

[19]. Fibras de vidrio, www.ecured.cu/index.php/Fibra_de_vidrio,2012

conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento.

En general si el secado de un adhesivo epoxidico se realiza con calor, sería más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivo puede llegar a superar los 350 kg/cm², lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo. [7]

2.1.4 REPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Previamente al refuerzo de la estructura se habrá de plantear y analizar el tipo de refuerzo que se ajuste a la necesidad detectada, intentando absorber con el esfuerzo la totalidad del cortante, siendo fundamental conocer como se realiza la transmisión de esfuerzos entre elemento reforzado y refuerzo.

Otros factores a considerar son las limitaciones o condiciones de uso tales como escasas de espacio y el tiempo de ejecución de la reparación y en menor medida, el aspecto estético y el factor económico.

Además se deberá tener en cuenta aspectos tales como la rigidez original de los elementos reparados, en el momento de redistribuir los efectos provocados por las acciones sobre los elementos concurrentes o próximos, para no incrementar su rigidez y provocar más daños.[4]

[7]Instituto Universitario de Tecnología de Valencia. Erick Chacón, 1996.

[4] Patologías de hormigón armado y pretensado" J. Calavera.

2.1.5 MOMENTO - CURVATURA

2.1.5.1 Curvatura

Se conoce como curvatura de una sección de hormigón armado a la relación entre la deformación específica del concreto y la distancia desde la fibra mas comprimida del concreto al eje neutro, correspondiente a dicha deformación. [4]

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (1)$$

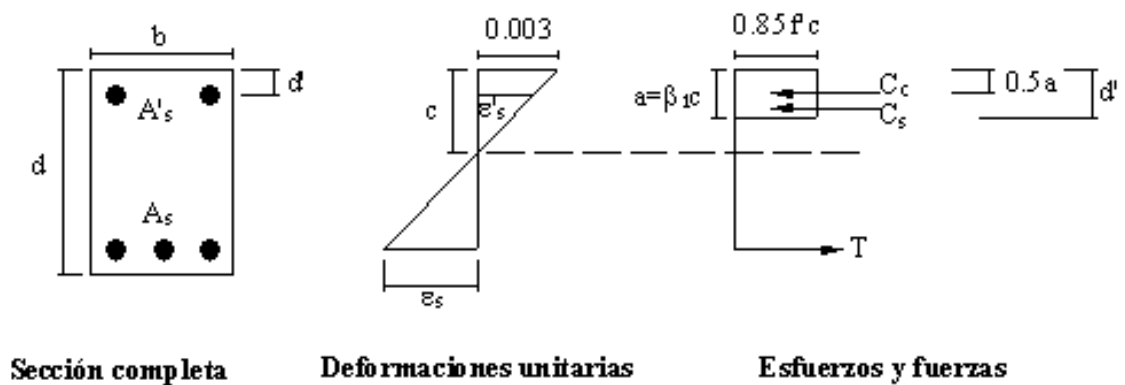
Donde:

ϕ es la curvatura

c es la distancia desde la fibra mas comprimida del concreto al eje neutro

ϵ_c es la deformación específica del concreto.

Figura 4: Grafica de la Curvatura de una sección H.A



Fuente: MEDINA, W." Guías de diseño de hormigón armado"

2.1.5.2 Diagrama Momento – Curvatura

En el diseño estructural es importante conocer la relación Momento – Curvatura de las secciones de los elementos estructurales, con el objetivo de saber cuál es la capacidad de ductilidad de curvatura y la máxima capacidad a flexión del elemento, para luego hacer una comparación entre estos valores y las demandas obtenidas en el diseño sismo- resistente de una estructura.

En el análisis no lineal, es fundamental conocer la relación $M-\theta$ para encontrar la rigidez de cada una de las ramas del diagrama histerético que se utiliza para definir la no linealidad del material. La relación $M-\theta$ es la base del análisis no lineal dinámico y del análisis no lineal estático. [16]

2.1.5.3 Puntos Notables del Diagrama $M-\theta$

En el Diagrama Momento-Curvatura se acostumbra a establecer tres puntos notables que son:

Fluencia: cuando se produce la primera fluencia en el acero de refuerzo a tracción, es decir cuando la deformación del acero $\epsilon_s = 0.002$.

Límite de Servicio en Compresión: El límite de deformación para el concreto debe ser una estimación conservadora de la deformación cuando inicia el desprendimiento. Una deformación del concreto de $\epsilon_c = 0.004$ es un límite conservador.

Límite de Servicio en Tensión: Para elementos estructurales que soportan cargas axiales una deformación máxima del acero $\epsilon_s = 0.015$.

Límite de Deformación Último: Un estado límite último verdadero se referiría a la inhabilidad del elemento a soportar cargas impuestas, como cargas gravitacionales en vigas y axiales en columnas. (PRIESTLEY, 2007).

A criterio de quien realiza la propuesta, el primer límite de estado último se tomará cuando el acero llegue a una deformación igual a $\xi_{su} = 0.10$; el segundo

límite corresponderá a la deformación de rotura del concreto. Por último se tomará el valor del momento máximo ocurrido como tercer límite.[16]

2.1.6 APLICACIONES DE LA RELACION MOMENTO-CURVATURA

2.1.6.1 Ductilidad por curvatura

La ductilidad es la capacidad que tiene un elemento de sufrir grandes deformaciones bajo cargas cercanas a la falla. Si un elemento posee poca capacidad de ductilidad de curvatura, lo más probable es que presente una falla de tipo frágil cuando la estructura ingrese al rango no lineal. Este tipo de falla no es deseable en estructuras sismo-resistentes. Un valor alto de ductilidad de curvatura hace que la edificación de amplia advertencia de falla en el rango no lineal.

La ductilidad del elemento se mide por medio de la relación Momento- Curvatura (M- θ) calculando la razón de ductilidad de curvatura (μ_y), que es el cociente entre el valor de la curvatura ultima (θ_u) y la curvatura cedente (θ_y) (ambos valores obtenidos a través de la curva momento- curvatura).Este parámetro (razón de ductilidad de curvatura), en definitiva determina la capacidad de rotación plástica (θ_p) frente a un incremento de momentos flectores, caso que se presenta en un sismo. (Lara, 2006)

Los gráficos Momento- Curvatura de una sección transversal de columna de concreto reforzado alcanzan su importancia al ser una forma de observar el desempeño de dicho elemento y de medir su ductilidad cuando esté sujeto a cargas.

La ductilidad por curvatura se define con la siguiente expresión:

$$\mu_y = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (2)$$

[16] Priestley. M. J. N., Calvi. G. M. y Kowalsky. M. J. "Displacement-Based Seismic Design of Structures". Fondazione EUCENTRE. Pavia. Italia.2007, pp 95-104

2.1.6.2 Reserva de Ductilidad por Curvatura

Ante los sismos denominados raros que son muy severos la estructura va a ingresar al rango no lineal. Sea M_d el momento actuante debido a unos de los dos sismos indicados, el cual es mayor que M_y (momento de fluencia), asociado a M_d se tiene la curvatura ϕ_d . Se define la ductilidad por curvatura μ_d con la siguiente relación:

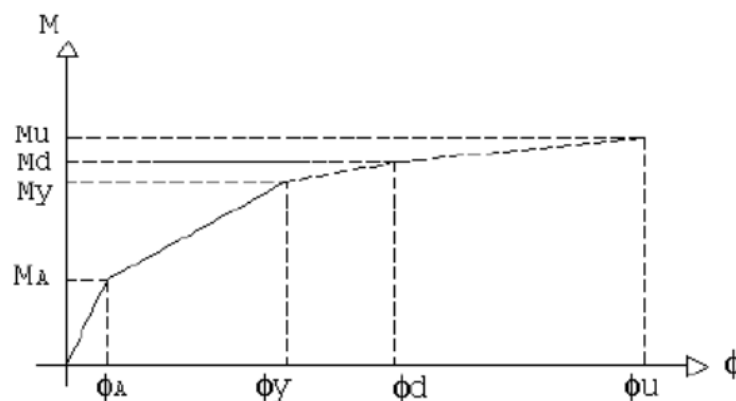
$$\mu_d = \frac{\phi_d}{\phi_y} \quad (3)$$

Por otra parte se define la reserva de ductilidad por curvatura μ_y , como la diferencia entre la capacidad de ductilidad y la demanda de ductilidad, por curvatura

$$\mu_y = \frac{\phi_u}{\phi_y} - \frac{\phi_d}{\phi_y} \quad (4)$$

Mientras más alta sea la reserva de ductilidad por curvatura de los diferentes elementos que conforman la estructura, mejor será el comportamiento sísmico que se espere de la edificación.

Figura 5 : Modelo Trilineal y un Momento actuante ante un sismo severo



Fuente: AGUIAR, R. "Análisis Sísmico por Desempeño" 2003

2.1.6.3 Redistribución de momentos

Para que se dé la redistribución de momentos, es necesario que los elementos tengan suficiente reserva de ductilidad por curvatura, en las secciones críticas que son los extremos de los elementos. La redistribución se puede dar de la siguiente manera:

Redistribución de momentos a través de un nudo. Es este caso si el momento negativo de un nudo se reduce en un determinado porcentaje, en el mismo porcentaje debe aumentarse en momento positivo del nudo en análisis.

Redistribución de momentos en vigas que involucra redistribución de acciones entre las columnas. Se cambian los momentos en vigas considerando el principio fundamental de la redistribución indicado anteriormente y luego, se debe buscar el equilibrio del nudo para el cual se modifica los momentos en las columnas y esto conduce a deducir unos nuevos cortantes que actuarán sobre las columnas.

Las secciones de las vigas, cuyos momentos se han reducido debido a la redistribución, ingresarán al rango no lineal, en forma anticipada pero tienen suficiente reserva de ductilidad por curvatura y esto implica que tiene suficiente reserva de ductilidad por rotación, lo que permite que el hormigón trabaje a grandes deformaciones y la sección rote inelásticamente transmitiendo las acciones a otros elementos.[1]

2.1.7 ESTADOS LÍMITES DE DISEÑO DE LA SECCIÓN

Agrietamiento: Para los miembros de concreto el inicio del agrietamiento marca generalmente el punto de un cambio significativo en la rigidez. Para los miembros críticos que se espera que respondan en el rango inelástico al sismo de diseño, este estado límite tiene poca importancia.

[1] AGUAR. R, Relación momento Curvatura y Visión 2000, CEINCI-ESPE, Capítulo 1.

Primera Fluencia: Un segundo cambio significativo en la rigidez de un elemento de concreto ocurre al inicio de la fluencia en la fibra extrema del reforzamiento. Este estado límite se utiliza para definir la rigidez elástica apropiada que será utilizada en el análisis de sistemas dúctiles usando reglas simplificadas de histéresis, como una respuesta bi-lineal.

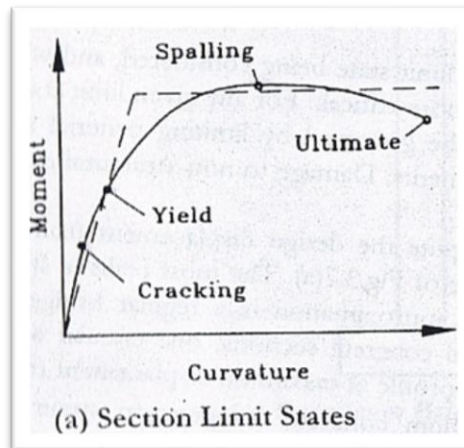
Desprendimiento: El inicio del desprendimiento en el recubrimiento de un elemento de concreto es un estado límite significativo particularmente para secciones no confinadas o secciones sujetas a grandes cargas axiales, en donde el desprendimiento está asociado con el inicio de la rigidez incremental negativa y posible pérdida repentina de resistencia. La excedencia de este estado límite representa una condición local que requiere reparación. La resistencia puede seguir aumentando mas allá de este estado limite. Conservadoramente, se puede asumir una deformación específica del concreto en compresión de $\epsilon_c = 0.004$.

Pandeo: El inicio del pandeo del acero longitudinal de un miembro de hormigón armado es un estado límite significativo. Más allá de este límite la acción a tomar a menudo requiere que se remueva y se reemplace el miembro.

Estado Límite Último: El punto del estado último de un miembro es algo subjetivo. Algunas veces corresponde a un evento físico crítico, como una fractura del refuerzo de confinamiento en una potencial zona de rotura plástica. Otra definición se relaciona con una caída en la resistencia (20% es utilizada a menudo) de la máxima resistencia lograda. Ninguna definición corresponde verdaderamente al estado límite último, dado que al menos un poco de resistencia residual se mantiene para un aumento adicional de desplazamiento. Un estado último verdadero se refiere a la inhabilidad de tomar cargas impuestas, como carga de gravedad en vigas o carga axial en columnas. Esta tiene potenciales consecuencias explosivas.[15]

[15]. Priestley M.), "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley and Sons, USA, 1992.

Figura 6: Estados Límites de Diseño de Secciones de H.A



Fuente: PRIESTLEY "Displacement – Based Seismic Design of Structures"

2.1.8 HORMIGÓN

2.1.8.1 Diseño de hormigón

Llamado también concreto, es una piedra artificial con ventajas muy superiores a una piedra natural, en lo posible debe ser más parecida a una piedra natural. Está formada por una pasta y un material de relleno.

Tabla 2 : Composición del Hormigón

Aire 2-3%	Sólidos
Pasta	Relleno
Cemento + agua	Agregado fino y grueso
Material Activo	Material Muerto
Aprox.25%	Aprox.75%

Fuente: Manual de Hormigón II Ing. Santiago Medina.

2.1.8.2 Funciones de la pasta de Hormigón

- Llenar los vacíos que deja el árido.
- Dar plasticidad al hormigón fresco, ya que actúa como un lubricante.
- Al llenar la pasta los vacíos, le da también impermeabilidad al hormigón endurecido.
- Dar resistencia al hormigón.

2.1.8.3 Factores que modifican la Calidad de la Pasta

- La calidad de sus componentes (cemento - agua).
- La relación agua/ cemento (A/C) que además es el factor individual más importante que controla la calidad del hormigón. La resistencia del hormigón es función inversa de la relación A/C.
- Debe haber una correcta y completa reacción CEMENTO- AGUA, reacción que se identifica en dos partes:

Hidratación: es el proceso de absorción de agua durante el mezclado. Debe cuidarse la evaporación del agua durante el proceso de hidratación para evitar fisuración del hormigón en el fraguado.

Curado: es mantener al hormigón en condiciones favorables de humedad y temperatura. El tiempo de curado debe ser mínimo de 14 días, y si es mayor, es mucho mejor.

2.1.8.4 Curado de Hormigón

El curado es proporcionar un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado, de modo que este desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él. Un hormigón curado

adecuadamente alcanzara su máxima resistencia y durabilidad será más impermeable y tendrá menor riesgo de fisuración.

Humedad: Para garantizar que la resistencia del hormigón no se vea seriamente comprometida, la humedad relativa debe ser superior al 80%.

Temperatura: Debe mantenerse en valores cercanos a 20°C, en todo caso superiores a 10°C e inferiores a 30°C. Su papel en el curado es importante pero de menor incidencia que el contenido de humedad.

El curado debe prevenir durante las primeras edades la evaporación del agua superficial, manteniendo al hormigón en condición preferentemente saturada. Un contenido suficiente de humedad evita retracción por secado y permite una adecuada hidratación del cemento.

2.1.8.5 Propiedades Mecánicas del Hormigón.

Para el diseño de estructuras de hormigón simple, armado pre esforzado con perfiles laminados, soldados, etc. Se utilizan las propiedades mecánicas de hormigón endurecido entre las más importantes tenemos:

- **Resistencia a la compresión:** Se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15cm de diámetro y 30cm de alto, llevadas a la rotura mediante la aplicación de cargas incrementadas relativamente rápidas. Esta resistencia se mide luego de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad.
- **Modulo de Elasticidad:** Cuando se dibujan las curvas Esfuerzo-Deformación se obtienen diferentes tipos de gráficos que dependen fundamentalmente de la resistencia a la rotura del material, la pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la deformación de modulo de elasticidad o modulo de Young “Ec”.

El modulo de elasticidad del hormigón puede calcularse:

$$E_c = \sigma / \epsilon_c \quad (5)$$

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c}; \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (6)$$

$$E_c = W_c^{1.5} * 0.14 \sqrt{f'_c}; \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (7)$$

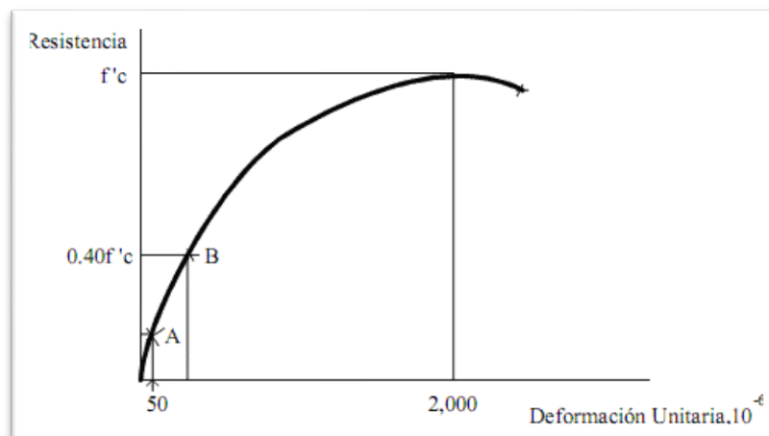
Donde:

σ =Esfuerzo

ϵ_c =Deformación Especifica Concreto = 0.003

W_c =Peso Especifico del Concreto

Figura 7: Esfuerzo Vs Deformación para determinar el Modulo de Elasticidad del Hormigón



Fuente: <http://www.elconstruccioncivil.com/2011/01/concreto-modulo-de-elasticidad.html>.

- **Ductilidad**

El hormigón es un material frágil no dúctil.

- **Resistencia a la Tracción**

El hormigón posee muy baja resistencia a la tensión se considera alrededor del 10% de la resistencia a la compresión, por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras.[11]

[11]. Medina S. “Manual de Hormigón II”, Universidad Técnica de Ambato, Tomo2

2.1.9 ACERO DE REFUERZO

2.1.9.1 Propiedades Mecánicas del Acero

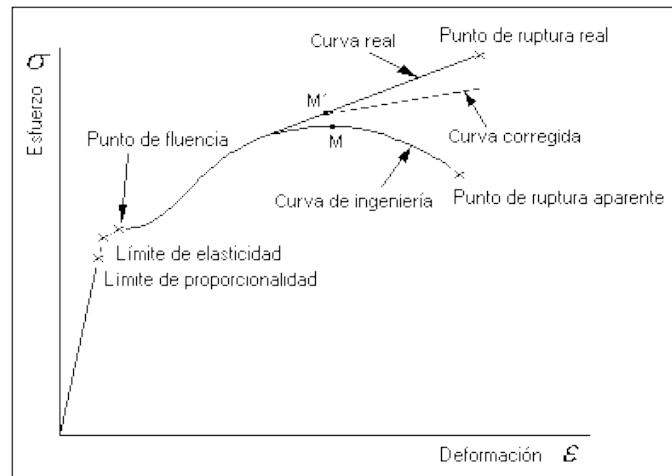
El Acero trabaja perfectamente bajo cargas de tracción las mismas que varían dependiendo de la combinación química del material y de sus procesos de fabricación.

- **Rango de Comportamiento Elástico:** Es el rango de refuerzo, a partir de la carga nula hasta una determinada carga P que al retirarla recupera su geometría inicial.
- **Resistencia a la Rotura:** Es el mayor esfuerzo que puede soportar el acero, previo al proceso del colapso del material. El inicio del colapso es el punto más alto de la curva y se lo representa como “ F_r ”.
- **Esfuerzo de Fluencia:** Se define como esfuerzo bajo el cual acero continúa deformándose sin necesidad de incrementar las cargas de tracción. La fluencia coincide con una recta horizontal, a continuación del rango elástico y un pequeño tramo de transición. El esfuerzo asociado se identifica como “ f_y ”.

Modulo de Elasticidad del Acero: La pendiente de la Recta que identifica al rango elástico de comportamiento de los materiales, y en el Acero se lo representa como “ E_s ”. El modulo de elasticidad del Acero es único: $E_s=2.1 \times 10^6$ kg/cm², es el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del rango elástico.
[12]

[12]. Medina S. “Manual de Hormigón I”, Universidad Técnica de Ambato, Tomo 1

Figura 8: Diagrama Esfuerzo-Deformación Unitaria



Fuente: Metalografía, Universidad Tecnológica de Pereira, 2012

2.1.10 FLEXIÓN

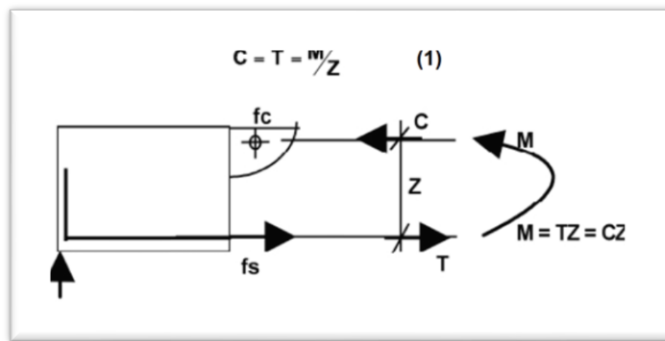
2.1.10.1 Diseño por Flexión

La flexión representa el estado límite de servicio que generalmente rige las dimensiones de las vigas de concreto reforzado. Usualmente, las dimensiones provenientes del diseño por flexión se someten a revisión por cortante u otras acciones estructurales. A continuación se describirán los aspectos fundamentales de este tipo de diseño estructural.

Según la Mecánica de materiales, la flexión es el estado interno de esfuerzos cuya acción genera en una sección del elemento flexionado un par de fuerzas M cuya intensidad puede establecerse a partir de las condiciones de equilibrio en vigas isostáticas o de las condiciones de equilibrio y compatibilidad de desplazamientos en el caso de vigas estáticamente indeterminadas. Siendo la magnitud de este par

de fuerzas una constante de la sección, es posible modificar el valor de las fuerzas cuyas componentes C y T , alterando la distancia entre ellas. En la Figura 9 se ilustra el anterior concepto observando que si aumentamos la distancia Z la magnitud de las fuerzas componentes del par disminuye en la misma proporción, de acuerdo a la expresión:

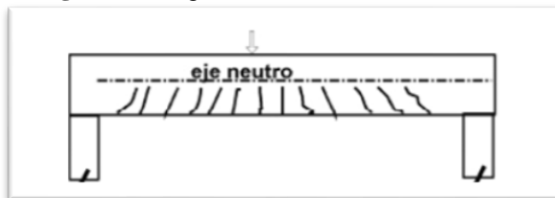
Figura 9: Flexión en vigas de concreto reforzado



Fuente: Luis Ignacio Espino Márquez y Gabriel Octavio Gallo Ortiz, DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

Analizando la Figura (N.-9) encontramos la razón de que las vigas de concreto reforzado en la práctica se dispongan con su dimensión de mayor magnitud (peralte) vertical. Dispuesta la viga de este modo, los esfuerzos de tensión serán absorbidos por el acero de refuerzo y los de compresión por el concreto. Sin tal refuerzo, durante el fenómeno de flexión se presentarían los agrietamientos que se muestran en la figura 10. [8]

Figura 10: Agrietamiento debido a la flexión



Fuente: Luis Ignacio Espino Márquez y Gabriel Octavio Gallo Ortiz, DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

2.1.10.2 Hipótesis de Diseño a Flexión

- El acero debe ir en las fibras que se tensionan.
- Las deformaciones tanto para el concreto como para el acero son directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.

[8].Espino L yGallo G, " DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO" ,Disponible:http://www.academia.edu/4855502/DISE%C3%91O_POR_FLEXI%C3%93N_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes.

- La deformación máxima del hormigón en su fibra mas comprimida es $\epsilon_c=0.003$.
- Cuando la deformación del Acero ϵ_s es menor o igual a su deformación máxima ϵ_y entonces el esfuerzo de trabajo del Acero es menor que el límite de fluencia f_y . Cuando la deformación del Acero es mayor que su deformación máxima entonces el esfuerzo de trabajo del Acero es igual a su límite de fluencia.

$\epsilon_s \leq \epsilon_y$ $f_s < f_y$ \longrightarrow Diseño Dúctil

$\epsilon_s > \epsilon_y$ $f_s = f_y$ \longrightarrow Viga Doblemente Armada

$$F_y = E_s * \epsilon_y$$

El hormigón trabaja perfectamente a compresión mientras que su trabajo a flexión se considera nulo.

El diagrama de esfuerzos reales del hormigón es una parábola.

Al diagrama real de esfuerzos lo podemos transformar en un diagrama o bloque rectangular equivalente cuya fuerza resultante debe ser igual a la fuerza resultante de la parábola para ellos a la distancia c se la debe multiplicar por un factor β_1 que toma como valor mínimo 0.65 y como máximo 0.85.

El valor β_1 se debe tomar igual a 0.85 para resistencias f'_c de 280 Kg/ cm² y se deberá disminuir en forma progresiva 0.05 por cada 70 Kg/cm² de resistencia en exceso de 280 Kg/cm².

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{f'_c - 280}{70} \quad \beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \quad (8)$$

En el siguiente diagrama se pueden apreciar todas las hipótesis planteadas:

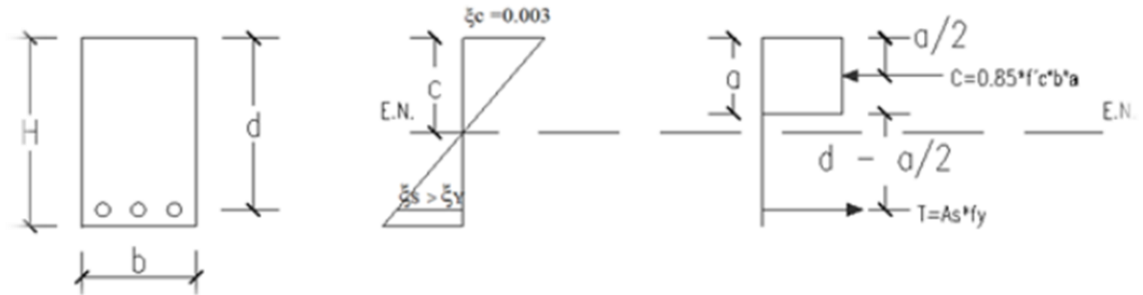


Figura 11: Diagrama de Hipótesis de diseño a flexión.

Fuente: Luis Ignacio Espino Márquez y Gabriel Octavio Gallo Ortiz, DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

Nomenclatura:

c: Es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más comprimida.

H: altura de la sección transversal.

b: base de la sección transversal.

r: es la distancia que va desde el centro de gravedad de los aceros de refuerzo hasta fibras más tensionada, se denomina recubrimiento.

d: peralte efectivo.

C: resultante de los esfuerzos de compresión.

T: resultante de los aceros de tensión.

a: altura rectangular del bloque equivalente.

El ACI 318-14 establece un factor de reducción de capacidad para elementos sometidos a flexión 0.90.

2.1.10.3 Criterios de Diseño por Flexión

El diseño por flexión debe cumplir la condición reglamentaria (RCDF'93) la cual establece que la resistencia a flexión de una sección de concreto reforzado debe tener una magnitud que exceda o cuando menos sea igual a la del momento último producido por las cargas, es decir:

$$M_R \geq M_U \quad (9)$$

En la expresión anterior M_R es el momento resistente de la sección y M_U es el momento último de la viga, equivalente al momento flexionante máximo M producido por las cargas de servicio multiplicado por el factor de carga F_c .

En el diseño, es común emplear esta expresión en forma de igualdad para obtener máxima economía en el empleo de los materiales. Para un factor de carga $F_c=1.4$, lo anterior equivale a decir que se diseña para que la estructura alcance su resistencia con carga 40% mayores que la de servicio:

$$M_R = M_U \quad (10)$$

El momento último M_U de la sección depende de las condiciones de carga, que podemos representar como w y de la longitud L de la viga, es decir:

$$M_U = f(w, L) \quad (11)$$

Las expresiones que cuantifican el momento máximo se puede encontrar en la mecánica de sólidos. [13]

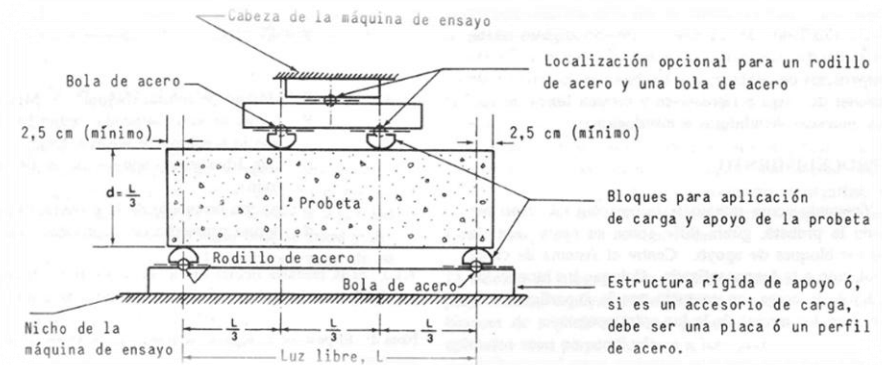
[13]. Espino L y Gallo G, "DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO"

2.1.10.4 Ensayos a Flexión

➤ NORMA ASTM C 78-84

Este método describe el proceso para determinar la resistencia a la flexión del concreto mediante el empleo de una viga de concreto, con carga en los tercios de la luz.[14]

Figura 12: Esquema del aparato para determinar la resistencia a flexión, con carga en los tercios.

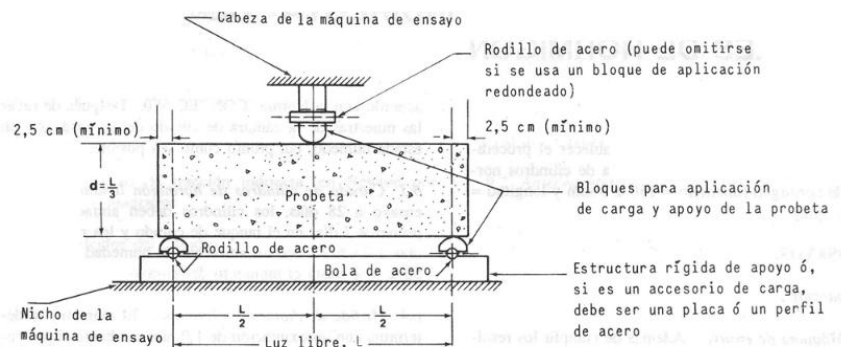


Fuente: Ensayos de control de calidad para el concreto; Disponible: <http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT%204-01%20pdf%200015%20%20Baja.pdf>

➤ NORMA ASTM C 293-79

Este método describe el proceso para determinar la resistencia a la flexión de especímenes de concreto mediante el empleo de una viga de concreto simple como carga en el centro de la luz.[14]

Figura 13: Esquema del aparato para determinar la resistencia a flexión, con carga en el centro.



Fuente: Ensayos de control de calidad para el concreto; Disponible: <http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT%204-01%20pdf%200015%20%20Baja.pdf>

[14] Ensayos de control de calidad para el concreto; Disponible: <http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT%204-01%20pdf%200015%20%20Baja.pdf>.

2.1.11 Criterios de Diseño por Desempeño

El diseño por desempeño es una forma de plantear los criterios de aceptación, para el análisis y diseño de estructuras, haciendo énfasis en el comportamiento esperado, el control de daños estructurales y no estructurales y los niveles de seguridad establecidos.

➤ Objetivo Básico del Diseño por Desempeño.

- Sismo a nivel de servicio: Se analiza y diseña la estructura para un sismo de servicio con 50% de probabilidad de ocurrencia en los próximos 50 años. El resultado de este análisis no permite que se tenga daño alguno estructural y que la estructura permanezca de pie.
- Sismo a nivel de diseño: Se analiza y diseña la estructura para un sismo con 67% de probabilidad del sismo máximo esperado (2% de probabilidad de ocurrencia en 50 años). El resultado de este análisis permite la deformación estructural dentro de los límites aceptables, que no cause riesgos indebidos y la vida de los habitantes está protegida. Los elementos no estructurales importantes permanecen anclados a la estructura que se mantiene de pie; sin embargo, algunos pueden sufrir daños tales como fisuras o grietas.
- Sismo a nivel del máximo esperado: Análisis con el Sismo Máximo Esperado (2% de probabilidad en 50 años) La estructura va a responder con alto grado de confianza ante el sismo máximo esperado, mientras mantiene su estabilidad.

➤ El diseño por desempeño proporciona lo siguiente:

- El diseño por desempeño permite que el propietario y el equipo de diseño seleccionen el nivel deseado de rendimiento de los edificios contra el movimiento sísmico calculado para la edificación, el diseño por desempeño es una forma de plantear los criterios de aceptación ante varios niveles de movimientos del suelo con diferentes riesgos.

- Los riesgos, pueden ser evaluados con respuestas específicas que les correspondan, controlando los daños en los elementos estructurales y no estructurales.

- El diseño y análisis estructural de los edificios permite que la estructura y los elementos estructurales no sufran casi ningún daño ante una respuesta sísmica; sin embargo, para el caso del Sismo Máximo Esperado, se admiten daños por deformaciones en elementos no estructurales y ciertos elementos estructurales, pero no se admite un colapso de la estructura y ésta permanece de pie aunque resulte dañada.

➤ **Ventajas del diseño por desempeño:**

- Es una evaluación más precisa de lo que se espera del comportamiento sísmico.
- Diseño más económico con el que se reducen los costos de construcción.(minimiza los costos a la larga durante el ciclo de vida)
- Permite que las características de diseño arquitectónico sean factibles, porque se presentan más opciones de diseño lineal y no lineal.

➤ **Niveles de desempeño**

A continuación se presenta una descripción detallada de los niveles establecidos por el comité VISION 2000).

Totalmente Operacional: Corresponde a un nivel en el cual no ocurre esencialmente daño. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no requieren reparaciones.

Operacional: En este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo. En general se requieren algunas reparaciones menores.

Seguridad de Vida: Está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir carga laterales adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico.

Próximo al Colapso: La degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallos locales, aunque los elementos que soportan las cargas verticales continúan en funcionamiento. Bajo estas condiciones, la estructura es insegura para sus ocupantes y el costo de su reparación puede no ser técnicamente viable desde el punto de vista económico.

2.2 HIPOTESIS

Investigar el comportamiento de las vigas reforzadas con fibras de carbono y fibras de vidrio para el análisis de la curva de desempeño.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

Variable Independiente

Comportamiento de las vigas reforzadas con fibras de carbono y fibras de vidrio.

Variable Dependiente

Análisis de de las Curvas de Desempeño.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Exploratorio

La investigación se basa en un parámetro exploratorio puesto que se ha tomado un tema muy poco conocido y aplicado en nuestro medio, debido a la falta de conocimiento de las ventajas que proporciona las fibras de carbono y vidrio en el área de la construcción.

Explicativa

Es aquella que tiene una relación causal, no solo persigue describir o acercarse a un problema, debido a que esta se centra en buscar los resultados o el por qué de la ocurrencia del fenómeno. Es así como en esta, se encuentra inmersa la investigación experimental la cual se enfoca en experimentos que se pueden realizar en laboratorio o fuera de él.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTREO

Se elaboraron un total de 9 vigas de hormigón armado, posteriormente para el ensayo, 3 vigas se reforzaron exteriormente con fibras de carbono, 3 vigas se reforzaron exteriormente con fibra de vidrio y las 3 restantes sin refuerzo.

- ❖ Para el presente trabajo experimental las vigas se elaboraron bajo la normativa **ASTM C31**. Además de acuerdo al equipo de laboratorio a utilizar y con la norma de ensayo (ASTM C78-84), las vigas cumplen con

las siguientes dimensiones una longitud de 75cm, una base de 15cm y una altura de 15cm.

- ❖ Las vigas se ensayaran bajo la norma **ASTM C78**.

Este método describe el proceso para determinar la resistencia a la flexión del concreto mediante el empleo de una viga de concreto, con carga en los tercios de la luz.

Tabla 3: Población y Muestreo

VIGAS	NUMERO
Vigas sin Reforzamiento exterior de Fibras	3
Vigas Reforzadas exteriormente con Fibra de Carbono	3
Vigas Reforzadas exteriormente con Fibras de Vidrio	3
TOTAL	9

Fuente: Egd. Julio Toapanta

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente: Comportamiento de las vigas reforzadas con fibras de carbono y fibras de vidrio.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El Reforzamiento de estructuras de hormigón es el campo de la construcción donde con mayor éxito se están aplicando los nuevos materiales compuestos (FRP). Los refuerzos con FRP se realizan de forma más rápida, con un número escaso de operarios y utilizando herramientas menores, minimizando la interrupción de uso de la estructura y las molestias a los usuarios.	Fibras	Carbono	¿Cómo aplicamos?	Técnica: <ul style="list-style-type: none"> • Observación, elaboración, ensayo y seguimiento activo del estudiante. Instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de vigas de hormigón armado reforzada exteriormente con fibras de carbono y vidrio. • Ensayo. • Reporte.
		Vidrio	¿En qué circunstancias podemos utilizarlas?	
	Resistencia	Capacidad	¿Mejorara su capacidad al reforzar con fibras?	
		Soportar cargas	¿Qué parámetros deben ser evaluados para la correcta elección de la fibra?	

Tabla 4 : Variable Independiente: Comportamiento de las vigas reforzadas con fibras de carbono y fibras de vidrio.

Fuente: Egd. Julio Toapanta

3.3.2 Variable Dependiente: Análisis de de las Curvas de Desempeño.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es la representación grafica de la capacidad de ductilidad de curvatura y la máxima capacidad a flexión, de un elemento.	Capacidad	Ductilidad	¿Cuál es la capacidad de ductilidad?	Técnica: <ul style="list-style-type: none"> • Observación, ensayo y seguimiento activo del estudiante. Instrumento: <ul style="list-style-type: none"> • Ensayo destructivos • Cálculos. • Reporte resultados
		Flexión	¿Cuál es la capacidad de flexión?	
	Elemento	Estructural	¿Qué es un elemento estructural?	
		No estructural	¿Qué es un elemento no estructural?	

Tabla 5: Variable Dependiente: Análisis de de las Curvas de Desempeño

Fuente: Egd. Julio Toapanta

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIONES
¿Qué evaluar?	Las curvas de desempeño de las vigas reforzadas.
¿Sobre qué evaluar?	Puntos significativos de la curva de desempeño.
¿Sobre qué aspectos?	La capacidad de elemento estructural.
¿Quién evalúa?	Julio Toapanta
¿A quienes evalúa?	Vigas armadas reforzadas exteriormente con Fibra de Carbono y Fibras de Vidrio
¿Dónde evalúa?	Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato
¿Cómo y con qué?	Mediante la observación, elaboración y ensayos destructivos de vigas

Tabla 6: Plan de Recolección de Información

Fuente: Egd. Julio Toapanta

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El trabajo de investigación experimental tendrá una revisión crítica de la información utilizando como técnica la observación, elaboración, ensayos y reporte de resultados del proceso destructivo de las vigas de hormigón armado sin reforzamiento de fibras y de las vigas de hormigón armado reforzadas exteriormente con Fibras de Carbono y Fibras de Vidrio.

Los resultados obtenidos del ensayo realizado en el laboratorio serán representados de manera gráfica con su respectiva descripción. Luego se realizará un análisis analítico en base a la Norma Técnica, dicho análisis se basó en el Método de las Fibras para así poder encontrar el diagrama momento-curvatura.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS (METODOLOGÍA DE TRABAJO)

4.1.1 EQUIPOS Y MATERIALES

Para la construcción de las vigas se debe tener en cuenta los siguientes Equipos y materiales necesarios para efectos de manipulación y para el montaje del ensayo.

➤ **Equipos**

- Encofrados Metálicos.
- Concretera.
- Parihuelas.
- Palas.
- Vibrador de aguja para compactación del concreto.
- Espátula de hule para la aplicación de la resina epóxica.
- Lija para corregir pequeñas imperfección en la cara a colocar la fibra.
- Brocha y franela para la limpieza de las vigas.
- Máquina para ensayo a flexión.

➤ **Materiales**

- Agregado grueso.
- Agregado fino.
- Plastificante SIKA.
- Agua.
- Cemento.
- Acero figurado de 10mm y 8mm.
- Fibra de Carbono (CARBOWRAP 300) de Setmix

- Fibra de Vidrio (EPOWRAP 241) de Setmix
- Resina epóxica para adherir al concreto las fibras (EPOFIX 300)

4.1.2 ANTECEDENTES

Para el presente trabajo experimental se fabricaron 9 vigas de hormigón armado, dichas vigas se construyeron según la norma ASTM C31 “Práctica Normalizada para la Preparación y Curado en obra de las probetas para Ensayo del Hormigón” las probetas para determinar la resistencia a la flexión del hormigón deben ser vigas moldeadas y fraguadas en posición horizontal. La viga estándar debe ser de 6 x 6 pulg (150 x 150 mm) como mínimo, por lo cual se opto por fabricar vigas con una sección transversal de 15cm por 15cm y una longitud de 75cm. Además se considera la Norma de ensayo ASTM C78-84.

De 9 vigas de hormigón armado, 3 vigas se ensayaron con reforzamiento exterior de fibras de carbono, 3 vigas con reforzamiento exteriormente con fibra de vidrio y las 3 restantes se ensayaron sin refuerzo.

Datos: (Para el dimensionamiento de las vigas se referencio la norma ASTM C31 y el refuerzo longitudinal y transversal por disposición del Tutor)

$L=75\text{cm}$

$b=15\text{cm}$

$h=15\text{cm}$

$f_c' = 240 \text{ kg/cm}^2$

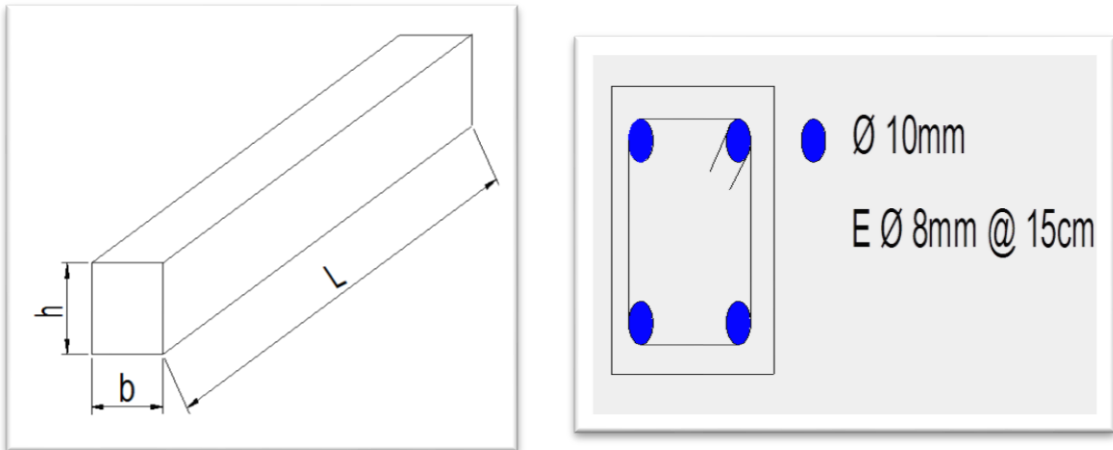
$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$r = 2.5\text{cm}$

$A_s(\text{longitudinal}) = 4\text{Ø}10\text{mm}$

$A_s(\text{transversal}) = 1\text{Ø}8\text{mm}@15\text{cm}(\text{colocada desde cada extremo})$

Figura 14: Esquema de las dimensiones y armado de la viga.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

4.1.3 FABRICACIÓN DE LAS VIGAS

➤ **Dosificación del hormigón de 240 kg/cm²**

Posteriormente a la obtención de los materiales para la fabricación del hormigón, procedemos al cálculo de la dosificación para una resistencia de 240kg/cm².

Tabla 7: Dosificación al peso (hormigón de 240kg/cm²)

DOSIFICACIÓN AL PESO hormigón de 240kg/cm ²		
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO
W	231.29	0.64
C	360.32	1.00
A	687.78	1.91
R	958.57	2.66
TOTAL	2237.96	kg/m³ Densidad del Horm.

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Preparación de Encofrados Metálicos**

Se inicia preparación, limpieza y frotación de aceite quemado en el interior del encofrado para que no exista ninguna adherencia del hormigón al momento del desencofrado.

Grafico 1: Preparación de encofrados metálicos.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Pesaje de los Materiales**

Se procede a pesar las cantidades exactas de los materiales calculados anteriormente para un hormigón de 240kg/cm².

Grafico 2: Pesaje de los materiales.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Fundición de vigas**

Luego de tener los materiales ya pesados con dosificación ya calculadas anteriormente en el laboratorio para un hormigón de 240kg/cm², procedemos a fundir con la ayuda de la concreteira.

Grafico 3: Fundición de vigas.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Se le coloca una capa de hormigón de aproximadamente 3cm, sobre la cual se procede a colocar el armazón de la viga.

Grafico 4: Colocación de estructura de la viga.



Fuente: Edg. Julio Toapanta

Posteriormente se continua colocando hormigón y al mismo tiempo realizamos la vibración mediante el vibrador de aguja, para así conseguir una mejor compactación del hormigón.

Grafico 5: Compactación del hormigón.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Desencofrado de vigas**

Después de haber dejado transcurrir 48 horas de la fundición de las vigas y haber dejado reposar en un espacio óptimo se procede a desencofrar.

Grafico 6: Desencofrado de las vigas..



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Curado de las vigas**

De acuerdo a la norma ASTM C31 para obtener mejores resultados se los procede a curar introduciéndolas en agua (cámara de curado), las cuales se las dejo curar durante 28 días en los cuales alcanzará su máxima resistencia.

Grafico 7: Curado de las vigas..



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

4.1.4 REFORZAMIENTO DE VIGAS CON FIBRAS DE CARBONO Y FIBRAS DE VIDRIO.

Para el proyecto experimental se utilizó tanto la fibra de carbono como la fibra de vidrio de SETMIX.

- La fibra de Carbono que se utilizó es la CARBOWRAP 300 de Setmix, la cual está conformada por el epóxico Epofix 300 y el tejido de refuerzo VCF-090 de fibra de carbono unidireccional de alta resistencia. La cual tiene las siguientes propiedades.

Tabla 8: Propiedades de la lámina de Carbono.

PROPIEDADES DE LA LAMINA		
Propiedades	ASTM	Valor típico de ensayo Diseño: refiérase a ACI
Resistencia última a tensión en la dirección principal de la fibra.	D-3039	842 MPa 446 kg/cm ancho
Elongación a la ruptura	D-3039	1.2%
Modulo de tensión	D-3039	69.6 GPa
Resistencia última a tensión de la fibra a 90° de la principal	D-3039	0
Espesor de la lamina (normalizada)		0.50mm

Fuente: ADMIX CIA.LTDA, hoja Técnica de la Fibra de carbono.

USO

Es usado para reforzar puentes, edificios y otras estructuras.

VENTAJAS (Según el Fabricante)

- Buenas propiedades a alta temperatura
- Buenas propiedades a baja temperatura
- Alta resistencia y alto módulo de tensión

- Curado al ambiente

- La fibra de Vidrio que se utilizo es la EPOWRAP 241 de Setmix, la cual está conformada por el epóxico Epofix 300 y el tejido de refuerzo VCF-241 de fibra de vidrio unidireccional. La cual tiene las siguientes propiedades.

Tabla 9: Propiedades de la lámina de Vidrio.

PROPIEDADES DE LA LAMINA		
Propiedades	ASTM	Valor típico de ensayo
Resistencia ultima a tensión en la dirección principal de la fibra.	D-3039	Laminado en sitio 527 MPa 473 kg/cm ancho
Elongación a la ruptura	D-3039	2.2%
Contenido de fibra en lamina		53%
Modulo de Tensión		24.0 GPa.
Resistencia ultima a tensión de la fibra a 90° de la principal	D-3039	n/a
Espesor de la lamina (normalizada)		0.91mm

Fuente: ADMIX CIA.LTDA, hoja Técnica de la Fibra de carbono.

USO

Es usado para reforzar puentes, edificios y otras estructuras.

VENTAJAS (Según el Fabricante)

- Buenas propiedades a alta temperatura
- Buenas propiedades a baja temperatura
- Alta resistencia y alto módulo de tensión
- Curado al ambiente
- 100 % libre de solventes.

4.1.4.1 Proceso de Colocación de las Fibras de Carbono y Fibras de Vidrio

➤ Preparación de la superficie

Se debe realizar una limpieza profunda de la cara de la viga donde se va a proceder a reforzar, mediante el lijado de protuberancias existentes ya que así logramos una mejor adherencia entre la fibra y la viga, posteriormente procedemos a la limpieza de la viga con una brocha.

Grafico 8: Preparación de la superficie de la viga..



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ Imprimación

Se procede a colocar en la cara de la viga un Primer, con el cual preparamos la superficie de la viga para posteriormente colocar las fibras en nuestro caso para la fibra de Carbono y la fibra de Vidrio.

Posteriormente a la aplicación del imprimante se lo deja reposar un tiempo estimado de 45 minutos.

Grafico 9: Proceso de imprimación de la viga .



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Medición y Corte de las Fibras**

La medición y corte de las fibras se las debe realizar con las dimensiones de la cara de la viga a reforzar.

Grafico 10: Proceso con la Fibra de Carbono.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Grafico 11: Proceso con la Fibra de Vidrio.



Fuente: Edg. Julio Toapanta

➤ **Saturación de las fibras**

Una vez dejado transcurrir los 45 minutos de haber imprimado procedemos a saturar la fibra de carbono VCF-090 y la fibra de vidrio VCF-241 con el epóxico Epofix 300.

Grafico 12: Saturación de la Fibra de Carbono.

Grafico 13: Saturación de la Fibra de Vidrio.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

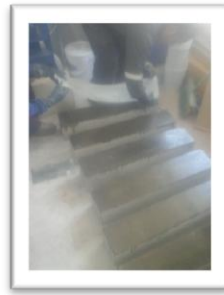
➤ **Colocación de las fibras**

Una vez saturado por completo las fibras se procede a colocar en la parte inferior de las vigas. Quedando como resultado las vigas de esta manera.

Grafico 14: Colocación de la Fibra de Carbono. **Grafico 15:** Colocación de la Fibra de Vidrio.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

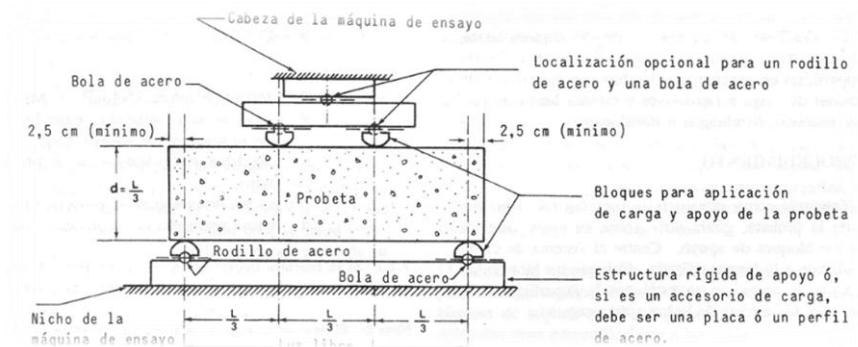
4.1.5 ENSAYO A FLEXIÓN DE LAS VIGAS

4.1.5.1 PARÁMETROS DEL ENSAYO

Para el ensayo del presente trabajo experimental se procedió a trabajar bajo la Norma ASTM C78 la cual “Determina la Resistencia a la Flexión del concreto (Usando una viga de concreto, con carga en los tercios de la luz)

Tomando en consideración lo establecido por la norma ASTM C78 en primer lugar es preparar la probeta a lo establecido, al mismo tiempo que se procederá a marcar los puntos en la cara de la viga donde soporte cargas y apoyos, posteriormente se procederá a colocar todos los accesorios necesarios.

Figura 15: Esquema del aparato para determinar la resistencia a flexión, con carga en los tercios de la luz.



Fuente: Ensayos de control de calidad para el concreto; Disponible: <http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT%204-01%20pdf%20015%20%20Baja.pdf>

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS

En este punto se realiza la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de las vigas tanto de las vigas sin reforzamiento exterior y de las vigas reforzadas exteriormente con fibras de carbono y fibras de vidrio, analizando la carga máxima soportada, las deformaciones máximas y el modulo de ruptura de las vigas ensayadas.

El punto de comparación a utilizar es el modulo de ruptura, con el cual podremos verificar significativamente el incremento proporcionado por el tipo de refuerzo exterior.

➤ Vigas sin refuerzo exterior de fibras

Tabla 10: Resultado del ensayo de las vigas sin reforzamiento.

VIGAS SIN REFUERZO EXTERIOR DE FIBRAS			
	CARGA MAXIMA	DEFORMACIONES	MODULO RUPTURA
N°-	(NEWTONS)	(mm)	(MPa)
V1	100335	8,537	17,6
V2	127600	6,264	22,2
V3	97619	7,618	16,5
PROMEDIO	108518	7,473	18.76

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Formula del cálculo del modulo de Rotura:

Se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera: $R = \frac{3*P*L}{2*b*d^2}$

Donde:

R: Módulo de rotura (Mpa)

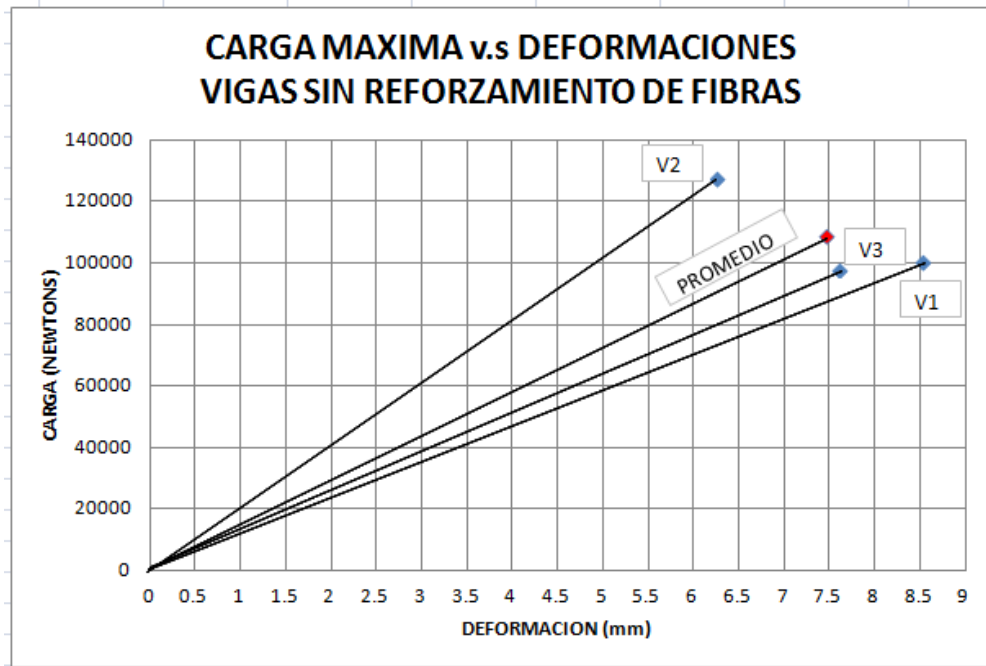
P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

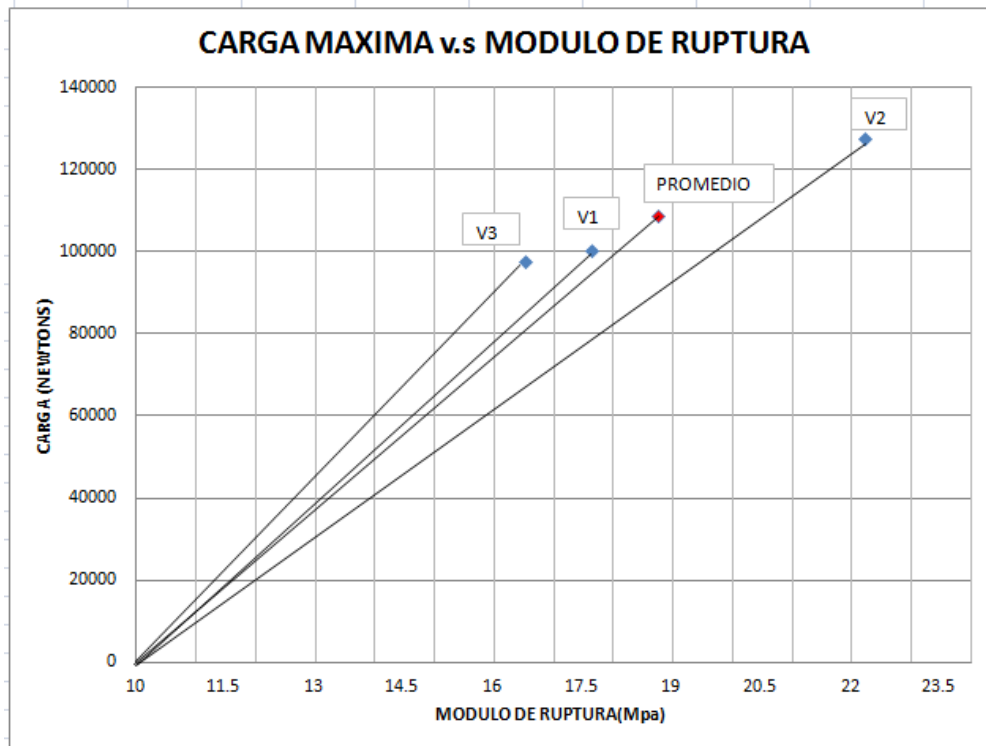
d: Altura promedio de la probeta (mm)

Figura 16: Relación de Carga Máxima v.s Deformación en vigas sin reforzamiento de fibras.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Figura 17: Relación de Carga Máxima v.s Modulo de Ruptura en vigas sin reforzamiento de fibras.



Fuente: Edg. Julio Toapanta

Grafico 16: Proceso de ensayo viga sin reforzamiento.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Interpretación:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado sin reforzamiento exterior, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 108518 Newtons con una Deformación Máxima de 7,473 mm y un Modulo de ruptura equivalente a 18.76 MPa.

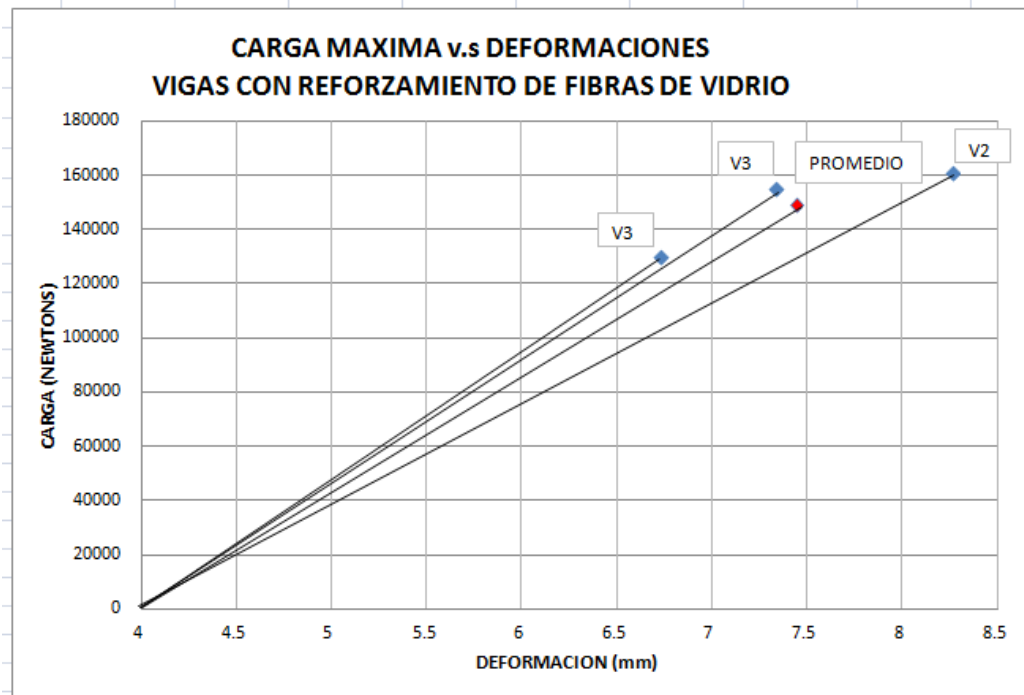
➤ **Vigas con refuerzo exterior con fibras de vidrio**

Tabla 11: Resultado del ensayo de las vigas con reforzamiento de fibra de vidrio.

VIGAS CON REFUERZO EXTERIOR DE FIBRAS DE VIDRIO			
N°-	CARGA MAXIMA (NEWTONS)	DEFORMACIONES (mm)	MODULO RUPTURA (MPa)
V1	154900	7,346	27,2
V2	161300	8,278	27,8
V3	129973	6,731	22,1
PROMEDIO	148724.333	7,452	25,7

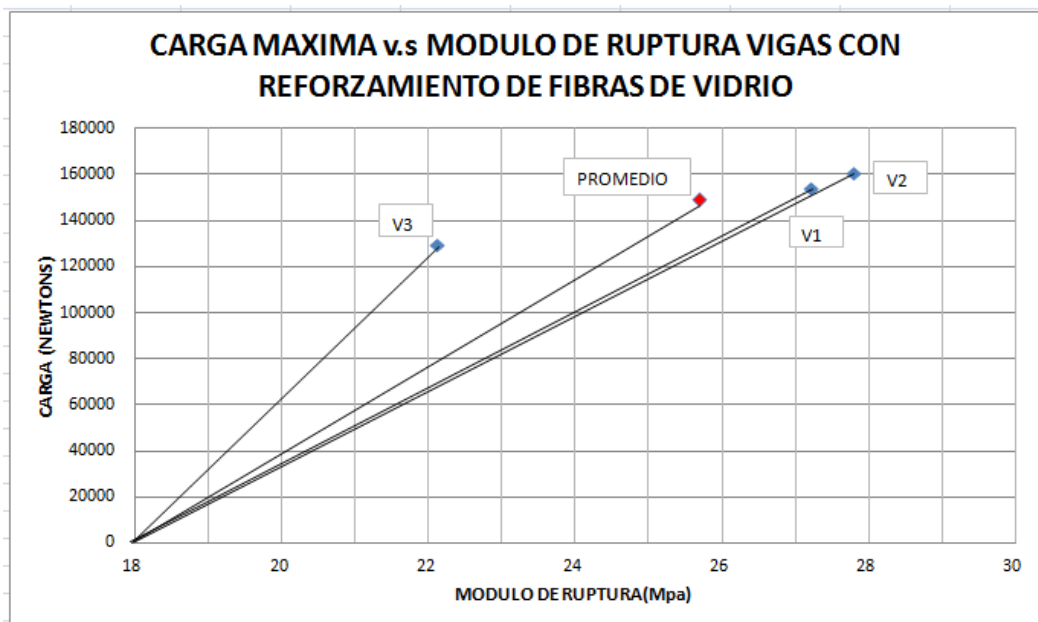
Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Figura 18: Relación de Carga Máxima v.s Deformación en vigas con reforzamiento de fibras de vidrio.



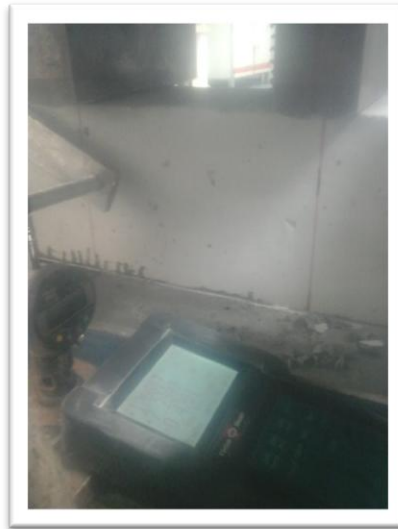
Fuente: Edg. Julio Toapanta

Figura 19: Relación de Carga Máxima v.s Modulo de Ruptura en vigas con reforzamiento de fibras de vidrio



Fuente: Edg. Julio Toapanta

Grafico 17: Proceso de ensayo viga con reforzamiento de fibra de vidrio.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Interpretación:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado con reforzamiento exterior con fibras de vidrio, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 148724.33 Newtons con una Deformación Máxima de 7,452 mm y un Modulo de ruptura equivalente a 25,70 MPa.

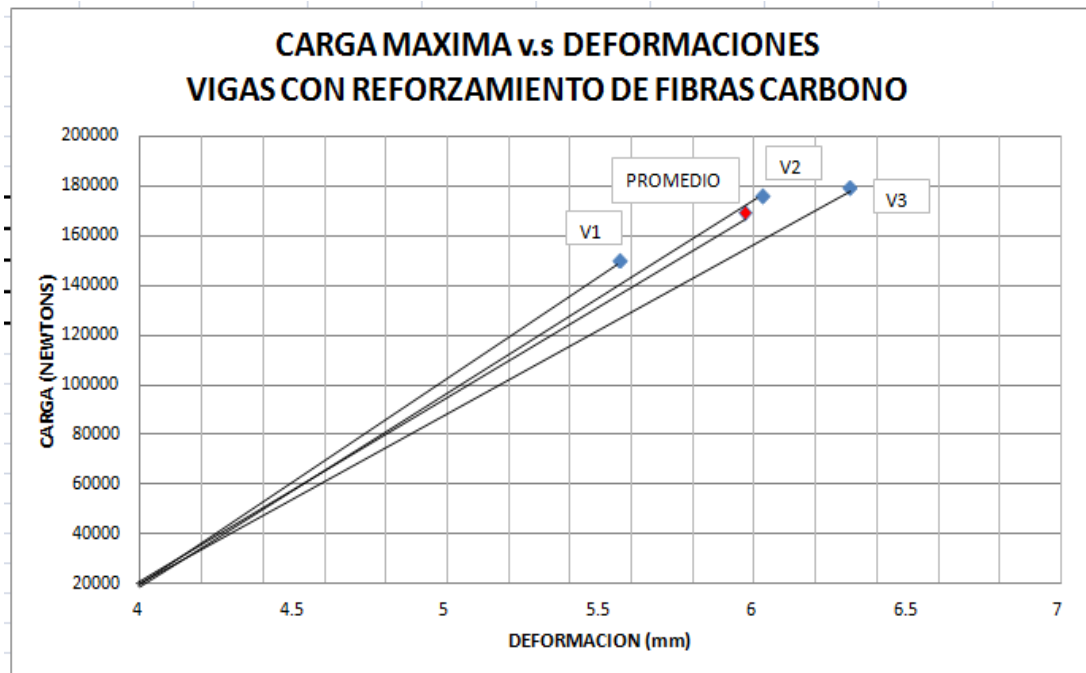
➤ **Vigas con refuerzo exterior de fibras de carbono**

Tabla 12: Resultado del ensayo de las vigas con reforzamiento de fibra de carbono.

VIGAS CON REFUERZO EXTERIOR CON FIBRAS DE CARBONO			
	CARGA MAXIMA	DEFORMACIONES	MODULO RUPTURA
N°-	(NEWTONS)	(mm)	(MPa)
V1	150484	5,568	25,4
V2	176500	6,035	31,6
V3	179279	6,311	31,6
PROMEDIO	168754.333	5,97	29,53

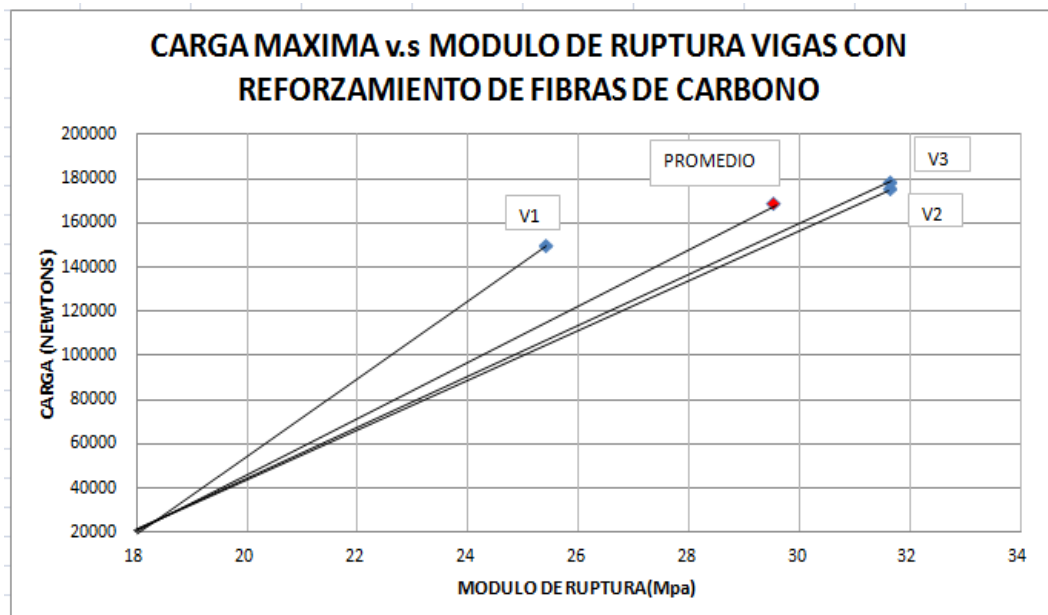
Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Figura 20: Relación de Carga Máxima v.s Deformación en vigas con reforzamiento de fibras de carbono.



Fuente: Edg. Julio Toapanta

Figura 21: Relación de Carga Máxima v.s Modulo de Ruptura en vigas con reforzamiento de fibras de fibras de carbono



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Grafico 18: Proceso de ensayo viga con reforzamiento de fibra de carbono .



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Interpretación:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado con reforzamiento exterior con fibras de carbono, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 168754.333 Newtons con una Deformación Máxima de 5.97mm y un Modulo de ruptura equivalente a 29,53 MPa.

4.2.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

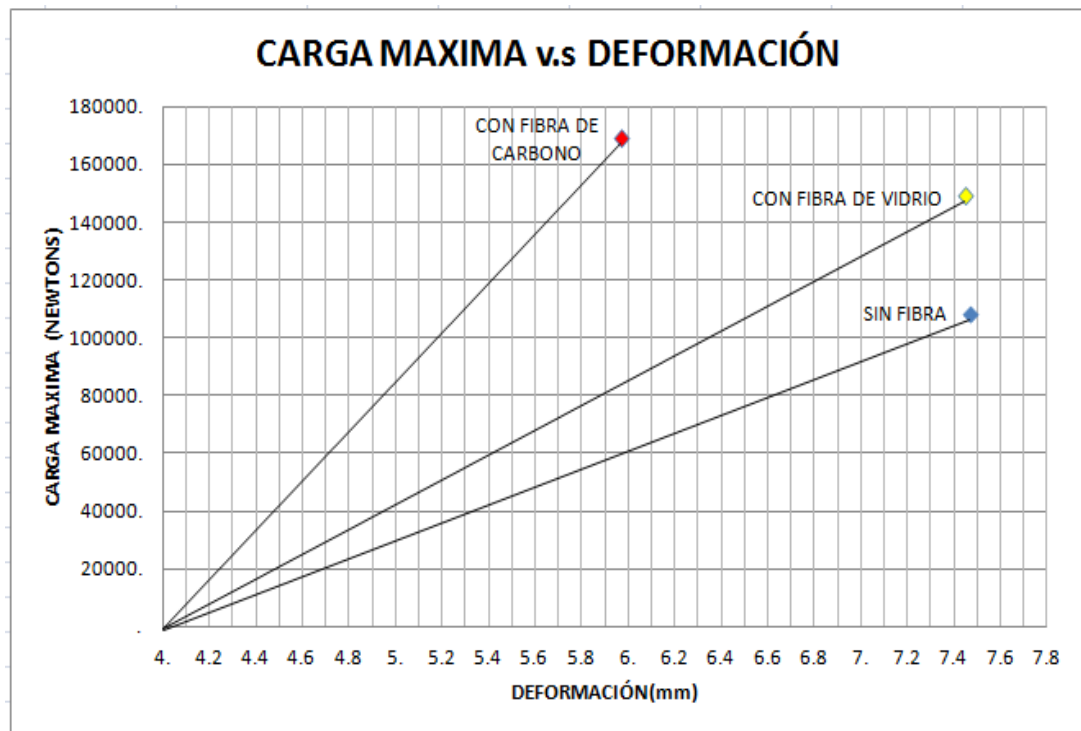
- **Comparación por CARGA MÁXIMA v.s DEFORMACIÓN (vigas sin fibra, con fibra de vidrio y con fibra de carbono)**

Tabla 13: Resultado de los valores Promedios del ensayo de las vigas (Carga máxima vs Deformaciones)

COMPARACION POR MODULO DE RUPTURA			
PROMEDIO	SIN FIBRA	CON FIBRA DE VIDRIO	CON FIBRA DE CARBONO
CARGA MÁXIMA(NEWTON)	108518.00	148724.33	168754.33
DEFORMACIÓN(mm)	7.473	7.452	5.97

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Figura 22: Relación de Carga Máxima v.s Deformaciones en los tres tipos de vigas ensayadas.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

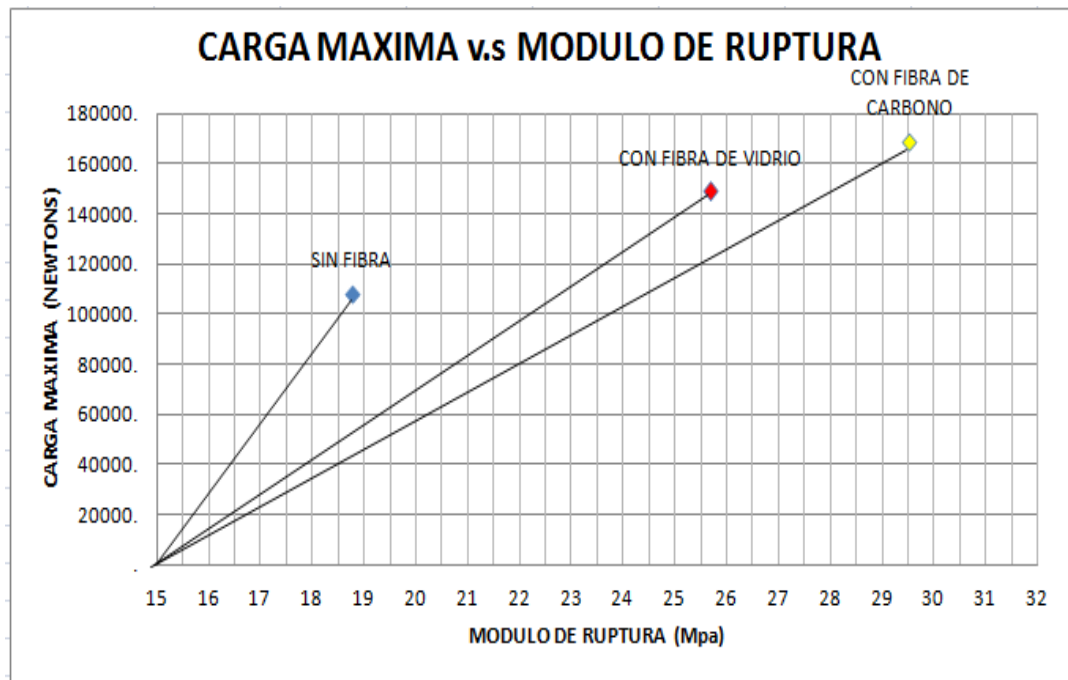
➤ **Comparación por CARGA MÁXIMA v.s MODULO DE RUPTURA (vigas sin fibra, con fibra de vidrio y con fibra de carbono)**

Tabla 14: Resultado de los valores Promedios del ensayo de las vigas (Carga máxima v.s Modulo Ruptura)

COMPARACION POR MODULO DE RUPTURA			
PROMEDIO	SIN FIBRA	CON FIBRA DE VIDRIO	CON FIBRA DE CARBONO
CARGA MÁXIMA(NEWTON)	108518.00	148724.33	168754.33
MODULO DE RUPTURA (MPa)	18.76	25.7	29.53

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Figura 23: Relación de Carga Máxima v.s Modulo de Ruptura en los tres tipos de vigas ensayadas.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Comparación por modulo de ruptura**

Tabla 15: Comparación por modulo de ruptura.

COMPARACION POR MODULO DE RUPTURA			
	SIN FIBRA	CON FIBRA DE VIDRIO	CON FIBRA DE CARBONO
	MODULO RUPTURA	MODULO RUPTURA	MODULO RUPTURA
	(MPa)	(MPa)	(MPa)
PROMEDIO	18,76	25,70	29,53

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Comparación por carga máxima**

Tabla 16: Comparación por Carga máxima.

COMPARACION POR CARGA MÁXIMA			
	SIN FIBRA	CON FIBRA DE VIDRIO	CON FIBRA DE CARBONO
	CARGA MAXIMA	CARGA MAXIMA	CARGA MAXIMA
	(NEWTONS)	(NEWTONS)	(NEWTONS)
PROMEDIO	108518	148724,33	168754,33

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

➤ **Comparación por deformación máxima**

Tabla 17: Comparación por Deformación máxima.

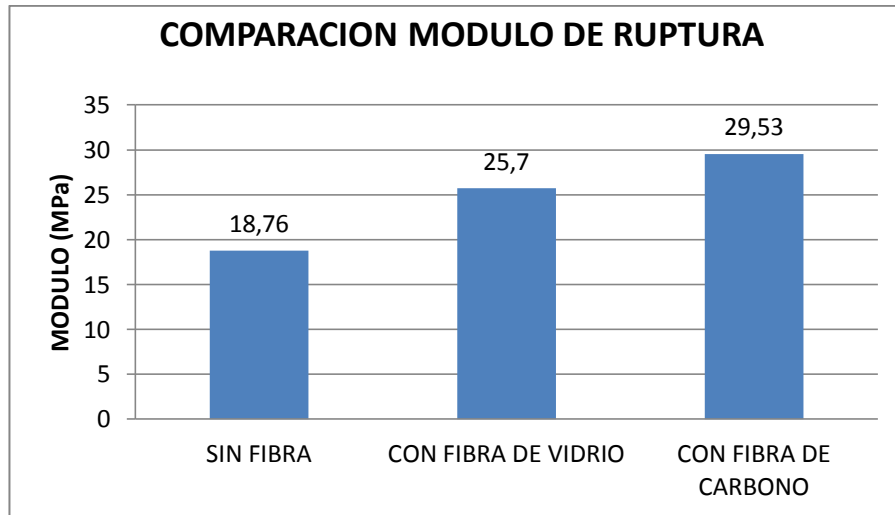
COMPARACION POR DEFORMACION MÁXIMA			
	SIN FIBRA	CON FIBRA DE VIDRIO	CON FIBRA DE CARBONO
	DEFORMACION MÁXIMA	DEFORMACION MÁXIMA	DEFORMACION MÁXIMA
	(mm)	(mm)	(mm)
PROMEDIO	7,473	7,452	5,97

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

4.2.3 GRAFICAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS

- **Grafica comparativa entre los Módulos de Ruptura de los diferentes tipos de vigas ensayadas.**

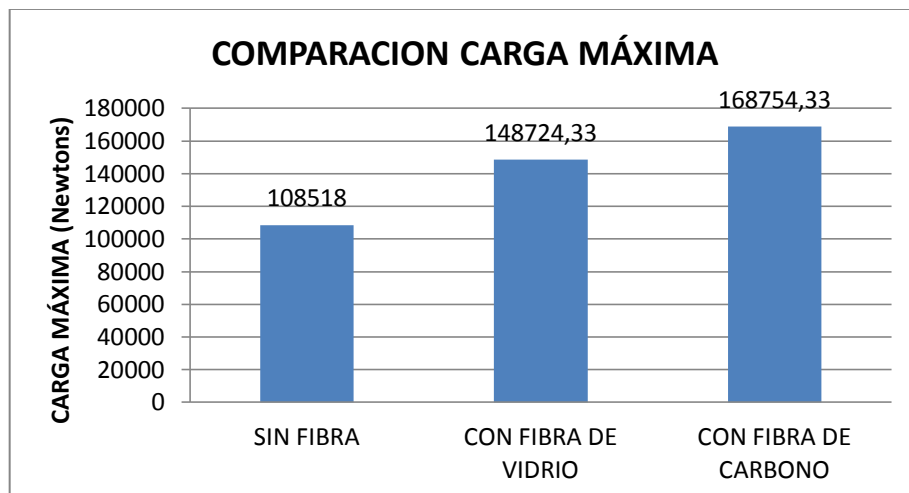
Grafico 19: Grafica comparativa entre los Módulos de Ruptura de los diferentes tipos de vigas ensayadas.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

- **Grafica comparativa Carga Máxima de los diferentes tipos de vigas ensayadas.**

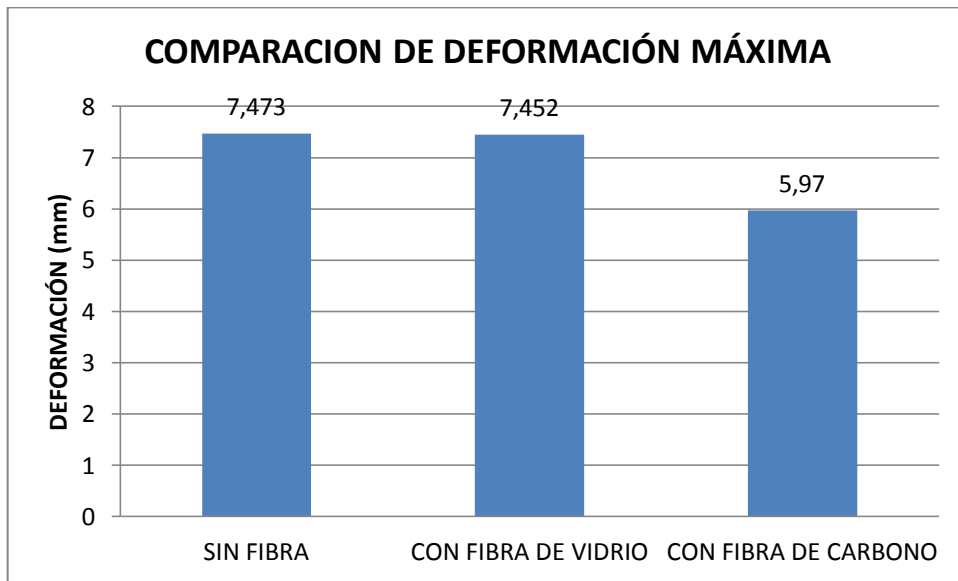
Grafico 20: Grafica comparativa entre Carga Máxima de los diferentes tipos de vigas ensayadas.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

- **Grafica comparativa Deformaciones Máxima de los diferentes tipos de vigas ensayadas.**

Grafico 21: Grafica comparativa entre Deformación Máxima de los diferentes tipos de vigas ensayadas



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

4.2.4 CALCULO DEL DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA

El diagrama Momento Curvatura $M - \phi$ de una sección de hormigón armado se obtiene en función de los modelos constitutivos del hormigón y del acero. Además de que depende de la geometría y del refuerzo longitudinal y transversal.

- **Esquema de cálculo**

Existen diversas formas de cálculo del diagrama momento curvatura pero todas están basadas en los mismos principios: compatibilidad de deformaciones, equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos. El procedimiento se lo describe a continuación.

- Seleccionar un valor de deformación ξ_c
- Imponerse una ubicación del eje neutro c , y en base a esta ubicación trazar los diagramas de deformaciones y esfuerzos.
- Además en este Método de Fibras es necesario plantear el número de fibras de hormigón a compresión y el número de fibras de hormigón a tracción en nuestro caso se realizo con 10 fibras en compresión y 5 fibras en tracción.
- Una vez obtenido los esfuerzos se procede a calcular las fuerzas del hormigón, acero y fibras en base a sus aéreas.
- A partir de los valores de fuerzas de tensión y compresión, verificamos que sean iguales es decir que se encuentren en equilibrio.
- En el caso que las fuerzas no se equilibren, se deberá incrementar o disminuir el valor de “ c ” hasta llegar al equilibrio.
- Una vez encontrado el valor de “ c ” es decir a ver llegado al equilibrio procedemos a calcular el Momento resistente de la sección multiplicando la cada una de las fuerzas por su brazo de palanca.
- Como último paso calcularemos la curvatura \emptyset , la cual se obtiene al dividir la ξ_c del hormigón para el valor de “ c ”.

Para la demostración del cálculo manual tomaremos una $\xi_c=0.0005$, con el cual realizamos una serie de iteración hasta encontrar el valor de “ c ” con dicho valor conseguimos el equilibrio, producto de las iteración encontramos que $c =4.623\text{cm}$. Además se considero la resistencia adicional del confinamiento (Mander).

4.2.4.1 Ejercicio de Aplicación del Cálculo Manual de un punto del Diagrama Momento-Curvatura (Método de Fibras).

Datos:

$L=75\text{cm}$

$b=15\text{cm}$

$h=15\text{cm}$

$d=12.5\text{cm}$

$c=4.623\text{cm}$

$\xi_c=0.0005$

$\xi_o=0.002$

$f_c'=240\text{ kg/cm}^2$

$f_y=4200\text{ kg/cm}^2$

$r=2.5\text{cm}$

$A_s= 1.57\text{cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$

$A_s'= 1.57\text{cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$

$A_s(\text{transversal})= 1\text{Ø}8\text{mm}@15\text{cm}(\text{colocada desde cada extremo})$

$E_s=2100000\text{ kg/cm}^2$

Datos de la Fibra:

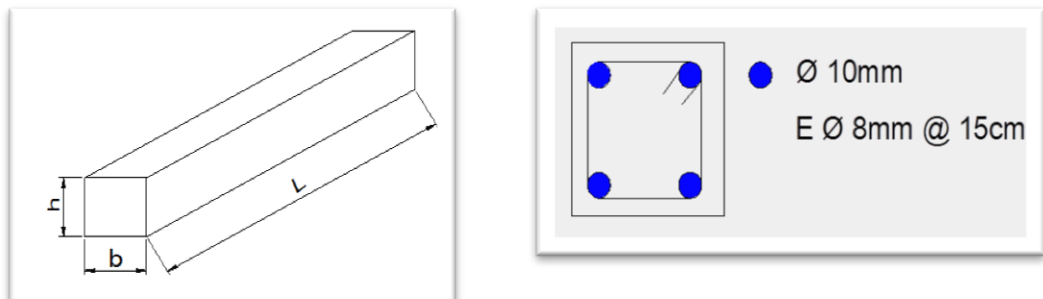
$E_f=710204.08\text{ kg/cm}^2$ (modulo de elasticidad de la fibra)

$n_f=1$ (numero de capas de fibra)

$t_f=0.05\text{cm}$ (espesor de la fibra)

$w_f=15\text{cm}$ (ancho de la fibra)

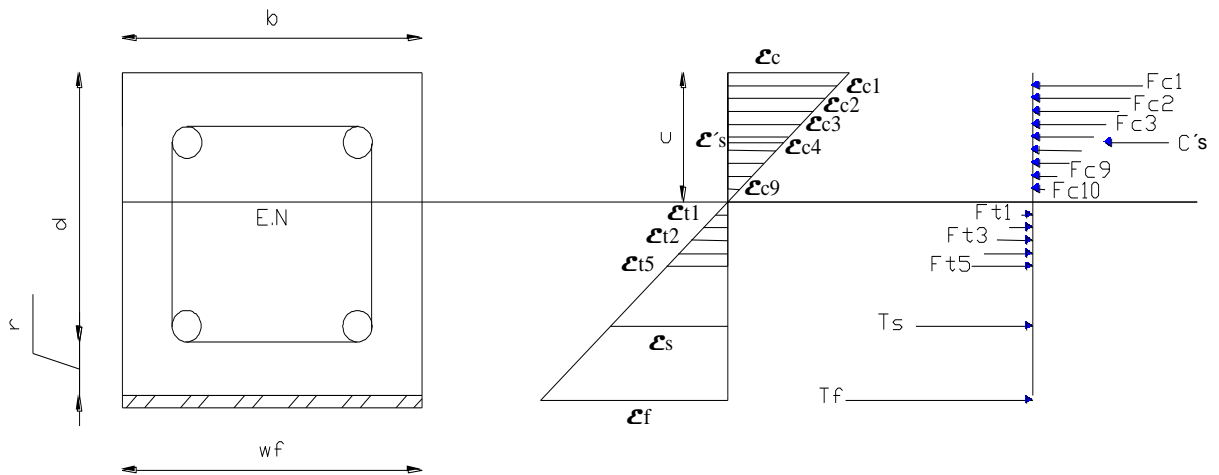
Figura 24: Esquema de las dimensiones y armado de la viga.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

$\xi_c=0.0005$, es el valor que nos imponemos con el cual mediante un sin número de iteración encontramos el valor de $c=4.623\text{cm}$ con el cual llegamos a un equilibrio de fuerzas.

Figura 25: Diagrama de deformaciones y fuerzas de la sección Método de Fibras.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Calculo de a:

$$a = \beta_1 * c$$

$$a = 0.85 * 4.623$$

$\beta_1=0.85$ para hormigones de hasta 28Mpa (**ACI 318-08**)

$$a = 3.929 \text{ cm.}$$

Deformación de fluencia del Acero

$$\xi_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\xi_y = \frac{4200 \text{ kg/cm}^2}{2100000 \text{ kg/cm}^2} = 0.002$$

Deformación del Acero de Tensión

$$\xi_s = \frac{(d - c) * \xi_c}{c}$$

$$\xi_s = \frac{(12.5 - 4.623) * 0.0005}{4.623} = 0.000852$$

Deformación del Acero de Compresión

$$\xi'_s = \frac{(c - r) * \xi_c}{c}$$

$$\xi'_s = \frac{(4.623 - 2.5) * 0.0005}{4.623} = 0.000229$$

Deformación de la Fibra de Carbono de Tensión

$$\xi_f = \frac{(h - c) * \xi_c}{c}$$

$$\xi_f = \frac{(15 - 4.623) * 0.0005}{4.623} = 0.00112$$

Esfuerzos del Acero de Tensión

$$f_s = \xi_s * E$$

$$f_s = 0.000852 * 2100000 = 1789.20 \text{ kg/cm}^2$$

Si: $f_s > f_y$ entonces $f_s = f_y$

Esfuerzo del Acero de Compresión

$$f's = \xi's * E$$

$$f's = 0.000229 * 2100000 = 480.90 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo de la Fibra de Carbono a Tensión

$$ff = \xi f * Ef$$

$$ff = 0.00112 * 710204.08 = 795.429 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza del Acero a Tensión

$$Ts = fs * As$$

$$Ts = 1789.20 * 1.57 = 2809.044 \text{ kg}$$

Fuerzas del Acero a Compresión

$$C's = f's * A's$$

$$C's = 480.90 * 1.57 = 755.013 \text{ kg}$$

Fuerza de la Fibra de Carbono a Tensión

$$Tf = ff * Af$$

$$C's = 795.429 * 0.75 = 596.572 \text{ kg}$$

$$Af = nf * tf * wf$$

$$Af = 1 * 0.05 * 15 = 0.75 \text{ cm}^2$$

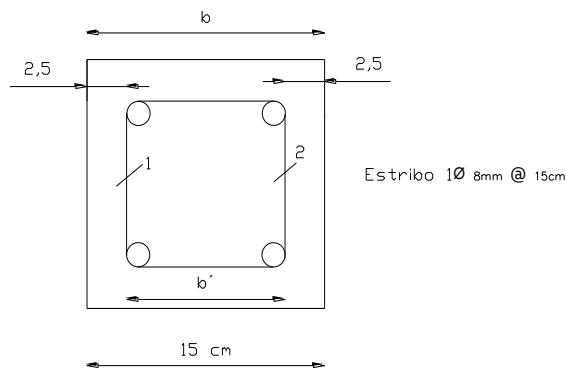
*Considerando un modelo confinado para el hormigón (Mander), además se considera 10 capas en el hormigón a compresión y 5 capas en el hormigón a tracción.

Esfuerzo de Compresión del Hormigón confinado.

$$f'_{cc} = f'c \sqrt{1 + \frac{7.94 * fl}{f'c} - 2 \frac{fl}{f'c} - 1.254}$$

$$fl = 0.5 * Ce * pv * fyh$$

Figura 26: Sección transversal para el cálculo del hormigón confinado.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

$$pv = \frac{n * Ab}{s * b'}$$

$$pv = \frac{2 * 0.6283}{15 * 10} = 0.00838$$

$f_{yh} = 4200 \text{ kg/cm}^2 \cong 411.88 \text{ Mpa}$
 $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2 \cong 23.536 \text{ Mpa}$

$$fl = 0.5 * Ce * pv * fyh$$

$$fl = 0.5 * 0.85 * 0.00838 * 411.88 = 1.467$$

$$f'_{cc} = f'_c \sqrt{1 + \frac{7.94 * fl}{f'_c}} - 2 \frac{fl}{f'_c} - 1.254$$

$$f'_{cc} = 23.536 \sqrt{1 + \frac{7.94 * 1.467}{23.536}} - 2 \frac{1.467}{23.536} - 1.254$$

$$f'_{cc} = 32.414 \text{ Mpa.} \cong 330.53 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 18:Tabla de efectividad del Confinamiento (Ce).

Efectividad del Confinamiento Ce	
Sección	Ce
bien confinada	1
circular	mayor a 0.95
rectangular	0.75 a 0.85
muros estructurales	0.5

Fuente: Roberto Aguiar, ESPE ,2003.

Donde:

fl= presión radial máxima efectiva del confinamiento.

Ce= factor de efectividad del confinamiento.

pv=radio volumétrico del refuerzo transversal.

fyh=esfuerzo de fluencia del acero transversal.

n=numero de ramales del acero transversal.

Ab=área de la sección de la barra de refuerzo transversal.

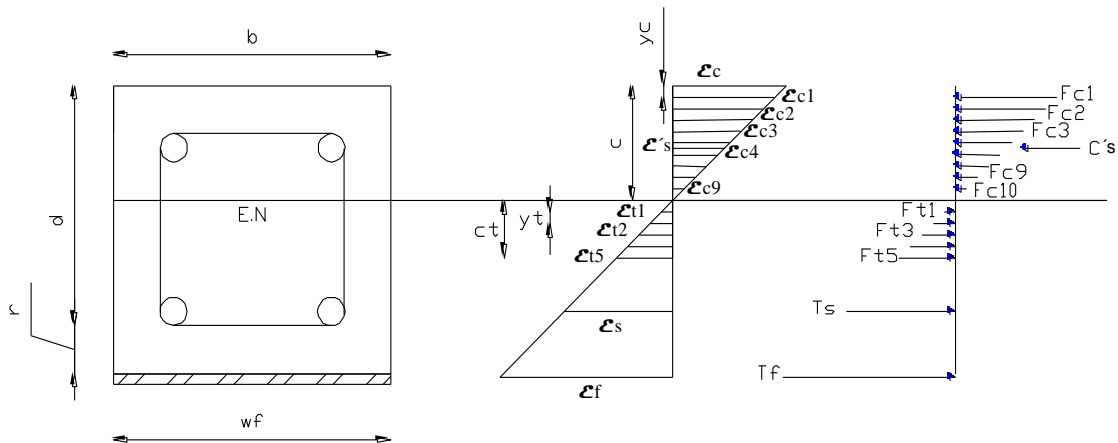
S=separación entre estribos.

b'=base del núcleo confinado.

***Cálculo de las Fibras Hormigón en Compresión y Tracción.**

El Método de Fibras consiste en seccionar el área de hormigón en compresión y Tracción en un número de fibras opcionales, para nuestro ejercicio hemos tomado la decisión de considerar 10 fibras en Compresión y 5 fibras en Tracción.

Figura 27: Diagrama de deformaciones y fuerzas de las Fibras del hormigón en Compresión y Tracción.



Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Calculo de las 10 fibras del Hormigón en Compresión.

$$\Delta = \frac{c}{ncc}$$

$$\Delta = \frac{4.623}{10} = 0.4623cm$$

Deformación del hormigón a Compresión 1^{ra} Fibra.

$$\xi_{c1} = \frac{(c - 1Yc) * \xi_c}{c}$$

$$Yc = \frac{c}{10} = \frac{4.623}{10} = 0.4623cm$$

$$\xi_{c1} = \frac{(4.623 - 1 * 0.4623) * 0.0005}{4.623} = 0.00045$$

Esfuerzo del Hormigón a Compresión 1^{ra} Fibra.

$$f_{c1} = f'_c \text{ ó } f'_{cc} \left[\frac{2\xi_{c1}}{\xi_o} - \left(\frac{\xi_{c1}}{\xi_o} \right)^2 \right]$$

$$f_{c1} = 240 \left[\frac{2 * 0.00045}{0.002} - \left(\frac{0.00045}{0.002} \right)^2 \right] = 95.98 \text{ kg/cm}^2$$

Si: $Y_c < r$; utilizar f'_c

Si: $Y_c > r$; utilizar f'_{cc}

Fuerza del Hormigón a Compresión 1^{ra} Fibra.

$$F_{c1} = f_{c1} * b * \Delta$$

$$F_{c1} = 95.85 * 15 * 4.623 = 664.672 \text{ kg.}$$

Deformación del hormigón a Compresión 9^{na} Fibra.

$$\xi_{c9} = \frac{(c - 9Y_c) * \xi_c}{c}$$

$$\xi_{c9} = \frac{(4.623 - 9 * 0.4623) * 0.0005}{4.623} = 0.00040$$

Esfuerzo del Hormigón a Compresión 9^{na} Fibra.

$$f_{c9} = f'c \text{ ó } f'cc \left[\frac{2\xi_{c9}}{\xi_0} - \left(\frac{\xi_{c9}}{\xi_0} \right)^2 \right]$$

$$f_{c9} = 330.53 \left[\frac{2 * 0.00040}{0.002} - \left(\frac{0.00040}{0.002} \right)^2 \right] = 16.32 \text{ kg/cm}^2$$

Si: $Y_c < r$; utilizo $f'c$

Si: $Y_c > r$; utilizo $f'cc$

Fuerza del Hormigón a Compresión 9^{ra} Fibra.

$$F_{c9} = f_{c9} * b * \Delta$$

$$F_{c1} = 16.32 * 15 * 4.623 = 113.117 \text{ kg.}$$

Para fines demostrativos se indica el proceso de cálculo para la fibra 1^{ra} y 9^{na}, a continuación se ilustra los valores de las deformaciones, esfuerzos y fuerzas de las 10 fibras a compresión del hormigón confinado.

Tabla 19: Resultados de las fibras a Compresión del Hormigón.

RESULTADOS DE LAS FIBRAS A COMPRESIÓN			
Fibra	ξ_c	f_c	F_c
1	0.00045	98.85	664.672
2	0.0004	86.4	599.141
3	0.00035	46.65	531.529
4	0.0003	66.6	461.838
5	0.00025	56.25	390.066
6	0.0002	62.8	435.487
7	0.00015	47.72	330.914
8	0.0001	32.23	223.499
9	0.00005	16.32	113.171
10	0	0	0
$\Sigma F_c =$			3.750.317

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Calculo de las 5 fibras del Hormigón en Tracción.

$$ct = \frac{c}{\xi c} \xi t$$

$$ct = \frac{4.623}{0.0005} * 0.0002 = 1.849cm$$

$$\xi t = 0.1 * \xi o$$

$$\xi t = 0.1 * 0.002 = 0.0002$$

$$\Delta t = \frac{ct}{nct}$$

$$\Delta t = \frac{1.849}{5} = 0.3698cm$$

Deformación del hormigón a Tracción 1^{ra} Fibra.

$$\xi t1 = \frac{1Yt * \xi t}{ct}$$

$$Yt = \frac{ct}{5} = \frac{1.849}{5} = 0.3698cm$$

$$\xi t1 = \frac{1 * 0.3698 * 0.0002}{1.849} = 0.00004$$

Esfuerzo del hormigón a Tracción 1^{ra} Fibra.

$$ft1 = Et * \xi t1$$

$$ft1 = 330530 * 0.00004 = 13.221 kg/cm2$$

$$Et = \frac{2f'cc}{\xi_0}$$

$$Et = \frac{2 * 330.53}{0.002} = 330530kg/cm^2$$

Fuerza del hormigón a Tracción 1^{ra} Fibra.

$$Ft1 = ft1 * b * \Delta$$

$$Ft1 = 13.221 * 15 * 0.3698 = 73.337 kg.$$

Deformación del hormigón a Tracción 5^{ta} Fibra.

$$\xi_{t5} = \frac{5Yt * \xi_t}{ct}$$

$$\xi_{t5} = \frac{5 * 0.3698 * 0.0002}{1.849} = 0.0002$$

Esfuerzo del hormigón a Tracción 5^{ta} Fibra.

$$ft5 = Et * \xi_{t5}$$

$$ft5 = 330530 * 0.0002 = 66.106 kg/cm^2$$

$$Et = \frac{2f'cc}{\xi_0}$$

$$Et = \frac{2 * 330.53}{0.002} = 330530kg/cm^2$$

Fuerza del hormigón a Tracción 5^{ta} Fibra.

$$Ft5 = ft5 * b * \Delta$$

$$Ft5 = 66.016 * 15 * 0.3698 = 366.69 \text{ kg.}$$

Para fines demostrativos se indica el proceso de cálculo para la fibra 1^{ra} y 5^{ta}, a continuación se ilustra los valores de las deformaciones, esfuerzos y fuerzas de las 5 fibras a Tracción del hormigón.

Tabla 20: Resultados de las fibras a Tracción del Hormigón.

RESULTADOS DE LAS FIBRAS A TRACCIÓN			
Fibra	ξ_t	fc	Ft
1	0.00004	13.221	73.337
2	0.00008	26.442	146.674
3	0.00012	39.664	220.016
4	0.00016	52.885	293.353
5	0.0002	66.106	366.691
		$\Sigma Ft =$	1.100.071

Fuente: Edg. Julio Toapanta.

Se encuentra la resultante de las fuerzas a Compresión y de las fuerzas a Tracción y se verifica que exista equilibrio es decir que lleguen a la igualdad.

$$C's + \Sigma Fc = Ts + Tf + \Sigma Ft$$

$$755.013 + 3750.317 = 2809.044 + 596.572 + 1100.07$$

$$4505.33 \text{ kg} = 4505.67 \text{ kg.}$$

Una vez obtenido el equilibrio de las Fuerzas, podemos calcular el Momento y la Curvatura.

$$M = C's(d - r) + \Sigma Fc1(d - Yc1).. + Tf(h - d) - \Sigma Ft1(d - c - Yt1)..$$

$$\begin{aligned} M = & 755.013(12.5 - 2.5) \\ & + [664.672(12.5 - 1 * 0.462) \\ & + 599.141(12.5 - 2 * 0.462) \\ & + 531.529(12.5 - 3 * 0.462) \\ & + 461.838(12.5 - 4 * 0.462) \\ & + 390.066(12.5 - 5 * 0.462) \\ & + 435.487(12.5 - 6 * 0.462) \\ & + 330.914(12.5 - 7 * 0.462) \\ & + 223.499(12.5 - 8 * 0.462) \\ & + 113.171(12.5 - 9 * 0.462)] \\ & + 596(15 - 12.5) \\ & - 73.337(12.5 - 4.62 - 1 * 0.369) \\ & - 146.674(12.5 - 4.62 - 2 * 0.369) \\ & - 220.016(12.5 - 4.62 - 3 * 0.369) \\ & - 293.353(12.5 - 4.62 - 4 * 0.369) \\ & - 366.690(12.5 - 4.62 - 5 * 0.369) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M = & 7550.13kg * cm + 39948.589kg * cm + 1491.43kg * cm \\ & - 7173.627kg * cm = \mathbf{41816.52kg * cm} \end{aligned}$$

$$\emptyset = \frac{\xi c}{c}$$

$$\emptyset = \frac{0.0005}{4.623} = \mathbf{1.0815 * 10^{-4} cm}$$

Como se pudo observa el proceso de cálculo de un punto del Diagrama Momento-Curvatura resulta tedioso ya que para cada deformación del hormigón se deberá realizar un sin número de iteraciones hasta llegar al equilibrio de las Fuerzas, por lo cual se ha utilizado un programa realizado en MATLAB, el cual fue diseñado basado en el Método de Fibras cuyo proceso de cálculo se demostró anteriormente en el cálculo manual.

Cabe recalcar que para nuestro proceso de cálculo hemos considera un número de 10 fibras para el hormigón a Compresión y 5 fibras para el hormigón a Tracción, ya que el numero de fibras queda a criterio del diseñador.

Los resultados provistos por MATLAB, nos proporciona en el Sistema Internacional (SI) en los submúltiplo (cm) y (Kg).

4.2.4.2 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado con reforzamiento de fibra de carbono).

Datos:

$L=75\text{cm}$

$b=15\text{cm}$

$h=15\text{cm}$

$d=12.5\text{cm}$

$c=4.623\text{cm}$

$\xi_c=0.0005$

$\xi_o=0.002$

$f_c'=240\text{ kg/cm}^2$

$f_y=4200\text{ kg/cm}^2$

$r=2.5\text{cm}$

$A_s= 1.57\text{cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$

Datos de la Fibra:

$E_f=710204.08\text{ kg/cm}^2$ (modulo de elasticidad de la fibra)

$n_f=1$ (numero de capas de fibra)

$t_f=0.05\text{cm}$ (espesor de la fibra)

$w_f=15\text{cm}$ (ancho de la fibra)

$$A_s' = 1.57 \text{ cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$$

$$A_s(\text{transversal}) = 1\text{Ø}8\text{mm}@15\text{cm}$$

$$E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

- Tabla de datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de Carbono.

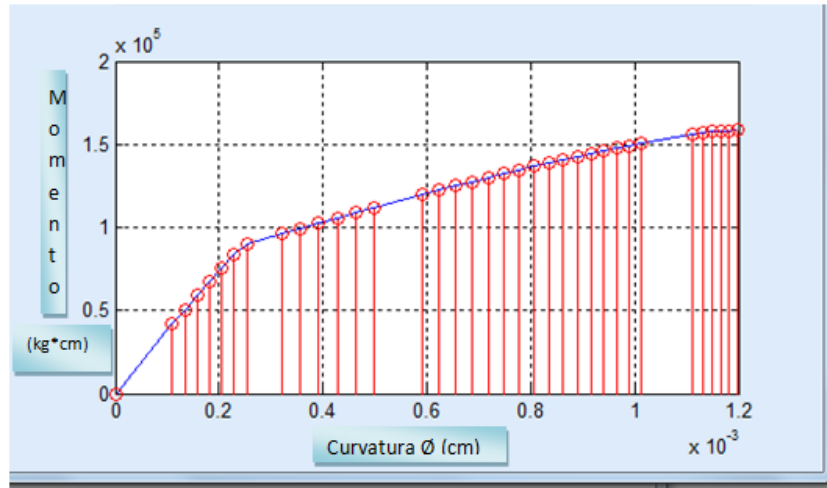
Tabla 21: Datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con Fibra de Carbono

ξ_c	C	ξ_s	M	\emptyset
0.0005	4,6227	0.00085203	41836,3392	0.00010816
0.0006	4,4866	0.0010716	50439,7473	0.00013373
0.0007	4,4218	0.0012788	58940,5182	0.00015831
0.0008	4,3908	0.0014775	67260,0386	0.0001822
0.0009	4,3784	0.0016695	75380,8978	0.00020556
0.001	4,3771	0.0018558	8330,02843	0.00022846
0.0011	4,3332	0.0020732	90134,4936	0.00025386
0.0013	4,0589	0.0027036	9609,1126	0.00032029
0.0014	3,9299	0.003053	99344,1782	0.00035624
0.0015	3,8263	0.0034003	102556,7031	0.00039202
0.0016	3,7422	0.0037444	105719,0242	0.00042755
0.0017	3,6736	0.0040845	108823,9652	0.00046276
0.0018	3,6174	0.00442	111865,8065	0.0004976
0.0021	3,5533	0.0052875	11967,1704	0.000591
0.0022	3,5281	0.0055946	122373,5371	0.00062356
0.0023	3,5083	0.0058948	124994,1269	0.00065558
0.0024	3,4933	0.006188	127530,7539	0.00068704
0.0025	3,4824	0.0064737	129980,6718	0.0007179
0.0026	3,4752	0.0067519	132341,2816	0.00074815
0.0027	3,4715	0.0070221	134609,9954	0.00077777
0.0028	3,4708	0.0072842	136784,1646	0.00080674
0.0029	3,4729	0.0075379	138861,1751	0.00083503
0.003	3,4777	0.0077829	140838,4446	0.00086263
0.0031	3,485	0.0080189	142713,1309	0.00088952
0.0032	3,4947	0.0082458	144482,4134	0.00091567
0.0033	3,5067	0.0084633	146143,4114	0.00094106
0.0034	3,5208	0.008671	147692,9309	0.00096568
0.0035	3,5371	0.0088687	149127,8363	0.0009895
0.0036	3,5556	0.0090562	150444,6123	0.0010125
0.004	3,5954	0.0099065	156293,6731	0.0011125
0.0041	3,6235	0.010044	157018,4979	0.0011315
0.0042	3,6537	0.010169	157601,0534	0.0011495
0.0043	3,6863	0.010281	158036,0085	0.0011665
0.0044	3,7212	0.01038	158317,4904	0.0011824
0.0045	3,7586	0.010466	158439,2667	0.0011972

Fuente: Matlab.

- Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de Carbono.
-

Figura 28: Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de Carbono



Fuente: Matlab

4.2.4.3 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado con reforzamiento de fibra de Vidrio).

Datos:

$L=75\text{cm}$

$b=15\text{cm}$

$h=15\text{cm}$

$d=12.5\text{cm}$

$c=4.623\text{cm}$

$\xi_c=0.0005$

$\xi_o=0.002$

$f_c'=240\text{ kg/cm}^2$

$f_y=4200\text{ kg/cm}^2$

$r=2.5\text{cm}$

$A_s= 1.57\text{cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$

Datos de la Fibra:

$E_f=260204.08\text{ kg/cm}^2$ (modulo de elasticidad de la fibra)

$n_f=1$ (numero de capas de fibra)

$t_f=0.091\text{cm}$ (espesor de la fibra)

$w_f=15\text{cm}$ (ancho de la fibra)

$$A_s' = 1.57 \text{ cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$$

$$A_s(\text{transversal}) = 1\text{Ø}8\text{mm}@15\text{cm}$$

$$E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

- Tabla de datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de Vidrio.

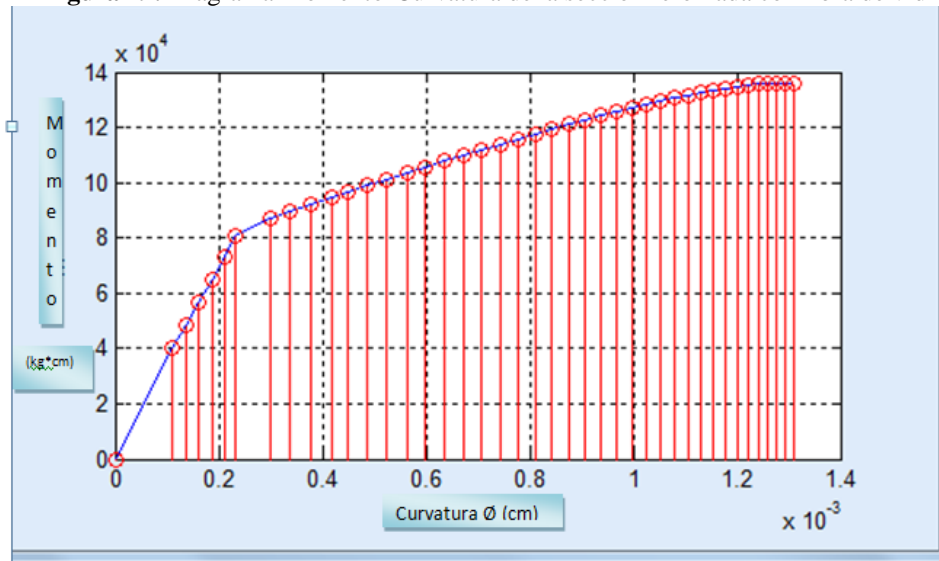
Tabla 22: Datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con Fibra de Vidrio.

ξ_c	C	ξ_s	M	ϕ
0.0005	4,5037	0.00088774	40242,7807	0.00011102
0.0006	4,3711	0.0011158	48535,9261	0.00013727
0.0007	4,3078	0.0013312	56726,5773	0.00016249
0.0008	4,2776	0.0015377	6474,1642	0.00018702
0.0009	4,2655	0.0017374	72565,3614	0.000211
0.001	4,2643	0.0019313	80195,4752	0.00023451
0.0012	3,9784	0.0025704	86435,1879	0.00030163
0.0013	3,8087	0.0029665	88844,4792	0.00034132
0.0014	3,6738	0.0033635	91237,0757	0.00038108
0.0016	3,531	0.0040642	95456,6203	0.00045313
0.0017	3,4559	0.0044488	97708,3368	0.00049191
0.0018	3,394	0.0048293	99915,4613	0.00053034
0.0019	3,3429	0.0052047	102073,9976	0.00056838
0.002	3,3005	0.0055745	104180,7587	0.00060596
0.0021	3,2657	0.0059382	106232,7967	0.00064305
0.0022	3,2371	0.0062952	108227,5892	0.00067961
0.0023	3,214	0.0066451	110162,7577	0.00071561
0.0024	3,1957	0.0069876	112036,12	0.00075101
0.0025	3,1815	0.0073223	113845,6133	0.00078579
0.0026	3,1711	0.0076489	115589,1089	0.00081991
0.0027	3,164	0.007967	117264,7204	0.00085336
0.0028	3,1599	0.0082763	118870,34	0.0008861
0.0029	3,1586	0.0085766	120404,0827	0.00091812
0.0031	3,1636	0.0091487	123247,6211	0.0009799
0.0032	3,1696	0.00942	124553,1754	0.0010096
0.0033	3,1777	0.009681	125778,4143	0.0010385
0.0034	3,1879	0.0099315	126920,9337	0.0010665
0.0035	3,2002	0.010171	127978,3897	0.0010937
0.0036	3,2144	0.010399	128948,1502	0.00112
0.0037	3,2306	0.010616	129827,6432	0.0011453
0.0038	3,2487	0.010821	130613,902	0.0011697
0.0039	3,2688	0.011014	131303,9662	0.0011931
0.004	3,2909	0.011193	131894,4804	0.0012155
0.0041	3,315	0.01136	132382,052	0.0012368
0.0042	3,3412	0.011513	132762,8091	0.001257
0.0043	3,3695	0.011652	133032,711	0.0012762
0.0044	3,4001	0.011776	133187,3476	0.0012941
0.0045	3,433	0.011885	133221,7647	0.0013108

Fuente: **Matlab.**

- Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de Vidrio.

Figura 29: Diagrama Momento-Curvatura de la sección reforzada con fibra de vidrio.



Fuente: Matlab

4.2.4.4 Cálculo del Diagrama Momento-Curvatura en MATLAB (viga de hormigón armado sin reforzamiento de fibra).

Datos:

$L=75\text{cm}$

$b=15\text{cm}$

$h=15\text{cm}$

$d=12.5\text{cm}$

$c=4.623\text{cm}$

$\xi_c=0.0005$

$\xi_o=0.002$

$f_c'=240\text{ kg/cm}^2$

$f_y=4200\text{ kg/cm}^2$

$r=2.5\text{cm}$

$A_s= 1.57\text{cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$

$$A_s' = 1.57 \text{ cm}^2 (2\text{Ø}10\text{mm})$$

$$A_s(\text{transversal}) = 1\text{Ø}8\text{mm}@15\text{cm}$$

$$E_s = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

- Tabla de datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección sin reforzamiento de fibra.

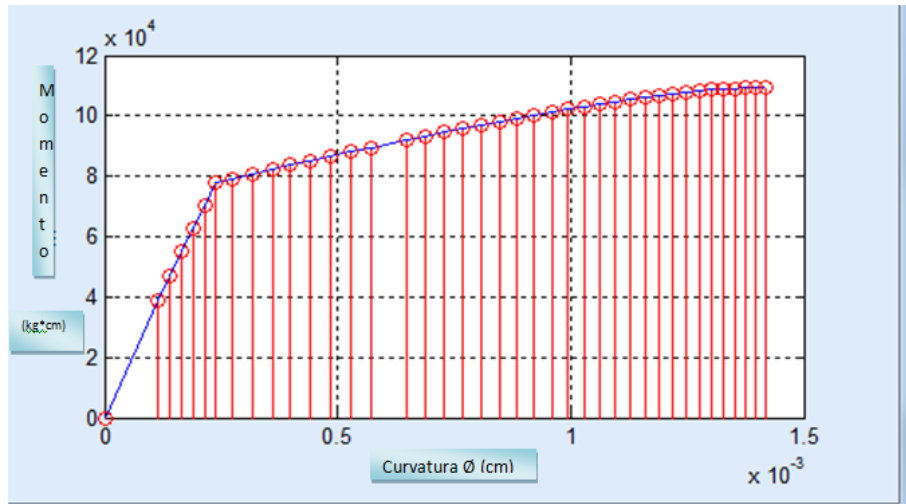
Tabla 23: Datos del Diagrama Momento-Curvatura de la sección sin reforzada de Fibra

ξ_c	C	ξ_s	M	ϕ
0.0005	4,4091	0.00091751	38952,3437	0.0001134
0.0006	4,2792	0.0011527	46991,6951	0.00014021
0.0007	4,2173	0.0013748	54929,2033	0.00016598
0.0008	4,1877	0.001588	62695,9164	0.00019104
0.0009	4,1758	0.0017941	70277,2848	0.00021553
0.001	4,1746	0.0019943	77671,4179	0.00023954
0.0011	3,9952	0.0023416	79151,0537	0.00027533
0.0012	3,7699	0.0027789	80729,4719	0.00031831
0.0013	3,5935	0.003222	82306,5004	0.00036176
0.0014	3,5117	0.0035833	83620,5849	0.00039867
0.0015	3,3944	0.0040237	85135,9228	0.0004419
0.0016	3,2986	0.0044632	86627,1402	0.00048506
0.0017	3,2196	0.0049003	88090,156	0.00052802
0.0018	3,154	0.0053338	89521,8231	0.00057071
0.002	3,087	0.0060985	92042,7603	0.00064788
0.0021	3,0483	0.0065113	93348,9248	0.00068891
0.0022	3,0162	0.0069174	94615,4779	0.0007294
0.0023	2,9897	0.0073163	95840,7867	0.0007693
0.0024	2,9681	0.0077074	97023,2749	0.00080859
0.0025	2,9508	0.0080903	98161,5015	0.00084722
0.0026	2,9373	0.0084646	99253,9274	0.00088517
0.0027	2,9272	0.0088299	100299,2865	0.0009224
0.0028	2,9201	0.0091859	101296,0385	0.00095887
0.0029	2,9158	0.0095321	102242,9076	0.00099457
0.003	2,9141	0.0098683	103138,3484	0.0010295
0.0031	2,9149	0.010194	103980,9376	0.0010635
0.0032	2,9178	0.010509	104769,2312	0.0010967
0.0033	2,9229	0.010813	105501,5318	0.001129
0.0034	2,9342	0.011105	106176,3527	0.0011604
0.0035	2,9391	0.011385	106791,9766	0.0011908
0.0036	2,9501	0.011654	107346,5637	0.0012203
0.0037	2,63	0.011909	107838,1789	0.0012487
0.0038	2,9778	0.012152	108264,9609	0.0012761
0.0039	2,9944	0.012381	108624,6475	0.0013024
0.004	3,0128	0.012596	108914,974	0.0013277
0.0041	3,0332	0.012796	109133,489	0.0013517
0.0042	3,0555	0.012982	109277,5158	0.0013745
0.0043	3,0799	0.013152	109344,2557	0.0013962
0.0044	3,1063	0.013306	109530,4779	0.0014165
0.0045	3,358	0.013913	109818,5746	0.0014853

Fuente: Matlab.

- Diagrama Momento-Curvatura de la sección sin reforzamiento de fibra.

Figura 30: Diagrama Momento-Curvatura de la sección sin reforzamiento de fibra.



Fuente: Matlab

4.2.4.5 Puntos Notables del Diagrama Momento-Curvatura.

En el diagrama Momento – Curvatura se acostumbra a establecer tres puntos notables que son: agrietamiento (A), fluencia (Y), ultimo (U), a más de estos tres puntos es necesario considerar el punto de servicio (S), mediante estos límites podemos evaluar el desempeño de la sección.

Agrietamiento (A).

El punto A se da cuando el hormigón alcanza su máximo esfuerzo a la tracción este punto es despreciado debido a que representa valores muy bajos tanto de momento como de curvatura; más aún, la sección puede alcanzar o superar el agrietamiento con una pequeña excitación sísmica, sin esto comprometa a la capacidad de la sección.

Fluencia (Y).

Por la condición anteriormente explicada se toma como primer punto a la fluencia, originada cuando el acero longitudinal trabajando a tracción es decir empieza a

fluir. De acuerdo al modelo de Mander para el acero este punto se produce cuando $\xi_s = 0.002$.

Es así que tomando en consideración el parámetro de la fluencia obtenemos los siguientes valores.

Tabla 24: Datos del Diagrama Momento-Curvatura del punto de Fluencia.

VIGA	ϕ_y (1/cm)	M_y (kg*cm)
Con reforzamiento de carbono.	0.00025386	90134.4936
Con reforzamiento de Vidrio.	0.00023451	80195.4752
Sin reforzamiento.	0.00023954	77671.4179

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Servicio (S).

El punto de servicio marca la diferencia entre si la sección requiere o no ser reparada. Bajo este punto la sección no ha perdido resistencia significativa, y por lo tanto puede continuar soportando cargas gravitacionales o laterales; más allá, el calculista debe evaluar a su criterio, las posibles soluciones de reforzamiento del elemento o la posibilidad de que el elemento siga trabajando sin ningún tipo de reforzamiento.

Este límite debe ser calculado en base a la comparación de deformaciones de tensión y de tracción; dicho de otra forma, el límite de servicio se toma como el menor valor de curvatura correspondiente a una deformación del hormigón en compresión de $\xi_{cs} = 0.004$ o una deformación del acero en tensión de $\xi_s = 0.010$ para elementos que no estén sujetos a carga axial. (Priestley, 2007)

En si el evento que ocurre primero es la deformación del acero $\xi_s = 0.010$, es así que obtenemos los siguientes valores.

Tabla 25 :Datos del Diagrama Momento-Curvatura del punto de Servicio.

VIGA	\varnothing_s (1/cm)	Ms (kg*cm)
Con reforzamiento de carbono.	0.0011125	156293.6731
Con reforzamiento de Vidrio.	0.0010665	126920.9337
Sin reforzamiento.	0.0010295	103138.3484

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Ultimo (U).

Un estado límite último verdadero se referiría a la inhabilidad del elemento a soportar cargas impuestas, como cargas gravitacionales en vigas y axiales en columnas. (PRIESTLEY, 2007).

A criterio de quien realiza la propuesta, el primer límite de estado último se tomará cuando el acero llegue a una deformación igual a $\xi_{su}=0.10$; el segundo límite corresponderá a la deformación de rotura del concreto. Por último se tomará el valor del momento máximo ocurrido como tercer límite.

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 26:Datos del Diagrama Momento-Curvatura del punto Último.

VIGA	\varnothing_u (1/cm)	Mu (kg*cm)
Con reforzamiento de carbono.	0.0011972	158439.2667
Con reforzamiento de Vidrio.	0.0013108	133221.7647
Sin reforzamiento.	0.0014853	109818.5746

Fuente: Egd Julio Toapanta.

- Tomando en consideración los valores de Mu de las vigas podemos obtener el Modulo de Ruptura el cual determina la Capacidad a flexión de un elemento.

Tabla 27: Modulo de Ruptura Obtenidos por el método Matemático.

VIGA	Mu (kg*cm)	Modulo Ruptura(Mpa)
Sin reforzamiento.	109818.5746	19.16
Con reforzamiento de Vidrio.	133221.7647	23.24
Con reforzamiento de carbono.	158439.2667	28.64

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Calculo del Modulo de Ruptura de la Vigas.

$$Mr = \frac{Mu * c}{I}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I = \frac{15 * 15^3}{12} = 4218.75 \text{ cm}^4$$

$$Mr = \frac{109818.5746 * 7.5}{4218.75} = 195.233 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cong 19.16 \text{ Mpa}$$

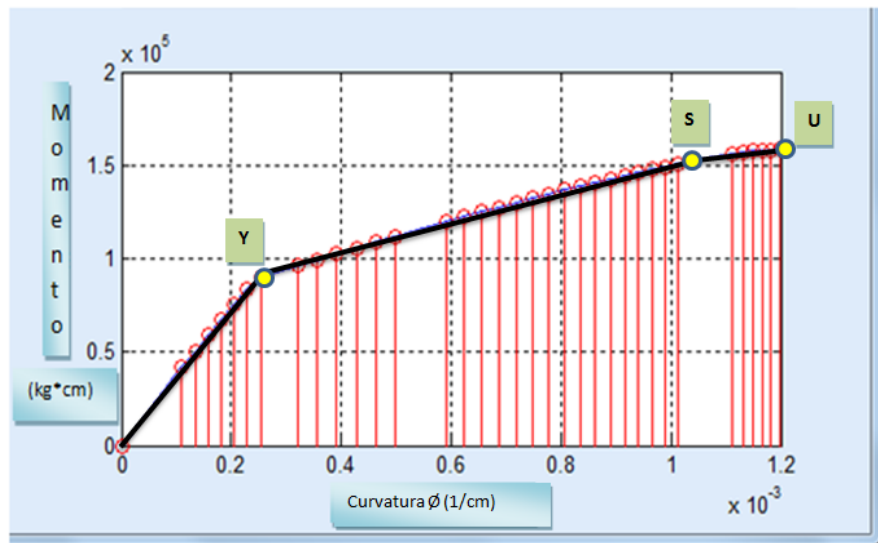
En resumen los puntos notables para las secciones en estudio se presentan a continuación y de igual forma su idealización de la curva incorporado sus límites.

Tabla 28: Puntos del Diagrama Momento-Curvatura sección reforzada con fibra de carbón

PUNTOS DEL DIAGRAMA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE CARBONO					
FLUENCIA		SERVICIO		ULTIMO	
Øy	My	Øs	Ms	Øu	Mu
0.00025386	90134.4936	0.0011125	156293.6731	0.0011972	158439.2667

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Figura 31: Diagrama M-Ø de la sección reforzada con fibra de carbono, incorporado los limites



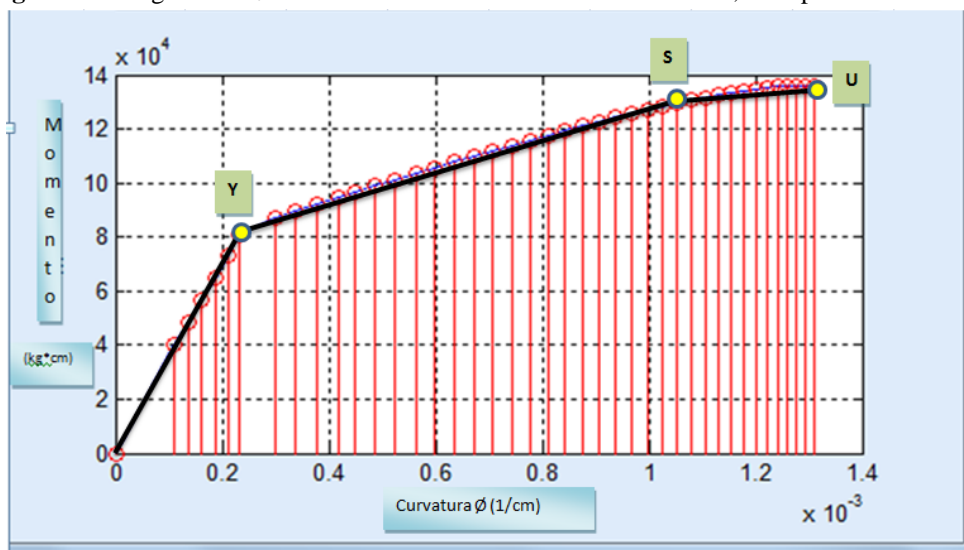
Fuente: Egd Julio Toapanta.

Tabla 29: Puntos del Diagrama Momento-Curvatura sección reforzada con fibra de vidrio.

PUNTOS DEL DIAGRAMA SECCIÓN REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO					
FLUENCIA		SERVICIO		ULTIMO	
Øy	My	Øs	Ms	Øu	Mu
0.00023451	80195.4752	0.0010665	126920.9337	0.0013108	133221.7647

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Figura 32: Diagrama M-Ø de la sección reforzada con fibra de vidrio, incorporado los limites



Fuente: Egd Julio Toapanta.

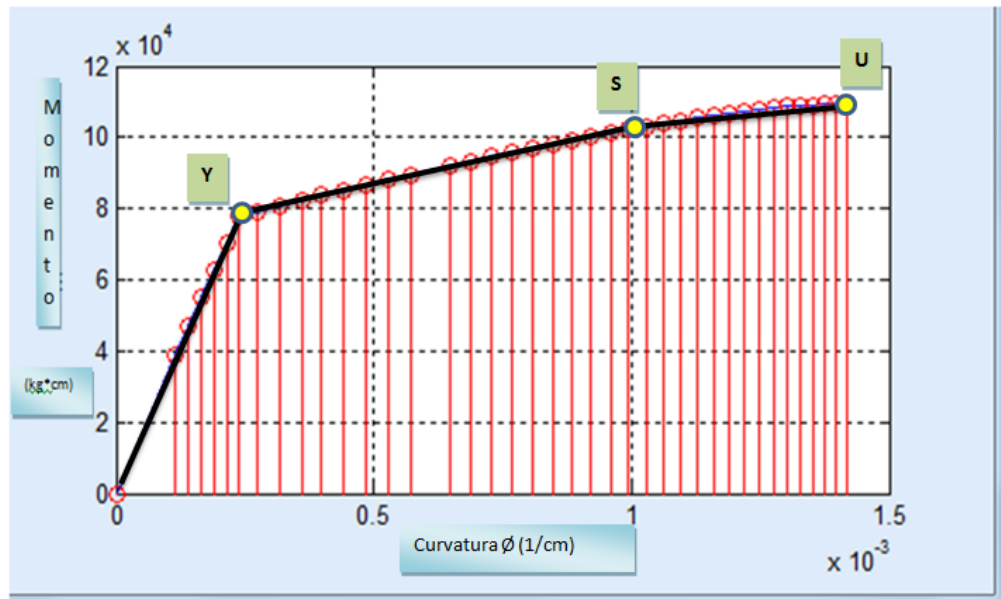
Tabla 30: Puntos del Diagrama Momento-Curvatura sección sin reforzamiento de fibra.

Tabla 31: Puntos del Diagrama Momento-Curvatura sección sin reforzamiento de fibra.

PUNTOS DEL DIAGRAMA SECCIÓN SIN REFORZAMIENTO DE FIBRA					
FLUENCIA		SERVICIO		ULTIMO	
ϕ_y	M_y	ϕ_s	M_s	ϕ_u	M_u
0.00023954	77671.4179	0.0010295	103138.3484	0.0014853	109818.5746

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Figura 33: Diagrama M- ϕ de la sección sin reforzamiento de fibra, incorporado los limites.



Fuente: Egd Julio Toapanta.

4.2.4.6 Comparación de Resultados Ensayo Practico v.s Método Matemático.

Una vez obtenido los resultados tanto de los ensayos prácticos y el cálculo matemático procedemos a comparar los resultados enfocados en la máxima capacidad a flexión de las vigas que es uno de los parámetros importantes del Diagrama M- ϕ .

Tomando en consideración el Modulo de Ruptura el cual determina la capacidad a la flexión de las vigas a continuación se ilustra la comparación de resultados.

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos con el Método Matemático se obtiene.

Tabla 32: Modulo de Ruptura Obtenidos por el Método matemático.

VIGA	Modulo Ruptura(Mpa)
Sin reforzamiento.	19.16
Con reforzamiento de Vidrio.	23.24
Con reforzamiento de carbono.	28.64

Fuente: Egd Julio Toapanta.

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos con el Ensayo Práctico se obtiene.

Tabla 33: Modulo de Ruptura Obtenidos por el Ensayo Práctico.

VIGA	Modulo Ruptura(Mpa)
Sin reforzamiento.	18.76
Con reforzamiento de Vidrio.	25.7
Con reforzamiento de carbono.	29.53

Fuente: Egd Julio Toapanta.

Los resultados obtenidos tanto del Ensayo como del Método matemático varían en su resultado por un valor aceptable, esta variación se da por los siguientes factores.

- El resultado del Modulo de Ruptura del Método matemático es producto de una serie de cálculos, los cuales anteriormente se definieron y como ya se explico está en función de los modelos constitutivos del hormigón y del acero, además del método de resolución.
- El resultado del Modulo de Ruptura en el Ensayo es el resultado del promedio de los tres especímenes ensayados los cuales variaran de acuerdo a las condiciones de ejecución en el momento del ensayo.

Tabla 34: Modulo de Ruptura Método Matemático v.s Ensayo Practico.

VIGA	Modulo Ruptura(Mpa) (Método Matemático)	Modulo Ruptura(Mpa) (Ensayo Practico)
Sin reforzamiento.	19.16	18.76
Con reforzamiento de Vidrio.	23.24	25.7
Con reforzamiento de carbono.	28.64	29.53

Fuente: Egd Julio Toapanta.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez realizado los ensayos de las vigas sin reforzamiento y con reforzamiento de fibras de vidrio y carbono, procedemos a calcular la curva de desempeño posteriormente se analiza e interpreta los resultados con los cuales se determina que la fibra es un material que trabaja muy bien como un material de reforzamiento estructural, toda vez que se incrementa la capacidad de carga.

Si las vigas incrementan su capacidad de carga es necesario, en un reforzamiento de un pórtico no descuidar las columnas debido a que debemos mantener el principio básico columna fuerte viga débil.

El criterio “columna fuerte viga débil”, consiste en asegurar que la formación de rótulas plásticas en un nudo de la estructura no ocurra en las columnas. Esto se logra diseñando la armadura longitudinal de las columnas en función de la resistencia a flexión que tendrán las vigas, suponiendo que, durante el sismo de diseñose formarán completamente las rótulas plásticas en las vigas. En edificaciones de pórticos de hormigón armado de dos pisos o menos la revisión del criterio “columna fuerte-viga débil” realizada siguiendo las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), aplicando una simplificación, es más adecuada que la metodología que propone el código ACI 318-11, en términos de optimización de materiales (específicamente, acero de refuerzo longitudinal), manteniendo una seguridad y desempeño estructural muy similares. [22]

[22] Barros, J. Criterio columna fuerte – viga débil , Universidad Católica Santiago de Guayaquil, 2016.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El sistema de reforzamiento con fibras de vidrio incrementa el 37% y el reforzamiento con fibras de carbono incrementa el 56% el modulo de ruptura en comparación con una viga de hormigón armado sin ningún tipo de reforzamiento de fibras, además se considera las ventajas de bajo impacto estético y rápida aplicación.
2. En las vigas sin reforzamiento con fibras se pudo observar que la falla se produce en el centro de la viga, no así en las vigas con reforzamiento de fibras en las cuales la falla era inducida hacia los extremos fallando la viga en la zona de cortante máximo.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que las vigas reforzadas con fibras presentan un buen desempeño sometido a flexión.
4. Un parámetro considerable obtenido al ensayar las vigas, es el incremento de la Capacidad de Carga entre las vigas sin refuerzo de fibras y las vigas con refuerzo de fibras, ya que el incremento registrado es de 35.69%.
5. Durante el ensayo de las vigas con refuerzo de fibras se pudo observar que se producen fallas por el aplastamiento del hormigón.
6. Los resultados de los puntos notables del diagrama M-Ø dependen mucho de los modelos con los que se hayan trabajado tanto del hormigón como del acero.
7. Con los resultados obtenidos se puede observar que la máxima deformación del hormigón es la misma en los tres tipos de vigas, ya que el refuerzo con fibras se lo realizo a flexión y no a corte, por lo tanto la máxima deformación del hormigón registrada en los cálculos es de 0.0045.

8. Realizando una comparación de los resultados de los ensayos de las vigas versus los resultados del Diagrama M- Ø, podemos observar que tanto el Modulo de Ruptura proporcionado por el ensayo y el Momento Ultimo proporcionado por el Diagrama M- Ø en la viga reforzada con fibra de carbono son los más altos en comparación con los otros especímenes por lo cual podemos concluir q tienen mayor resistencia a la flexión.

9. Analizando los valores de los diagramas de M- Ø se puede determinar que existe una diferencia de Momento último (Mu), entre los tres tipos de vigas en estudio, lo cual determina que la viga con menor resistencia a la flexión es la sin reforzamiento de fibra dado que su Momento ultimo (Mu) es menor que el valor de las demás.

10. El sistema de reforzamiento con fibras de vidrio y de carbono debería ser una de las primeras opciones que se debería optar, debido a sus diversas ventajas tales como su alto desempeño en materia de incremento de resistencia.

11. El sistema de reforzamiento con fibras ofrece una alternativa al uso de láminas de acero, aumento de la sección con concreto, o post-tensionamiento externo.

El sistema es una solución que brinda una alta relación eficacia – costo, además de facilidad de aplicación, adaptabilidad y rendimiento a largo plazo, lo cual hace posible emprender proyectos de reparación complicados.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Cuando una viga se refuerza a flexión con fibras, en el proceso de ensayo se observa que la falla se induce a la zona de cortante máximo por lo cual se recomienda reforzar a corte mediante tiras de fibras en forma envolvente para tener un mejor desempeño de la viga.
2. No es recomendable realizar el reforzamiento con fibras en elementos en los cuales el hormigón haya sufrido daños severos o el acero presente ruptura.
3. El uso de fibras de carbono y vidrio es muy recomendable ya que es un sistema con el cual no se altera su estética ni forma geométrica del elemento.
4. Para calcular el Diagrama M- \emptyset se recomienda utilizar modelos más complejos tanto como para el acero y para el hormigón, con los cuales se obtendrán resultados más reales.
5. Para el cálculo del Diagrama de M- \emptyset es recomendable trabajar con programas computacionales ya que el cálculo manual es un proceso tedioso y extenso.
6. Se recomienda incursionar a los profesionales dentro del área investigativa para adquirir conocimiento sobre los avances tecnológicos dentro del área de la construcción civil, ya que existen muchas técnicas y materiales sofisticados con los cuales podríamos solucionar diversos inconvenientes en menor tiempo y con mejores resultados.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

[1] Aguiar, R. Relación momento Curvatura y Visión 2000, CEINCI-ESPE, Capitulo1.

[2]. Aguiar, R. (2002). relación momento curvatura, Escuela de las Fuerzas Armadas ESPE.

[3] Aguiar, Mora y Rodríguez. (2015).Diagrama momento –curvatura y Momento rotación para elementos de hormigón armado. Revista CIENCIA; Vol.17,2 191-228.

[4] Calavera, J. Patologías de hormigón armado y pretensado.

[5]. Código ACI 440 2R.

[6]. Composites in Constructions Congress. (2001). Portugal.

[7] Chacón, E. (1996). Instituto Universitario de Tecnología de Valencia.

[8]. Espino, L y Gallo, G.” DISEÑO POR FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETORFORZADO”,Disponible:http://www.academia.edu/4855502/DISEÑO_POR_FLEXIÓN_DE_VIGAS_DE_CONCRETO_REFORZADO._Profes.

[9] Fibra de Aramida. (<http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/aramida.html>).

[10] Medina, C. (2015) Desempeño De Secciones De Hormigón Armado A Flexo-Compresión Mediante El Análisis De La Relación Momento-Curvatura, Revista Politécnica. Vol.35.

[11]. Medina S. “Manual de Hormigón II”, Universidad Técnica de Ambato, Tomo2.

- [12]. Medina S. “Manual de Hormigón I”, Universidad Técnica de Ambato, Tomo1.
- [13] NORMAS ASTM C 293-79.
- [14] NORMAS ASTM C 31.
- [15]. Priestley M. (1992). “Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings”, John Wiley and Sons, USA.
- [16] Priestley, Calvi y Kowalsky. (2007) “Displacement-Based Seismic Design of Structures”. Fondazione EUCENTRE. Pavia. Italia. pp 95-104.
- [17] Rendón, J. (2012). Folleto Conferencia Reforzamiento con RFP. Ecuador-Quito.
- [18] Revista Sistemas de Preservación Estructural.(2001). Publicaciones Master Builders, Maryland USA,; p. 2-3.
- [19] Strengthening of structures with CFRP strips. W Steiner, AG, Tuffenwies 16-22, CH-8048 Zurich, Switzerland.
- [20] Revista Sistemas de Preservación Estructural; obra citada; p. 3
- [21] Rio, A. Patología , Reparación y Refuerzo de estructuras de H.A
- [22] Barros, J. Criterio columna fuerte – viga débil , Universidad Católica Santiago de Guayaquil, 2016.

2. ANEXOS

Codificación Diagrama Momento – Curvatura en Matlab.

Programación en Matlab

Datos:

```
fc= 240;  
fy=4200;  
L=75;  
b=15;  
h=15;  
r=2.5;  
As=1.57;  
As2=1.57;  
Ast=15;  
P=17.20;  
Es=2100000;  
d=12.5;  
Eo=0.002;  
Ef=710204.08;  
n=1;  
tf=0.05;  
Wf=15;
```

```
ban=0;  
c=0;
```

```
while ban==0  
    c=c+0.00001;  
    B1=0.85;  
    a=B1*c;
```

Cálculo de las deformaciones.

```
Ey=fy/Es;  
Ec=0.0005;  
Es2=((d-c)*Ec)/c;  
Es3=((c-r)*Ec)/c;  
Ef2=((h-c)*Ec)/c;
```

Cálculo de esfuerzos.

```
fs=Es2*Es;  
fs2=Es3*Es;  
ff=Ef*Ef2;
```

Cálculo de las fuerzas.

```
Ts=fs*As;  
Cs=fs2*As2;  
Af=n*tf*Wf;  
Tf=ff*Af;
```

Cálculo del hormigón confinado.

```
%10 capas a compresion y 5 capas traccion, modulo confinado
```

```
n2=2;  
Ab=0.6283;  
S=15;  
b2=10;
```

```
pv=(n2*Ab)/(S*b2);
```

```
Ce=0.85;  
fyh=411.88;
```

```
f1=0.5*Ce*pv*fyh;  
fcc=(fc/10.2)*(2.254*sqrt(1+(7.94*f1)/(fc/10.2))-  
(2*f1)/(fc/10.2)-1.254);
```

```
%10 capas a compresion  
ncc=10;  
va=c/10;
```

Cálculo de la deformación de la fibra.

```
%Deformacion 1ra fibra;  
%Ecl=(c-va)*Ec/c;  
%y=c/ncc;
```

Cálculo del esfuerzo de la fibra.

```
%Esfuerzo 1ra fibra  
%fc1=fc*((2*Ecl/Eo)-(Ecl/Eo)^2);
```

Cálculo de la fuerza de la fibra.

```
%Fuerza 1ra fibra  
%Fc12=fc1*b*va;  
sumFc=0;  
sumFcdYc=0;  
for i=1:ncc  
y=c*i/ncc;  
Ecn=(c-(va*i))*Ec/c;  
if y > r  
fcn=(fcc*10.2)*((2*Ecn/Eo)-(Ecn/Eo)^2);  
else  
fcn=fc*((2*Ecn/Eo)-(Ecn/Eo)^2);
```

```

end
Fcn2=fcn*b*va;
sumFc=sumFc+Fcn2;
sumFcdYc=sumFcdYc+fcn*(d-y);
end

```

Cálculo del hormigón a tracción.

```

%5 capas de traccion
nct=5;

Et=0.1*Eo;

ct=c/Ec*Et;

vt=ct/nct;

Y2=ct/nct;
%Es1=(Y2/ct)*Et

%esfuerzo tencion 1ra fibra
Et2=2*(fcc*10.2)/Eo;
%fst1=Et2*Es1;

%fuerza tencion 1ra fibra
%Fs1=fst1*b*vt;

```

Sumatoria de las fuerzas.

```

sumFs=0;
sumFsdYt=0;
for i=1:nct
    Esn=(Y2*i)*Et/ct;
    fstn=Et2*Esn;
    Fsn=fstn*b*vt;
    sumFs=sumFs+Fsn;
    sumFsdYt=sumFsdYt+Fsn*(d-ct-Y2*i);
end
if abs((Cs+sumFc)-(Ts+Tf+sumFs))<0.01

```

Cálculo del Momento.

$$M=Cs*(d-r)+sumFcdYc+Tf*(h-d)-sumFsdYt;$$

Cálculo de la curvatura.

```

O=Ec/c;
ban=1;
end
end
M
O
c

```