

**“UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA”**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIAS**  
**CIVIL Y DEL AMBIENTE**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO**  
**ARMADO CON FIBRA DE CARBONO”**

**Tesis presentada por los Bachilleres:**  
**FERNANDO JESÚS CALLA DEZA**  
**JENIFFER CARLA TORRES ALMIRÓN**

**Para optar Título Profesional de:**  
**INGENIERO CIVIL**

**AREQUIPA – PERÚ**  
**2015**

## DEDICATORIA

A ti Dios mío porque eres el centro de mi vida, el que guía mi camino, el que me da fuerzas para realizar mis sueños, superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mis padres HERBER CALLA ARANDA y ELEANA DEZA RUIZ por ser mis más grandes admiraciones e inspiraciones, gracias por todo el apoyo Y el amor incondicional que me han brindado sin importar mis aciertos y errores.

A todas aquellas personas que confiaron y tuvieron fe en mí, en especial a mis hermanos ya que me brindaron la fuerza necesaria para seguir adelante.

Finalmente, se lo dedico a mi Compañera, amiga y enamorada JENIFFER TORRES.

FERNANDO

## DEDICATORIA

Por ser quien guía mi camino y no deja que la adversidad haga que me rinda en la vida.

**Dios**, todos mis logros son gracias a ti.

### A mis padres

BAUDILIO TORRES y CARLOTA ALMIRON por el apoyo que siempre me brindan, por el amor y la educación que me dieron, es lo mejor para mí.  
¡Los Amo!

### A mi hermana

JESSICA TORRES, siempre en las buenas y en las malas.

### A mis abuelitos

BAUDILIO y CLOTILDE por los consejos y el ánimo que siempre me brindan.  
LUZMILA y OCTAVIO que desde el cielo iluminan mi camino

### A Fernando

Compañero, amigo y enamorado por el amor y apoyo incondicional.

JENIFFER

**AGRADECEMOS A:**

Universidad Católica de Santa María, nuestra alma mater por darnos la oportunidad de formarnos profesionalmente con valores, principios e inteligencia para afrontar al mundo y abrir muchas puertas en este tiempo cambiante.

Ing. Jorge Rosas Espinoza, nuestro Asesor, por dedicarnos su valioso tiempo y compartir con nosotros sus conocimientos orientándonos al desarrollo de esta Tesis.

Ing. Milagros Guillen, por los consejos brindados.

Ing. Herber Calla Aranda, por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias a lo largo del desarrollo de esta Tesis.

**INDICE**

<b><u>CAPÍTULO N°01: ASPECTOS GENERALES DE LA FIBRA DE CARBONO</u></b> .....	<b>9</b>
1.1. INTRODUCCIÓN: .....	10
1.1.1. HISTORIA DE LA FIBRA DE CARBONO: .....	10
1.1.2. DEFINICIONES: .....	12
1.1.2.1. REFORZAMIENTO: .....	13
1.1.2.2. REPARACIÓN: .....	13
1.1.2.3. RESTAURACIÓN: .....	13
1.1.2.4. ADITIVOS:.....	13
1.1.2.5. FALLA FRÁGIL:.....	14
1.1.2.6. FALLA DÚCTIL:.....	14
1.1.2.7. DEFORMACIÓN UNITARIA:.....	14
1.1.2.8. MÓDULO DE ELASTICIDAD: .....	14
1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CFRP:.....	14
1.2.1. PROPIEDADES:.....	15
1.2.1.1. ALTA FLEXIBILIDAD: .....	16
1.2.1.2. ALTA RESISTENCIA: .....	16
1.2.1.3. BAJA DENSIDAD: .....	17
1.2.1.4. AISLAMIENTO TÉRMICO: .....	17
1.2.1.5. TOLERANCIA A ALTAS TEMPERATURAS:.....	17
1.2.1.6. BAJA EXPANSIÓN TÉRMICA: .....	18
1.2.1.7. RESISTENTE A AGENTES EXTERNOS: .....	18
1.2.2. CARACTERÍSTICAS:.....	19
1.2.2.1. TRABAJABILIDAD: .....	19
1.2.2.2. FÁCIL APLICACIÓN: .....	19
1.2.2.3. TIEMPO DE APLICACIÓN: .....	20
1.2.2.4. RECUBRIMIENTO: .....	20
1.2.2.5. SEGURO:.....	20
1.2.2.6. PERIODO DE VIDA: .....	21
1.2.3. TIPOS DE FIBRAS DE CARBONO:.....	21
1.2.4. FORMA DE OBTENCIÓN:.....	22
1.3. APLICACIÓN DEL CFRP:.....	26
1.3.1. CIRCUNSTANCIAS EN LAS QUE SE RECOMIENDA APLICAR FIBRA DE CARBONO:.....	27
1.3.1.1. CIRCUNSTANCIAS PREVENTIVAS:.....	27
1.3.1.1.1. Reforzamiento: .....	28
1.3.1.2. CIRCUNSTANCIAS CORRECTIVAS:.....	29

1.3.1.2.1. REPARACIÓN:.....	29
1.3.1.2.2. RESTAURACIÓN:.....	30
1.4. TIPOS DE FALLAS DEL REFORZAMIENTO CON CFRP: .....	31
1.4.1. FALLA A TENSIÓN DE LA PLATINA: .....	32
1.4.2. APLASTAMIENTO DEL CONCRETO EN LA ZONA A COMPRESIÓN: .....	32
1.4.3. FLUENCIA DEL ACERO O ROTURA DEL ACERO: .....	33
1.4.4. DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO: .....	33
1.4.4.1. DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA SUPERFICIE INFERIOR: .....	33
1.4.4.2. DELAMINACIÓN: .....	33
1.4.4.3. DESGARRAMIENTO: .....	34
1.4.5. ROTURA INTERLAMINAR: .....	34
1.4.6. FALLA DE COHESIÓN EN LA CAPA DEL ADHESIVO:.....	34
1.4.7. FALLA DE ADHERENCIA:.....	34
1.4.7.1. FALLA DE ADHERENCIA DE LA LÁMINA DE CFRP: .....	34
1.4.7.2. FALLA DE ADHESIÓN EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO:.....	35
1.5. COMERCIALIZACIÓN Y MARCAS EN LA INDUSTRIA DE CFRP EN EL PERÚ: ....	35
<u>CAPITULO N°02: DESARROLLO Y ANALISIS DE LA NORMATIVA ACI 440.2R-08.....</u>	<u>37</u>
2.1. CONSIDERACIONES GENERALES: .....	37
2.1. REFUERZO A FLEXIÓN: .....	41
2.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES: .....	41
2.1.1.1. ELEMENTOS SIN REFORZAMIENTO: .....	41
2.1.1.2. ELEMENTOS CON REFORZAMIENTO: .....	42
2.1.1.3. SUPOSICIONES DEL COMPORTAMIENTO BÁSICO: .....	43
2.1.1.4. DETERMINACIÓN TEÓRICA DE LA RELACIÓN MOMENTO-CURVATURA:..	53
2.1.1.5. RESISTENCIA A CORTANTE DE LA SECCIÓN:.....	60
2.1.1.6. DEFORMACIÓN DEL CONCRETO EXISTENTE: .....	61
2.1.2. RESISTENCIA NOMINAL: .....	62
2.1.2.1. MODOS DE FALLA:.....	63
2.1.2.2. NIVEL DE DEFORMACIÓN EN EL REFUERZO FRP: .....	66
2.1.2.3. NIVEL DE ESFUERZO EN EL REFUERZO FRP: .....	67
2.1.3. DUCTILIDAD:.....	67
2.1.3.1. ACI 318 CAPITULO 2 (TENSION CONTROLLED SECTION): .....	68
2.1.3.2. FACTOR DE REDUCCIÓN PARCIALES MULTI- $\phi$ (KARBHARI Y SEIBLE; 1997):.....	69
2.1.4. CAPACIDAD DE SERVICIO: .....	73

2.1.5. LÍMITES DE ESFUERZO DE ROTURA POR FLUENCIA PLÁSTICA Y DE FATIGA: .....	73
2.1.5.1. LÍMITES DE ESFUERZO DE ROTURA POR FLUENCIA PLÁSTICA: .....	74
2.1.5.2. LÍMITES DE ESFUERZO DE FATIGA: .....	75

CAPITULO N°03: APLICACION DE LA NORMATIVA ACI 440.2R-08 EN UNA SECCIÓN RECTANGULAR REFORZADA A FLEXIÓN ..... 77

3.1. RESISTENCIA ÚLTIMA: .....	77
3.1.1. CALCULO DEFORMACION UNITARIA DEL FRP Y ACERO: .....	78
3.1.2. CALCULO DEL ESFUERZO EFECTIVO DEL FRP Y ACERO: .....	80
3.1.3. VERIFICACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD: .....	81
3.1.3.1. ACI 318 CAPITULO 10 – 10.2.7.3 : .....	82
3.1.4. ESFUERZO EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO: .....	84
3.1.5. ESFUERZOS EN EL FRP BAJO CARGAS DE SERVICIO: .....	88
3.2. PROCEDIMIENTO DE CALCULO PARA EL SISTEMA FRP PASO A PASO: .....	88

CAPÍTULO N°04: PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y ENSAYOS DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES..... 98

4.1. INTRODUCCIÓN: .....	98
4.2. CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES: .....	98
4.3. MATERIALES A UTILIZAR: .....	156
4.3.1. ETAPA DE VACIADO: .....	156
4.3.1.1. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS: .....	156
4.3.1.2. MATERIALES: .....	165
4.3.2. ETAPA DE ENSAYOS: .....	168
4.3.2.1. MATERIALES: .....	168
4.3.2.2. HERRAMIENTAS: .....	169
4.3.2.3. EQUIPOS: .....	171
4.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE MODELOS ESTRUCTURALES: .....	172
4.4.1. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES: .....	173
4.4.1.1. Habilitación de los moldes: .....	173
4.4.1.2. Colocación de las varillas de acero: .....	174
4.4.1.3. Pesaje del material: .....	175
4.4.2. VACIADO DE MODELOS ESTRUCTURALES: .....	176

4.4.2.1. Mezclado del concreto: .....	176
4.4.2.2. Ensayo del Cono de Abrams:.....	177
4.4.2.3. Colocación del concreto en los moldes:.....	178
4.4.2.4. Llenado de probetas de concreto:.....	179
4.4.3. CURADO DE MODELOS ESTRUCTURALES:.....	182
4.4.3.1. Desmoldado de las vigas y probetas:.....	182
4.4.3.2. Curado de las vigas y probetas:.....	183
4.5. ENSAYO DE MODELOS ESTRUCTURALES:.....	184
4.5.1. PREPARACIÓN DE MODELOS A ENSAYAR:.....	184
4.5.1.1. Retirar los modelos estructurales del pozo:.....	184
4.5.1.2. Pulido superficial:.....	185
4.5.1.3. Delimitación para la colocación de la fibra:.....	186
4.5.1.4. Habilitación de la fibra de carbono:.....	188
4.5.1.5. Preparación del epóxico SIKADUR – 301:.....	189
4.5.1.6. Aplicación de SIKADUR–301 y colocación del SIKAWRAP-600C:.....	190
4.5.1.7. Extracción de burbujas y sellado:.....	191
4.5.1.8. Secado:.....	192
4.5.1.9. Pintado de vigas:.....	193
4.5.1.10. Marcación de límites:.....	194
4.5.1.11. Ensayo de vigas:.....	195
<u>CAPITULO N°5: DATOS DE LABORATORIO .....</u>	<u>198</u>
<u>CAPITULO N°06: APLICACION DE REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXION EN EL HOTEL 4 ESTRELLAS – ILO.....</u>	<u>230</u>
6.1. INTRODUCCIÓN:.....	230
6.2. PATOLOGIA DE LAS VIGAS A REFORZAR:.....	230
6.2.1. EVALUACIÓN DEL ACERO EXISTENTE:.....	230
6.2.1. EVALUACIÓN DE LA FISURA:.....	231
6.2.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO:.....	232
6.3. ANALISIS DE ENVOLVENTES Y MOMENTOS ACTUANTES:.....	232
6.4. ANALISIS MATEMATICO DEL REFORZAMIENTO CON FRP:.....	239
6.5. PROCESO DE REFORZAMIENTO CON FRP EN VIGA V-10 EN EL HOTEL 4 ESTRELLAS – ILO: .....	263

CONCLUSIONES .....	268
RECOMENDACIONES.....	270
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIA.....	272
ANEXOS.....	275





***CAPÍTULO 1***

## **CAPÍTULO N°01: ASPECTOS GENERALES DE LA FIBRA DE CARBONO**

### **1.1. INTRODUCCIÓN:**

La fibra de carbono usada en el reforzamiento de elementos estructurales, es una ciencia relativamente moderna y reciente, ya que si bien tiene algunos años de estar en el medio, no hay mucho conocimiento y confianza en su efectiva resistencia.

La ya mencionada fibra ha sido usada mayormente en la tecnología aeronáutica y debido a las grandes propiedades que este material le aportaba a las maquinas aeronáuticas, es que se hicieron estudios para poder aplicarla en diferentes áreas, en este caso para usarla en el área de la construcción.

Para poder saber un poco más sobre los inicios de la fibra de carbono, presentamos los siguientes datos:

#### **1.1.1. HISTORIA DE LA FIBRA DE CARBONO:**

Esta historia se remonta al año 1958, cuando el Sr. Roger Bacon, dedico una amplia investigación a la creación de fibras de alto rendimiento de carbono en el Centro Técnico de la *Union Carbide Parma*, que en la actualidad es *GrafTech International Holdings, Inc.*, y que se ubica en las afueras de Cleveland, Ohio. Estas fibras se fabricaban mediante el calentamiento de filamentos de rayón hasta carbonizarlos en un proceso que resultó ser ineficiente, ya que las fibras resultantes contenían sólo un 20% de carbono y

eran portadoras de malas propiedades de fuerza y de rigidez. En la década de 1960, un proceso desarrollado por Akio Shindo de la Agencia de Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología de Japón, con poliacrilonitrilo (PAN) como materia prima produjo una fibra de carbono que contiene alrededor del 55% de carbono.

El alto potencial de la fibra de carbono fue aprovechado en 1963 en un proceso desarrollado en el Establecimiento Real de aeronaves en Hampshire, Reino Unido. El proceso fue patentado por el Ministerio de Defensa del Reino Unido y luego autorizada a tres empresas británicas: *Rolls-Royce*, *Morganita* y *Courtaulds*. Estas empresas fueron capaces de establecer instalaciones de producción industrial de fibra de carbono. Rolls-Royce se aprovechó de las propiedades del nuevo material para entrar en el mercado americano con motores para aviones. Por desgracia, *Rolls-Royce* empujó el estado de la técnica demasiado lejos, demasiado rápido, en el uso de fibra de carbono en las aspas del compresor del motor de aviones, que resultó ser vulnerables a daños por impacto de aves. Lo que parecía un gran triunfo tecnológico en 1968 se convirtió rápidamente en un desastre. De hecho, los problemas de Rolls-Royce se hizo tan grande que la empresa fue nacionalizada por el gobierno británico en 1971 y la planta de producción de fibra de carbono fue vendida a la forma "*Bristol composites*".

Dado el limitado mercado para un producto muy caro, de calidad variable, *Morganite* también decidió que la producción de fibra de carbono era periférica

respecto a su negocio principal, dejando solo a *Courtaulds* como el único fabricante grande del Reino Unido. Esta compañía continuó la fabricación de fibras de carbono, con el desarrollo de dos mercados principales: el aeroespacial y de equipamiento deportivo. La velocidad de la producción y la calidad del producto se han mejorado desde entonces.

Durante la década de 1970, los trabajos experimentales para encontrar materias primas alternativas llevaron a la introducción de fibras de carbono a partir de una brea de petróleo derivadas de la transformación del petróleo. Estas fibras contenían alrededor de 85% de carbono y tenía una excelente resistencia a la flexión.

#### **1.1.2. DEFINICIONES:**

A lo largo de esta investigación se ha encontrado diversas bases informativas acerca del significado de “fibra de carbono” y coincidió en la mayoría de ellas la siguiente descripción: “Fibra sintética formada por finos filamentos de 5–10  $\mu\text{m}$  (micrómetros) de diámetro y compuesto principalmente por carbono”.

De la misma forma, se ha recolectado variada información que, por ser un tema moderno, hace uso de palabras y/o frases que para una simple interpretación no son complejas, sin embargo para comprenderlas en el contexto en el que son usadas sí, es por ese motivo que desarrollaremos brevemente algunas de las palabras empleadas en la presente tesis con el fin de promover el mejor entendimiento del tema a los posibles lectores.

#### **1.1.2.1. REFORZAMIENTO:**

Se refiere a incrementar la capacidad resistente de carga de una estructura, así como su optimización de uso.

#### **1.1.2.2. REPARACIÓN:**

Hace referencia a solucionar o mejorar daños que presente la estructura, ocasionados por factores externos, de tal manera que la estructura vuelva a tener una capacidad resistente adecuada.

#### **1.1.2.3. RESTAURACIÓN:**

Consiste en modificar algún detalle que pueda interferir en el adecuado desarrollo de la capacidad resistente de la estructura.

#### **1.1.2.4. ADITIVOS:**

Los aditivos son sustancias químicas de naturaleza orgánica y también inorgánica que ayudan a los concretos y morteros a mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como dureza, impermeabilidad, resistencia a la fisuración, adherencia, plasticidad, fluidez, etc.

Para esta investigación, en el capítulo 3, se realizarán ensayos en los que se usarán aditivos para mejorar la adherencia de la fibra de carbono con el concreto.

**1.1.2.5. FALLA FRÁGIL:**

Cuando el acero no ha llegado a su fluencia, pero el concreto si llega a su resistencia máxima. Se recomienda evitar este tipo de falla, puesto que es peligrosa en toda estructura.

**1.1.2.6. FALLA DÚCTIL:**

Cuando el acero llega a su fluencia, pero el concreto no ha llegado a su resistencia máxima. Se recomienda el diseño con este tipo de falla.

**1.1.2.7. DEFORMACIÓN UNITARIA:**

Es la deformación que se produce por cada unidad de longitud.

**1.1.2.8. MÓDULO DE ELASTICIDAD:**

Es también conocido como el Módulo de Young y es un parámetro característico del comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se le aplica una fuerza. (Thomas Young)

**1.2. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL CFRP:**

Debido al paso de los años y transcurrir del tiempo, y gracias al continuo crecimiento y desarrollo de la tecnología, podemos notar en la actualidad los beneficios que hemos obtenido en nombre de la ciencia y dedicación de seres humanos consagrados a la investigación en búsqueda de nuevos métodos que faciliten y mejoren las necesidades y calidad de vida del hombre y en este caso

particular no habrá ninguna excepción, puesto que en esta investigación haremos uso de un “invento” bastante favorecedor para diversas industrias como ya se dijo anteriormente y que de la misma forma ayuda a mejorar las técnicas y procesos de nuestra industria, la ingeniería civil.

Si bien más adelante explicaremos la procedencia y forma de obtención de este material, no está de más decir que parte del éxito de la calidad de este material, es que la fibra de carbono es producto de buena combinación entre materia prima orgánica y la alta tecnología.

Las propiedades de la fibra de carbono en conjunto con sus características, han ido variando y aumentando en cuanto a la calidad y cantidad que ofrece a sus usuarios, y hoy en día es a nuestro parecer y al de muchos otros ingenieros, una de las mejores opciones para el reforzamiento de elementos estructurales.

A continuación hablaremos específicamente de sus propiedades y sus características:

### **1.2.1. PROPIEDADES:**

Las propiedades de las fibras de carbono hacen a este material muy popular en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, deportes, etc. Pero, representa una alternativa más costosa en comparación con otro tipo de

fibras similares, como fibras de vidrio o fibras de plástico, lo que limita en gran medida su uso.

Sin embargo, lo que prevalece son las opciones y variedad de propiedades que nos ofrece en relación a los demás tipos de fibras o tipos de reforzamientos y a continuación conoceremos algunas de ellas:

#### **1.2.1.1. ALTA FLEXIBILIDAD:**

La fibra de carbono es poseedora de la capacidad de adaptarse a cualquier superficie, sin importar si esta sea plana, curva e incluso si no tuviera una forma definida.

#### **1.2.1.2. ALTA RESISTENCIA:**

Tal vez esta propiedad sea una de las más importante de este material, puesto que se ha determinado que gracias a la compleja forma de obtención, esta fibra ha adquirido una resistencia tan alta que tiene una equivalencia de 10 veces la resistencia del acero. Sin embargo en el diseño del reforzamiento que revisaremos a profundidad en el capítulo 4, notaremos que no se puede tener en cuenta el total de su resistencia.

La resistencia a la tensión promedio de la fibra de carbono es  $4200 \text{ N/mm}^2$  y este valor puede variar dependiendo la marca que la produzca.

#### **1.2.1.3. BAJA DENSIDAD:**

Como producto del proceso de obtención de la fibra de carbono que veremos más adelante, se obtiene delgados hilos de carbono que al ser tejidos entre si conforman tejidos y láminas, la fibra de carbono propiamente dicho, el material que se usa en todo tipo de industrias y que nosotros usaremos para estos ensayos.

Debido a que la resistencia de cada microfibra ya es bastante alta no se requiere que el tejido o platina sea muy robusta y es por ese motivo que el peso de ambos tipos de fibra son mínimos.

#### **1.2.1.4. AISLAMIENTO TÉRMICO:**

Es la capacidad que presenta la fibra de carbono para oponerse a la conducción del calor y es gracias a esta propiedad representativa de la fibra de carbono que podemos aportar un punto importante más en la seguridad de nuestros diseños, puesto que este material podrá limitar los efectos que un incendio pueda ocasionar en nuestra estructura reforzada.

#### **1.2.1.5. TOLERANCIA A ALTAS TEMPERATURAS:**

Esta propiedad se nos muestra que la fibra de carbono es un material que puede soportar las constantes variaciones de temperaturas que son causadas normalmente por los cambios de ambientales que se dan durante las 24 horas,

todos los días, debido a los continuos cambios climáticos que hay en nuestra ciudad y país.

Esta propiedad es la que le permite a la fibra de carbono mantener su forma original, lo cual al mismo tiempo hace posible que el elemento estructural que haya sido reforzado mantenga las propiedades adquiridas desde el momento en que se dio el trabajo de reforzamiento.

#### **1.2.1.6. BAJA EXPANSIÓN TÉRMICA:**

Esta propiedad surge como consecuencia de la anterior, ya que gracias a que la fibra de carbono tolera altas temperaturas, sufre mínimas deformaciones o dilataciones y de esta forma mantiene su forma original a pesar del tiempo transcurrido desde su aplicación.

#### **1.2.1.7. RESISTENTE A AGENTES EXTERNOS:**

Así como la fibra de carbono soporta los cambios climáticos y de temperatura, también resiste daños como el agua, viento, las lluvias, la humedad, etc. Este material ha sido creado con una alta tecnología que le ha otorgado a la fibra de carbono ciertas cualidades inigualables por otro material, lo que nos permite a los que trabajamos con ella, darnos un amplio radio de trabajo que abarque diferentes áreas, sin importar las condiciones a las que vaya a estar expuesta.

### **1.2.2. CARACTERÍSTICAS:**

A continuación hablaremos acerca de las características generales de la fibra de carbono, que nos llevarán a analizar qué tan recomendable o no puede ser el uso del ya mencionado material en estudio:

#### **1.2.2.1. TRABAJABILIDAD:**

El material en estudio, gracias a su baja densidad y alta resistencia conforma a uno de los materiales más innovadores de los últimos tiempos, puesto que en sus dos presentaciones ya sea tejido o lámina, nos proporciona un producto bastante manejable que facilita la manipulación del mismo y del elemento estructural a reforzar.

#### **1.2.2.2. FÁCIL APLICACIÓN:**

Gracias a la característica anterior se puede garantizar una sencilla y fácil aplicación del material en la superficie a reforzar, incluso si el trabajo no se realizara al nivel del piso, o si fueran formas irregulares o si el clima no fuera favorable, existen muchas situaciones que pueden significar un problema para cualquier método de reforzamiento de elementos estructurales, pero no lo son para el reforzamiento con fibra de carbono.

De todas formas no debemos malentender el párrafo anterior; es necesario tener ciertos cuidados, pero estos son mínimos en comparación a los que debemos considerar para otros métodos.

### 1.2.2.3. TIEMPO DE APLICACIÓN:

De igual manera que la característica anterior, esta se considera una consecuencia de las 2 primeras características ya mencionadas, pues en beneficio del encargado del reforzamiento, la trabajabilidad y la fácil aplicación del material solo significan un gran ahorro en cuanto a las horas hombre (hh) empleadas en este trabajo, ya que el reforzamiento puede darse en dos días a más, dependiendo de la cantidad de área a reforzar.

### 1.2.2.4. RECUBRIMIENTO:

Este método de reforzamiento estructural, ofrece muchas facilidades en el proceso aplicativo y esta es una de ellas, ya que una vez aplicado el refuerzo en el elemento estructural, este no requiere ser cubierto con una capa de tarrajeo, sin embargo por temas estéticos puede ser recubierto o puede usarse otras técnicas como el cielo raso.

Lo único que se indica y recomienda es que una vez terminado el trabajo de reforzamiento, la fibra de carbono no sea dañada.

### 1.2.2.5. SEGURO:

Hay que indicar que el material propiamente dicho, ha sido elaborado con normas internacionales que han sido elaboradas con amplios márgenes de seguridad y de la forma el diseño para el reforzamiento de elementos estructurales con fibra de carbono que veremos más adelante.

#### **1.2.2.6. PERIÓDO DE VIDA:**

Hace muchos años se usaban platinas de acero que servían para el reforzamiento netamente de vigas, esta forma de reforzamiento era una sensación, pues este material trabajaba de maravilla a pesar de lo trabajoso que podía ser su aplicación. Sin embargo al pasar de los años se notó que estas platinas a pesar de todas las buenas cualidades que poseía, comenzó a presentar oxidación debida a la humedad y contacto con el agua, lo que traía como consecuencia hacer reparaciones y cambios de refuerzo.

Pero es gracias a las investigaciones que empezaron a salir algunos tipos de láminas de fibra de carbono lo cual reemplazaba muy bien a las antiguas platinas y luego salieron los tejidos lo cual simplifica mucho más el trabajo y presentaba características mejoradas para el reforzamiento, lo que hace que a la actualidad un reforzamiento con este material sea prácticamente eterno.

#### **1.2.3. TIPOS DE FIBRAS DE CARBONO:**

En la industria internacional se manejan variados tipos de fibra de carbono, cada una de ellas con buenas propiedades, pero cada una con alguna particularidad que puede tener mayor utilidad en cada industria.

- TEJIDOS
- PLATINAS

#### 1.2.4. FORMA DE OBTENCIÓN:

La fibra de carbono como bien se dijo en la definición, es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro que están compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales que son más o menos alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. Varios miles de fibras de carbono están trenzados para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela.

Las fibras de carbono generalmente se combinan con otros materiales para formar un compuesto. Cuando se combina con una resina plástica es moldeada para formar un plástico reforzado con fibra de carbono (a menudo denominado también como fibrocarbono) el cual tiene una muy alta relación resistencia- peso, extremadamente rígido, aunque el material es un tanto frágil. Sin embargo, las fibras de carbono también se combinan con otros materiales, como por ejemplo con el grafito para formar compuestos carbono-carbono, que tienen una tolerancia térmica muy alta.

La fibra de carbono es un polímero de una cierta forma de grafito. El grafito es una forma de carbono puro. En el grafito los átomos de carbono están dispuestos en grandes láminas de anillos aromáticos hexagonales.

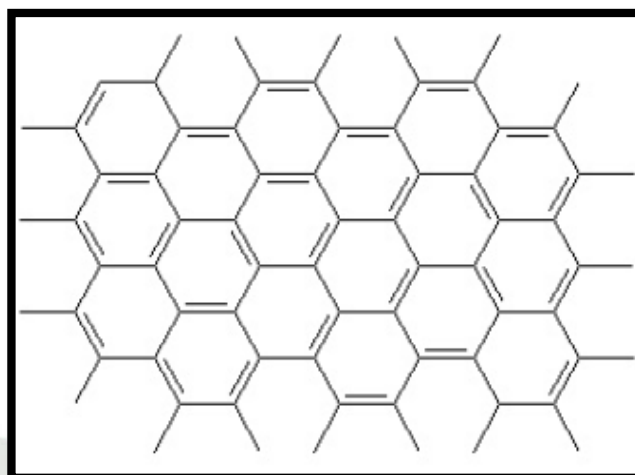


Figura 1.1. Representación de una lámina de grafito.

La fibra de carbono se fabrica a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, a través de un complicado proceso de calentamiento. Cuando se calienta el poliacrilonitrilo, el calor hace que las unidades repetitivas ciano formen anillos.

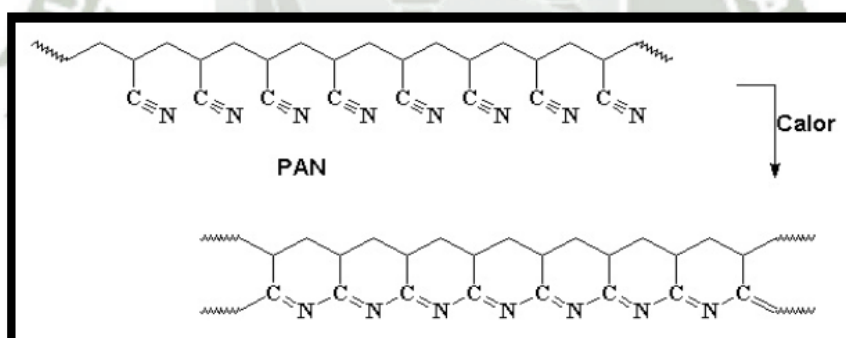


Figura 1.2. Unidades repetitivas ciano + calor = anillos.

Al aumentamos el calor, los átomos de carbono se deshacen de sus hidrógenos y los anillos se vuelven aromáticos. Este polímero constituye una serie de anillos piridínicos fusionados.

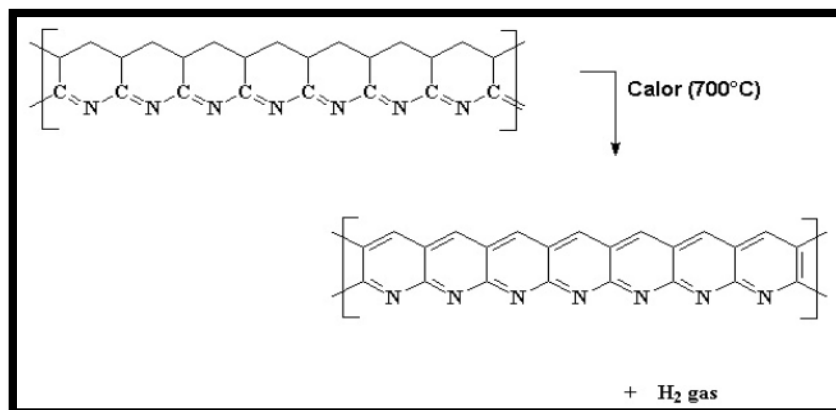


Figura 1.3. Anillos piridínicos fusionados.

Luego se incrementa la temperatura a unos 400-600°C. De este modo, las cadenas adyacentes se unen:

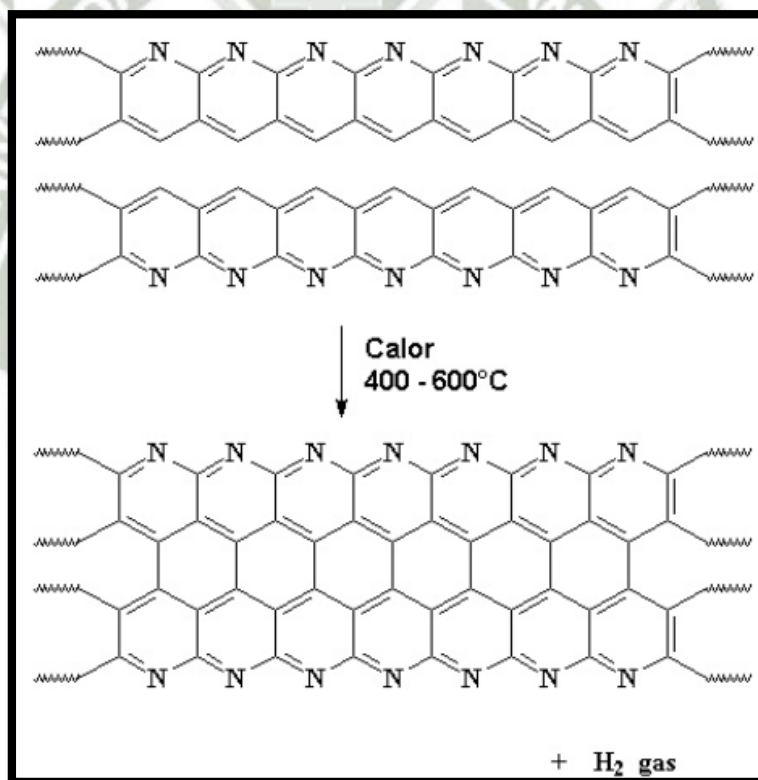


Figura 1.4. Unión de cadenas adyacentes.

Este calentamiento libera hidrógeno y da un polímero de anillos fusionados en forma de cinta. Incrementando aún más la temperatura de 600 hasta 1300°C, nuevas cintas se unirán para formar cintas más anchas:

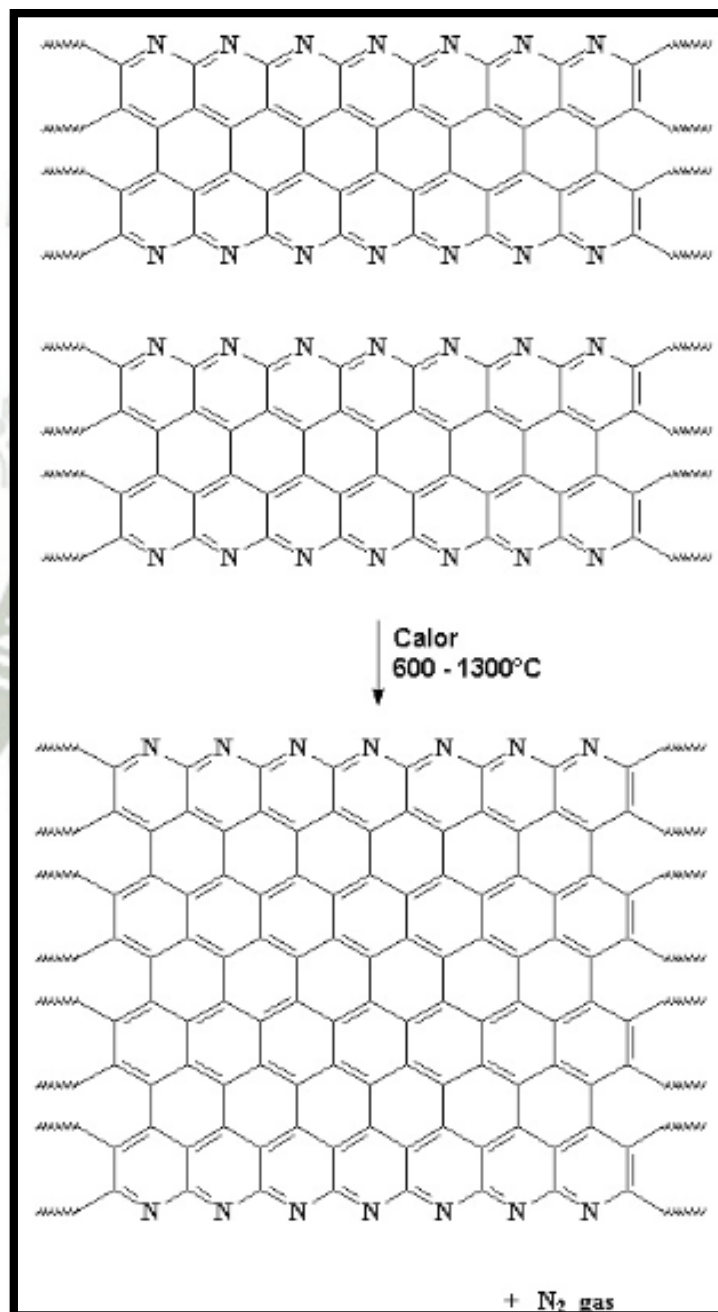


Figura 1.5. Cadenas más anchas.

De este modo se libera nitrógeno. Como se puede observar, el polímero que es obtenido tiene átomos de nitrógeno en los extremos, por lo que, estas cintas pueden unirse para formar cintas aún más anchas. A medida que ocurre esto, se libera más nitrógeno. Terminado el proceso, las cintas son extremadamente anchas y la mayor parte del nitrógeno se liberó, quedando una estructura que es casi carbono puro en su forma de grafito.

### 1.3. APLICACIÓN DEL CFRP:

En la actualidad, se considera que el carbono es el más versátil de los elementos que conoce el hombre. El carbono forma parte de toda la química orgánica y de 20 millones de moléculas conocidas, de las cuales el 79% se clasifican como orgánicas.

La fibra de carbono CFRP tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, se usa en la construcción de barcos y bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes.

Es también por sus propiedades que cada vez se está haciendo más común en otros artículos de consumo como patines en línea, raquetas de tenis, ordenadores portátiles, trípodes y cañas de pescar e incluso en joyería entre otros componentes donde es necesario un material ligero y de alta resistencia.

Ahora pues, ya que se conoce la versatilidad de este compuesto (CFRP), este no podía ser ajeno al área de la construcción donde año tras año debe

implementarse nuevas tecnologías que faciliten y mejoren las técnicas de trabajo. Por tal motivo hace algunos años empezó a emplearse la fibra de carbono en el reforzamiento de estructuras como vigas, columnas, muros, etc.

Inicialmente se pensó que por las buenas propiedades de este material se podrían reparar y reforzar los ya mencionados elementos estructurales bajo cualquier circunstancias sin tener ninguna falla, sin embargo, después de algunos trabajos de aplicación se supo que solo se podía aplicar la CFRP en muchos casos, pero con algunas condiciones y como en toda ciencia con algunas excepciones.

A continuación se conocerán las circunstancias en las que se puede aplicar el reforzamiento con fibra de carbono (CFRP).

### **1.3.1. CIRCUNSTANCIAS EN LAS QUE SE RECOMIENDA APLICAR FIBRA DE CARBONO:**

Para la aplicación de este material debemos tener en cuenta que se pueden presentar 2 tipos de situaciones en las que se puede efectuar su uso:

#### **1.3.1.1. CIRCUNSTANCIAS PREVENTIVAS:**

La intervención preventiva de la fibra de carbono (CFRP) en el refuerzo de elementos estructurales y/o estructuras propiamente dichas, se dan como su nombre lo indica de forma previa a la existencia de algún problema con la estructura.

Este tipo de intervenciones no son muy comunes, debido al poco conocimiento sobre las cualidades y características de este material.

Sin embargo a medida que pasa el tiempo y debido a la constante necesidad que tiene la sociedad de hacer más resistentes sus construcciones, ya sean hogares, negocios, instituciones educativas, instituciones de la salud, de origen público, privados o cualquier índole, las personas han empezado a interesarse más en la buena construcción de dichos lugares, sobre todo en estos tiempos donde a causa del exceso de población se están efectuando construcciones de tamaños y alturas considerables para poder abastecer a la población existente que no deja de crecer.

Como si lo anterior fuera poco, no podemos olvidarnos del temor latente que tenemos las personas a quedarnos desamparadas o sin un techo donde vivir a causa de los factores naturales destructivos, como los sismos y terremotos, a los que como ya sabemos vivimos expuestos, por lo menos en nuestra ciudad.

Por todas las razones ya mencionadas y muchas otras más es que se ha desarrollado la tecnología de CFRP y de forma preventiva puede aplicarse para:

#### **1.3.1.1.1. REFORZAMIENTO:**

Aumentar la capacidad resistente de una estructura y/o elemento estructural.

Se puede dar por los siguientes casos:

- Requerimiento del diseño o propietario.
- Disminución de vulnerabilidades en los elementos de las estructuras.
- Cambios de uso.
- Actualizaciones por nuevas cargas.
- Actualizaciones por nuevos reglamentos.

#### 1.3.1.2. CIRCUNSTANCIAS CORRECTIVAS:

Si bien es cierto que la tecnología de la fibra de carbono como se explicó anteriormente no es muy conocida, es en la intervención correctiva donde tiene mayor incidencia.

Esto se debe a que, las personas prefieren corregir algo cuando está mal que comenzar de nuevo. Lo mismo pasa con sus pertenencias, porque prefieren repararlas a tener que desecharlas y obtener unas nuevas, muchas veces por temas económicos, necesidad e incluso por temas emotivos.

Por los motivos ya mencionados es que se aplica la fibra de carbono para los siguientes casos correctivos:

##### 1.3.1.2.1. REPARACIÓN:

Restituir la capacidad de resistencia de una estructura dañada. Se puede dar por los siguientes casos:

- Errores de diseño.

- Deficiencias en la construcción.
- Daños por sismos.
- Daños por asentamientos.

### 1.3.1.2.2. RESTAURACIÓN:

Conseguir que una edificación antigua sea utilizable. Se puede dar por los siguientes casos:

- Desgaste natural.
- Problemas de degradación por los años.

Debemos comprender que finalmente los trabajos de reparación y de restauración son formas de reforzamiento, puesto que en cualquiera de las dos situaciones la fibra de carbono (CFRP) está reforzando la estructura y/o elemento estructural a partir de las condiciones en las que ha sido encontrada.

Por lo tanto:

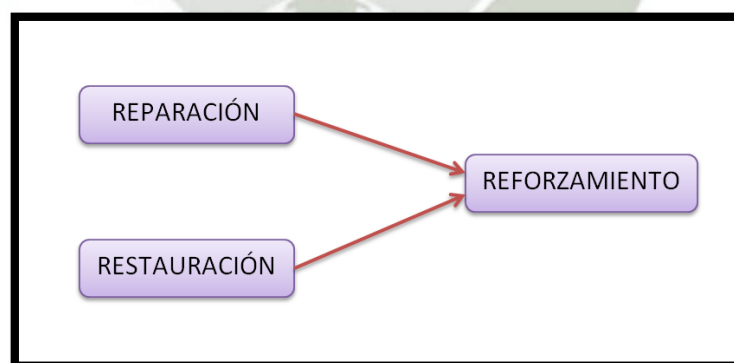


Figura 1.6. Reforzamiento.

Es importante saber también, que el reforzamiento con (CFRP) no tiene influencia en las condiciones en que el concreto haya sido encontrado, de igual manera pasa con el acero. Lo que hará la fibra de carbono será mejorar el comportamiento de la estructura y/o elemento estructural donde se haya aplicado la fibra.

#### **1.4. TIPOS DE FALLAS DEL REFORZAMIENTO CON CFRP:**

La CFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Carbono) son una combinación de fibras de carbono y una matriz de resina epóxica que en dirección de la fibra tienen una resistencia y rigidez muy altas, así como un comportamiento excepcional a la fatiga, mejor que la del acero y además su densidad es muy baja. Las fibras están colocadas en dirección longitudinal correspondiendo a la dirección de la solicitación, de esta forma la lámina tiene una estructura unidireccional.

Cada uno de estos dos componentes del CFRP cumplen funciones específicas en el reforzamiento; las fibras son los elementos con capacidad de carga y la matriz epóxica sirve para unir las fibras entre sí, permitiendo la transferencia de carga entre las fibras y la protección del medio ambiente.

Ya que conocemos los componentes del CFRP podemos definir los posibles tipos de falla que se pueden encontrar en el reforzamiento de vigas a flexión con fibras de carbono:

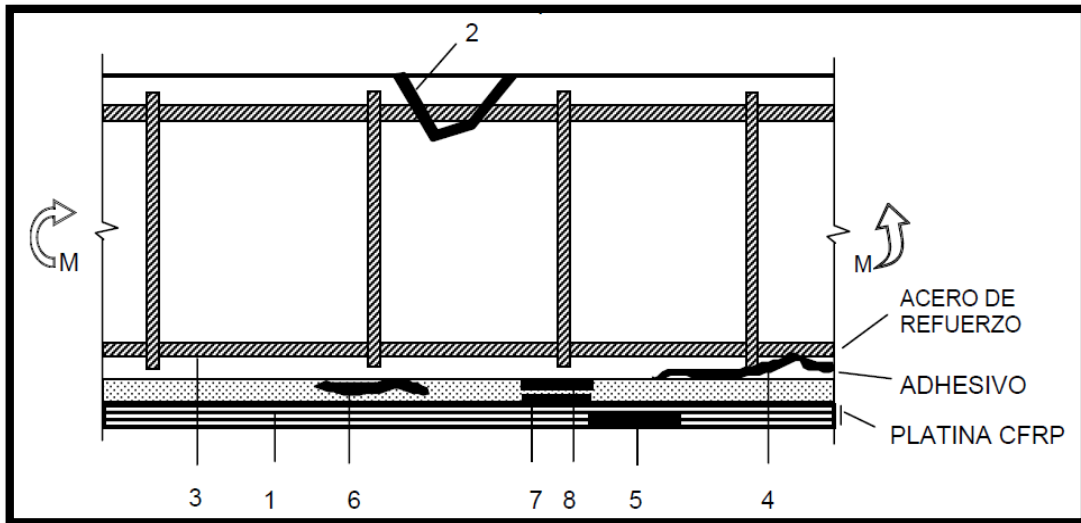


Figura 1.7. Tipos de fallas.

#### 1.4.1. FALLA A TENSIÓN DE LA PLATINA:

Cuando se alcanza la resistencia a tensión de la platina.

$$\sigma_L = \sigma_{L\mu}$$

#### 1.4.2. APLASTAMIENTO DEL CONCRETO EN LA ZONA A COMPRESIÓN:

Cuando se alcanza la máxima deformación a compresión.

$$\varepsilon_c \leq 3,0_{0/00}$$

### 1.4.3. FLUENCIA DEL ACERO O ROTURA DEL ACERO:

Cuando (a) se excede la deformación a fluencia en el acero de refuerzo o cuando (b) se alcanza su resistencia a la fatiga.

$$(a) \quad \varepsilon_s = \varepsilon_{sy}$$

$$(b) \quad \Delta\sigma = \Delta\sigma, \textit{fat}$$

### 1.4.4. DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO:

#### 1.4.4.1. DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA SUPERFICIE INFERIOR:

Debido a irregularidades locales a causa de la poca preparación de la superficie o por desplazamientos relativos de las paredes por fuerzas de corte, que puede ocasionar la deflexión local de las platina, por tal motivo se presentan altos esfuerzos a tensión de forma perpendicular a la platina que de sobrepasar la resistencia a tensión del concreto se formara una fisura horizontal que se extenderá a lo largo de la fibra o platina y esta puede desprenderse por completo.

#### 1.4.4.2. DELAMINACIÓN:

Este fenómeno produce el desprendimiento de la fibra o lamina debido a la concentración de esfuerzos en la zona de alto esfuerzo a flexión.

#### **1.4.4.3. DESGARRAMIENTO:**

Es otra forma de desprendimiento que se produce en la parte del final de la fibra o platina por un desgarramiento, este efecto se relaciona con el anclaje o desarrollo del CFRP.

#### **1.4.5. ROTURA INTERLAMINAR:**

Cuando se excede la resistencia al corte en el CFRP, este falla a lo largo de las fibras y se forma una rotura interlaminar.

#### **1.4.6. FALLA DE COHESIÓN EN LA CAPA DEL ADHESIVO:**

Cuando los esfuerzos de corte en una zona son muy altos, se produce una rotura por cohesión en la capa del adhesivo. También por la falla del adhesivo se pueden presentar burbujas de aire en la pega, después de haber colocado el CFRP.

#### **1.4.7. FALLA DE ADHERENCIA:**

Existen dos tipos de fallas en relación a la adherencia y son las siguientes:

##### **1.4.7.1. FALLA DE ADHERENCIA DE LA LÁMINA DE CFRP:**

Se debe básicamente a la insuficiente preparación de la superficie del CFRP. También se puede deber a una mala aplicación e instalación de la pega.

#### 1.4.7.2. FALLA DE ADHESIÓN EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO:

Se debe básicamente a la insuficiente preparación de la superficie del concreto.

También se puede deber a una mala aplicación e instalación de la pega.

#### 1.5. COMERCIALIZACIÓN Y MARCAS EN LA INDUSTRIA DE CFRP EN EL PERÚ:

La fibra de carbono es un material relativamente moderno, motivo por el cual no hay muchas empresas que lo apliquen, produzcan o distribuyan.

El proceso de aplicación del producto no es del todo complejo, por el contrario es bastante simple, solo se requiere de una mano de obra especializada y calificada que tenga los cuidados y recomendaciones convenientes, pero este tema lo desarrollaremos más adelante.

En nuestro país como ya hablamos anteriormente no hay mucha difusión de este tema y por lo tanto existen pocas empresas que se dediquen a la comercialización de este producto, algunas de ellas son:

- Sika.
- Z aditivos.
- Euco.

Sin embargo, no hay disponibilidad inmediata ni de la fibra de carbono, ni de su aditivo epóxico.

**(\*) ANEXO1: Al final de este documento adjuntaremos la ficha técnica de la fibra de carbono y la de epóxico correspondiente a los ensayos.**



***CAPÍTULO 2***

## CAPITULO N°02: DESARROLLO Y ANALISIS DE LA NORMATIVA

### ACI 440.2R-08

#### 2.1. CONSIDERACIONES GENERALES:

El refuerzo FRP adherido a la cara en tensión de un elemento de concreto a flexión con las fibras orientadas a lo largo de la longitud del elemento proporcionará un incremento en la capacidad a flexión. Se han documentado incrementos globales en la capacidad a flexión entre el 10 y el 160% (*Meier y Kaiser 1991; Ritchie et al. 1991; Sharif et al. 1994*). Sin embargo, cuando se toman en cuenta los límites de ductilidad y de servicio, los incrementos del 5 al 40% son más razonables.

Este capítulo no aplica para los sistemas FRP utilizados para aumentar la capacidad a flexión de elementos en las zonas de articulación plástica esperada de marcos de momento dúctil que resisten cargas sísmicas. El diseño de dichas aplicaciones, de ser usadas, debe examinar el comportamiento del marco reforzado, considerando que las secciones reforzadas tienen unas capacidades de rotación y de curvatura mucho más reducidas. En este caso, debe ser investigado el efecto de la inversión de la carga cíclica sobre el refuerzo FRP; en cambio se presenta las directrices para el cálculo del efecto del reforzamiento a flexión al adicionar refuerzo FRP longitudinal a la cara a tensión de un elemento de concreto reforzado. Es dada en este capítulo una ilustración específica de los conceptos aplicados para el reforzamiento de

secciones rectangulares existentes reforzadas en la zona de tensión con acero no pre-esforzado.

Los conceptos generales resumidos aquí pueden, sin embargo, ser extendidos a formas no rectangulares (secciones en T y secciones en I) y a los elementos con refuerzo del acero a compresión. En el caso de elementos pre-esforzados, la compatibilidad de deformación, con respecto al estado de la deformación en el elemento esforzado, debe ser utilizada para evaluar la contribución del FRP. Los modos de falla adicionales controlados por la rotura de los tendones pre-esforzados también deben ser considerados.

El método de reforzamiento con tejidos de fibra de carbono o platinas metálicas registra al lado de muchas ventajas también algunas desventajas como se pueden apreciar en la Tabla 2.1.

Gracias a los trabajos de investigación y desarrollos más recientes, hoy en día es posible reemplazar el acero pesado por materiales compuestos livianos a base de fibras sintéticas (Fiber Reinforced Plastic/Polymer – FRP).

	 <i>Platina Metalica</i>	 <i>Tejidos FRP</i>
<i>Peso Propio</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
<i>Resistencia a la tension</i>	<i>Alta</i>	<i>Muy alta</i>
<i>Espesor General</i>	<i>Bajo</i>	<i>Muy baja</i>
<i>Corrosion</i>	<i>si</i>	<i>Ninguna</i>
<i>Longitud</i>	<i>limitada</i>	<i>Cualquiera</i>
<i>Manejo</i>	<i>Difícil, Rígido</i>	<i>Flexible, Fácil</i>
<i>Capacidad de carga</i>	<i>En cualquier dirección</i>	<i>En direccion Longitudinal Unicamente</i>
<i>cruces</i>	<i>Complejo</i>	<i>Facil</i>
<i>Comportamiento a la fatiga</i>	<i>Adecuado</i>	<i>Sobresaliente</i>
<i>Costos de materiales</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
<i>Costo de isntalacion</i>	<i>Alto</i>	<i>Bajo</i>
<i>Aplicación</i>	<i>Con equipo de elevacion y elementos de fijacion</i>	<i>Sin herramientas</i>

Tabla 2.1. Comparación de propiedades generales de platinas de acero y tejido FRP.

Entre los tipos de fibras utilizadas se tienen las fibras de vidrio ( GRFP ) y las fibras de carbono ( CFRP). Estas últimas son las que tienen mejores características de resistencia mecánica (resistencia a la tensión), resistencia química y más alto módulo de elasticidad a la tensión.

En los siguientes capítulos se describirá el reforzamiento con sistemas de fibras de carbono (CFRP) para estructuras de concreto en forma de tejidos adheridos externamente a la superficie con un adhesivo de altas características.

Para el diseño de reforzamiento a flexión con tejidos de fibra de carbono se usaran los factores correspondiente indicados en esta guía.

El lineamiento de diseño a flexión se basa de acuerdo a la filosofía de diseño de los factores de reducción parciales multi- $\phi$ , y en general con los lineamientos de diseño basados en gran parte en las investigaciones europeas, sin embargo, se adaptó a la forma de diseño ACI.

Es importante resaltar que en el capítulo presenta las directrices para el cálculo del efecto del reforzamiento a flexión al adicionar refuerzo FRP longitudinal a la cara a tensión de un elemento de concreto reforzado. Es dada en este capítulo una ilustración específica de los conceptos aplicados para el reforzamiento de secciones rectangulares existentes reforzadas en la zona de tensión con acero no pre-esforzado. Los conceptos generales resumidos aquí pueden, sin embargo, ser extendidos a formas no rectangulares (secciones en T y secciones en I) y a los elementos con refuerzo del acero a compresión. En el caso de elementos pre-esforzados, la compatibilidad de deformación, con respecto al estado de la deformación en el elemento esforzado, debe ser utilizada para evaluar la contribución del FRP. Los modos de falla adicionales controlados por la rotura de los tendones pre-esforzados también deben ser considerados.

## 2.1. REFUERZO A FLEXIÓN:

### 2.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES:

#### 2.1.1.1. ELEMENTOS SIN REFORZAMIENTO:

Antes de proceder el reforzamiento de vigas a flexión con fibra de carbono debemos resaltar que en una sección no reforzada necesita satisfacer el siguiente criterio basado en el método de la resistencia última (ACI 318-95).

- Cortante:

$$\phi_{vi} V_{ni} \geq 1.4V_D + 1.7V_L \quad \phi_{vi} = 0.85$$

- Flexión:

$$\phi_{fi} M_{ni} \geq 1.2[M_D + M_L] \quad \phi_{fi} = 0.90$$

Los factores de carga de la evaluación a cortante son los mismos de los procedimientos de diseño usuales ACI, dado que el reforzamiento a flexión con fibra no incrementa la capacidad a cortante. El chequeo a flexión conservador de la sección sin reforzamiento tiene como propósito evitar el colapso en el evento de que la efectividad del FRP se pierda en un incendio u otro evento (vandalismo, colisión, etc.). Si los chequeos para flexión y cortante antes mencionados para elementos sin reforzamiento no se cumplen, otros métodos o metas de reforzamiento reducidos deben ser considerados.

**2.1.1.2. ELEMENTOS CON REFORZAMIENTO:**

El método de reforzamiento por flexión para elementos reforzados con FRP es similar a los principios de diseño a flexión para el concreto reforzado convencionalmente basado en el método americano:

$$\phi S_n(\text{resistencia\_no min al}) \geq \sum \psi_i M_i (\text{demanda\_requerida\_basada\_en\_cargas\_mayoradas})$$

El método para determinar la resistencia nominal a flexión para una sección reforzada con FRP, está basado en el equilibrio de la sección transversal y en las propiedades constituidas del concreto, el acero de refuerzo y el compuesto FRP.

Se asumirá que el modo de falla determinante es la ruptura del FRP, que el acero de refuerzo a tensión ha entrado en fluencia y que los efectos del acero a compresión son despreciables, el esfuerzo y las distribuciones de fuerza y deformación de la sección transversal a la falla son como se explica en la siguiente figura.

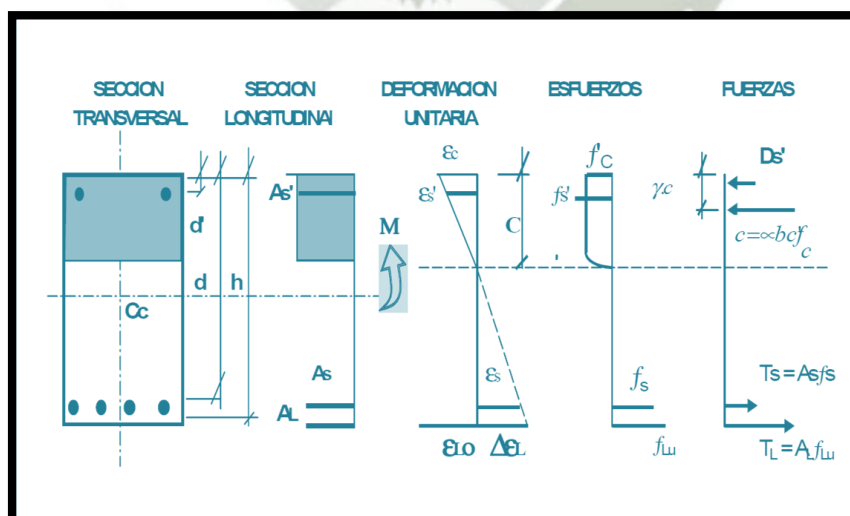


Figura 2.1. Viga reforzada, análisis de sección longitudinal, deformación unitaria, esfuerzos v fuerzas.

Para las fibras extremas se analizarán los parámetros complejos de deformación  $\alpha$  y  $\gamma$ , los cuales se derivan de aproximaciones lineales y parabólicas de las curvas esfuerzo – deformación del concreto, que son introducidos para permitir determinar la localización y magnitud de la fuerza a compresión resultante. En lugar de asumir conservadoramente la figura rectangular para la distribución del esfuerzo en el concreto (bloque de Whitney), el cual asume una deformación utilizable máxima.

Para este estudio de veremos saber cuáles son las suposiciones del comportamiento básico.

### **2.1.1.3. SUPOSICIONES DEL COMPORTAMIENTO BÁSICO:**

Al desarrollar una teoría general de la resistencia a flexión de la secciones de concreto reforzado con acero estructural se hacen cuatro suposiciones básicas:

- **Las secciones planas antes de la flexión permaneces planas después de la flexión:**

Para esta primera suposición, hace referencia básicamente al principio de Bernoulli, implica que la deformación longitudinal en el concreto y en el refuerzo, son en los distintos puntos de una sección proporcional a la distancia del eje neutro. Todo esto está respaldado por numerosas pruebas en miembros de concreto reforzado llegando a una conclusión que la suposición es bastante correcta en todas las etapas de carga hasta alcanzar la falla a flexión, siempre que exista buena adherencia entre el concreto y el acero.

Ciertamente es exacta en la zona a compresión del concreto. Una grieta en la zona a tensión del concreto implica que ha ocurrido cierto deslizamiento entre el refuerzo de acero y el concreto que le rodea, lo que quiere decir que la suposición no se aplica completamente al concreto en la vecindad de una grieta. Sin embargo, si se mide la deformación del concreto en una longitud calibrada que incluya varias grietas, se encuentra que el principio de Bernoulli es válido para esta deformación promedio de tensión. La figura 2.2 muestra las distribuciones de deformación en medidas de secciones e columnas de concreto reforzado cerca de las regiones de falla para distintos incrementos de cargas. Las secciones de las columnas cuadradas eran de 25.4cm de lado y las redondas de 30.5cm de diámetro. Las deformaciones en el acero se midieron en una longitud calibrada de 25mm y las del concreto en una de 15cm. Se debe esperar cierta desviación de la linealidad, debido a las pequeñas inexactitudes en las mediciones de las deformaciones individuales y los pequeños errores en la localización de las líneas del calibrador. De la figura 2.2 es evidente que los perfiles de deformación medida son razonablemente lineales. Ciertamente la suposición de que las secciones planas permanecen planas es suficientemente exacta para fines de diseño. La suposición no es válida para vigas de gran peralte o en regiones de cortante elevado.

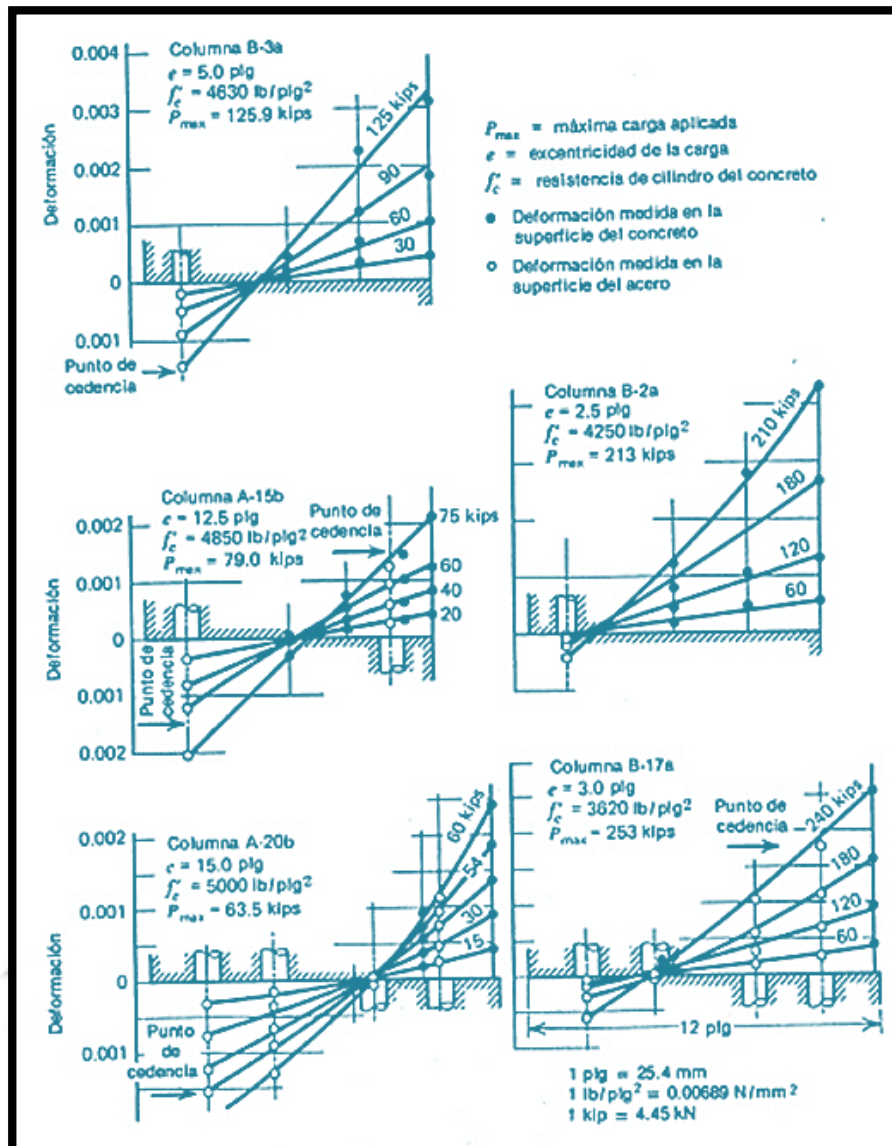
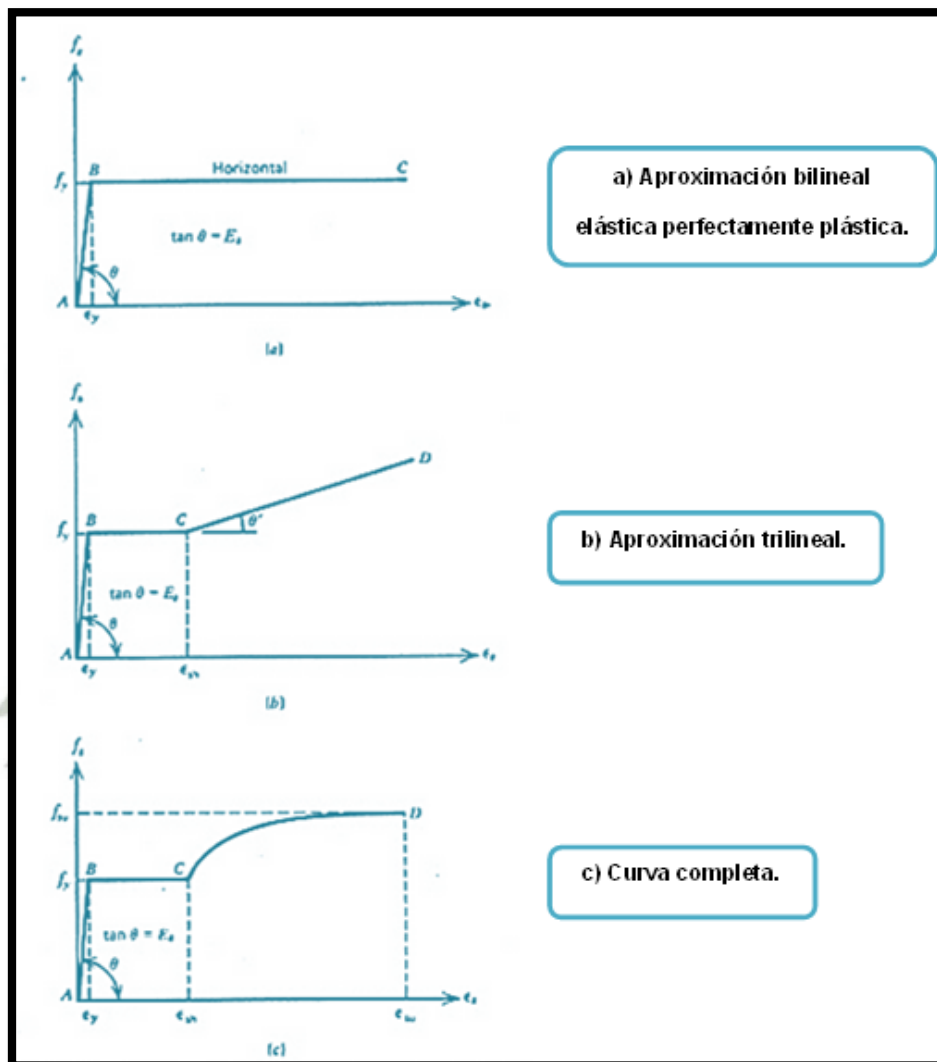


Figura 2.2. Distribución de deformaciones a través de secciones de columna de concreto reforzado para distintas variaciones de carga.

- Se conoce la curva esfuerzo – deformación para el acero:

Significa que están bien definidas las propiedades esfuerzo–deformación del acero.



a) Aproximación bilineal  
elástica perfectamente plástica.

b) Aproximación trilineal.

c) Curva completa.

Figura 2.3 Idealizaciones de la curva esfuerzo-deformación para el acero en tensión o compresión.

Normalmente se supone una curva bilineal de esfuerzo-deformación como se muestra en la figura 2.3; en consecuencia se desprecia el endurecimiento por deformación.

En consecuencia se desprecia el endurecimiento por deformación, ya que en las especificaciones para el acero no se estipula el punto en que comienza el endurecimiento por deformación, por lo que es difícil incluirlo. Normalmente sería insensato confiar en cualquier aumento en la resistencia debida al endurecimiento por deformación debido a que esto estaría asociado con deformaciones muy grandes de los miembros. Cuando un aumento en la resistencia pueda provocar una condición desfavorable es decir que produjera una falla frágil por cortante en vez de una falla dúctil por flexión en el diseño sísmico.

El diseñador puede tomar en cuenta la resistencia adicional debido al endurecimiento por deformación, refiriéndose a la curva real esfuerzo - deformación para el acero.

- **Se puede despreciar la resistencia a tensión del concreto:**

Podemos decir que es casi exacta ya que cualquier esfuerzo a tensión existente en el concreto debajo del eje neutro, es pequeño y tiene un pequeño brazo de palanca.

- Se conoce la curva esfuerzo – deformación para el concreto, que define la magnitud y distribución del esfuerzo a compresión:

Esta suposición es necesaria para evaluar el verdadero comportamiento de la sección. Ya que las deformaciones en el concreto comprimido son proporcionales a la distancia desde el eje neutro, el perfil de las curvas esfuerzo-deformación de la figura 2.4 indica la forma del bloque de esfuerzo a compresión en distintas etapas de carga.

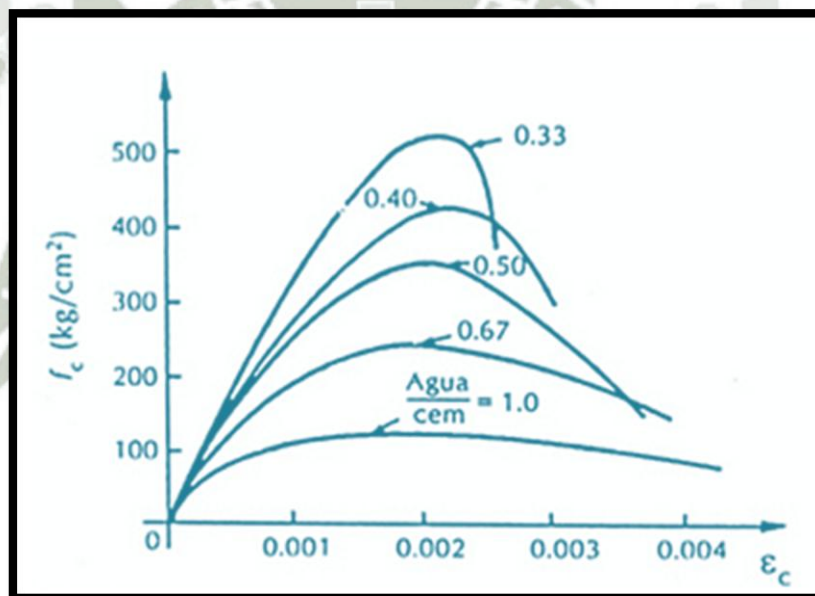


Figura 2.4. Curvas de esfuerzo – deformación para cilindros de concreto cargados en compresión uniaxial.

Las curvas casi son lineales hasta aproximadamente un medio de la resistencia a compresión. El pico de la curva para concreto de alta resistencia es relativamente agudo, pero para concreto de baja resistencia la curva tiene un copete plano. La deformación en el esfuerzo máximo es aproximadamente

0.003. A deformaciones más elevadas, después de alcanzarse el esfuerzo máximo, todavía pueden transmitirse esfuerzos aunque se hacen visibles en el concreto, grietas paralelas a la dirección de la carga.

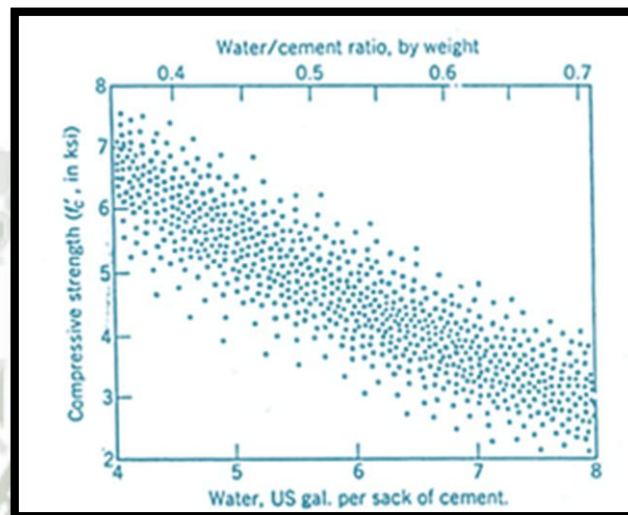


Figura 2.5 Influencia de la relación w/c en la resistencia y forma de la curva esfero-deformación

Se muestra claramente la influencia que tiene la relación w/c en la resistencia a la compresión.

Esta relación w/c influye directamente en la forma de la curva esfuerzo – deformación del concreto. Nótese que a medida que se reduce la relación w/c aumenta la resistencia y la rigidez axial (módulo de elasticidad). Los concreto de baja resistencia muestran deformaciones de rotura ( $\epsilon_{cu}$ ) mayores que los de alta resistencia y la pendiente de la rama descendente de la curva es suave.

Sin embargo en la Figura 2.6 se presenta el aspecto cambiante del bloque de esfuerzos al aumentar el momento flexionante en una sección de viga. La sección alcanza su resistencia a flexión (momento máximos de resistencia) cuando la fuerza total de compresión en el concreto multiplicada por su brazo interno de palanca es  $jd$ , su máximo.

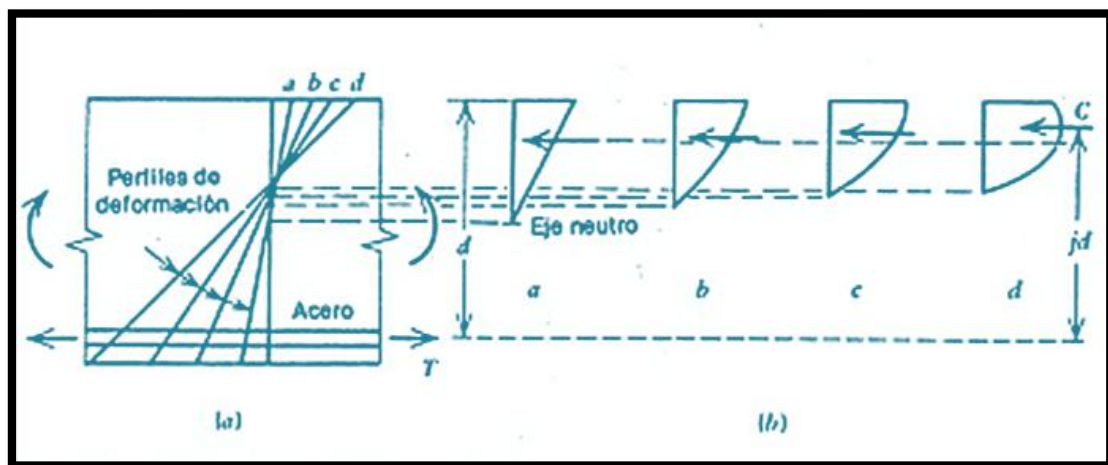


Figura 2.6. Distribución de deformaciones y esfuerzos en el concreto comprimido de una sección al aumentar el momento flexionante hasta la resistencia a flexión. (a) Elemento de viga. (b) Distribuciones del esfuerzo de compresión en el concreto correspondientes a los perfiles a,b,c y d de deformación.

Por lo tanto, Rüschi mediante pruebas determina que el perfil de la curva esfuerzo deformación antes del esfuerzo máximo depende de la resistencia del concreto como se puede apreciar en la figura 2.7. Sin embargo, una aproximación muy usada para el perfil de la curva esfuerzo deformación antes del esfuerzo máximo es una parábola de segundo grado. Por ejemplo en la figura 2.8 se muestra la curva esfuerzo deformación debida a compresión

uniaxial, en que  $f''_c$  es el esfuerzo máximo alcanzado en el concreto. El grado de comportamiento de la rama descendente depende del límite de la deformación útil del concreto supuesto.

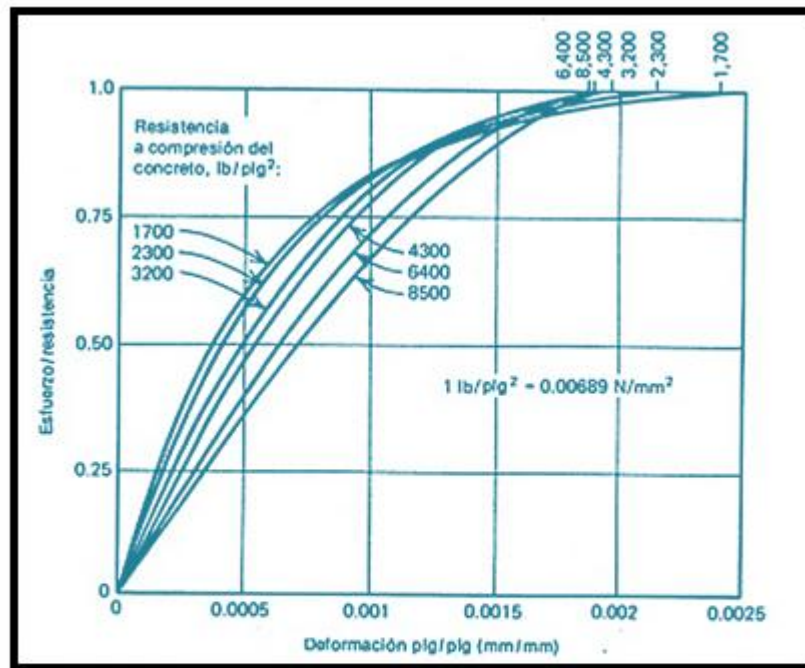


Figura 2.7. Relación entre la relación esfuerzo a resistencia y la deformación para concretos de distintas resistencias.



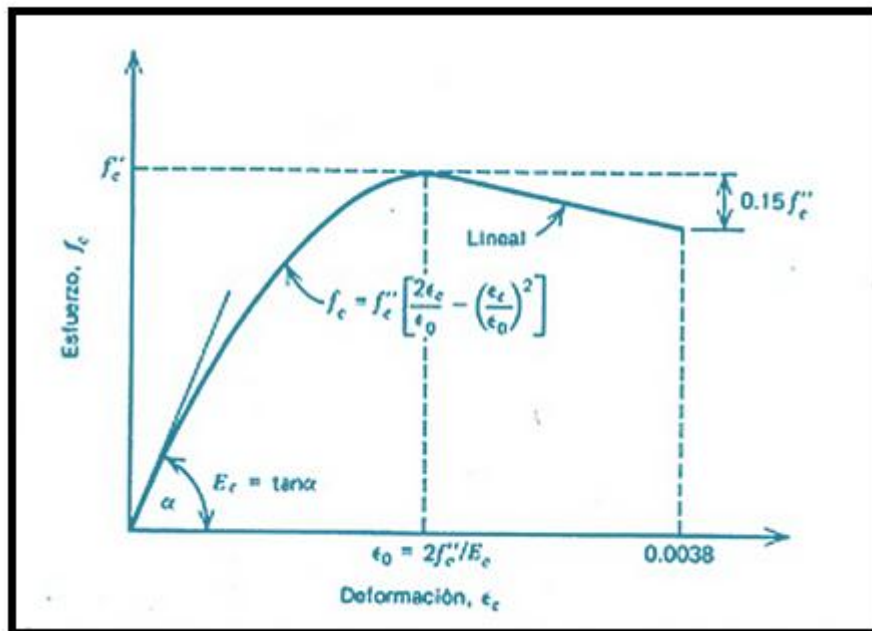


Figura 2.8. Curva idealizada esfuerzo de deformación para el concreto en compresión uniaxial.

En consecuencia cabe por concluir que al implementar el sistema FRP las suposiciones que rige la norma para el cálculo de la resistencia a flexión de una sección reforzada externamente son:

- Los cálculos de diseño se basan en dimensiones reales, la distribución interna real del acero de refuerzo y las propiedades reales del material del elemento existente a ser reforzado.
- Las deformaciones en el refuerzo y en el concreto son directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro, esto es, una sección plana antes de la carga permanece plana después de la carga.

- La deformación a compresión máxima utilizable en el concreto es 0.003.
- La resistencia a tensión del concreto es ignorada.
- El reforzamiento FRP tiene una relación lineal elástica esfuerzo-deformación hasta la falla.
- No existe deslizamiento relativo entre el refuerzo FRP externo y el concreto.

#### 2.1.1.4. DETERMINACIÓN TEÓRICA DE LA RELACIÓN MOMENTO-CURVATURA:

Es posible deducir curvas teóricas momento – curvatura para secciones de concreto reforzado con flexión y carga axial, en base a las suposiciones antes estudiadas.

En las figuras 2.9 (a) y (b) muestran curvas típicas esfuerzos – deformación para el acero y concreto, en que  $f_y$  es la resistencia de fluencia del acero y  $f'_c$  es la resistencia del concreto en un miembro.

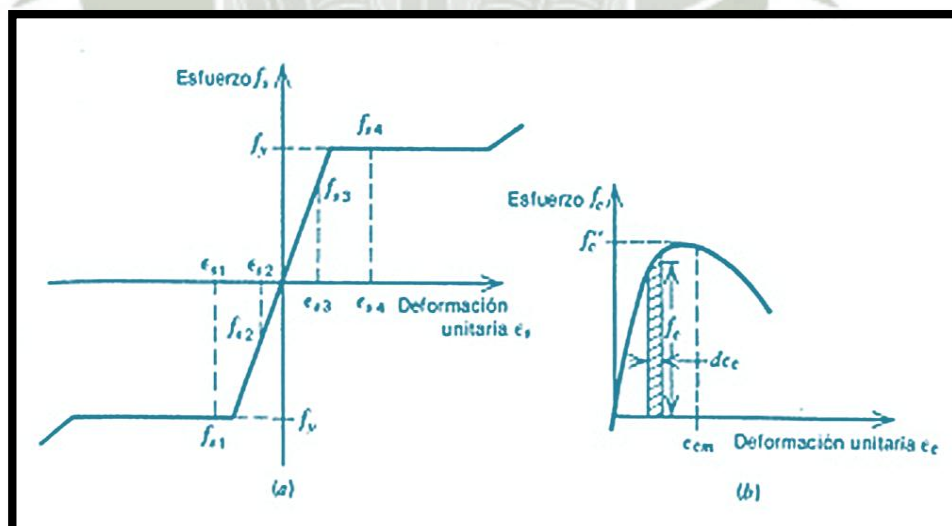


Figura 2.9. (a) Acero en tensión y compresión. (b) Concreto a Compresión

En la figura 2.10 se muestra una sección de concreto reforzado con carga axial y flexión. Para determinada la deformación del concreto en la fibra extrema de compresión  $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3}, \dots$ , por triángulos semejantes del diagrama de deformaciones. Por ejemplo, para la varilla  $i$  a la profundidad  $d_i$

$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cm} \frac{kd - d_i}{kd}$$

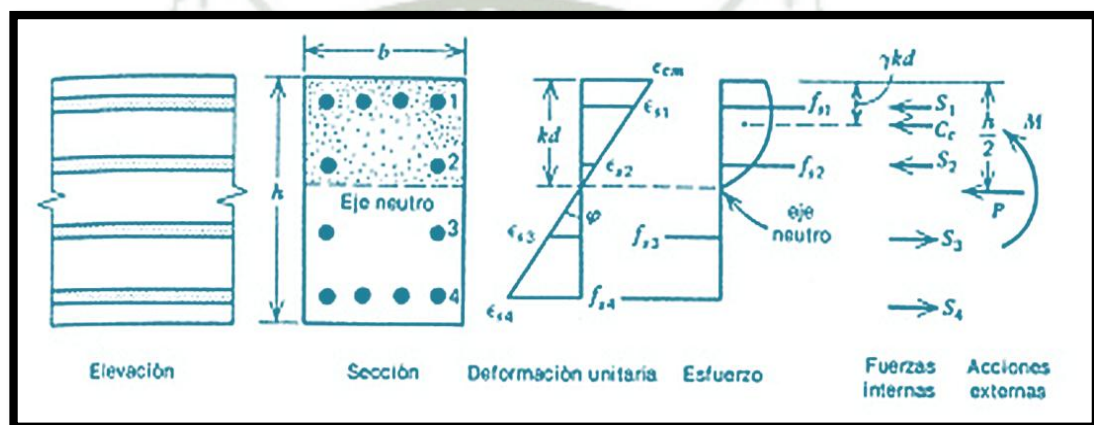


Figura 2.10 Sección con deformación, esfuerzo y distribución de fuerzas.

Entonces podremos encontrar los esfuerzos  $f_1, f_2, f_3, \dots$ , correspondientes a las deformaciones  $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3}, \dots$ , a partir de la curva esfuerzo–deformación para el acero. En seguida se pueden encontrar las fuerzas del acero  $S_1, S_2, S_3, \dots$ , a partir de los esfuerzos del acero y las áreas del mismo. Por ejemplo, para la varilla  $i$ , la ecuación de la fuerza es:

$$S_i = f_i A_{si}$$

Se puede encontrar la distribución del esfuerzo del concreto en la parte comprimida de la sección de la figura 2.10 a partir del diagrama de deformación para el concreto. Para cualquier deformación dada del concreto  $\epsilon_{cm}$  en la fibra extrema a compresión, se puede definir la fuerza de compresión del concreto  $C_c$

$$C_c = \alpha f_c b k d$$

Y su posición en términos de los parámetros  $\alpha$  y  $\gamma$ , en que actúa a la distancia  $\gamma k d$  de la fibra extrema a compresión. Se puede determinar el factor  $\alpha$  del esfuerzo medio y el factor  $\gamma$  del centroide para cualquier deformación  $\epsilon_{cm}$  en la fibra extrema a compresión para secciones rectangulares a partir de la relación esfuerzo – deformación se deduce:

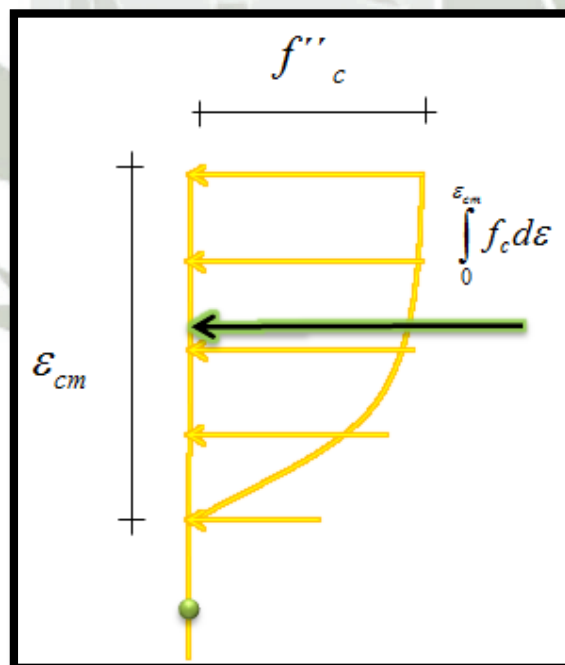


Figura 2.11 Relación esfuerzo-deformación.

$$\therefore \int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c d\varepsilon_c = \alpha f_c'' \varepsilon_{cm}$$

Resolviendo  $\alpha$ :

$$\int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c'' \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right) d\varepsilon_c = \alpha f_c'' \varepsilon_{cm}$$

$$\int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c'' \left( \frac{2\varepsilon_{cm}^2}{2(0.002)} - \left( \frac{\varepsilon_{cm}^3}{3(0.002)^2} \right) \right) d\varepsilon_c = \alpha(\varepsilon_{cm})$$

$$\frac{2\varepsilon_{cm}^2}{2(0.002)} - \left( \frac{\varepsilon_{cm}^3}{3(0.002)^2} \right) = \alpha(\varepsilon_{cm})$$

$$\alpha = 500\varepsilon_{cm} - 83333\varepsilon_{cm}^2$$

El primer momento del origen del área bajo la curva esfuerzo- deformación:

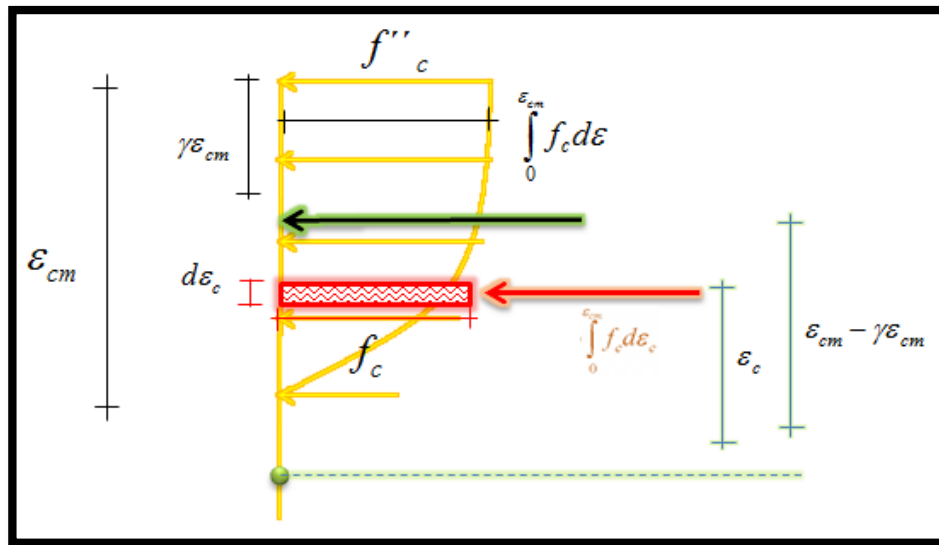


Figura 2.12.

$$\therefore \int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c \varepsilon_c d\varepsilon_c = \int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c (\varepsilon_{cm} - \gamma \varepsilon_{cm}) d\varepsilon_c$$

Resolviendo:

$$\int_0^{\varepsilon_{cm}} f''_c \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_c^2}{\varepsilon_o^2} \right) \varepsilon_c d\varepsilon_c = (1-\gamma) \varepsilon_{cm} \int_0^{\varepsilon_{cm}} f''_c \left( \frac{2\varepsilon_o}{\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_c^2}{\varepsilon_o^2} \right) d\varepsilon_c$$

$$\int_0^{\varepsilon_{cm}} \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_c^2}{\varepsilon_o^2} \right) \varepsilon_c d\varepsilon_c = (1-\gamma) \varepsilon_{cm} \int_0^{\varepsilon_{cm}} \left( \frac{2\varepsilon_o}{\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_c^2}{\varepsilon_o^2} \right) d\varepsilon_c$$

Integrando:

$$\frac{2\varepsilon_{cm}^3}{3\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_{cm}^4}{4\varepsilon_o^2} = (1-\gamma)\varepsilon_{cm} \left( \frac{2\varepsilon_{cm}^2}{2\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_{cm}^3}{3\varepsilon_o^2} \right)$$

$$\frac{2\varepsilon_{cm}^2}{3\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_{cm}^3}{4\varepsilon_o^2} = (1-\gamma) \left( \frac{2\varepsilon_{cm}^2}{2\varepsilon_o} - \frac{\varepsilon_{cm}^3}{3\varepsilon_o^2} \right)$$

$$1-\gamma = \frac{333\varepsilon_{cm}^2 - 62500\varepsilon_{cm}^3}{500\varepsilon_{cm}^2 - 833333\varepsilon_{cm}^3}$$

$$\gamma = 1 - \frac{333 - 62500\varepsilon_{cm}}{500 - 833333\varepsilon_{cm}}$$

$$\gamma = \frac{500 - 833333\varepsilon_{cm} - 333 + 62500\varepsilon_{cm}}{500 - 833333\varepsilon_{cm}}$$

$$\gamma = \frac{167 - 20833\varepsilon_{cm}}{500 - 83333\varepsilon_{cm}}$$

$$\gamma = \frac{0.334 - 41.667\varepsilon_{cm}}{1 - 166.66\varepsilon_{cm}}$$

Los cálculos presentados permiten una determinación más cercana a los esfuerzos del FRP y en el acero cuando el concreto no esté altamente deformado. Este cálculo que es más preciso también facilita la consideración

de deformaciones antes (iniciales) y después del reforzamiento, común cuando el reforzamiento es aplicado a la estructura sin remover a la carga muerta.

El procedimiento de diseño europeo considera que las deformaciones y esfuerzos en el acero suave y en el FRP son magnificados en los sitios de fisuras a flexión. La magnificación está relacionada con desprendimiento local en las fisuras, y mientras es menor con el acero deformado, la diferencia en la deformación puede ser significativa con el FRP adherido. El estado de los planos de deformación mostrado en la figura arriba está basado en deformaciones “media” (promedio de deformaciones en y en la vecindad de las fisuras, en la región de momento máximo), mientras que las fuerzas de tensión para el acero y el FRP usadas para la descripción de las condiciones de equilibrio corresponden a la máxima deformación (en fisuras) . La proporción entre la deformación máxima y la media es descrita por el factor compuesto  $k_L$  para el FRP y  $k_s$  para el acero. Por lo tanto, en el esfuerzo ultimo del FRP:

$$\varepsilon_L = k_L \varepsilon_{Lu}$$

Dónde:

$$k_L = 0.65 - 0.80 \quad (0.7 \text{ recomendado})$$

$$\varepsilon_s = k_s \varepsilon_{s \max}$$

Dónde:

$$k_s = 0.9 - 1.00$$

Ya que el valor para el factor compuesto del acero  $K_s$  es cercano a 1.0, tiene una menor influencia sobre los resultados generales, y es menospreciado en cálculos posteriores.

La resistencia a flexión nominal último es entonces calculada como sigue.

La magnitud de la fuerza a compresión resultante en el concreto ( $C_c$ ) puede ser obtenida del equilibrio:

$$C_c = T_L + T_S$$

Dónde:

$$C_c = \phi_c \alpha b c f'_c$$

$$T_L = \phi_L f_{Lu} A_L = \phi_L \varepsilon_{Lu} E_L A_L$$

$$T_S = \phi_S f_S A_S = \phi_S \varepsilon_S E_S A_S = \phi_S k_L \varepsilon_{Lu} (d - c) / (h - c) E_S A_S$$

#### 2.1.1.5. RESISTENCIA A CORTANTE DE LA SECCIÓN:

Para el sistema de reforzamiento FRP aplicado para el incremento de la capacidad a flexión de un elemento estructural, es importante verificar que

dicho elemento sea capaz de resistir las fuerzas de corte asociadas con el incremento de la resistencia a flexión respectiva.

El equivalente de la cortante de la sección reforzada debe ser comparado contra la resistencia a cortante del diseño requerido para que este elemento tenga una falla dúctil y no una falla frágil o por cortante. Si el elemento requiere aumento de capacidad a la resistencia a cortante, se pueden utilizar láminas FRP orientadas transversalmente a la sección para aumentar la capacidad de resistir las fuerzas a cortante.

#### **2.1.1.6. DEFORMACIÓN DEL CONCRETO EXISTENTE:**

Se refiere básicamente en determinar la deformación inicial  $\varepsilon_{bi}$ , en el substrato adherido, en nuestro caso el concreto, se puede considerar un valor de 0 siempre y cuando todas las cargas de un elemento, incluyendo su propio peso y cualquier fuerza de pre-esfuerzo, sean eliminadas antes de la instalación del refuerzo FRP, pero en la realidad no pasa eso por tal motivo el substrato al cual el FRP es aplicado estará deformado. Dichas deformaciones deben ser consideradas como deformaciones iniciales y deben ser excluidas de la deformación en el FRP (Arduini y Nanni 1997; Nanni et al. 1998). Este nivel puede ser determinado a partir de un análisis elástico del elemento existente, considerando todas las cargas que actúan sobre el elemento, durante la instalación del sistema FRP. Se recomienda que el análisis elástico del elemento existente esté basado en las propiedades de la sección fisurada.

### 2.1.2. RESISTENCIA NOMINAL:

El enfoque de diseño por resistencia requiere que la resistencia a flexión de diseño de un elemento exceda su resistencia de momento requerida como se indica en la siguiente ecuación:

$$\phi M_n \geq M_u$$

La resistencia a flexión de diseño,  $\phi M_n$ , se refiere a la resistencia nominal del elemento multiplicada por un factor de reducción de resistencia, y la resistencia de momento requerida,  $M_u$ , se refiere a los efectos de carga calculados a partir de cargas amplificadas ( $\alpha M_d + \beta M_L + \dots$ ).

Recomendamos que la resistencia del momento requerida de una sección sea calculada utilizando los factores de carga como lo establece la norma ACI 318, como también el uso de factores de reducción de resistencia ( $\phi$ ) con un factor de reducción de resistencia adicional de 0.85 aplicado sólo a la contribución a flexión del refuerzo FRP ( $\Psi = 0.85$ ) el cual explicaremos más adelante.

Este factor de reducción adicional está pensado para tener en cuenta una más baja fiabilidad del refuerzo FRP, comparado con el refuerzo interno en acero.

La capacidad nominal a flexión de un elemento de concreto reforzado con FRP puede ser determinada según la compatibilidad de deformación, el equilibrio interno de las fuerzas y el control sobre el modo de falla.

### 2.1.2.1. MODOS DE FALLA:

La capacidad a flexión de una sección depende del modo de falla que gobierna. Los siguientes modos de falla a flexión deben ser evaluadas para una sección con reforzamiento FRP de acuerdo a la investigación de GangaRao y Vijay en 1998 se establecen las siguientes tipos de falla:

- Aplastamiento del concreto a compresión antes de la fluencia del acero de refuerzo: Se asume que el aplastamiento del concreto ocurre si la deformación a compresión en el concreto alcanza su máxima deformación utilizable ( $\epsilon_c = \epsilon_{cu} = 0.003$ ).
- Fluencia del acero en tensión seguido por la rotura de la lámina FRP. Se asume que la rotura de la lámina FRP ocurre si la deformación en el FRP alcanza su deformación de rotura de diseño ( $\epsilon_f = \epsilon_{fu}$ ) antes de que el concreto alcance su máxima deformación utilizable.
- Fluencia del acero en tensión seguido por el aplastamiento del concreto.
- Delaminación por tensión/cortante del recubrimiento de concreto (delaminación del recubrimiento). La delaminación del recubrimiento o el desprendimiento del FRP puede ocurrir si la fuerza en el FRP no puede ser soportada por el sustrato.
- Desprendimiento del FRP del sustrato de concreto (desprendimiento del FRP).

- Para prevenir el desprendimiento de la lámina FRP debe tenerse en cuenta una limitación en el nivel de deformación desarrollado en la lámina. La siguiente ecuación muestra limitaciones para el coeficiente dependiente de adherencia,  $k_m$ .

FORMULA EN U.S.

$$k_m = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 1,000,000 \text{ lb / plg} \\ \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{500,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 1,000,000 \text{ lb / plg} \end{cases}$$

FORMULA EN S.I.

$$k_m = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 180,000 \text{ N / mm} \\ \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{90,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 180,000 \text{ N / mm} \end{cases}$$

$k_m$ : Coeficiente de adherencia es determinado por las anteriores ecuaciones según el sistema de unidades según como se realice el cálculo, es un factor limitante no mayor a 0.90 que puede ser multiplicado por la deformación a rotura de la lámina FRP para conseguir una limitación en la deformación con el fin de prevenir el desprendimiento.

$n$ : Número de capas usadas, en la ecuación es el número de capas de refuerzo a flexión del sistema FRP colocadas a lo largo del elemento donde está siendo calculado el momento resistente.

Esta expresión reconoce que las láminas con mayor rigidez son más propensas a la delaminación. De esta manera, a medida que la rigidez de la lámina se incrementa, la limitación a la deformación se hace más severa. Para láminas con una rigidez unitaria,  $n E_f t_f$ , mayor a 1.000.000 lb/in. (180,000 N/mm),  $k_m$  limita la fuerza en la lámina en oposición al nivel de deformación. Esto efectivamente fija un límite superior sobre la fuerza total que puede ser desarrollada en una lámina FRP, a pesar del número de capas.

El término  $k_m$  se basa exclusivamente en una tendencia general reconocida y en la experiencia de los ingenieros que practican del diseño de sistemas FRP adheridos. Las investigaciones adicionales relacionadas con los mecanismos de adherencia del refuerzo a flexión FRP pueden dar como resultado métodos más exactos para predecir la delaminación, produciendo el refinamiento de la Ecuación presentada anteriormente.

Los desarrollos adicionales de la ecuación probablemente tendrán en cuenta no solamente la rigidez de la lámina sino también la rigidez del elemento al cual está siendo adherida la lámina. Entre tanto, el comité recomienda el uso de la ecuación para limitar la deformación en el FRP y prevenir la delaminación.

### 2.1.2.2. NIVEL DE DEFORMACIÓN EN EL REFUERZO FRP:

Un punto muy importante es determinar el nivel de deformación en el estado límite último del refuerzo FRP. Ya que los materiales FRP son linealmente elásticos hasta la falla, el nivel de deformación en el FRP es directamente proporcional al nivel de esfuerzo desarrollado en el FRP, por lo tanto nivel de deformación máximo que puede ser alcanzado en el refuerzo FRP será regido por el nivel de deformación FRP desarrollado ya sea en el punto en el cual se produce el aplastamiento del concreto, el punto en el cual se produce la rotura del FRP, o el punto en el cual se produce el desprendimiento del FRP del concreto.

Esta deformación máxima o el nivel de deformación efectiva en el refuerzo FRP en el estado límite último puede ser determinada a partir de la siguiente ecuación.

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \kappa_m \varepsilon_{fu}$$

Dónde:

$\varepsilon_{cu}$  = Máxima deformación del concreto.

$\varepsilon_{cu}$  = Deformación inicial del concreto.

$h$  = Altura del elemento reforzado.

$c$  = Distancia al eje neutro desde la fibra superior

### 2.1.2.3. NIVEL DE ESFUERZO EN EL REFUERZO FRP:

El esfuerzo efectivo del refuerzo FRP es el nivel máximo de esfuerzo que puede ser desarrollado en el refuerzo FRP antes de la falla a flexión de la sección. Este nivel de esfuerzo efectivo puede ser determinado a partir del nivel de deformación en el FRP, asumiendo un comportamiento perfectamente elástico, presentamos la siguiente ecuación:

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

### 2.1.3. DUCTILIDAD:

Es importante resaltar que el uso del refuerzo FRP adherido externamente para el reforzamiento a flexión reducirá la ductilidad del elemento original. En algunos casos, la pérdida de ductilidad es insignificante. No obstante, en secciones que experimentan una pérdida representativa en la ductilidad, se debe prestar especial atención.

Para mantener un grado suficiente de ductilidad, se debe verificar el nivel de deformación del acero en el estado límite último. La ductilidad adecuada es alcanzada si la deformación del acero en el punto de aplastamiento del concreto o de falla del FRP, incluyendo delaminación o desprendimiento, es como mínimo 0.005, de acuerdo con la definición de una sección controlada a tensión como se explica en el Capítulo 2 de ACI 318.

### 2.1.3.1. ACI 318 CAPÍTULO 2 (TENSION CONTROLLED SECTION):

**Sección controlada por tracción (Tension controlled section)** — Sección transversal en la cual la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo en tracción, en el estado de resistencia nominal, es mayor o igual que 0.005.

El enfoque tomado en esta guía sigue la filosofía de ACI 318, donde una sección con baja ductilidad debe ser compensada con una alta reserva de resistencia.

Por lo tanto para tener un mayor margen de seguridad en cuanto a la resistencia se debe de aplicar un factor de reducción de resistencia de 0.65 a las secciones frágiles y 0.90 para secciones dúctiles, por consecuencia la norma plantea la siguiente ecuación para determinar el factor de reducción de resistencia.

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{for } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

Dónde:

$\varepsilon$  s: deformación del acero en el estado límite último.

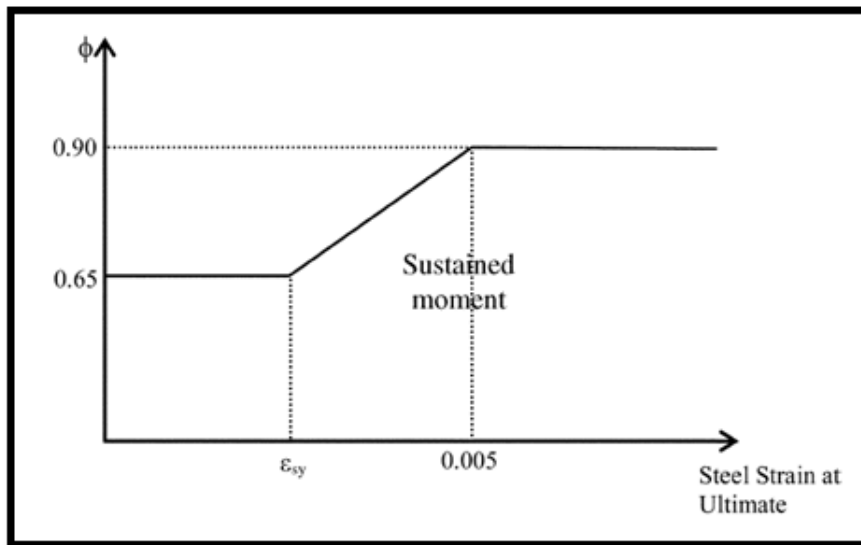


Figura 2.13 Representación gráfica del factor de reducción de resistencia como una función de la ductilidad.

Cabe resaltar que los investigadores Karbhari y Seible en 1997 propusieron ecuaciones para determinar este factor de reducción, con la finalidad de comprender bien el tema estudiaremos su investigación, pero para la elaboración de nuestras fórmulas de aplicación deberemos de regirnos a la normativa vigente.

### 2.1.3.2. FACTOR DE REDUCCIÓN PARCIALES MULTI- $\phi$ (KARBHARI Y SEIBLE; 1997):

Un elemento en concreto armado reforzado con FRP es un compuesto conformado de tres materiales. Los principios de equilibrio y compatibilidad de deformaciones aún aplican, y ecuaciones de resistencia similares pueden ser formuladas. Estas formulaciones pueden estar basadas ya sea en un factor

global  $\phi$  conveniente para todo el compuesto o en un conjunto de factores  $\phi$  aplicados separadamente a cada uno de los materiales que constituyen el compuesto (concreto, acero y FRP).

La falta de experiencia de ingeniería, datos de prueba y desempeño hacen que la determinación y selección de un  $\phi$  global para reforzamiento FRP sea muy difícil de justificar.

Los conceptos actuales que están siendo considerados por ACI 440.2R implican el uso de un método con un único  $\phi$  con factores  $\phi$  ACI tradicionales entre  $\phi = 0.9$  y  $\phi = 0.7$  dependiendo de la ductilidad de la sección para flexión y  $\phi = 0.85$  para corte.

En la actualidad varios tipos de materiales compuestos son usados para la reparación y rehabilitación de las estructuras de concreto: polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP), polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP), y polímeros reforzados con fibras aramidicas (AFRP). Los materiales compuestos vienen en diferentes presentaciones incluyendo, entre otras, platinas, platinas e hilos. Cada uno de estos materiales y sus variaciones se fabrican en forma diferente, poseen distintas propiedades de material y de desempeño, y es instalado en forma única. En consecuencia, la determinación de los factores  $\phi$  que reflejen apropiadamente la variabilidad en el control de

calidad, resistencia, destreza en instalación, etc., debe ser diferente para cada tipo de material.

Karbhari y Seible (1997) señalan que los materiales FRP tienen registros de datos incompletos y deben ser tratados como materiales en desarrollo. Por esta razón sugieren el siguiente procedimiento “conservador” para determinar los factores  $\phi$  asociados con el FRP:

$$\phi \text{ FRP} = \phi \text{ MAT} * \phi \text{ PROC} * [(\phi \text{ CURE} + \phi \text{ LOC})/2] * \phi \text{ DEGR}$$

Donde:

$\phi \text{ MAT}$ : es usado para considerar la desviación y/o nivel de incertidumbre de las propiedades de material a partir de los valores característicos especificados (propiedades derivadas de las pruebas comparadas con aquellas derivadas de la teoría).

$\phi \text{ PROC}$ : es usado para considerar la variación debido al método de procesamiento utilizado (curado en autoclave, enrollado húmedo, pultrudizado, rociado).

$\phi \text{ CURE}$ : es usado para considerar la variación en las propiedades debido al grado de curado alcanzado (curado en autoclave, curado controlado a alta temperatura, curado al ambiente).

$\phi$  **LOC**: es usado para considerar la incertidumbre en el nivel de desempeño debido a la localización del procesamiento (ambiente de fábrica controlado, ambiente del sitio de obra).

$\phi$  **DEGR**: es usado para considerar los cambios en las propiedades del material en el tiempo y debido a efectos ambientales (temperatura de transición del vidrio, ruptura por fluencia plástica).

Los valores propuestos para  $\phi$  MAT,  $\phi$  PROC,  $\phi$  CURE,  $\phi$  LOC,  $\phi$  DEGR varían en el rango de 0.3 a 1. Estos valores son mucho más bajos que los valores  $\phi$  usados comúnmente en el diseño de elementos de concreto con acero de refuerzo.

Ejemplos de lo arriba indicado son:

- Para platinas de fibras de carbono pultrudizadas, el documento de Karbhari y Seible (1997) sugiere lo siguiente:  $\phi$ MAT = 0.97;  $\phi$ PROC = 0.9;  $\phi$  CURE = 0.9;  $\phi$  LOC = 0.9; y  $\phi$  DEGR = 0.85, se obtiene  $\phi$  CFRP = 0.6.
- Para tejido en fibra de carbono saturado en la obra, el documento de Karbhari y Seible (1997) sugiere lo siguiente:  $\phi$  MAT = 0.97;  $\phi$  PROC = 0.75;  $\phi$  CURE = 0.9;  $\phi$  LOC = 0.75 y  $\phi$  DEGR = 0.75, se obtiene  $\phi$  CFRP = 0.45.

- En lo relacionado con la ruptura a fluencia plástica de la fibra de vidrio y la exposición a ambientes altamente alcalinos, se sugiere un factor de degradación  $\phi$  DEGR para los tejidos en fibra de vidrio de 0.4, resultando un factor global  $\phi$  GFRP de 0.25.

#### 2.1.4. CAPACIDAD DE SERVICIO:

Un elemento bajo cargas de servicio (deflexiones, ancho de fisuras) debe satisfacer las provisiones aplicables de ACI 318. El efecto del refuerzo externo FRP sobre la capacidad de servicio puede ser evaluado utilizando el análisis de la sección transformada.

Para prevenir las deformaciones no elásticas de los elementos de concreto reforzado con reforzamiento FRP externo, al refuerzo en acero interno existente se le debe prevenir de la fluencia bajo niveles de carga de servicio. El esfuerzo del acero bajo cargas de servicio debe estar limitado al 80% de la resistencia a fluencia, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$f_{s,s} \leq 0.80 f_y$$

#### 2.1.5. LÍMITES DE ESFUERZO DE ROTURA POR FLUENCIA PLÁSTICA Y DE FATIGA:

Para prevenir la rotura por fluencia plástica del refuerzo FRP bajo esfuerzos sostenidos o falla debido a esfuerzos cíclicos y fatiga del refuerzo FRP, los

niveles de esfuerzo del refuerzo FRP bajo dichas condiciones de esfuerzo deben ser verificados. Debido a que esos niveles de esfuerzo estarán dentro del rango de respuesta elástica del elemento, los esfuerzos pueden ser calculados utilizando un análisis elástico.

#### 2.1.5.1. LÍMITES DE ESFUERZO DE ROTURA POR FLUENCIA PLÁSTICA:

Para prevenir la falla de un elemento reforzado con FRP debido a la rotura por fluencia plástica del FRP, límites de esfuerzo para esas condiciones deben ser impuestos al refuerzo FRP. El nivel de esfuerzo en el refuerzo FRP puede ser calculado utilizando un análisis elástico y un momento aplicado debido a todas las cargas sostenidas que son equivalentes a las cargas muertas y la porción de las cargas vivas.

Las investigaciones han indicado que el vidrio, la aramida y las fibras de carbono pueden sostener 0.30, 0.47, y 0.91 veces sus resistencias últimas, respectivamente, antes de encontrarse con un problema de rotura por fluencia plástica (Yamaguchi et al. 1997). El esfuerzo sostenido debe estar limitado como se expresa por la siguiente ecuación para mantener un margen de seguridad.

$$F_{f,s} \geq f_{f,s}$$

Los valores para asegurar los niveles de esfuerzo sostenido son dados en la siguiente tabla. Estos valores se basan en los límites de esfuerzo para la rotura

por fluencia plástica previamente estudiados con un factor de seguridad impuesto de 1/0.60.

Stress type	Fiber type		
	GFRP	AFRP	CFRP
Sustained plus cyclic stress limit	$0.20f_{fu}$	$0.30f_{fu}$	$0.55f_{fu}$

Tabla 2.2 Límites de esfuerzos para carga de servicio de rotura por fluencia plástica para refuerzo FRP

#### 2.1.5.2. LÍMITES DE ESFUERZO DE FATIGA:

Si el elemento estructural está sujeto a regímenes de fatiga, el nivel de esfuerzo en el FRP debe estar limitado a los valores indicados en la anterior tabla. El nivel de esfuerzo inducido puede ser calculado por un análisis elástico y un momento aplicado debido a todas las cargas sostenidas más el momento máximo inducido en un ciclo de carga de fatiga.



***CAPÍTULO 3***

### **CAPÍTULO N°03: APLICACION DE LA NORMATIVA ACI 440.2R-08 EN UNA SECCIÓN RECTANGULAR REFORZADA A FLEXIÓN**

Con la finalidad de entender los conceptos desarrollados en el Capítulo N°02 “DESARROLLO Y ANALISIS DE LA NORMATIVA ACI 440.2R-08”, consideramos conveniente describir la aplicación de dichos conceptos a una sección rectangular reforzada singular (no pre-esforzada).

#### **3.1. RESISTENCIA ÚLTIMA:**

El procedimiento de cálculo utilizado para llegar a la resistencia última debe satisfacer la compatibilidad de deformación y el equilibrio de fuerzas y debe considerar el modo de falla que gobierna, muchos procedimientos de cálculo pueden derivarse para satisfacer estas condiciones, el procedimiento de cálculo que se presenta el método de prueba y error.

En la siguiente figura mostrada se presenta la deformación interna y la distribución de esfuerzos para una sección rectangular bajo flexión en el estado limite último.

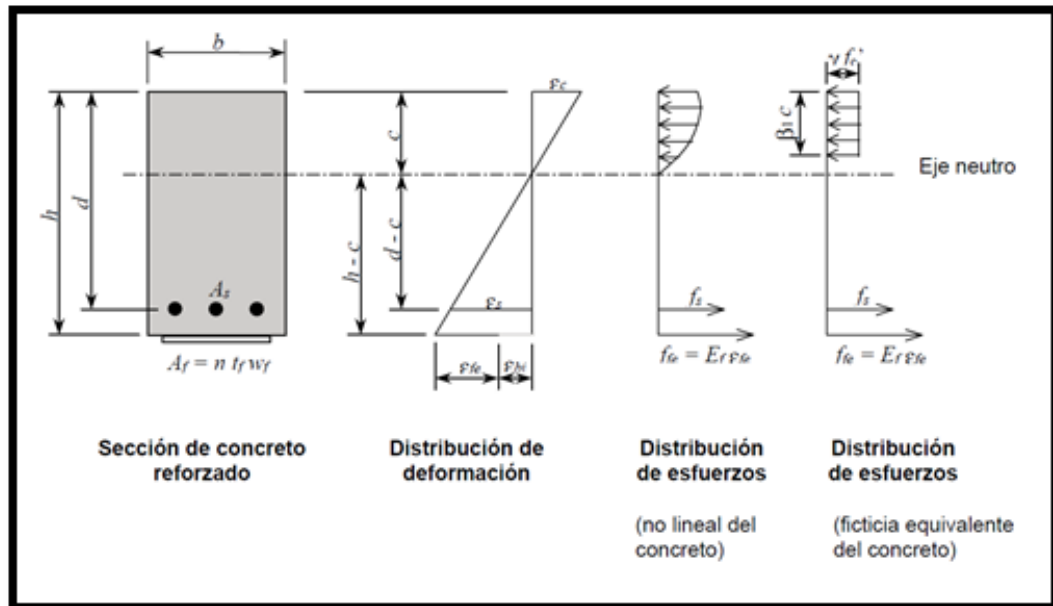


Figura 3.1 Distribución del esfuerzo y de la deformación para una sección rectangular.

El procedimiento del método de prueba y error se aplica para la sección rectangular, que se asumirá una profundidad para el eje neutro,  $c$ ; calculando el **nivel de deformación en cada material** utilizando compatibilidad de deformación; calculando el **nivel de esfuerzo** asociado en cada material; y verificando el equilibrio de fuerzas internas. Si las fuerzas internas resultantes no se equilibran, la profundidad del eje neutro debe ser refinada y el procedimiento repetido.

### 3.1.1. CALCULO DEFORMACION UNITARIA DEL FRP Y ACERO:

Para cualquier profundidad asumida del eje neutro,  $c$ ; el nivel de deformación en el refuerzo FRP puede ser calculado con la siguiente ecuación ya antes estudiado y re-escrita a continuación por conveniencia. Esta ecuación

considera el modo de falla que gobierna para la profundidad del eje neutro asumida.

- Por triángulos semejantes en la distribución de deformación:

$$\frac{\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}}{h - c} = \frac{\varepsilon_{cu}}{c}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{h - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq k_m \varepsilon_{fu}$$

Si el primer término de la ecuación prevalece tiene como consecuencia que el aplastamiento del concreto controla la falla a flexión de la sección. Pero si el segundo término es el que prevalece, la falla en el FRP sea rotura o desprendimiento, controla la falla a flexión de la sección.

Ya determinado el nivel de deformación del FRP, el nivel de deformación del acero no pre-esforzado, se puede calcular basándonos en el concepto de compatibilidad de deformación.

- Por triángulos semejantes en la distribución de deformación:

$$\frac{\varepsilon_s}{d - c} = \frac{\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}}{h - c}$$

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \frac{d - c}{h - c}$$

### 3.1.2. CALCULO DEL ESFUERZO EFECTIVO DEL FRP Y ACERO:

Ya habiendo calculado su nivel de deformación, el nivel de esfuerzo efectivo en el refuerzo FRP puede ser encontrado a partir del nivel de deformación en el FRP, asumiendo un perfecto comportamiento elástico.

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

Al igual también podremos encontrar el esfuerzo en el acero asumiendo un comportamiento elasto-plástico y a la vez debe de cumplir que este valor debe ser inferior o igual al esfuerzo de fluencia del acero.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$$

### 3.1.3. VERIFICACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD:

Con los niveles de deformación y esfuerzos en el refuerzo de FRP y del acero determinados por la profundidad del eje neutro asumida, el equilibrio de las fuerzas internas puede ser verificado con la siguiente ecuación.

- Por equilibrio de fuerzas:

$$\gamma f'_c \beta_1 b c = A_s f_s + A_f f_{fe}$$

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\gamma f'_c \beta_1 b}$$

Los términos  $\gamma$  y  $\beta_1$  en la ecuación mostrada, son parámetros que definen un bloque de esfuerzo rectangular en el concreto equivalente a la distribución real no lineal de esfuerzos. Si el aplastamiento del concreto es el modo de falla que controla (antes o después de la fluencia del acero),  $\gamma$  y  $\beta_1$  pueden ser tomados como los valores asociados con el bloque de esfuerzos de Whitney ( $\gamma = 0.85$  y  $\beta_1$  según la Sección 10.2.7.3 de ACI 318).

**3.1.3.1. ACI 318 CAPITULO 10 – 10.2.7.3 :**

**10.2.7.3** — Para  $f'_c$  entre 17 y 28 MPa, el factor  $\beta_1$  se debe tomar como 0.85. Para  $f'_c$  superior a 28 MPa,  $\beta_1$  se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo,  $\beta_1$  no debe ser menor de 0.65.

**Comentario:**

Para el diseño, el Reglamento permite el uso de una distribución rectangular de esfuerzos de compresión (bloque de esfuerzos) como reemplazo de distribuciones de esfuerzos más exactas. En el bloque rectangular equivalente de esfuerzos, se utiliza un esfuerzo promedio de  $0.85f'_c$  con un rectángulo de altura  $a = \beta_1c$ . Se ha determinado experimentalmente un valor de  $\beta_1$  igual a 0.85 para concreto con  $f'_c \leq 28$  MPa y menos en 0.05 por cada 7 MPa de  $f'_c$  sobre 28 MPa.

En el suplemento de 1976 del ACI 318-71, se adoptó un límite inferior de  $\beta_1$  igual a 0.65 para resistencias del concreto mayores de 55 MPa. Los datos obtenidos en ensayos con concreto de alta resistencia respaldan el uso del bloque de esfuerzos rectangular equivalente para resistencias del concreto que excedan los 55 MPa, con un  $\beta_1$  igual a 0.65.

El uso de la distribución rectangular equivalente de esfuerzos especificada en el ACI 318-71 sin límite inferior para  $\beta_1$ , tuvo como resultado diseños

inconsistentes para concreto de alta resistencia en elementos sometidos a cargas axiales y de flexión combinadas.

La distribución rectangular de esfuerzos no representa la distribución real de esfuerzos en la zona de compresión en condiciones últimas, pero proporciona esencialmente los mismos resultados que los obtenidos en los ensayos.

Pero si la falla de rotura del FRP, delaminación del recubrimiento, o desprendimiento de FRP controla la falla, el bloque de esfuerzo de Whitney arrojará resultados razonablemente exactos. Puede emplearse un bloque de esfuerzo más preciso para el nivel de deformación real alcanzado en el concreto en el estado límite último. Aún más, también pueden ser usados métodos que consideran la distribución no lineal de esfuerzo en el concreto.

La profundidad real del eje neutro  $c$ , se encuentra satisfaciendo simultáneamente las antes descritas (5 ecuaciones) de esta manera se establece equilibrio de fuerza interna y compatibilidad de deformación.

La capacidad nominal a flexión de la sección con refuerzo FRP externo puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación. Un factor de reducción adicional  $\Psi_f$ , es aplicado a la contribución de la resistencia a flexión del refuerzo FRP. Se recomienda un factor  $\Psi_f = 0.85$ .

- Tomando momentos en el punto que actúa la fuerza a compresión:

$$M_n = F_{acero} Brazo - F_{fibra} Brazo$$

$$M_n = A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \Psi_f A_f f_{fe} \left( h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

#### 3.1.4. ESFUERZO EN EL ACERO BAJO CARGAS DE SERVICIO:

El nivel de esfuerzo en el refuerzo de acero puede ser calculado con base en un análisis elástico fisurado de la sección de concreto reforzado, con reforzamiento como es indicado en la siguiente ecuación:

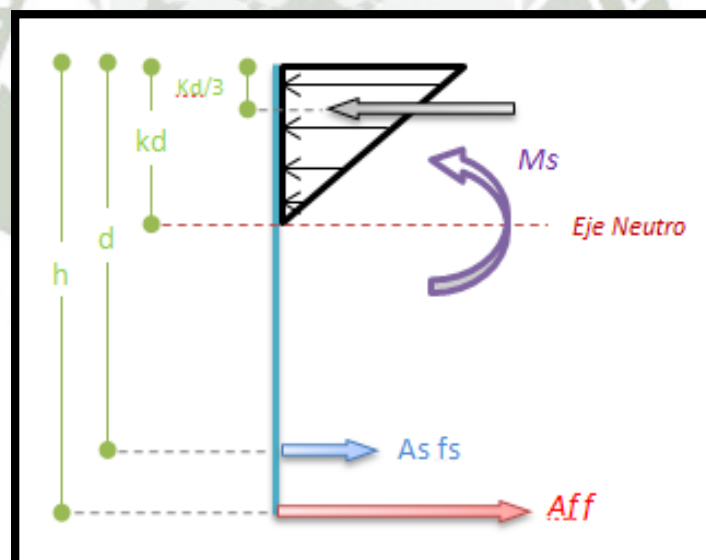


Figura 3.2.

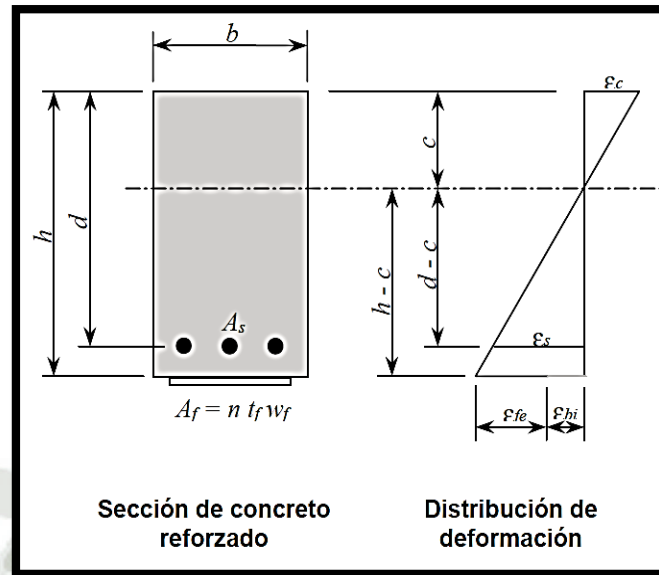


Figura 3.3.

Dónde:

- $f_f = E_f \varepsilon_f$
- $f_s = E_s \varepsilon_s$
- $c = kd$

$$\frac{\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}}{h - k_d} = \frac{\varepsilon_s}{d - k_d}$$

- $\varepsilon_f + \varepsilon_{bi} = \frac{\varepsilon_s}{d - k_d} (h - k_d)$

Tomando momentos en el punto que actúa la fuerza a compresión se debe de considerar un momento de servicio y el momento que proporciona la fibra, deducción de fórmula:

$$A_s f_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) + A_f f_f \left( d - \frac{k_d}{3} \right) = M_s + A_f f_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

$$A_s E_s \varepsilon_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) + A_f E_f (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) = M_s + A_f E_f \varepsilon_{bi} \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

$$A_s E_s \varepsilon_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) + A_f E_f \frac{\varepsilon_s}{d - k_d} (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) = M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

$$A_s E_s \varepsilon_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f \varepsilon_s (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) = \left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d)$$

$$\varepsilon_s \left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) \right] = \left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d)$$

$$f_s \left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) \right] = \left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d) E_s$$

$$f_s = \frac{\left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d) E_s}{\left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) \right]}$$

Cabe resaltar que no debemos de perder nuestro concepto de la teoría de la sección transformada:

$$f_s = \frac{M_s Y}{I_{cr}} n$$

Dónde:

$f_s$ : Esfuerzo del acero bajo cargas de servicio.

$Y$ : Peralte efectivo.

$I_{cr}$ : Momento de inercia de la sección.

$n$ : Relación modular del acero entre el concreto.

En forma similar al concreto reforzado convencional, la profundidad del eje neutro en servicio  **$kd$** , puede ser calculada tomando el primer momento de las áreas de la sección transformada. El área transformada del FRP puede ser obtenida multiplicando el área de FRP por la relación de módulos del FRP y el concreto. Aunque este método ignora la diferencia en el nivel de deformación inicial del FRP, dicho nivel de deformación inicial no influencia en gran medida la profundidad del eje neutro en el rango de respuesta elástica del elemento.

El esfuerzo del acero bajo cargas de servicio calculado en la anterior ecuación debe compararse con los límites descritos en el Capítulo 2 – Capacidad de Servicio.

$$f_s \leq 0.80 f_y$$

### 3.1.5. ESFUERZOS EN EL FRP BAJO CARGAS DE SERVICIO:

El nivel de esfuerzo en el refuerzo FRP puede ser calculado utilizando la siguiente ecuación con Momento de Servicio igual al momento debido a todas las cargas sostenidas (cargas muertas y la porción sostenida de la carga viva). La Ecuación suministra el nivel de esfuerzo en el refuerzo FRP bajo un momento aplicado dentro del rango de respuesta elástica del elemento,  $M_s$ .

$$f_f = \frac{M_s Y}{I_{cr}} \left( \frac{E_f}{E_s} \right) - \varepsilon_{bi} E_f$$

### 3.2. PROCEDIMIENTO DE CALCULO PARA EL SISTEMA FRP PASO A PASO:

- **PASO N°1: CALCULO DE LAS PROPIEDADES DE DISEÑO DEL MATERIAL DEL SISTEMA FRP:**

Se deberá de estimar un factor ambiental, que dependerá de las condiciones de exposición, tipo de fibra y resina que se aplicara en el reforzamiento.

#### **Fórmulas necesarias:**

Esfuerzo de último del FRP:

$$f_{fu} = C_e * f_u$$

Deformación Unitaria ultimo del FRP:

$$\varepsilon_{fu} = \varepsilon_c * \varepsilon_{fu}$$

- **PASO N°2: CÁLCULOS PRELIMINARES DEL CONCRETO Y DEL ACERO:**

Calculo de factor  $\beta_1$  de acuerdo a la norma ACI 318, 10.2.7.3

**Fórmulas necesarias:**

Módulo de Elasticidad del concreto:

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c}$$

$f'_c$  deberá de estar en psi o N/mm<sup>2</sup>

Cuantía del Acero:

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}$$

Relación Modular del Acero- Concreto:

$$n_s = \frac{E_s}{E_c}$$

- **PASO N°3: DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE DEFORMACIÓN EXISTENTE EN LA CARA INFERIOR:**

El estado de deformación existente se calcula asumiendo que la viga esta fisurada y que las únicas cargas que actúan sobre la viga en el momento de la instalación del FRP son cargas muertas.

**Fórmulas necesarias:**

Cálculo del centroide de la sección sin la presencia del FRP, ya que deseamos determinar su deformación al instante que se aplica el sistema FRP.

$$\frac{c^2 b}{2} = A_s (n) (d - c)$$

Cálculo del momento de inercia:

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + A_s (n) (d - c)^2$$

Deformación Unitaria Inicial:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - c)}{I_{cr} E_c}$$

- **PASO N°4: DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DEPENDIENTE DE ADHERENCIA DEL SISTEMA FRP:**

Este coeficiente es adimensional que da un margen de seguridad en la aplicación del sistema FRP.

**Fórmulas necesarias:**

Factor de comparación:

$$n E_f t_f$$

Fórmulas a emplear de acuerdo a nuestro factor:

$$\kappa_m = \begin{cases} \frac{1}{60E_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 1,000,000 \text{ lb / plg} \\ \frac{1}{60E_{fu}} \left( \frac{500,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 1,000,000 \text{ lb / plg} \end{cases} \quad (9-2) \text{ US}$$

$$\kappa_m = \begin{cases} \frac{1}{60E_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 180,000 \text{ N / mm} \\ \frac{1}{60E_{fu}} \left( \frac{90,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 180,000 \text{ N / mm} \end{cases} \quad (9-2) \text{ SI}$$

- **PASO N°5: ESTIMACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO “C”:**

Se aconseja una estimación del 20% de la altura de la sección a reforzar, este valor será reajustado hasta verificar el equilibrio de fuerzas.

**Fórmulas necesarias:**

$$c = 0.20 h$$

- **PASO N°6: DETERMINACIÓN DEL NIVEL EFECTIVO DE DEFORMACIÓN EN EL REFUERZO FRP:**

Para la profundidad del eje neutro seleccionado, el aplastamiento del concreto será el modo de falla por cuanto la primera expresión en esta ecuación controla. Si gobierna la segunda expresión (limitante), entonces la falla del FRP será el modo de falla.

**Fórmulas necesarias:**

Deformación Unitaria del FRP efectivo:

$$\varepsilon_{fe} = 0.003 \frac{h-c}{c} - \varepsilon_{bi} \leq k_m \varepsilon_{fu}$$

- **PASO N°7: CALCULO DE LA DEFORMACIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO EXISTENTE:**

La deformación en el acero de refuerzo puede ser calculada utilizando la teoría de triángulos semejantes.

**Fórmulas necesarias:**

Deformación del acero:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \frac{d-c}{h-c}$$

Verificación:

$$\varepsilon_s > 0.005$$

- **PASO N°8: CALCULO DEL ESFUERZO EN EL ACERO Y FRP EN LA SECCIÓN REFORZADA:**

Se deben de calcular los esfuerzos del acero los cuales no debes de superar los esfuerzos últimos.

**Fórmulas necesarias:**

Esfuerzo en el acero:

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$$

Esfuerzo en el FRP:

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

- **PASO N°9: CALCULO DE LAS FUERZAS RESULTANTES INTERNAS Y VERIFICACIÓN DEL EQUILIBRIO:**

El equilibrio de fuerzas es verificado mediante la comprobación del estimado inicial de c, ya que el aplastamiento del concreto controla la falla, y puede ser tomada como 0.85

**Fórmulas necesarias:**

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_f e}{\gamma f'_c \beta_1 b}$$

- **PASO N°10: VERIFICACIÓN DE C HASTA QUE EL EQUILIBRIO DE LAS FUERZAS SEA SATISFECHO:**

Se tendrán que repetir los pasos 6 al 9 con diferentes valores de c hasta encontrar el verdadero valor de "c"

- **PASO N°11: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO A FLEXIÓN DE LA SECCIÓN REFORZADA:**

El factor de seguridad adicional,  $\Psi = 0.85$ , es aplicado a la construcción del sistema FRP.

**Fórmulas necesarias:**

Factor de reducción de resistencia:

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{for } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

Momento nominal resistente por parte del acero:

$$M_{ns} = A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Momento nominal resistente por parte del FRP:

$$M_{nf} = A_f f_{fc} \left( d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

Momento nominal resistente del sistema FRP:

$$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi_f M_{nf}]$$

- **PASO N°12: VERIFICACIÓN DE LOS ESFUERZOS DE SERVICIOS EN EL REFUERZO DE ACERO Y EN EL FRP:**

Se tendrá que verificar el esfuerzo del acero y del FRP ocasionados por el momento de servicio.

**Fórmulas necesarias:**

Centroide la sección reforzada:

$$\frac{c}{2} \frac{b}{2} = A_s(n)(d-c) + A_f(n_f)(h-c)$$

Momento de Inercia de la sección reforzada:

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + A_s (n_s) (d - c)^2 + A_f (n_f) (h - c)^2$$

Momento de servicio:

$$M = M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

Esfuerzo en el acero en el sistema FRP.:

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}} n$$

$$f_s = \frac{\left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d) E_s}{\left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) \right]}$$

Verificación del esfuerzo del acero:

$$f_s \leq 0.80 f_y$$

Esfuerzo en el FRP:

$$f_f = \left( \frac{M Y}{I_{cr}} n \right) - \varepsilon_{bi} * E_f$$

Verificación del esfuerzo FRP:



**CAPÍTULO 4**

## **CAPÍTULO N°04: PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y ENSAYOS DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES**

### **4.1. INTRODUCCIÓN:**

En el presente capítulo mostraremos el desarrollo físico de la investigación que se viene tratando desde el comienzo de este documento que significa el alma de esta tesis.

La elaboración y desarrollo de los ensayos de esta investigación se han realizado en su mayoría en el “Laboratorio De Concretos De La Universidad Nacional De San Agustín”, debido a que este cuenta con la máquina adecuada para el ensayo de los modelos estructurales a ensayar, también se han realizado ensayos menores en el laboratorio de la empresa “Virgen De Copacabana”, quienes gentilmente nos facilitaron su prensa hidráulica para ensayar los testigos de concreto.

### **4.2. CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES:**

Para poder demostrar la efectividad de la fibra de carbono en el refuerzo de estructuras a flexión, hemos visto por conveniente elaborar 39 modelos estructurales que nos permitan conocer la forma en que pueden fallar ante una fuerza aplicada.

La fabricación de estos modelos estructurales ha requerido de un correcto diseño de mezclas, para lo cual hemos obtenido 3 diseños de mezclas con agregados de la cantera “La Poderosa”, de los cuales uno es para el concreto 140 kgf/cm<sup>2</sup>, otro para el concreto 210 kgf/cm<sup>2</sup> y finalmente para concreto 280 kgf/cm<sup>2</sup>.

Los tres diseños de mezcla fueron elaborados y aprobados por el “Laboratorio De Mecánica De Suelos De La Universidad Nacional De San Agustín”, quienes gentilmente nos proporcionaron dicha información.

**(\*) ANEXO 2: Al final de este documento adjuntaremos los diseños de mezclas con los cuales trabajamos nuestros modelos estructurales.**

Los modelos a elaborar los ordenaremos a continuación en función a sus características y propiedades que por motivos de estudio las veremos variar:

ÍTEM	TIPO DE CONCRETO	REFUERZO DE ACERO	REFUERZO DE CFRP	TIPO DE CFRP	NOMBRE
1	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	1/4"	SIN REF.	-	V280-CV14-SFRP
2	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	1/4"	CON REF.	ANCHA	V280-CV14-CFRP-A
3	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	1/4"	CON REF.	DELGADA	V280-CV14-CFRP-D
4	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	3/8"	SIN REF.	-	V280-CV38-SFRP
5	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	3/8"	CON REF.	DELGADA	V280-CV38-CFRP-D
6	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	3/8"	CON REF.	ANCHA	V280-CV38-CFRP-A
7	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	8 mm	SIN REF.	-	V280-CV8-SFRP
8	f'c=280kg/cm <sup>2</sup>	8 mm	CON REF.	DELGADA	V280-CV8-CFRP-D

9	$f'c=280\text{kg/cm}^2$	8 mm	CON REF.	ANCHA	V280-CV8-CFRP-A
10	$f'c=280\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V280-SF-SFRP
11	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	1/4"	SIN REF.	-	V210-CV14-SFRP
12	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	1/4"	CON REF.	ANCHA	V210-CV14-CFRP-A
13	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	1/4"	CON REF.	DELGADA	V210-CV14-CFRP-D
14	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	3/8"	SIN REF.	-	V210-CV38-SFRP
15	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	3/8"	CON REF.	ANCHA	V210-CV38-CFRP-A
16	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	3/8"	CON REF.	DELGADA	V210-CV38-CFRP-D
17	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	8 mm	SIN REF.	-	V210-CV8-SFRP
18	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	8 mm	CON REF.	ANCHA	V210-CV8-CFRP-A
19	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	8 mm	CON REF.	DELGADA	V210-CV8-CFRP-D
20	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V210-SF-SFRP
21	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	1/4"	SIN REF.	-	V140-CV14-SFRP
22	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	1/4"	CON REF.	ANCHA	V140-CV14-CFRP-A
23	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	1/4"	CON REF.	DELGADA	V140-CV14-CFRP-D
24	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	3/8"	SIN REF.	-	V140-CV38-SFRP
25	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	3/8"	CON REF.	ANCHA	V140-CV38-CFRP-A
26	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	3/8"	CON REF.	DELGADA	V140-CV38-CFRP-D
27	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	8 mm	SIN REF.	-	V140-CV8-SFRP
28	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	8 mm	CON REF.	ANCHA	V140-CV8-CFRP-A
29	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	8 mm	CON REF.	DELGADA	V140-CV8-CFRP-D
30	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V140-SF-SFRP
31	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V140-CF-SFRP
32	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	ANCHA	V140-CF-CFRP-A
33	$f'c=140\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	DELGADA	V140-CF-CFRP-D
34	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V210-CF-SFRP
35	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	ANCHA	V210-CF-CFRP-A
36	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	DELGADA	V210-CF-CFRP-D

37	$f'c=280\text{kg/cm}^2$	-	SIN REF.	-	V280-CF-SFRP
38	$f'c=280\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	ANCHA	V280-CF-CFRP-A
39	$f'c=280\text{kg/cm}^2$	-	CON REF.	DELGADA	V280-CF-CFRP-D

Tabla 4.1 Características y nomenclatura de las vigas.

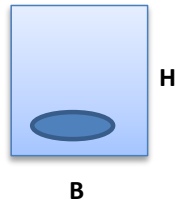
No hay duda que la ciencia básica que rige esta investigación es la matemática y a continuación conoceremos el desarrollo y procedimiento matemático que se llevó a cabo para poder fortalecer científicamente el presente documento.

Primeramente debemos determinar las cuantías que trabajaremos en nuestras modelos de vigas, para eso deberemos elegir su geometría el cual dependerá de las características de la prensa en la cual se ensayaran. Tras un análisis en el laboratorio se optó en construir vigas de sección transversal 15cm x 15cm y un largo de 0.70cm, el cual reduciremos para nuestros cálculos matemáticos a 0.60 cm por que los apoyos están en  $x= 5 \text{ cm}$  y  $55\text{cm}$  (medida relativa al inicio de viga).

Ya que el método es repetitivo elaboraremos un paso a paso del diseño de una viga sin reforzar y una viga reforzada y con respecto a las otras vigas ensayadas mostraremos el cuadro resumen de los cálculos realizados.

Solo se mostrara el análisis de las cuantías y la elección de acero para las vigas a ensayar, también adrede haremos que una viga de cada grupo esté por debajo de la cuantía mínima, la cual reflejara el error en el diagrama de momento – curvatura, mostrando que la carga e agrietamiento es mayor al de resistente.

- Para una viga de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  decimos que:



H = 15 cm  
 B = 15 cm  
 $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$

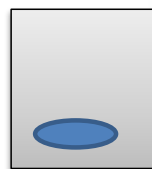
$f'c$	$\rho b$ (%)
175	1.77
210	2.13
280	2.83
350	3.33
420	3.75
450	3.9

$\rho b$ (%)	2.83
--------------	------

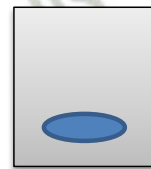
Cuantia balanceada	0.02830000
Cuantia minima	0.00278887
Cuantia maxima	0.02122500

A. Acero	6.37	cm <sup>2</sup>
A. Acero	0.63	cm <sup>2</sup>
A. Acero	4.78	cm <sup>2</sup>

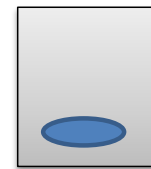
Varilla	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )
1/4	0.635	0.317 cm <sup>2</sup>
8mm	0.8	0.503 cm <sup>2</sup>
3/8	0.953	0.71 cm <sup>2</sup>
1/2	1.27	1.27 cm <sup>2</sup>
5/8	1.588	1.98 cm <sup>2</sup>
1	2.54	5.06 cm <sup>2</sup>



$f'c = 280$   
 Area = 0.71  
 Varilla = 1  $\phi$  3/8"

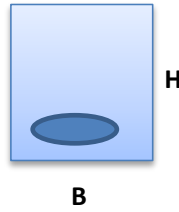


$f'c = 280$   
 Area = 0.503  
 Varilla = 1  $\phi$  8mm



$f'c = 280$   
 Area = 0.317  
 Varilla = 1  $\phi$  1/4"

- Para una viga de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  decimos que:



H = 15 cm  
B = 15 cm

$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$

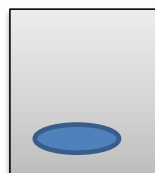
$f'c$	$\rho b (\%)$
175	1.77
210	2.13
280	2.83
350	3.33
420	3.75
450	3.9

$\rho b (\%)$	2.13
---------------	------

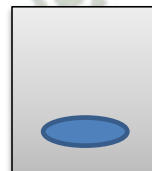
Cuantia balanceada	0.02130000
Cuantia minima	0.00241523
Cuantia maxima	0.01597500

A. Acero	4.79	cm <sup>2</sup>
A. Acero	0.54	cm <sup>2</sup>
A. Acero	3.59	cm <sup>2</sup>

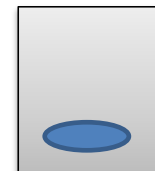
Varilla	Diametro (cm)	Area ( cm <sup>2</sup> )
1/4	0.635	0.317 cm <sup>2</sup>
8mm	0.8	0.503 cm <sup>2</sup>
3/8	0.953	0.71 cm <sup>2</sup>
1/2	1.27	1.27 cm <sup>2</sup>
5/8	1.588	1.98 cm <sup>2</sup>
1	2.54	5.06 cm <sup>2</sup>



$f'c = 210$   
Area = 0.71  
Varilla = 1  $\phi$  3/8"

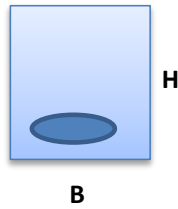


$f'c = 210$   
Area = 0.503  
Varilla = 1  $\phi$  8mm



$f'c = 210$   
Area = 0.317  
Varilla = 1  $\phi$  1/4"

Para una viga de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  decimos que:



H = 15 cm  
 B = 15 cm  
 $f'c = 140 \text{ kgf/cm}^2$   
 $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$

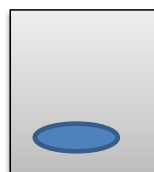
$f'c$	$\rho b (\%)$
140	1.41
175	1.77
210	2.13
280	2.83
350	3.33
420	3.75
450	3.9

$\rho b (\%)$	1.41
---------------	------

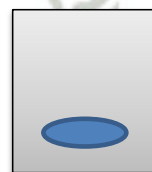
Cuantia balanceada	0.01410000
Cuantia minima	0.00197203
Cuantia maxima	0.01057500

A. Acero	3.17	cm <sup>2</sup>
A. Acero	0.44	cm <sup>2</sup>
A. Acero	2.38	cm <sup>2</sup>

Varilla	Diametro (cm)	Area ( cm <sup>2</sup> )
1/4	0.635	0.317 cm <sup>2</sup>
8mm	0.8	0.503 cm <sup>2</sup>
3/8	0.953	0.71 cm <sup>2</sup>
1/2	1.27	1.27 cm <sup>2</sup>
5/8	1.588	1.98 cm <sup>2</sup>
1	2.54	5.06 cm <sup>2</sup>



$f'c = 140$   
 Area = 0.71  
 Varilla = 1  $\phi$  3/8"



$f'c = 140$   
 Area = 0.503  
 Varilla = 1  $\phi$  8mm



$f'c = 140$   
 Area = 0.317  
 Varilla = 1  $\phi$  1/4"

Para desarrollar la viga paso a paso elegiremos el modelo con  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  y con refuerzo 3/8”:

**Diseño de Viga a ensayar**

\* La primera falla que se debe presentar en el modelo es por flexión .

Carga Maxima Permitada 

40 Ton
--------

**Evaluacion del Mn solo con refuerzo a flexion**

Concreto con  $f'_c =$ 

210 kgf/cm <sup>2</sup>
-------------------------

  
Acero con  $f_y =$ 

4200 kgf/cm <sup>2</sup>
--------------------------

<b>Refuerzo</b>	
N° Varillas	Diametro
1	3/8
Diametro (As) =	0.953 cm
Area de acero (As) =	0.71 cm <sup>2</sup>

**Predimensionamiento**

L = 

0.6 m
-------

  
h = 

0.15 m
--------

  
b = 

0.15 m
--------

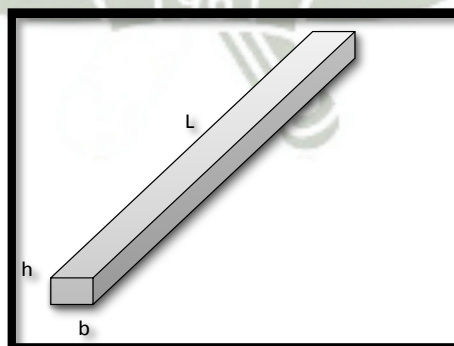


Figura 4.1 Nomenclatura de las

**Recubrimiento del acero a flexion**

e = 0.03 m

**Altura Efectiva (d)**

$$d = h - e$$

d = 0.15 m - 0.03 m

d = 0.120 m

**Momento resistente  $\phi Mn$**

$$\phi Mn = \phi As fy ( d - a/2 )$$

**Calculo de (a)**

$$a = \frac{As fy}{0.85 fc b}$$

a =  $\frac{0.71 \text{ cm}^2 \cdot 4200 \text{ kg/cm}^2}{0.85 \cdot 210 \text{ kg/cm}^2 \cdot 15 \text{ cm}}$

a = 1.114 cm

Reemplazando el valor de " a " :

$$\phi Mn = 0.9 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 \cdot 4200 \text{ kg/cm}^2 \left( 12 \text{ cm} - \frac{1.114 \text{ cm}}{2} \right)$$

$\phi Mn = 30711.09 \text{ kg.cm}$

Para encontrar el momento resistente real se opta no usar el factor de reduccion para flexion  $\phi = 0.9$

Mu = 30711.09 kg.cm

Mu = 0.307 Tn.m

**Calculo de la carga ultima de agrietamiento de acuerdo al Momento Maximo**

$$M = \frac{P L}{6} + \frac{w L^2}{8}$$

P: Fuerza de agrietamiento del elemento

L: Luz de viga

M: Momentoresistente

w= Carga repartida que actua sobre el elemento ( peso propio del elemento)

**Peso Propio del elemento (w) :**

Peso Especif. : 2.4 ton/m<sup>3</sup>

$$w = 2.4 \text{ ton/m}^3 \times 0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$$

$$w = 0.054 \text{ Ton/m}$$

Reemplazando el valor de " w " :

$$0.307 \text{ Ton.m} = \frac{P \times 0.6 \text{ m}}{6} + \frac{0.054 \text{ Ton/m} \times 0.6 \text{ m}^2}{8}$$

$$P = 3.05 \text{ Ton}$$

**Calculo de los esfuerzos del concreto:**

\* El esfuerzo de concreto en la fibra superior teoricamente es la resisitencia maxima a compresion que fue diseñado el concreto

$$f'c \text{ fibra superior} = 210 \text{ kgf/cm}^2$$

\* El esfuerzo del concreto en la fibra inferior no existe ya que falla hace instantes

$$f'c \text{ fibra inferior} = 0 \text{ kgf/cm}^2$$

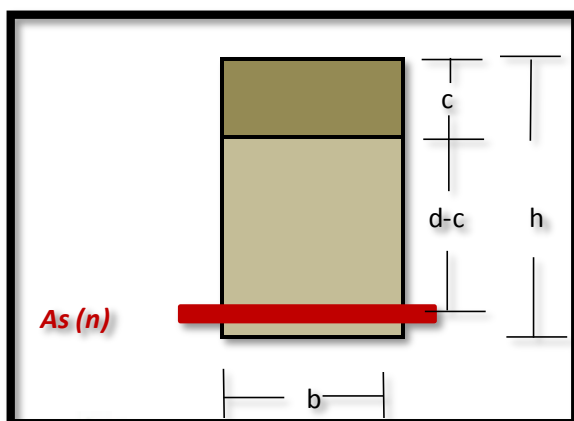


Figura 4.2  
Nomenclatura de  
distancias.



**Calculo de los esfuerzo del acero**

**Determinacion de Y**

$$Y = d - c$$

$$c = a / \beta$$

$$\beta = 0.85$$

$$c = 1.114 \text{ cm} / 0.85$$

$$c = 1.310 \text{ cm}$$

Reemplazando el valor de "c" :

$$Y = 10.690 \text{ cm}$$

**Determinacion de la relacion modular ( n ) :**

$$n = E_s / E_c$$

$$E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 1500 (f_c)^{0.5}$$

$$E_c = 1500 (210 \text{ kgf/cm}^2)^{0.5}$$

$$E_c = 217370.6512 \text{ kgf/cm}^2$$

Reemplazando determinamos "n"

$$n = 09.20$$

**Determinamos el Area de acero transformada**

$$A_s(n)$$

$$A_s(n) = 6.5326206 \text{ cm}^2$$

**Determinación de Icr**

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + A_s (n) (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \text{ cm} \cdot 2.24945703 \text{ cm}^3}{3} + 6.5326206 \text{ cm}^2 (10.690)^2$$

$$I_{cr} = 11.25 \text{ cm}^4 + 746.49 \text{ cm}^4$$

$$I_{cr} = 757.73 \text{ cm}^4$$

**Calculo del esfuerzo del acero**

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}} n$$

$$f_s = \frac{30711.092 \text{ kg.cm} \times 10.690 \text{ cm}}{757.73 \text{ cm}^4} \cdot 09.20$$

$$f_s = 3986.348614 \text{ kgf/cm}^2$$

**Calculo de la curvatura**

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c}$$

Calculo de "εc" :

$$\epsilon_c = \frac{f'_c}{E_c}$$

$$\epsilon_c = \frac{210 \text{ kgf/cm}^2}{217370.6512 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$\epsilon_c = 0.000966092$$

$$\epsilon_c = 0.003$$

De acuerdo al libro de Roberto Aguilar Falconi CEINCI- ESPE da la siguiente recomendación: εu es la deformación máxima útil del hormigón , para análisis se considera εu = 0.003. Este valor es para cuando no se considera la contribución de la armadura transversal, al considerar el confinamiento del hormigón el valor εu es mayor al anotado.

Reemplazando :

$$\phi = 0.00228961 \text{ 1/cm}$$

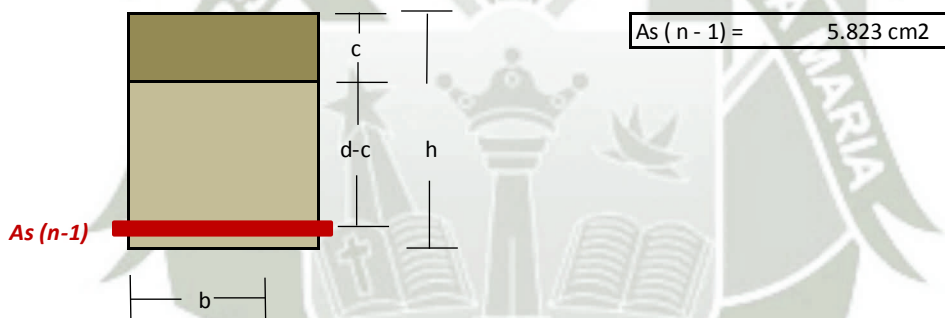
$$\phi = 0.22896127 \text{ 1/m}$$

**Primer agrietamiento**

Sabiendo que :

Concreto con $f'c =$	210 kgf/cm <sup>2</sup>	Area de acero (As) =	0.71 cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>		
$n =$	09.20		

Con respecto a la teoría de diseño a flexión de la sección homogénea o transformada, se procede a calcular la inercia de la sección



**Calculo del eje neutro**

$$\frac{c^2}{2} b = \frac{b (h - c)^2}{2} + As (n - 1) (d - c)$$

Despejando " c " :

$$c = \frac{h^2 b + 2 As (n - 1) d}{2 b h + 2 As (n - 1)}$$

$$c = \frac{3375 \text{ cm}^3}{450.00 \text{ cm}^2} + \frac{139.743 \text{ cm}^3}{11.645 \text{ cm}^2}$$

$$c = 7.614 \text{ cm}$$

**Calculo del momento de inercia**

$$I_{cr} = \frac{b h^3}{12} + b h \left( \frac{h}{2} - c \right)^2 + A_s (n - 1) (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \text{ cm} \cdot 3375 \text{ cm}^3}{12} + 225 \text{ cm}^2 \left( \frac{15 \text{ cm}}{2} - 7.614 \text{ cm} \right)^2 + 5.823 \text{ cm}^2 (4.386 \text{ cm})^2$$

$$I_{cr} = 4218.75 \text{ cm}^4 + 2.90 \text{ cm}^4 + 112.03 \text{ cm}^4$$

**$I_{cr} = 4333.68 \text{ cm}^4$**

**Modulo de elasticidad del concreto**

Nuestro concreto es de  $f'c$  210 kgf/cm<sup>2</sup> entonces

**$E_c = 217370.6512 \text{ kgf/cm}^2$**

**Modulo de elasticidad del acero**

El modulo de elasticidad del acero se puede tomar como:

**$E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$**

**Calculo del esfuerzo del concreto en traccion:**

\* El esfuerzo de concreto en la fibra inferior , es decir el esfuerzo a traccion del concreto esta definida como:

**$f'c = 2 (f'c)^{0.5}$**

**$f'c \text{ f. inferior} = 28.98 \text{ kgf/cm}^2$**

**Calculo del momento para el primer agrietamiento**

**$f_{cr} = \frac{M Y}{I_{cr}}$**

$Y = h - c$   
 $Y = 7.39 \text{ cm}$

$28.98 \text{ kgf/cm}^2 = \frac{M \cdot 7.39 \text{ cm}}{4333.68 \text{ cm}^4}$

$M = 17004.311 \text{ kgf.cm}$

**$M_{agriet.} = 0.170 \text{ ton.m}$**

**Calculo de la carga ultima de agrietamiento de acuerdo al Momento Agrietamiento**

$$M = \frac{P L}{6} + \frac{w L^2}{8}$$

$$w = 0.054 \text{ Ton/m}$$

Reemplazando el valor de " w " :

$$0.170 \text{ Ton.m} = \frac{P \times 0.6 \text{ m}}{6} + \frac{0.054 \text{ Ton/m} \times 0.6 \text{ m}^2}{8}$$

$$P_{\text{agriet.}} = 1.68 \text{ Ton}$$

**Calculo del esfuerzo del concreto a compresion**

\* El esfuerzo de concreto en la fibra superior deriva según el momento de agrietamiento como se define en la siguiente formula

$$f_{cr} = \frac{M Y}{I_{cr}} \quad \begin{array}{l} Y = c \\ Y = 7.61 \text{ cm} \end{array}$$

$$f_{cr} = \frac{17004.311 \text{ kgf.cm}}{4333.68 \text{ cm}^4} \times 7.61 \text{ cm}$$

$$f'c \text{ f. superior} = 29.874 \text{ kgf/cm}^2$$

**Calculo del esfuerzo del acero**

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}} \times n \quad \begin{array}{l} Y = d - c \\ Y = 4.39 \text{ cm} \end{array}$$

$$f_s = \frac{17004.311 \text{ kg.cm}}{4333.68 \text{ cm}^4} \times 4.386 \text{ cm} \times 09.20$$

$$f_s = 158.3607563 \text{ kgf/cm}^2$$

**Calculo de la curvatura**

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c}$$

Calculo de "εc" :

$$\epsilon_c = \frac{f'_c}{E_c}$$

$$\epsilon_c = \frac{29.874 \text{ kgf/cm}^2}{217370.6512 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$\epsilon_c = 0.000137431$$

Reemplazando :

$$\phi = 0.00001805 \text{ 1/cm}$$

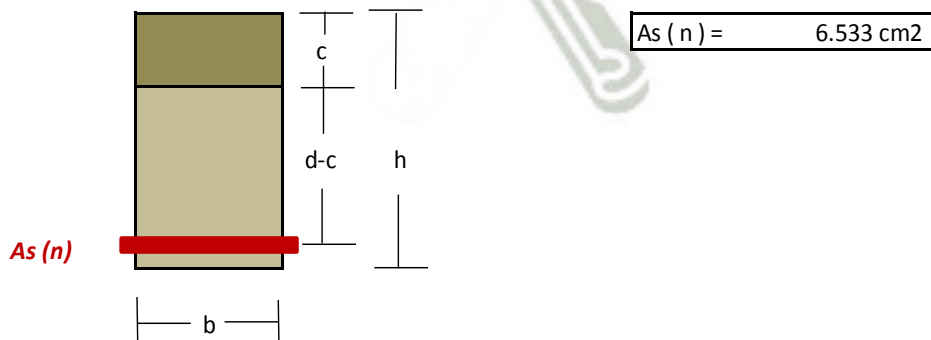
$$\phi = 0.00180510 \text{ 1/m}$$

**Punto en el que el acero entra a fluencia**

Sabiendo que :

Concreto con $f'_c =$	210 kgf/cm <sup>2</sup>	Area de acero ( $A_s$ ) =	0.71 cm <sup>2</sup>
$A_s (n - 1) =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>		
$n =$	09.20		

Con respecto a la teoria de diseño a flexion de la seccion homogenea o transformada, se procede a calcular la inercia de la seccion



**Calculo del eje neutro**

$$\frac{c^2}{2} = As(n)(d-c)$$

Valores para la solución de la ecuación cuadrática :

a= b/2	a= 7.5 cm
b= As ( n )	b= 6.533 cm <sup>2</sup>
c= (-1) As ( n ) d	c= -78.391 cm

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = "c"$$

Despejando " c " :

$$c = \frac{-6.53 + 48.93}{15.00}$$

$$c = 2.827 \text{ cm}$$

**Calculo del momento de inercia**

$$I_{cr} = \frac{b^3 c}{3} + As(n) (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \text{ cm}^3 \cdot 22.585 \text{ cm}^3}{3} + 6.533 \text{ cm}^2 (9.173 \text{ cm})^2$$

$$I_{cr} = 112.93 \text{ cm}^4 + 549.72 \text{ cm}^4$$

$$I_{cr} = 662.65 \text{ cm}^4$$

**Modulo de elasticidad del concreto**

Nuestro concreto es de  $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$  entonces

$$E_c = 217370.6512 \text{ kgf/cm}^2$$

**Modulo de elasticidad del acero**

El modulo de elasticidad del acero se puede tomar como:

$$E_s = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$$

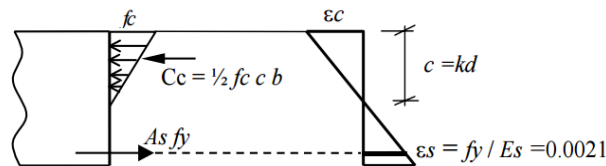
**Calculo del esfuerzo del concreto en traccion:**

\* El esfuerzo de concreto en la fibra inferior, es decir el esfuerzo a traccion del concreto es cero por que este fallo hace instantes

$$f'c \text{ f. inferior} = 0.00 \text{ kgf/cm}^2$$

**Calculo del momento para que el acero entra a fluencia**

- Cálculo de  $M_y, \phi_y$ : Asumiremos que el concreto se comporta linealmente hasta el inicio de la fluencia del acero. Para la condición de inicio de fluencia del acero la sección de concreto normalmente se encuentra completamente agrietada.



$$M = A_s f_y \left( d - \frac{c}{3} \right)$$

$$M = 0.9 \text{ cm}^2 \times 4200 \text{ kgf/cm}^2 \times 11.06 \text{ cm}$$

$$M = 29676.85 \text{ kgf.cm}$$

$$M \text{ fluencia} = 0.30 \text{ Ton.m}$$

**Calculo de la carga ultima para la fluencia**

$$M = \frac{P L}{6} + \frac{w L^2}{8}$$

$$w = 0.054 \text{ Ton/m}$$

Reemplazando el valor de " w " :

$$0.297 \text{ Ton.m} = \frac{P \times 0.6 \text{ m}}{6} + \frac{0.054 \text{ Ton/m} \times 0.6 \text{ m}^2}{8}$$

$$P \text{ agriet.} = 2.94 \text{ Ton}$$

**Calculo del esfuerzo del concreto a compresion**

\* El esfuerzo de concreto en la fibra superior deriva según el momento de agrietamiento como se define en la siguiente formula

$$f_{cr} = \frac{M Y}{I_{cr}} \quad \begin{array}{l} Y = c \\ Y = 2.83 \text{ cm} \end{array}$$

$$f_{cr} = \frac{29676.854 \text{ kgf.cm} \cdot 2.83 \text{ cm}}{662.65 \text{ cm}^4}$$

$$f'c = 126.594 \text{ kgf / cm}^2$$

**Calculo del esfuerzo del acero**

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}} \cdot n \quad \begin{array}{l} Y = d-c \\ Y = 9.17 \text{ cm} \end{array}$$

$$f_s = \frac{29676.854 \text{ kg.cm} \cdot 9.173 \text{ cm} \cdot 09.20}{662.65 \text{ cm}^4}$$

$$f_s = 3780 \text{ kgf/cm}^2$$

**Calculo de la curvatura**

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{c}$$

Calculo de "εc" :

$$\epsilon_c = \frac{f'c}{E_c}$$

$$\epsilon_c = \frac{126.594 \text{ kgf/cm}^2}{217370.6512 \text{ kgf/cm}^2}$$

$$\epsilon_c = 0.000582387$$

Reemplazando :

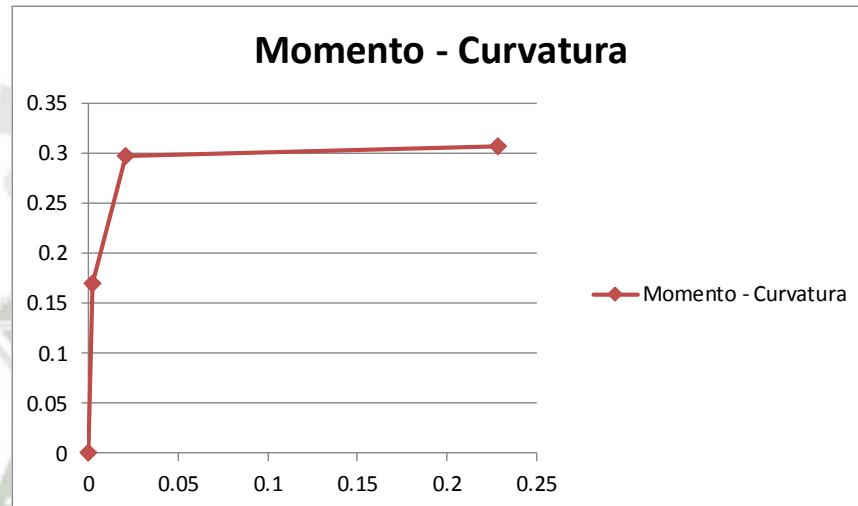
$$\phi = 0.00020603 \text{ 1/cm}$$

$$\phi = 0.02060322 \text{ 1/m}$$

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

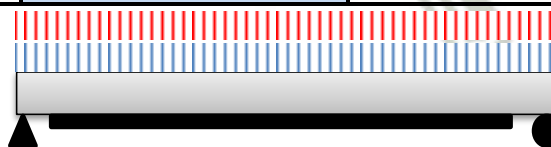
		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.676	0.170	0.00180510
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.943	0.297	0.02060322
Carga Ultima	Punto C	3.047	0.307	0.22896127



Para poder comparar con la prensa se optó cambiar de unidades y poder predecir su comportamiento más fácilmente.

Refuerzo con Fibra de carbono de 7 cm  $\approx$  2.955 in

P diseñada	3.05 tn	6.71 klb
P prevista	5.9 tn	12.98 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb



**Cargas Existentes**

WL=	0	k/ft
WD=	0.03564	k/ft

b=	5.91	in
h=	5.91	in
L=	2	ft
d=	4.72	in

f'c=	3000	psi
fy=	60	ksi

**Cargas Previstas**

WL=	6.49	k/ft
WD=	0.03564	k/ft

	Carga no mayorada WL + WD	Carga limite sin reforzamiento 1.2WD + 0.85 WL	Carga Mayoradas 1.4WD+1.7WL	Momento de carga muerta MD	Momento de carga viva ML	Momento de servicio MS	Momento Limite sin Reforzamiento 1.2MD+0.85 ML	Momento Mayorada 1.4MD+1.7ML
<b>Cargas Existentes</b>	0.03564	n/a	0.049896	0.01782	0	0.01782	n/a	0.024948
	k/ft	n/a	k/ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft
<b>Cargas Previstas</b>	6.52564	5.559268	11.082896	0.01782	3.245	3.26282	2.779634	5.541448
	k/ft	k/ft	k/ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

Refuerzos	
1/4"	0.049 in <sup>2</sup>
8mm	0.078 in <sup>2</sup>
3/8"	0.11 in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura ε f:	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**PROCEDIMIENTO DE REFORZAMIENTO:**

**1 Cálculo de las propiedades de diseño del material del sistema FRP**

Factor de reducción ambiental:

0.85

$$f_{fu} = C_e * f_u$$

$$f_{fu} = 0.85 \times 620$$

$$f_{fu} = 527 \text{ ksi}$$

$$\epsilon_{fu} = C_e * \epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{fu} = 0.85 \times 0.0155$$

$$\epsilon_{fu} = 0.013175 \text{ in/in}$$

Condición de exposición	Tipo de fibra y resina	Factor de reducción ambiental, $C_E$
Exposición interior	Carbono/epóxico	0.95
	Vidrio/epóxico	0.75
	Aramida/epóxico	0.85
Exposición exterior (puentes, muelles, y garajes de parqueo sin cerramiento)	Carbono/epóxico	0.85
	Vidrio/epóxico	0.65
	Aramida/epóxico	0.75
Ambientes agresivos (plantas químicas y plantas para el tratamiento de agua residual)	Carbono/epóxico	0.85
	Vidrio/epóxico	0.50
	Aramida/epóxico	0.70

Tabla 4.2 Factores de reducción ambiental para diferentes sistemas FRP y condiciones de exposición.

**2 Calculos Preliminares del Concreto y del Acero**

**2.1 Calculo de las propiedades de diseño del concreto**

$$\beta = 0.85$$

$$E_c = 57000\sqrt{f'c}$$

$$E_c = 3122018.58 \text{ psi}$$

$$E_c = 3122.01858 \text{ ksi}$$

**2.2 Calculo de las propiedades de diseño del Acero existente**

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd}$$

$$n_s = \frac{E_s}{E_c}$$

$$A_s = 0.11 \text{ in}^2$$

$$\rho_s = 0.0039$$

$$E_s = 29000 \text{ ksi}$$

$$n_s = 9.289$$

**2.3 Calculo de las propiedades de diseño del FRP Adherido externamente**

$$A_f = n * t_f * w_f$$

$$A_f = 1 \times 0.01 \text{ in/capa} \times 2.955 \text{ in}$$

$$A_f = 0.0393015 \text{ in}^2$$

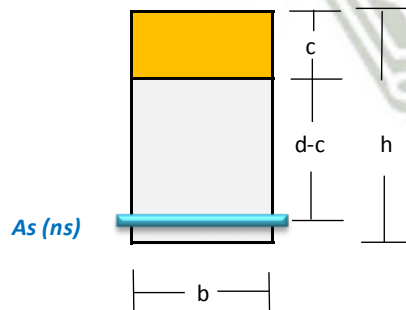
$$n_f = 11.179$$

**3 Determinacion del estado de deformacion existente en la cara Inferior:**

\* El estado de deformacion existente se calcula asumiendo que la viga esta fisurada y que las unicas cargas que actuan sobre la viga en el momento de la instalacion del FRP son cargas muertas.

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - c)}{I_{cr}E_c}$$

**3.1 Calculo de centroide :**



$$A_s (n_s) = 1.02 \text{ in}^2$$

$$\frac{c^2 - b^2}{2} = As(n)(d-c)$$

Valores para la solución de la ecuación cuadrática :

$$\begin{aligned} a &= b/2 & a &= 2.96 \\ b &= As(n) & b &= 1.02 \\ c &= (-1)As(n)d & c &= -4.82 \end{aligned}$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

donde:  $x = "c"$

Despejando "c" :

$$c = \frac{-1.02 \pm 7.62}{5.91}$$

$$c = 1.12 \text{ in}$$

### 3.2 Cálculo del momento de inercia :

$$I_{cr} = \frac{b^3 c^3}{3} + As(n) (d - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{5.91 \text{ in} \times 1.391 \text{ in}^3}{3} + 1.022 \text{ in}^2 (3.604 \text{ in})^2$$

$$I_{cr} = 2.74 \text{ in}^4 + 13.27 \text{ in}^4$$

$$I_{cr} = 16.0098046 \text{ in}^4$$

**3.3 Cálculo del Momento Actuante en el instante de colocación de la FRP:**

$$MDL = 0.01782 \text{ k.ft}$$

Conversión:

$MDL = 0.21384 \text{ k.in}$
------------------------------

**3.4 Cálculo de la deformación :**

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - c)}{I_{cr}E_c}$$

$$\epsilon_{bi} = \frac{0.21384 \text{ k.in} \times 4.79 \text{ in}}{16.0098 \text{ in}^4 \times 3122.019 \text{ ksi}}$$

$\epsilon_{bi} = 2.0509E-05$
------------------------------

**4 Determinación del coeficiente dependiente de adherencia del sistema FRP**

$$\kappa_m = \begin{cases} \frac{1}{60\epsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 1,000,000 \text{ lb / plg} \\ \frac{1}{60\epsilon_{fu}} \left( \frac{500,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 1,000,000 \text{ lb / plg} \end{cases} \quad (9-2) \text{ US}$$

$$\kappa_m = \begin{cases} \frac{1}{60\epsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 180,000 \text{ N / mm} \\ \frac{1}{60\epsilon_{fu}} \left( \frac{90,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 180,000 \text{ N / mm} \end{cases} \quad (9-2) \text{ SI}$$

**4.1 Comparacion del  $n E_f t_f$  :**

$n E_f t_f$

$$\frac{n E_f t_f}{60 \epsilon_{fu}} = \frac{1}{464170} \times 34900000 \text{ psi} \times 0.0133 \text{ in}$$

Use la formula 1

$\frac{1}{60 \epsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{n E_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90$	<b>Formula 1</b>
$\frac{1}{60 \epsilon_{fu}} \left( \frac{500,000}{n E_f t_f} \right) \leq 0.90$	<b>Formula 2</b>

$$Km 1 = \frac{1}{0.7905} ( 0.767915 )$$

$$Km 1 = 0.97142948$$

$$Km 2 = \frac{1}{0.7905} ( 1.07719155 )$$

$$Km 2 = 1.36267115$$

Coefficiente a tomara :  $Km = 0.90$

**5 Estimacion de la profundidad del eje neutro " c "**

\* Se aconseja una estimación del 20% de la altura de la sección a reforzar, este valor será reajustado hasta verificar el equilibrio de fuerzas.

$c = 0.20 h$

$$c = 0.2 \times 4.72 \text{ in} =$$

$$c = 1.48 \text{ in}$$

**0.944 in** \*Este valor es recomendable para la primera iteracion

**CORRECTO**

"c " calculado  $c = 1.48 \text{ in}$

**6 Determinación del nivel efectivo de deformación en el refuerzo FRP**

\* Para la profundidad del eje neutro seleccionado, el aplastamiento del concreto será el modo de falla por cuanto la primera expresión en esta ecuación controla. Si gobierna la segunda expresión (limitante), entonces la falla del FRP será el modo de falla.

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \frac{h-c}{c} - \epsilon_{bi} \leq k_m \epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \frac{4.44}{1.48} - 2.0509E-05 \leq k_m \epsilon_{fu} = 0.9 \times 0.013175$$

$$\epsilon_{fe} = \underline{0.0090} \leq k_m \epsilon_{fu} = \underline{0.0119}$$

$$\epsilon_{fe} = 0.0090$$

**7 Cálculo de la deformación en el acero de refuerzo existente**

\* La deformación en el acero de refuerzo puede ser calculada utilizando la teoría de triángulos semejantes

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \frac{d-c}{h-c}$$

$$\epsilon_s = (0.0090 + 2.0509E-05) \frac{3.25}{4.44}$$

$$\epsilon_s = 0.0066$$

deformación debe de ser como mínimo 0.005

Chequeo

$$\epsilon_s > 0.005$$

**CORRECTO**

**8 Cálculo del esfuerzo en el acero y FRP en la sección reforzada**

**8.1 Resistencia en el acero:**

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y$$

$$f_s = 29000 \text{ ksi} \times 0.0066$$

$$f_s = \underline{191 \text{ ksi}} \leq \underline{60 \text{ ksi}}$$

$$f_s = 60 \text{ ksi}$$

**8.2 Resistencia en el FRP:**

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}$$

$$f_{fe} = 34900 \text{ ksi} \times 0.0090$$

$$f_{fe} = \underline{314.09 \text{ ksi}}$$

**9 Calculo de las fuerzas resultantes internas y verificación del equilibrio**

\* El equilibrio de fuerzas es verificado mediante la comprobación del estimado inicial de  $c$ , ya que el aplastamiento del concreto controla la falla,  $\gamma$  puede ser tomada como 0.85)

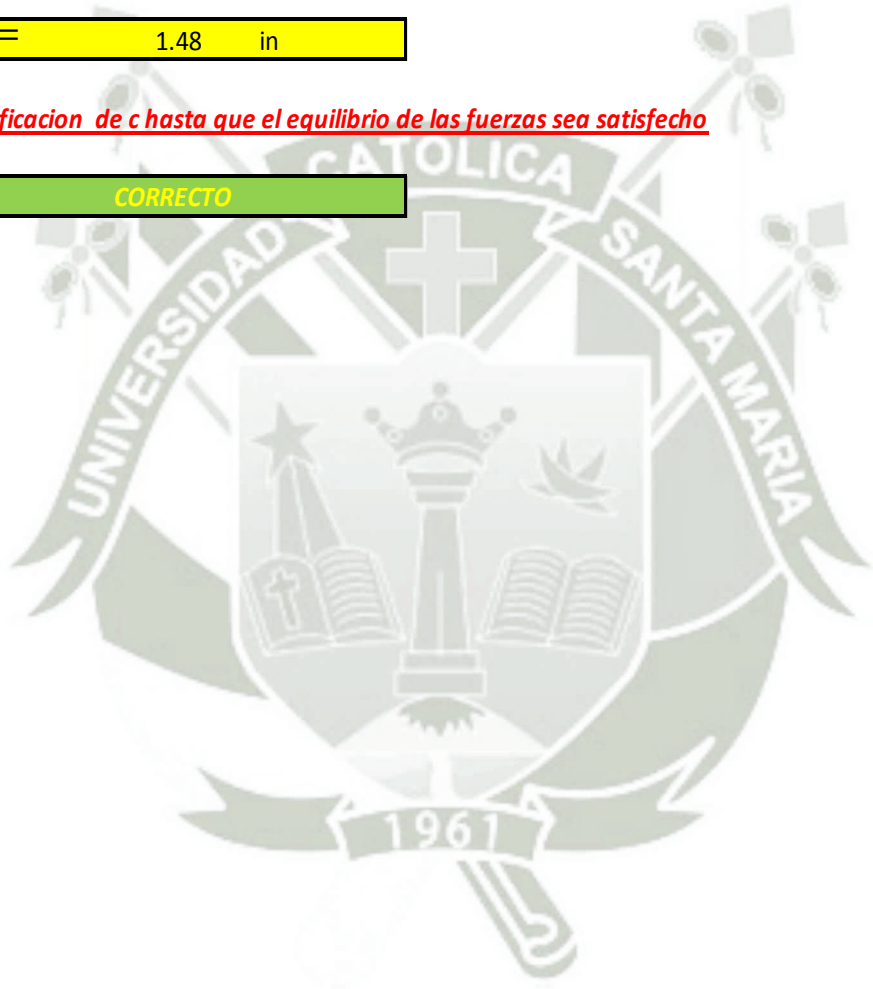
$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\gamma f'_c \beta_1 b} \quad \gamma = 0.85$$

$$c = \frac{0.11 \text{ in}^2 \times 60 \text{ ksi} + 0.0393 \text{ in}^2 \times 314.1 \text{ ksi}}{0.85 \times 3 \text{ ksi} \times 0.85 \times 5.91 \text{ in}}$$

$$c = 1.48 \text{ in}$$

**10 Verificación de  $c$  hasta que el equilibrio de las fuerzas sea satisfecho**

CORRECTO



**11 Calculo de la resistencia de diseño a flexión de la sección reforzada**

\* El factor de seguridad adicional,  $\Psi = 0.85$ , es aplicado a la construcción del sistema FRP.

$\Psi = 0.85$

$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi_f M_{nf}]$

**11.1 Factor de Reduccion de Resistencia:**

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \epsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\epsilon_t - \epsilon_{sy})}{0.005 - \epsilon_{sy}} & \text{for } \epsilon_{sy} < \epsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \epsilon_t \leq \epsilon_{sy} \end{cases}$$

$\epsilon_s = 0.0066$

Condiciones	Primera	Segunda	Tercera
$\phi$	0.9	1.04	0.65

$\phi = 0.90$

**11.2 Calculo del Momento Nominal Resistente por parte del Acero:**

$M_{ns} = A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c}{2})$

$M_{ns} = 0.11 \quad 60 \quad ( \quad 4.72 \quad - \quad \frac{1.26}{2} \quad )$

$M_{ns} = 27.00 \quad \text{k.in}$

**11.3 Calculo del Momento Nominal Resistente por parte del Sistema FRP:**

$M_{nf} = A_f f_{fc} (d_f - \frac{\beta_1 c}{2})$

$M_{nf} = 0.0393015 \quad 314.09 \quad 5.91 \quad \frac{1.26}{2}$

$M_{nf} = 65.20 \quad \text{k.in}$

$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi_f M_{nf}]$

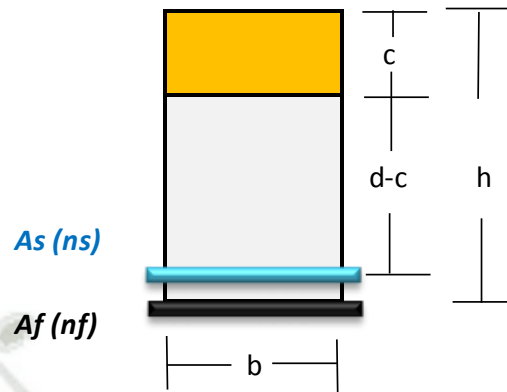
$\phi M_n = 0.90 ( \quad 27.00 \quad + \quad 0.85 \quad 65.20 \quad )$

$\phi M_n = 74.18 \quad \text{k.in}$

$\phi M_n = 6.18 \quad \text{k.ft}$

**12 Verificación de los esfuerzos de servicios en el refuerzo de acero y en el FRP**

**12.1 Cálculo de centroide :**



$$A_s (n_s) = 1.02 \text{ in}^2$$

$$A_f (n_f) = 0.44 \text{ in}^2$$

$$\frac{c}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{A_s(n)(d-c) + A_f(n_f)(h-c)}{2}$$

Valores para la solución de la ecuación cuadrática :

$$a = b/2 \qquad a = 2.96$$

$$b = A_s n_s + A_f n_f \qquad b = 1.46$$

$$c = (-1)(A_s n_s d + A_f n_f h) \qquad c = -7.42$$

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

donde:  $x = "c"$

Despejando " c " :

$$c = \frac{-1.46 + 9.48}{5.91}$$

$$c = 1.36 \text{ in}$$

**12.2 Calculo del momento de inercia**

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + A_s (n_s) (d - c)^2 + A_f (n_f) (h - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{5.91 \text{ cm} \cdot 2.496 \text{ cm}^3}{3} + 1.022 \text{ cm}^2 (3.364 \text{ cm})^2 + 0.439 \text{ cm}^2 (4.554 \text{ cm})^2$$

$$I_{cr} = 4.92 \text{ cm}^4 + 11.56 \text{ cm}^4 + 9.11 \text{ cm}^4$$

$$I_{cr} = 25.5861611 \text{ in}^4$$

**12.3 Calculo del momento de servicio**

$$M = M_s + \epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

$$M_s = 39.15384 \text{ k.in}$$

$$\epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) = 2.0509E-05 \cdot 0.0393015 \cdot 34900 \left( 5.91 - 0.45 \right)$$

$$\epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) = 0.15353071$$

$$M = 39.3073707 \text{ k.in}$$

**12.4 Calculo del Esfuerzo del acero en el sistema FRP en Carga de Servicio:**

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}} n \quad \begin{matrix} Y = d - c \\ Y = 3.36 \text{ in} \end{matrix}$$

$$f_s = \frac{39.307 \text{ k.in} \times 3.364 \text{ in}}{25.59 \text{ in}^4} \cdot 09.29$$

$$f_s = 47.9982738 \text{ ksi}$$

verificacion

$$f_s = \frac{\left[ M_s + A_f E_f \epsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d) E_s}{\left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - \frac{k_d}{3}) \right]}$$

$$f_s = \frac{39.461 \times 3.36 \times 29000}{45792.37 + 34088.10}$$

$$f_s = 48.1857503 \text{ ksi}$$

**12.5 Chequeo del esfuerzo del acero**

\* Bajo cargas de servicio debe estar limitado al 80% de la resistencia a fluencia el Acero

$$0.80 * f_y = 48 \text{ ksi}$$

$$f_s \leq 0.80 f_y$$

**CORRECTO**

**12.4 Calculo del Esfuerzo del FRP en el sistema FRP en Carga de Servicio:**

$$f_f = \left( \frac{M_y}{I_{cr}} n \right) - \epsilon_{bi} * E_f$$

Y= d-c

Y= 4.55 in

$$f_f = \left( \frac{39.307 \text{ k.in} \times 4.554 \text{ in}}{25.59 \text{ in}^4} - 11.18 \right) - 2.0509 \text{E-}05 \times 34900$$

$$f_f = 77.48 \text{ ksi}$$

**12.6 Chequeo del esfuerzo del FRP**

\* Bajo cargas de servicio debe estar limitado al 55% de la resistencia a fluencia el FRP

$$0.55 * f_y = 341 \text{ ksi}$$

$$f_s \leq 0.55 f_y$$

**CORRECTO**

CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.25 k.ft	0.31 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	4.62 k.ft	0.64 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	6.18 k.ft	0.86 tn.m
* Momento Previsto:	5.54 k.ft	0.77 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad, deformación del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flección suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Ahora presentaremos los cuadros resúmenes de todas las vigas diseñadas.

Viga f'c= 210 kg/cm2 con refuerzo de 3/8" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	3.05 tn	6.71 klb
P prevista	4.6 tn	10.12 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.33 k.ft	0.32 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	2.97 k.ft	0.41 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.77 k.ft	0.66 tn.m
* Momento Previsto:	4.33 k.ft	0.60 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimado	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4"

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexión**

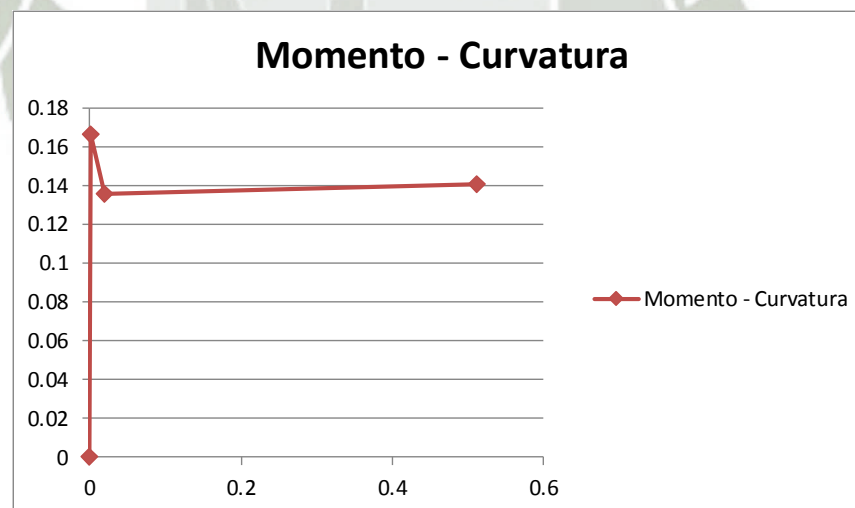
Concreto con $f'c =$	210 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	1/4
Diametro (As) =	0.635 cm
Area de acero (As) =	0.317 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.637	0.166	0.00179005
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	1.335	0.136	0.01885200
Carga Ultima	Punto C	1.384	0.141	0.51281546



Este fenómeno sucede ya que la cuantía escogida adrede fue menor a la cuantía mínima,

Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 7 cm

P diseñada	1.38 tn	3.036 klb
P prevista	3.99 tn	8.778 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.02 k.ft	0.14 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	5.34 k.ft	0.74 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	5.72 k.ft	0.79 tn.m
* Momento Previsto:	3.76 k.ft	0.52 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flecdon suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	1.38 tn	3.036 klb
P prevista	2.71 tn	5.962 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.07 k.ft	0.15 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.03 k.ft	0.42 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	3.69 k.ft	0.51 tn.m
* Momento Previsto:	2.56 k.ft	0.35 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad, deformacion del acero $> 0.005$	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexión**

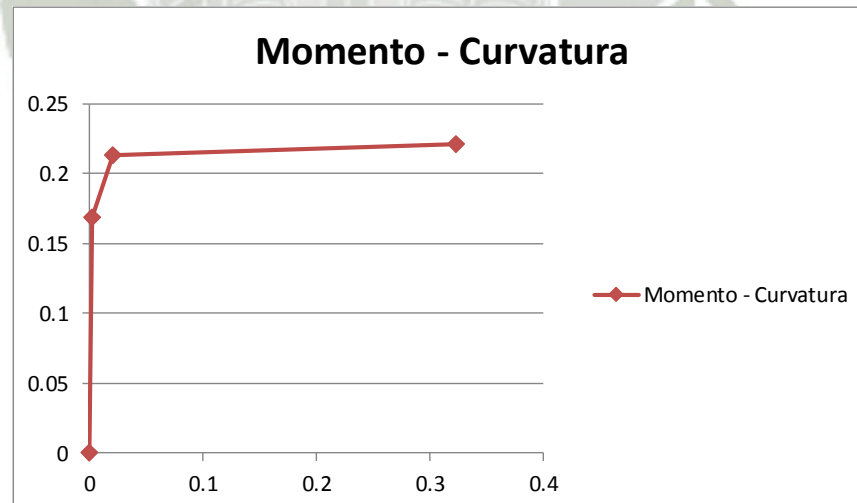
Concreto con $f'c =$	210 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	8
Diametro (As) =	0.8 cm
Area de acero (As) =	0.503 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.656	0.168	0.00179719
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.103	0.213	0.01974940
Carga Ultima	Punto C	2.182	0.221	0.32318588



Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 7 cm

P diseñada	2.18 tn	4.796 klb
P prevista	4.91 tn	10.802 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.61 k.ft	0.22 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	4.98 k.ft	0.69 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	5.93 k.ft	0.82 tn.m
* Momento Previsto:	4.62 k.ft	0.64 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 3.5 cm

P diseñada	2.18 tn	4.796 klb
P prevista	3.62 tn	7.964 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.68 k.ft	0.23 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.00 k.ft	0.42 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.21 k.ft	0.58 tn.m
* Momento Previsto:	3.41 k.ft	0.47 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flecdon suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8"

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexion**

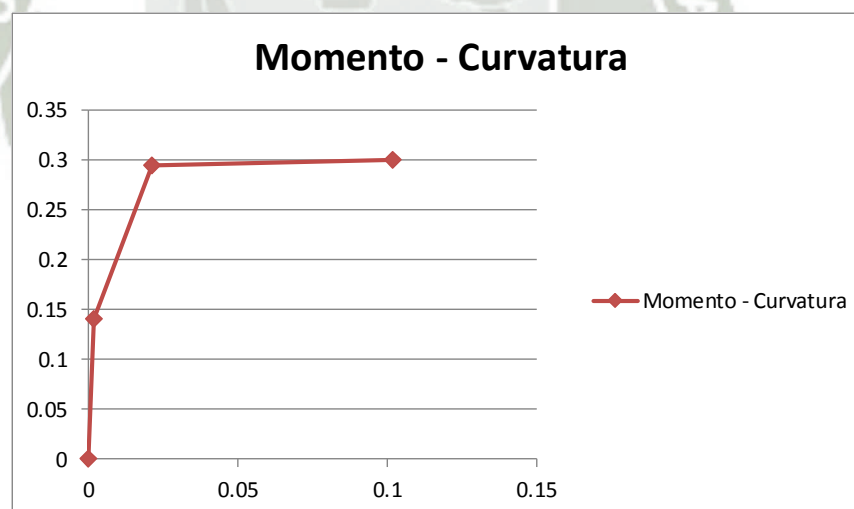
Concreto con $f'c =$	140 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	3/8
Diametro (As) =	0.953 cm
Area de acero (As) =	0.71 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

	Punto 0	Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.378	0.140	0.00181190
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.920	0.294	0.02119794
Carga Ultima	Punto C	2.972	0.300	0.10176056



Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8" con fibra de 7 cm

P diseñada	2.97 tn	6.534 klb
P prevista	5.05 tn	11.11 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	2.6	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.18 k.ft	0.30 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.10 k.ft	0.43 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.75 k.ft	0.66 tn.m
* Momento Previsto:	4.75 k.ft	0.66 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	2.97 tn	6.534 klb
P prevista	4.27 tn	9.394 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.25 k.ft	0.31 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	2.21 k.ft	0.31 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.02 k.ft	0.56 tn.m
* Momento Previsto:	4.02 k.ft	0.56 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformación del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flección suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4"

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexión**

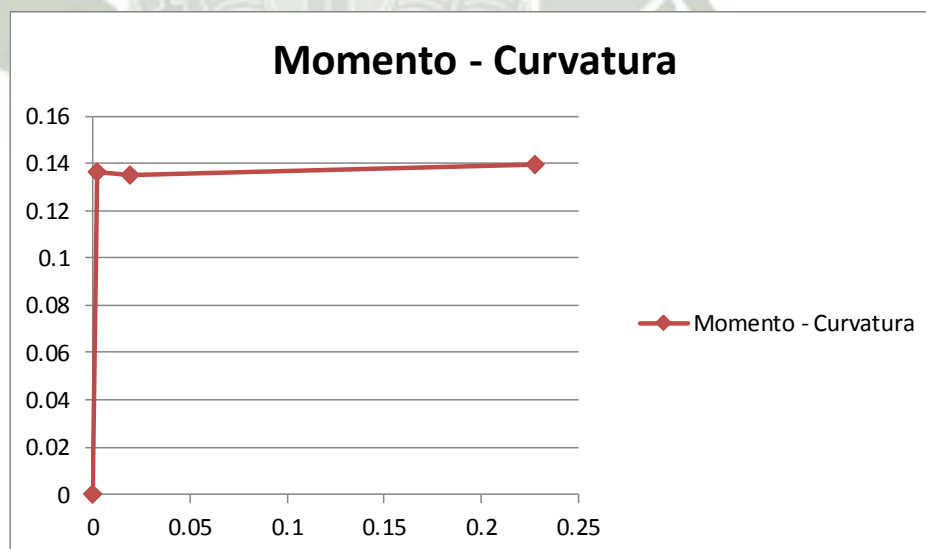
Concreto con $f'c =$	140 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	1/4
Diametro (As) =	0.635 cm
Area de acero (As) =	0.317 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

	Punto	Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.339	0.136	0.00179312
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	1.327	0.135	0.01921590
Carga Ultima	Punto C	1.369	0.139	0.22791798



Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 7 cm

P diseñada	1.37 tn	3.014 klb
P prevista	3.98 tn	8.756 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>			conversión	
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	0.99	k.ft	0.14	tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	4.03	k.ft	0.56	tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.51	k.ft	0.63	tn.m
* Momento Previsto:	3.75	k.ft	0.52	tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO			
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO			
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO			
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO			
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO			

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	1.37 tn	3.014 klb
P prevista	2.7 tn	5.94 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.03 k.ft	0.14 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	2.85 k.ft	0.40 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	3.49 k.ft	0.48 tn.m
* Momento Previsto:	2.55 k.ft	0.35 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexion**

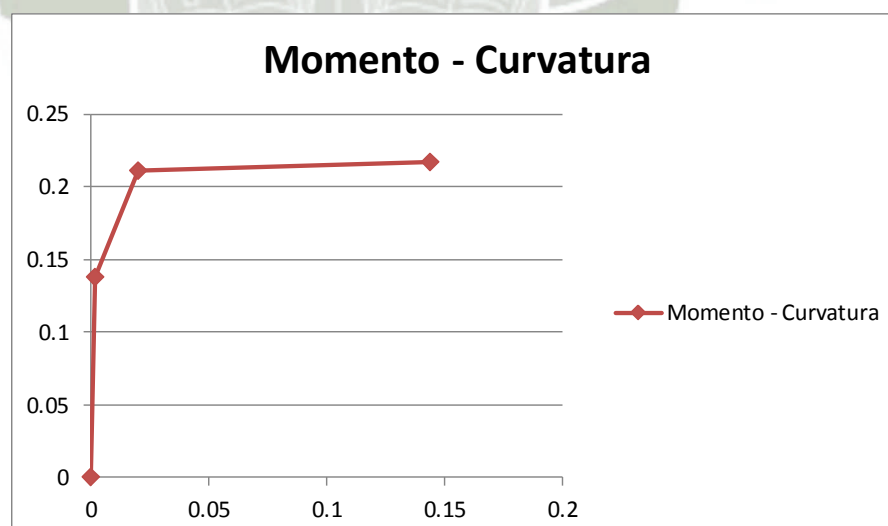
Concreto con $f'c =$	140 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	8
Diametro (As) =	0.8 cm
Area de acero (As) =	0.503 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.358	0.138	0.00180204
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.089	0.211	0.02022954
Carga Ultima	Punto C	2.145	0.217	0.14363817



Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 7 cm

P diseñada	2.14 tn	4.708 klb
P prevista	4.89 tn	10.758 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.56 k.ft	0.22 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.66 k.ft	0.51 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.70 k.ft	0.65 tn.m
* Momento Previsto:	4.60 k.ft	0.64 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 3.5 cm

P diseñada	2.14 tn	4.708 klb
P prevista	3.6 tn	7.92 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension $f_u$ :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP $E_f$ :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.62 k.ft	0.22 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	2.53 k.ft	0.35 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	3.74 k.ft	0.52 tn.m
* Momento Previsto:	3.39 k.ft	0.47 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformación del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flección suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8"

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexion**

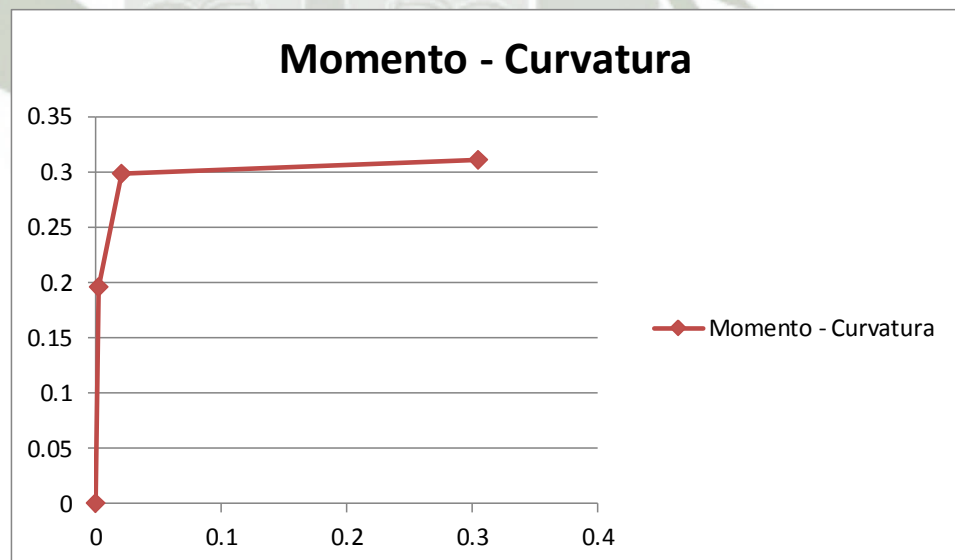
Concreto con $f'c =$	280 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	3/8
Diametro (As) =	0.953 cm
Area de acero (As) =	0.71 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.927	0.195	0.00180103
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.959	0.298	0.02022476
Carga Ultima	Punto C	3.084	0.311	0.30528169



Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8" con fibra de 7 cm

P diseñada	3.08 tn	6.776 klb
P prevista	5.9 tn	12.98 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.30 k.ft	0.32 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	5.74 k.ft	0.80 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	7.23 k.ft	1.00 tn.m
* Momento Previsto:	5.54 k.ft	0.77 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 3/8" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	3.08 tn	6.776 klb
P prevista	4.62 tn	10.164 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.11	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.11	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	2.40 k.ft	0.33 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.03 k.ft	0.42 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.89 k.ft	0.68 tn.m
* Momento Previsto:	4.34 k.ft	0.60 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por flección suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4"

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexión**

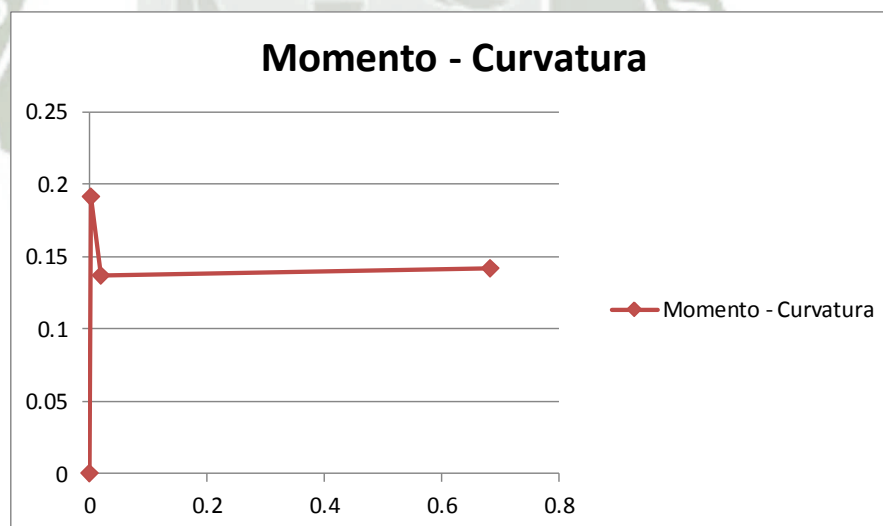
Concreto con $f'c =$	280 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	1/4
Diametro ( $A_s =$ )	0.635 cm
Area de acero ( $A_s =$ )	0.317 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.889	0.191	0.00178821
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	1.340	0.136	0.01861883
Carga Ultima	Punto C	1.391	0.142	0.68375394



Este fenómeno sucede ya que la cuantía escogida adrede fue menor a la cuantía mínima,

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 7 cm

P diseñada	1.39 tn	3.058 klb
P prevista	4 tn	8.8 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf :	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.04 k.ft	0.14 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	6.26 k.ft	0.87 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	6.57 k.ft	0.91 tn.m
* Momento Previsto:	3.76 k.ft	0.52 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 1/4" con fibra de 3.5 cm

P diseñada	1.39 tn	3.058 klb
P prevista	2.71 tn	5.962 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.049	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.049	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

**CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION.**

		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.09 k.ft	0.15 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.08 k.ft	0.43 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	3.76 k.ft	0.52 tn.m
* Momento Previsto:	2.56 k.ft	0.35 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm

**Evaluación del Mn solo con refuerzo a flexion**

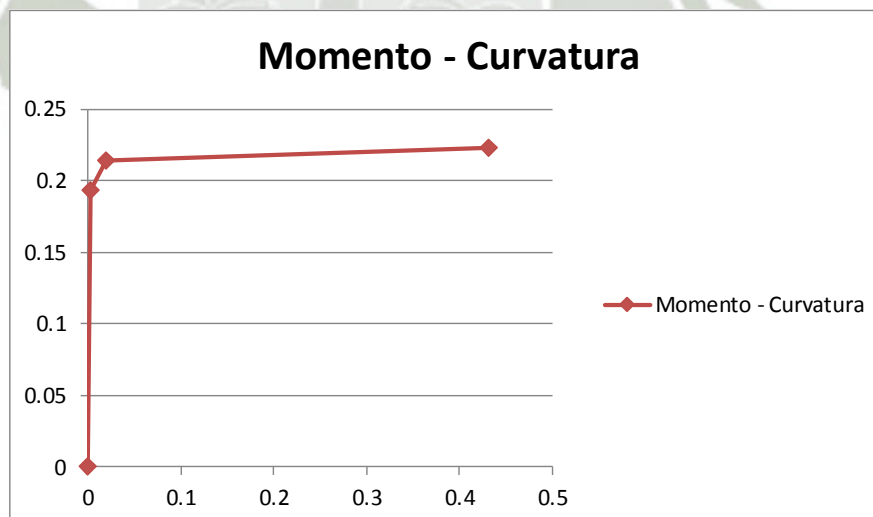
Concreto con $f'c =$	280 kgf/cm <sup>2</sup>
Acero con $f_y =$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>

Refuerzo	
N° Varillas	Diametro
1	8
Diametro (As) =	0.8 cm
Area de acero (As) =	0.503 cm <sup>2</sup>

**Grafica Momento - Curvatura**

**Selección de Puntos**

		Carga (ton)	Momento (ton.m)	Curvatura $\phi$
	Punto 0	0	0	0
Carga de Agrietamiento	Punto A	1.907	0.193	0.00179429
Carga de Inicio de fluencia	Punto B	2.113	0.214	0.01944286
Carga Ultima	Punto C	2.201	0.223	0.43091451



Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 7 cm

P diseñada	2.2 tn	4.84 klb
P prevista	4.9 tn	10.78 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	2.955	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.64 k.ft	0.23 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	6.10 k.ft	0.84 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	6.96 k.ft	0.96 tn.m
* Momento Previsto:	4.61 k.ft	0.64 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad, deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

Viga  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con refuerzo de 8mm con fibra de 3.5 cm

P diseñada	2.2 tn	4.84 klb
P prevista	3.63 tn	7.986 klb
p muerta	0.0324 tn	0.07128 klb

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas :	1	
Area de Varilla :	0.078	in <sup>2</sup>
Area de Refuerzo :	0.078	in <sup>2</sup>

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas :	1	
Ancho Wf:	1.4	in
Largo Lf :	2	ft
Espesor tf :	0.0133	in
Resistencia a tension fu :	620	ksi
Deformacion de rotura $\epsilon_f$ :	0.0155	in/in
Modulo de elasticidad de las laminas FRP Ef :	34900	ksi

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLEXION</b>		
		conversión
* Momento resistente del Acero en el sistema FRP:	1.72 k.ft	0.24 tn.m
* Momento resistente del FRP en el sistema FRP:	3.06 k.ft	0.42 tn.m
* Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:	4.30 k.ft	0.60 tn.m
* Momento Previsto:	3.42 k.ft	0.47 tn.m
* Chequeo de la distancia "c" estimada	CORRECTO	
* Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero > 0.005	CORRECTO	
* Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio	CORRECTO	
* Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio	CORRECTO	

#### 4.3. MATERIALES A UTILIZAR:

Los materiales que se utilizarán para las dos etapas simbólicas que conforman el desarrollo experimental de las hipótesis matemáticas planteadas previamente son los siguientes:

##### 4.3.1. ETAPA DE VACIADO:

Durante esta etapa se usará una variedad de equipos, herramientas y materiales que son de gran importancia para la correcta elaboración de los modelos estructurales a ensayar.

##### 4.3.1.1. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

Consideraremos como materiales a todos aquellos equipos y herramientas que faciliten el trabajo de elaboración de los modelos estructurales:

- **MOLDES METÁLICOS:**



Figura 4.3 Molde metálico usado para el vaciado.

Estos moldes están hechos de metal y están conformados por tres partes, dos de ellas son las mitades del prisma que se juntan y aseguran por medio de 4 pernos, 2 en cada unión (1) y la tercera parte es la base plana hecha del mismo material y es a esta que se asegura el prisma ya armado por medio de dos pernos a cada lado largo (2). Adicionalmente a las partes ya mencionadas anteriormente hay un seguro (3) que se encuentra permanentemente unido a la parte superior de uno de los lados del prisma, este seguro cumple la función de mantener lo más junto posible, ambas mitades del prisma.

Las medidas del prisma son las siguientes:

- ✓ Largo: 0.70 m.
- ✓ Ancho: 0.15 m.
- ✓ Alto: 0.15 m.

Las medidas de la base son las siguientes:

- ✓ Largo: 0.80 m.
- ✓ Ancho: 0.30 m.

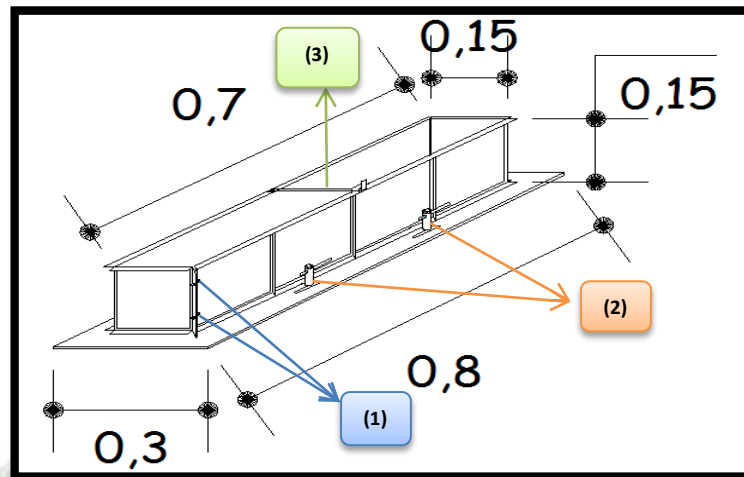


Figura 4.4. Molde para vigas metálico con medidas.

- **MOLDE DE PROBETAS :**



Figura 4.5 Molde cilíndrico para probetas de concreto.

Estos moldes ya conocidos por todos nosotros, serán también usados en este largo proceso y nos ayudaran con el muestreo para la verificación de calidad del concreto que se fabricara en la etapa de vaciado de nuestros modelos estructurales.

Hay que resaltar que si bien los diseños de mezclas han sido elaborados por un laboratorio certificado, es nuestra responsabilidad verificar la información, por ese motivo es que con las probetas de concreto comprobaremos la resistencia requerida.

- **CONO DE ABRAMS:**

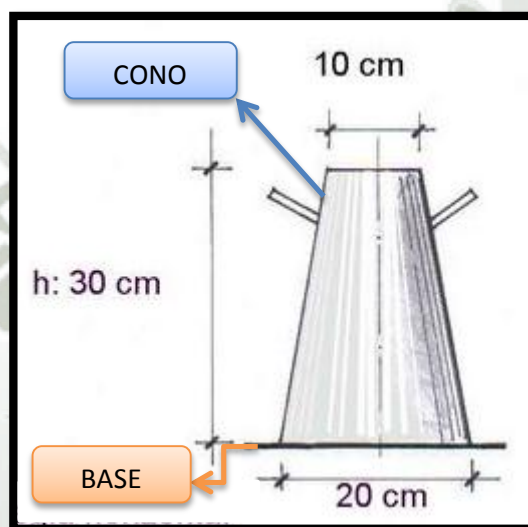


Figura 4.6 Cono de Abrams con medidas.

El equipo presentado sirve para medir la fluidez de concreto cuando aún se encuentra fresco, es por eso que para hacer el ensayo con el Cono de Abrams se utiliza el concreto recién salido de la mezcladora para optimizar los resultados.

Las medidas del cono son las que se muestran en la imagen anterior y como se puede apreciar está conformado por dos partes, la primera es el

cono que es la parte superior y cuenta con unas orejas para la fácil manipulación del equipo, con la misma finalidad cuenta con unas patitas en la parte baja del cono que se deben pisar mientras dura el ensayo para evitar que la fuerza del concreto empuje o mueva el equipo y la segunda parte es la base plana que facilita el trabajo a la hora de realizar el ensayo con el Cono de Abrams.

Más adelante, en este mismo capítulo veremos la forma en que se realiza este ensayo.

- **VARILLA:**



Figura 4.7 Varilla en el cono de Abrams.

Esta herramienta es indispensable para esta etapa ya que se la usa en distintos procesos como el ensayo de Cono de Abrams y el vaciado de los testigos de concreto.

Esta varilla hace las veces de una vibradora, pero de forma artesanal ya que al realizar un determinado número de golpes en distintas capas se produce un efecto de vibrado o podríamos decir que ayudamos a la mezcla

a acomodarse adecuadamente de tal forma que no se formen las famosas cangrejas, que son espacios vacíos que de alguna manera pueden afectar la resistencia de nuestro concreto. Más adelante explicaremos el proceso de elaboración de nuestros modelos estructurales donde veremos las consideraciones que se deben tener con el número de golpes, capas y distancias de acuerdo al ensayo.

Finalmente un dato importante acerca de esta varilla es que uno de sus extremos debe ser ligeramente redondeado y este será el lado que se introducirá directamente al concreto.

- **MARTILLO DE GOMA:**



Figura 4.8 Martillo de goma Stanley.

Esta herramienta al igual que la anterior es muy importante en la etapa del vaciado ya que en conjunto con la varilla producen un mejor efecto de vibrado, de tal manera que la mezcla se acomoda adecuadamente.

Al igual que la varilla, también hay un procedimiento que debemos tener en cuenta para que se produzca el efecto deseado, puesto que de no realizar el procedimiento correcto podríamos hacer que el agua de cemento llegue en grandes cantidades a la superficie dejando algunas cangrejas en la parte inferior del molde.

- **MEZCLADORA:**



Figura 4.9 Mezcladora de concreto.

En el laboratorio donde realizamos todos los procedimientos nos proporcionaron una mezcladora de concreto que podemos apreciar en la figura 4g.

Este es un equipo fundamental para la etapa de vaciado, ya que su función es como su nombre lo indica mezclar todos los materiales que conforman el concreto o también denominado hormigón.

La presencia de este equipo es indispensable para este y cualquier otro trabajo que involucre al concreto.

- **BALANZA:**



Figura 4.10 Balanza

Este instrumento de medición nos permitirá tomar cantidades exactas de peso de un balde de agregado, de cemento y de agua, ya que nuestra dosificación de mezcla esta expresada con unidades de peso.

- **BALDES:**



Figura 4.11 Baldes de plástico.

Estos recipientes nos servirán para transportar y cargar los agregados desde la parte exterior del laboratorio hacia dentro del mismo, donde se encuentra la balanza en la que mediremos la cantidad necesaria para la mezcla; de la misma forma se hará con el cemento y agua que se encuentran almacenados en otra área dentro del laboratorio.

Eventualmente se usarán algunos otros utensilios de menor importancia, pero facilitarán y mejorar el trabajo de laboratorio como: palas, escobillas, badilejo, espátula, etc.

#### 4.3.1.2. MATERIALES:

Consideraremos como insumo a toda aquella materia prima única y no variable ni reemplazable con ningún otro producto:

- **AGREGADO GRUESO:**

El diseño de mezclas con el que trabajamos estaba hecho en base al agregado grueso extraído de la cantera “La Poderosa”, que es una de las principales canteras en nuestra ciudad.

El agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto y si bien las características y propiedades del concreto son un conjunto de las características de sus componentes, se le atribuye al agregado grueso un gran porcentaje de la resistencia de altas fuerzas de compresión.

- **AGREGADO FINO:**

Al igual que el agregado grueso, el agregado fino también ha sido extraído de la cantera “La Poderosa” y a este material se le suele asociar con la trabajabilidad de la mezcla.

- **CEMENTO:**

Este es un material que tiene un proceso de fabricación complejo y gracias a ello es que se consigue dotarlo de buenísimas propiedades para que al tener contacto con el agua y el resto de componente del concreto, este se convierte

en una mezcla uniforme que empieza a fraguar y a endurecer dándole la apariencia pétreo al concreto.

- **AGUA:**

Es la parte indispensable de la mezcla pues de no ser por ella, el concreto no podría ser una mezcla homogénea y trabajable.

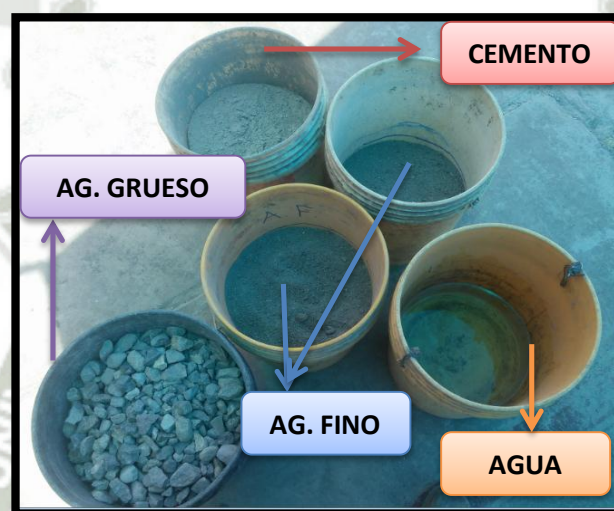


Figura 4.12 Componentes del concreto.

- **ALAMBRE:**



Figura 4.13 Alambre #16.

Solo se usará el alambre #16 para asegurar las varillas de acero y evitar que se muevan por la fuerza del concreto.

- **ACERO:**



Figura 4.14 Varillas de acero de 0.60m.

El acero que se utilizara para nuestros modelos estructurales serán de 1/4", 3/8" y de 8 mm y miden 60 cm. de largo y en los extremos tienen uso bastones o ganchos de 8 cm. como podemos apreciar en la figura 4L.

- **DADOS DE CONCRETO:**



Figura 4.15 Dadito de concreto.

Para mayor facilidad y seguridad a la hora de vaciado, usaremos unos adoquines cortados en cubos de 3x3x3 para asegurar las varillas de acero que se colocaran el cada modelo estructural.

#### 4.3.2. ETAPA DE ENSAYOS:

##### 4.3.2.1. MATERIALES:

- **SIKAWRAP – 600C:**



Figura 4.16 Fibra de carbono “SIKAWRAP – 600C”.

Para nuestros modelos estructurales escogimos trabajar con la línea de reforzamiento “SIKA”, por la buena reputación que tiene en el mercado actual y también que era la empresa que nos ofrecía mayor disponibilidad del material.

- **SIKADUR - 301:**



Figura 4.17 SIKADUR - 301 – Componente A y B.

Como lo indica en su hoja técnica, es un sistema epóxico de dos componentes A y B como podemos apreciar en la figura 4o, estos son irremplazables y deben mezclarse en la proporción indicada, de lo contrario podría no funcionar correctamente.

#### 4.3.2.2. HERRAMIENTAS:

- **RODILLO APLICADOR DE ADITIVO:**



Figura 4.18 Rodillo de fibra.

Esta herramienta nos permite aplicar el aditivo SIKADUR - 301 en la fibra de carbono y en la superficie pulida del concreto para asegurar que el epóxido llene todos los espacios y así la adherencia de ambas sea inminente.

- **RODILLO EXTRACTOR DE BURBUJAS:**

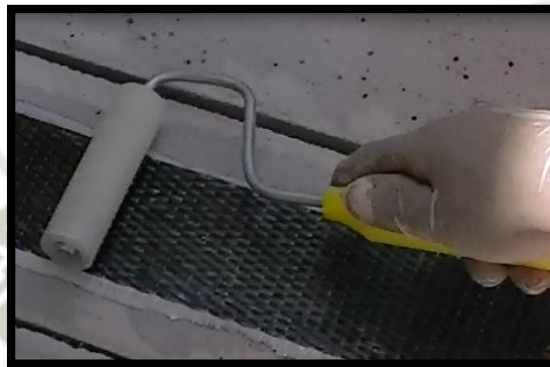


Figura 4.19 Rodillo especial para extraer burbujas.

Este rodillo es diferente que el anterior como se puede apreciar en la figura 4q, ya que el cabezal esta hecho de plástico y tiene unas ranuras que simulan una especie de rosca.

La función de esta herramienta es eliminar las burbujas que puedan quedar entre la superficie del concreto y la fibra de carbono, de tal manera que la adherencia sea óptima.

#### 4.3.2.3. EQUIPOS:

- MÁQUINA DE ENSAYO DE VIGAS:



Figura 4.20 Máquina acondicionada para el ensayo.

- DEFORMÍMETRO:



Figura 4.21 Deformímetro.

#### 4.4. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE MODELOS ESTRUCTURALES:

Hemos planteado una serie de pasos a seguir con la finalidad de obtener modelos estructurales con el mínimo porcentaje de error y que tengan una buena apariencia que nos permita apreciar mejor las consecuencias del ensayo de los modelos.

Por otro lado queremos indicar que durante este proceso de elaboración de modelos estructurales, que contó con una duración de 4 días (14, 15, 16 y 19 de Octubre del 2015), sin contar el tiempo de curado, hemos requerido el apoyo de dos ayudantes debido a la necesidad de terminar los vaciados en un corto tiempo de 5 días hábiles que era la duración del permiso concedido por el laboratorio.

A continuación desarrollaremos el paso a paso del proceso de elaboración de nuestros modelos estructurales:

#### 4.4.1. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES:

##### 4.4.1.1. Habilitación de los moldes:



Figura 4.22 Moldes metálicos.

- Lo primero que hicimos fue limpiar los moldes con unas escobillas y espátulas para quitar cualquier resto de concreto que haya quedado de algún vaciado anterior.
- Enseguida armamos los moldes y los aseguramos correctamente con sus pernos.
- Finalmente los apilamos en 3 filas de 3 moldes cada una y como en el caso de los encofrados, se le paso un trapo con petróleo por todo el interior del molde para desmoldar fácilmente al día siguiente.

#### 4.4.1.2. Colocación de las varillas de acero:



Figura 4.23 Moldes metálicos con dados y varilla de acero.

- Primero se hicieron los cortes de las varillas de 1/4", 3/8" y 8mm. con una hoja de sierra simple. En los tres casos los cortes se dieron cada 76cm, de los cuales 60cm conforman la parte larga que se aprecia en la imagen y los otros 16cm se dividen en dos partes una a cada extremo, formando unos pequeños ganchos de 8cm cada uno con la finalidad de evitar el desprendimiento.
- Luego se colocan las varillas de acero sobre unos daditos de concreto que tienen una medida de 3x3x3 y se asegura la unión con alambre #16.

La finalidad de colocar estos daditos es que al momento del vaciado de concreto no se deje expuesto el acero en la base de la viga.

- Como se indicó anteriormente, se colocaron los moldes en una distribución de 3x3 con la finalidad de distribuir el acero de la siguiente manera:



Figura 4.24 Distribución del acero en los moldes.

#### 4.4.1.3. Pesaje del material:



Figura 4.25 Pesado de los componentes del concreto.

- Todos los componentes de la mezcla del concreto ameritaban una cuidadosa medición de la cantidad a usar según el diseño de mezclas.
- Primero se trasladó el material de la zona donde estaba almacenado hasta el lugar donde se encontraba la balanza.
- Luego se taraban los baldes a usar y se los llenaba del material. Este proceso se repitió con todos los componentes del concreto como apreciamos en la figura 4v y de la misma forma se hizo cada vez que se requería hacer una nueva mezcla.

#### 4.4.2. VACIADO DE MODELOS ESTRUCTURALES:

##### 4.4.2.1. Mezclado del concreto:



Figura 4.26 Mezcladora en funcionamiento.

- Primero se echa un 10% del agua a la mezcladora ya en funcionamiento.
- Luego se echan los sólidos en el siguiente orden: agregado grueso, agregado fino y cemento, seguidos de un 80% más de agua.

- Una vez terminado el procedimiento anterior se agrega el restante de agua y es desde ese momento que se debe mantener la mezcla en el trompo durante aproximadamente 1 minuto a 1.5 minutos a una inclinación de aproximadamente  $20^\circ$  para obtener un concreto adecuado.
- Finalmente se inclina el tambor de tal manera que la mezcla fluya y sea recibida en un recipiente, en nuestro caso en un balde.

#### 4.4.2.2. Ensayo del Cono de Abrams:



Figura 4.27 Partes del ensayo de cono de Abrams.

- Una vez listo el cono de Abrams, una persona debe asegurar el cono a la base plana pisando las patitas inferiores del cono, además debe tener a la mano la varilla.
- Otra persona debe llenar  $1/3$  del volumen del cono con la mezcla y la persona que tiene la varilla debe aplicar 25 golpes con la varilla en forma

de espiral. Debe repetirse este ejercicio dos veces más con los 2/3 restantes.

- Enseguida con la misma varilla se perfila ligeramente la superficie y rápidamente se retira el exceso de concreto.
- Finalmente se toma el cono por las orejas laterales y se levanta el cono, conforme esto sucede la mezcla se va asentando como se puede apreciar en la imagen 4y, luego se pone el cono de cabeza y con una regla graduada medimos el asentamiento desde el borde superior del cono y la superficie de la mezcla.

#### 4.4.2.3. Colocación del concreto en los moldes:



Figura 4.28 Llenado de los moldes metálicos.

- Así como en el ensayo del cono de Abrams y para mejorar la calidad de nuestros modelos estructurales, hemos vaciado el concreto en 3 capas de

1/3 cada una, pero en este caso como el molde tiene una forma regular puede considerarse cada tercio en distancia o en volumen.

- Para cada tercio se dan 32 golpes verticales con la varilla distribuidos a lo largo de todo el molde, una vez finalizados los golpes con la varilla se usa el martillo de goma para dar otros 24 golpes, pero esta vez de forma horizontal en los laterales del molde, de tal forma que la mezcla se acomode adecuadamente y así evitar las cangrejeras.
- Finalmente se deja la superficie del molde lo más liso posible y se coloca el nombre que le corresponda a cada viga como se aprecia en la figura 4z. Los nombres asignados a las vigas son los mismos que se mencionaron al inicio de este capítulo, donde cada nomenclatura encierra las características de cada viga.

#### 4.4.2.4. Llenado de probetas de concreto:



Figura 4.29 Llenado de las probetas de concreto.

- Primero se arman las probetas y se les pasa un trapo con petróleo interiormente para poder facilitar el desmoldado del día siguiente.
- Luego, al igual que en los dos pasos anteriores, se coloca el concreto en 3 capas de 1/3 cada una, en este caso también puede dividirse por distancias o por volúmenes porque el molde tiene una forma regular. En cada capa se darán 24 golpes con la varilla y 12 golpes con el martillo de goma.
- Finalmente se perfila y se limpia el exceso de mezcla en la superficie, tratando de dejarla lo más lisa posible para colocarle el nombre del tipo de concreto al que pertenece. Cabe resaltar que cada día de vaciado se trabajó con un concreto diferente ( $140\text{kgf/cm}^2$ ,  $210\text{kgf/cm}^2$  y  $280\text{kgf/cm}^2$ ) y por cada tipo de concreto se obtuvieron 3 muestras.

Todos los procedimientos anteriores se han repetido a lo largo de 4 días de vaciado para obtener los 36 modelos estructurales a ensayar.

Y como ya lo mencionamos, por el corto tiempo del que disponíamos para realizar los vaciados, realizamos la siguiente programación:

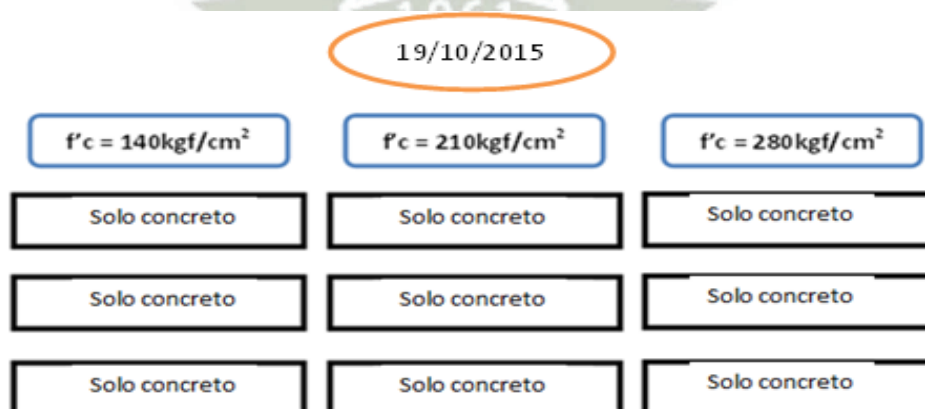


Figura 4.30 Programación de vaciados.



Figura 4.31 Programación de vaciados.

#### 4.4.3. CURADO DE MODELOS ESTRUCTURALES:

##### 4.4.3.1. Desmoldado de las vigas y probetas:

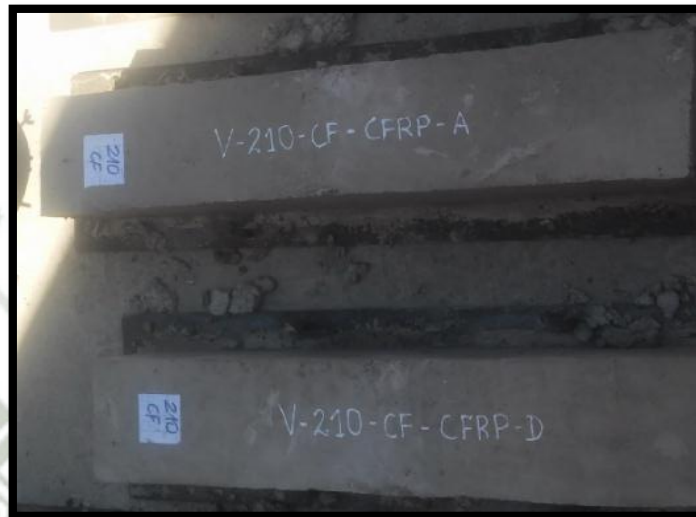


Figura 4.32 Molde retirado.

- Al día siguiente de cada vaciado, se retiran los moldes de todas las vigas y probetas, desemperrando los seguros.
- Se le vuelve a colocar el nombre en la cara superior de la viga y de cada probeta para reconocer que propiedad tienen y cuál es la cara inferior y superior.

Una vez realizados los pasos anteriores, se procede a limpiar correctamente los moldes con ayuda de una escobilla, espátula y trapo, de tal manera que se mantengan listos para el siguiente vaciado. Además, al culminar los vaciados y hacer la última limpieza no solo se hizo la limpieza ya explicada, sino que también se pulió ligeramente el interior del molde con lijar.

#### 4.4.3.2. Curado de las vigas y probetas:



Figura 4.33 Colocación de los modelos en la poza de agua.

- Una vez desmoldadas, las vigas y las probetas deben ser sumergidas en un pozo con agua durante 28 días para que puedan alcanzar su resistencia máxima.
- Cada una de las vigas pesaba alrededor de 50 kg., por lo que era necesario cargarlas cuidadosamente con ayuda de dos personas, pues de lo contrario podrían romperse y retrasar los ensayos.

#### 4.5. ENSAYO DE MODELOS ESTRUCTURALES:

Tal vez sea ésta la parte más extensa de nuestra tesis, pues aquí veremos reflejados los resultados de la ardua investigación que hemos realizado a lo largo de este tiempo. Y es aquí, donde queremos comprobar la efectividad de la fibra de carbono, basados en un amplio desarrollo científico explicado en los anteriores capítulos de este documento.

A continuación veremos los procedimientos realizados en la preparación y el ensayo de nuestros modelos estructurales, al mismo tiempo queremos indicar que para esta etapa hemos requerido la ayuda de un operario colocador de fibra de carbono que comparta con nosotros el regular método aplicativo de este material.

##### 4.5.1. PREPARACIÓN DE MODELOS A ENSAYAR:

###### 4.5.1.1. Retirar los modelos estructurales del pozo:



Figura 4.34 Vigas apiladas en orden.

- Una vez pasados los 28 días de curado, se procedió a retirar las vigas del pozo de agua y se las colocó ordenadamente en cuatro filas de 8 y una fila de 7 como se aprecia en la figura 4ag.
- De la misma forma, los testigos de concreto fueron retirados del pozo de agua, sin embargo más adelante veremos que, ocho de los mismos fueron retirados después de 7 días de curado para evaluar si estaban en el porcentaje de resistencia adecuado para esa fecha.
- En ambos casos, tanto las vigas como los testigos de concreto se dejaron expuestos a la intemperie durante un día, lo que permitirá que estas se sequen de forma externa para continuar con los siguientes procedimientos.

#### 4.5.1.2. Pulido superficial:



Figura 4.35 Proceso de pulido.

- Según la tabla de propiedades presentada al inicio de este capítulo solo hay 24 modelos estructurales que se reforzaran con fibra de carbono SIKAWRAP-600C, de los cuales 12 tendrán un refuerzo delgado (3.5 m) y las otras 12, un refuerzo ancho (7 cm).
- Primero colocaremos las 24 vigas a reforzar, una junto a otra para mayor comodidad durante este procedimiento.
- Ahora, si bien es cierto los moldes con los que trabajamos funcionaron como un encofrado metálico que dejaron prácticamente un acabado caravista en la base, no podemos colocar el refuerzo directamente y como en cualquier reforzamiento de fibra de carbono, tenemos que pulir en este caso ligeramente el área donde se colocara la fibra y el aditivo.
- La pulidora que se usa para estos trabajos presenta un disco pulidor de diamante, este no maltrata el elemento estructural, por el contrario permite dejar un fino acabado para la colocación del material deseado.

#### 4.5.1.3. Delimitación para la colocación de la fibra:



Figura 4.36 Tiralineado y limpieza.

- En este proceso de delimitación debemos ser lo más cuidadosos posibles y procurar tomar las medidas desde la mitad de la viga hacia afuera, puesto que siempre puede existir algún desperfecto en los extremos.
- A lo largo de la viga se marcó la mitad y hacia cualquiera de los lados se hizo una marca a 27.5 cm medido desde la marca del centro, esto indicaba que desde ese punto debía pegarse el extremo de la tira de fibra de carbono, puesto que el largo de todos los refuerzos de fibra de carbono a colocar eran de 55 cm.

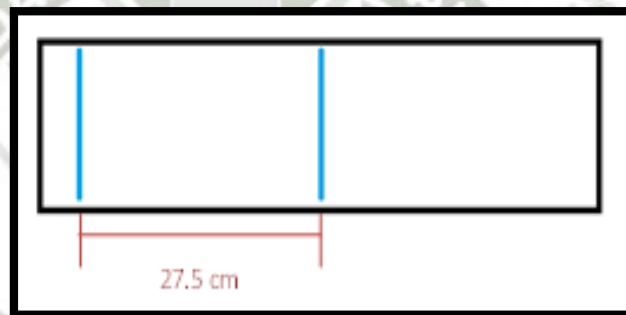


Figura 4.37. Marca para todas las vigas.

- En el otro sentido solo se hizo la marca a 5.75 cm desde cualquiera de los lados si se colocaría la fibra delgada y en caso que fuera la fibra ancha la marca se hizo a 4 cm desde cualquiera de los lados. Es de esta forma que para ambos casos se formaba una esquina, desde donde se colocaría la fibra de carbono.

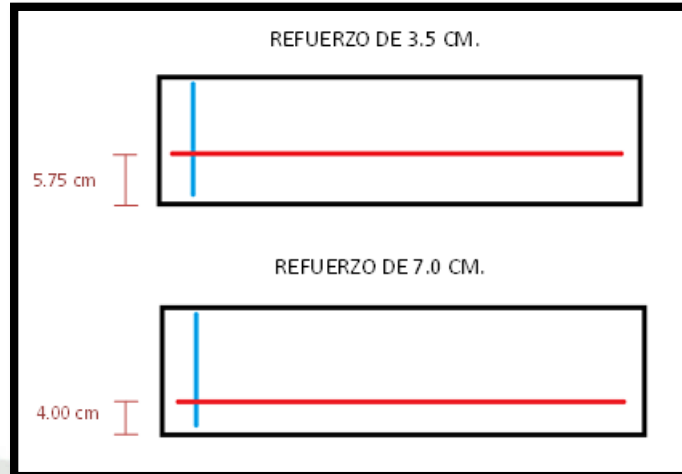


Figura 4.38 Marca para vigas de 3.5 y 7 cm.

#### 4.5.1.4. Habilitación de la fibra de carbono:



Figura 4.39 Habilitación de la fibra de carbono.

- Primero ubicamos una base de plástico para evitar que la fibra de carbono se esponga a partículas de polvo.
- Luego acomodamos la fibra de tal manera que tengamos comodidad para cortarla en el sentido correcto. Esto quiere decir que el largo del refuerzo a utilizar debe estar en el mismo sentido en el que esta tejida la fibra de carbono.
- Finalmente medimos el tamaño de fibra que se requiere y la cortamos cuidadosamente, de tal forma que se tenga la menos cantidad de desperdicio posible.

#### 4.5.1.5. Preparación del epóxico SIKADUR – 301:



Figura 4.40 Preparación del compuesto SIKADUR -301.

- Para iniciar la manipulación de este producto, es necesario el uso de guantes, pueden ser de uso quirúrgico ya que facilitan cualquier tipo de manipulación y trabajo.
- Este producto tiene dos compuestos, el primero se denomina compuesto A y el segundo compuesto B y solo deben mezclarse para su uso inmediato de lo contrario pierden sus propiedades y se seca, quedando inservible.
- Considerando un 5% de desperdicio, nosotros usamos 0.377 kg del componente A y 0.108 kg del componente B de acuerdo a los 0.8 m<sup>2</sup> de SIKAWRAP-600C a usar.
- Todo fue cuidadosamente pesado y mezclado en un pequeño recipiente plástico.

**4.5.1.6. Aplicación de SIKADUR-301 y colocación del SIKAWRAP-600C:**



Figura 4.41 Aplicación y colocación de productos SIKA.

- Con todos los materiales ya listos para usarse, iniciaremos la aplicación y colocación de los mismos, sin olvidar colocarnos los guantes.
- Colocamos un plástico debajo de las tiras de fibra de carbono para evitar manchar el piso. Aplicamos el aditivo SIKADUR-301 de manera abundante sobre la superficie inferior de la viga con ayuda de un pequeño rodillo, luego hacemos lo mismo sobre la fibra de carbono SIKAWRAP-600C. Repetimos el proceso 1 vez más, cerciorándonos cubrir cualquier espacio que haya quedado vacío la primera vez.
- A continuación trasladamos la tira de fibra de carbono hacia la viga y la pegamos sobre las marcas de delimitación y adherimos la parte que contiene el epóxico sobre la superficie.
- Realizamos el mismo proceso para cada una de nuestras vigas.

#### 4.5.1.7. Extracción de burbujas y sellado:



Figura 4.42 Técnica de óptima adherencia.

- Para mejorar culminar con la aplicación del refuerzo, se pasa de 2 a 3 veces el rodillo extractor de burbujas sobre cada superficie. Esto hará que como bien lo dice su nombre elimine cualquier tipo de burbuja que haya quedado atrapada en la unión de la fibra de carbono y la superficie.
- Culminamos el procedimiento pasando nuevamente el rodillo con abundante SIKADUR-301, lo que actuará como un fuerte sellador del SIKAWRAP-600C.
- Todo el proceso de habitación y colocación del refuerzo se realizó el día 23 de Noviembre desde muy temprano, para poder dejar nuestros modelos estructurales continuar con un correcto proceso de secado.

**4.5.1.8. Secado:**



Figura 4.43. Vigas reforzadas.

- Luego de haber aplicado correctamente la última capa de SIKADUR-301, dejamos secar el refuerzo por 2 días (23 y 24 de Noviembre), evitando dejarlo a una constante exposición al polvo.
- Este material puede estar expuesto a un ambiente húmedo y no se tendrán variaciones en sus propiedades, puesto que ha sido fabricada para usarse bajo diferentes condiciones climáticas.

#### 4.5.1.9. Pintado de vigas:



Figura 4.44. Pintado lateral de las vigas.

- El día 24 de Noviembre en la noche, el refuerzo ya había secado y con mucho cuidado pintamos los laterales de nuestros modelos estructurales para poder estudiar y distinguir claramente las fisuras que pudieran aparecer al momento de ser ensayadas.

#### 4.5.1.10. Marcación de límites:



Figura 4.45 Delimitación de apoyos.

- El día 25 de Noviembre, nuestras vigas ya se encontraban en óptimas condiciones para ser ensayadas y por otro lado, la pintura aplicada la noche anterior ya había secado.
- Tal vez sea este el trabajo más largo, pues tuvimos que marcar en la parte superior y laterales de la viga, unas finas líneas en todas las vigas que nos ayudarían a colocarlas correctamente en la máquina. A lo largo de la viga se marcaba la mitad, desde este punto hacia ambos extremos se recorren 10 cm y se hace una marca, desde este nuevo punto se recorren 20 cm más y se hace otra marca, esta última simbolizaba el apoyo de la máquina.

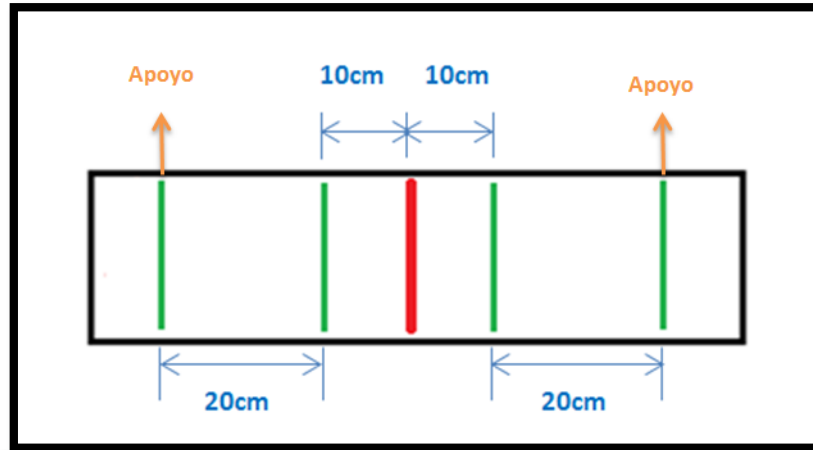


Figura 4.46 Distancia entre las marcas.

#### 4.5.1.11. Ensayo de vigas:



Figura 4.47 Relojes y máquina del ensayo.

- Los ensayos de nuestros modelos estructurales reforzados se realizaron en una prensa modificada para este tipo de estudios, ya que se le cambió el cabezal que dividía la fuerza aplicada en dos puntos

separados por 20 cm, estos puntos coincidían con las líneas verdes centrales de la figura 4as.

- Estos ensayos se realizaron a lo largo de 3 días (25 y 30 de Noviembre y 01 de Diciembre), durante los cuales estuvimos asesorados por un técnico del laboratorio, quien era el único autorizado a manipular la maquina requerida.
- Durante el ensayo debíamos estar pendientes de tres partes fundamentales: lectura del deformímetro, lectura del reloj de la prensa y la aparición de las fisuras.
- Colocamos la videocámara frente al deformímetro para que se grabe todo el ensayo y así uno de nosotros podía decir en voz alta la lectura del reloj de la prensa que nos marcaba la fuerza aplicada en libras, de tal forma que esta quedara grabada en el video y el otro de nosotros podía estar pendiente de las fisuras que aparecieran durante el ensayo.



**CAPÍTULO 5**

## CAPÍTULO N°5: DATOS DE LABORATORIO

A continuación mostraremos los resultados experimentales tomados bajo un incremento de carga constante generada por la prensa sobre la viga variando a su vez al deformímetro, tales datos serán procesados y debidamente transformados para apreciarlos en graficas CARGA – DEFORMACIÓN, las que serán analizadas y comentadas.

Las gráficas CARGA – DEFORMACION serán analizadas de acuerdo a grupos por conveniencia de estudio, es decir serán analizadas en un grafica 3 curvas distintas.

### **GRUPOS DE ANÁLISIS:**

- Vigas con  $f'c = 140$ 
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; sin FRP
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 1/4"
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 1/4"; sin FRP
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 1/4"; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 1/4"140 ; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 8mm
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 8mm; sin FRP
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c = 140$  ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 7 cm

- Vigas con  $f'c= 140$  ; con refuerzo de 3/8"
  - Vigas con  $f'c= 140$  ; con refuerzo de 3/8"; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 140$  ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 140$  ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 210$ 
  - Vigas con  $f'c= 210$  ; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 210$  ; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 210$  ; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 1/4"
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 1/4"; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 1/4"; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 1/4"140 ; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 8mm
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 8mm; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 3/8"
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 3/8"; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 210$ ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 280$ 
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con FRP de 7 cm

- Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $1/4"$ 
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $1/4"$ ; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $1/4"$ ; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $1/4"$ 140 ; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de 8mm
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de 8mm; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de 8mm; con FRP de 7 cm
- Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $3/8"$ 
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $3/8"$ ; sin FRP
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $3/8"$ ; con FRP de 3.5 cm
  - Vigas con  $f'c= 280$ ; con refuerzo de  $3/8"$ ; con FRP de 7 cm

Ya que la recopilación de datos involucra un proceso extenso, revisaremos íntegramente el grupo 8, del que ya se elaboró el paso a paso en el capítulo N°3:

- **GRUPO 8:**

$f'c= 210$ , con refuerzo de  $3/8"$

- Vigas con  $f'c = 210$ ; con refuerzo de 3/8"; sin FRP

DATOS DE LABORATORIO			
<b>PROYECTO:</b>		<i>TESIS DE INVESTIGACION</i>	
<b>FECHA:</b>		<i>25/11/2015</i>	
<b>TIPO DE ENSAYO:</b>		<i>FLEXION</i>	
<b>NOMENCLATURA:</b>		<i>V210-CV3/8-SFRP</i>	
<b><u>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:</u></b>			
<b>SECCION DE VIGA</b>		<i>15X15 cm<sup>2</sup></i>	
<b>LARGO:</b>		<i>60 cm</i>	
<b>F'C:</b>		<i>210 kg/cm<sup>2</sup></i>	
<b>ACERO:</b>		<i>3/8"</i>	
<b>ANCHO DE FRP:</b>		<i>0 cm</i>	
<b>LARGO DE FRP:</b>		<i>0 cm</i>	
Lectura		RESULTADOS DE ENSAYO	
Deformación	Carga (lb)	Deformación (mm)	Carga (kg)
57	0	0	0.00
59	100	0.02	45.45
61	200	0.04	90.91
63	300	0.06	136.36
65	400	0.08	181.82
67	500	0.1	227.27
69.5	600	0.125	272.73
72	700	0.15	318.18
75	800	0.18	363.64
77	900	0.2	409.09
79	1000	0.22	454.55
81	1100	0.24	500.00
82.5	1200	0.255	545.45
84	1300	0.27	590.91
85.5	1400	0.285	636.36
87	1500	0.3	681.82
88.5	1600	0.315	727.27
90	1700	0.33	772.73
91	1800	0.34	818.18
92	1900	0.35	863.64
92.5	2000	0.355	909.09

93	2100	0.36	954.55
94	2200	0.37	1000.00
95.5	2300	0.385	1045.45
97	2400	0.4	1090.91
98	2500	0.41	1136.36
100	2600	0.43	1181.82
101	2700	0.44	1227.27
102	2800	0.45	1272.73
103	2900	0.46	1318.18
104	3000	0.47	1363.64
104.5	3100	0.475	1409.09
105	3200	0.48	1454.55
106.5	3300	0.495	1500.00
107	3400	0.5	1545.45
109	3500	0.52	1590.91
110	3600	0.53	1636.36
111	3700	0.54	1681.82
112.5	3800	0.555	1727.27
114	3900	0.57	1772.73
115.5	4000	0.585	1818.18
117	4100	0.6	1863.64
119	4200	0.62	1909.09
120	4300	0.63	1954.55
122	4400	0.65	2000.00
123.5	4500	0.665	2045.45
125	4600	0.68	2090.91
127	4700	0.7	2136.36
129	4800	0.72	2181.82
130.5	4900	0.735	2227.27
132	5000	0.75	2272.73
134	5100	0.77	2318.18
136	5200	0.79	2363.64
138	5300	0.81	2409.09
143	5400	0.86	2454.55
146	5500	0.89	2500.00
151	5600	0.94	2545.45
155	5700	0.98	2590.91
157	5800	1	2636.36
159	5900	1.02	2681.82
162	6000	1.05	2727.27
165	6100	1.08	2772.73
168	6200	1.11	2818.18
172	6300	1.15	2863.64

176	6400	1.19	2909.09
179	6500	1.22	2954.55
184	6600	1.27	3000.00
190	6700	1.33	3045.45
196	6800	1.39	3090.91
199	6900	1.42	3136.36
201	7000	1.44	3181.82
202	7100	1.45	3227.27
203	7200	1.46	3272.73
204.5	7300	1.475	3318.18
209	7400	1.52	3363.64
211	7500	1.54	3409.09
212.5	7600	1.555	3454.55
214	7700	1.57	3500.00
218	7800	1.61	3545.45
220	7900	1.63	3590.91
222	8000	1.65	3636.36
223	8100	1.66	3681.82
224.5	8200	1.675	3727.27
228	8300	1.71	3772.73
231	8400	1.74	3818.18
232.5	8500	1.755	3863.64
235.5	8600	1.785	3909.09
237.5	8700	1.805	3954.55
239	8800	1.82	4000.00
241	8900	1.84	4045.45
242.5	9000	1.855	4090.91
248	9100	1.91	4136.36
250	9200	1.93	4181.82
251	9300	1.94	4227.27
253	9400	1.96	4272.73
259	9500	2.02	4318.18
261	9600	2.04	4363.64
265	9700	2.08	4409.09
282	9800	2.25	4454.55
310	9900	2.53	4500.00
329	10000	2.72	4545.45
338	10100	2.81	4590.91
346	10200	2.89	4636.36
360	10300	3.03	4681.82
370	10400	3.13	4727.27
382.5	10500	3.255	4772.73
392.5	10600	3.355	4818.18
412	10700	3.55	4863.64

428	10800	3.71	4909.09
450	10850	3.93	4931.82
458	10900	4.01	4954.55
478	10950	4.21	4977.27



Figura 5.1 Viga #14 después del ensayo.

- Vigas con  $f'c = 210$ ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 3.5 cm

#### **DATOS DE LABORATORIO**

PROYECTO: *TESIS DE INVESTIGACION*  
 FECHA: *25/11/2015*  
 TIPO DE ENSAYO: *FLEXION*  
 NOMENCLATURA: *V210-CV3/8-CFRP-D*

#### **CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:**

SECCION DE VIGA *15X15 cm<sup>2</sup>*  
 LARGO: *60 cm*  
 F'c: *210 kg/cm<sup>2</sup>*  
 ACERO: *3/8"*  
 ANCHO DE FRP: *3.5 cm*  
 LARGO DE FRP: *55 cm*

Lectura		RESULTADOS DE ENSAYO	
Deformación	Carga (lb)	Deformación (mm)	Carga (kg)
65	0	0	0.00
67	100	0.02	45.45
69	200	0.04	90.91
71	300	0.06	136.36
73	400	0.08	181.82
75	500	0.1	227.27
77.5	600	0.125	272.73
79	700	0.14	318.18
81	800	0.16	363.64
82	900	0.17	409.09
83	1000	0.18	454.55
85	1100	0.2	500.00
86	1200	0.21	545.45
87	1300	0.22	590.91
88	1400	0.23	636.36
90	1500	0.25	681.82
91	1600	0.26	727.27
92	1700	0.27	772.73
93	1800	0.28	818.18
94	1900	0.29	863.64
95	2000	0.3	909.09
96.5	2100	0.315	954.55
97.5	2200	0.325	1000.00
98.5	2300	0.335	1045.45
99.5	2400	0.345	1090.91
100.5	2500	0.355	1136.36
102	2600	0.37	1181.82
103	2700	0.38	1227.27
104	2800	0.39	1272.73
105	2900	0.4	1318.18
106	3000	0.41	1363.64
107	3100	0.42	1409.09
107.5	3200	0.425	1454.55
108.5	3300	0.435	1500.00
109.5	3400	0.445	1545.45
110	3500	0.45	1590.91
111	3600	0.46	1636.36
112	3700	0.47	1681.82
113	3800	0.48	1727.27
114	3900	0.49	1772.73

114.5	4000	0.495	1818.18
115	4100	0.5	1863.64
115.5	4200	0.505	1909.09
116.5	4300	0.515	1954.55
118	4400	0.53	2000.00
119.5	4500	0.545	2045.45
120.5	4600	0.555	2090.91
121.5	4700	0.565	2136.36
122	4800	0.57	2181.82
123	4900	0.58	2227.27
124	5000	0.59	2272.73
125	5100	0.6	2318.18
126	5200	0.61	2363.64
127	5300	0.62	2409.09
128	5400	0.63	2454.55
129	5500	0.64	2500.00
133	5600	0.68	2545.45
134	5700	0.69	2590.91
135	5800	0.7	2636.36
136	5900	0.71	2681.82
137.5	6000	0.725	2727.27
139	6100	0.74	2772.73
140	6200	0.75	2818.18
141.5	6300	0.765	2863.64
143	6400	0.78	2909.09
144	6500	0.79	2954.55
146	6600	0.81	3000.00
147	6700	0.82	3045.45
147.5	6800	0.825	3090.91
149.5	6900	0.845	3136.36
152	7000	0.87	3181.82
154	7100	0.89	3227.27
156	7200	0.91	3272.73
158	7300	0.93	3318.18
159.5	7400	0.945	3363.64
162.5	7500	0.975	3409.09
164.5	7600	0.995	3454.55
166.5	7700	1.015	3500.00
170	7800	1.05	3545.45
172	7900	1.07	3590.91
175	8000	1.1	3636.36
180	8100	1.15	3681.82
181	8200	1.16	3727.27
182	8300	1.17	3772.73

183	8400	1.18	3818.18
187	8500	1.22	3863.64
189	8600	1.24	3909.09
190	8700	1.25	3954.55
191	8800	1.26	4000.00
192	8900	1.27	4045.45
202	9000	1.37	4090.91
203	9100	1.38	4136.36
205	9200	1.4	4181.82
209	9300	1.44	4227.27
210	9400	1.45	4272.73
211	9500	1.46	4318.18
212	9600	1.47	4363.64
213	9700	1.48	4409.09
215	9800	1.5	4454.55
218	9900	1.53	4500.00
220	10000	1.55	4545.45
222	10100	1.57	4590.91
225	10200	1.6	4636.36
227	10300	1.62	4681.82
228	10400	1.63	4727.27
229	10500	1.64	4772.73
230	10600	1.65	4818.18
232	10700	1.67	4863.64
236	10800	1.71	4909.09
240	10900	1.75	4954.55
243	11000	1.78	5000.00
245	11100	1.8	5045.45
246	11200	1.81	5090.91
248	11300	1.83	5136.36
250	11400	1.85	5181.82
254	11500	1.89	5227.27
256	11600	1.91	5272.73
257	11700	1.92	5318.18
258	11800	1.93	5363.64
262	11900	1.97	5409.09
264	12000	1.99	5454.55
265	12100	2	5500.00
266	12200	2.01	5545.45
268	12300	2.03	5590.91
272	12400	2.07	5636.36
274	12500	2.09	5681.82
278	12600	2.13	5727.27
279	12700	2.14	5772.73

280	12800	2.15	5818.18
281	12900	2.16	5863.64
282	13000	2.17	5909.09
286	13100	2.21	5954.55
287.5	13200	2.225	6000.00
289	13300	2.24	6045.45
290	13400	2.25	6090.91
291	13500	2.26	6136.36

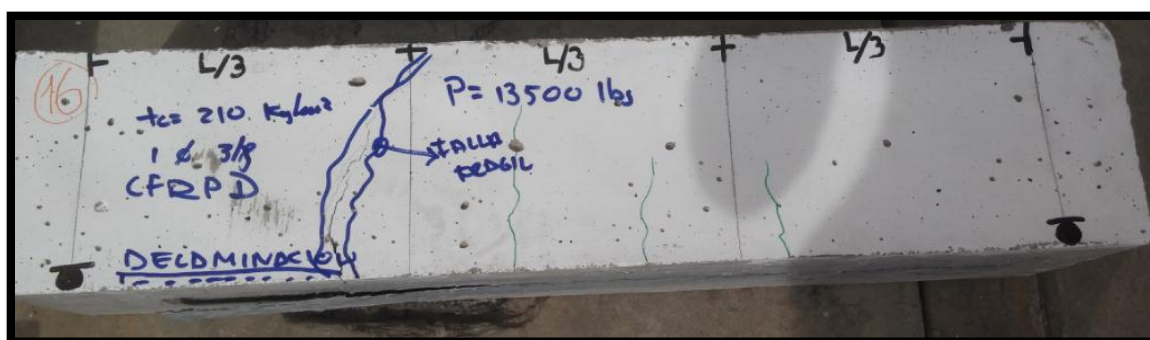


Figura 5.2 Viga #16 después del ensayo.

- Vigas con  $f'c = 210$ ; con refuerzo de 3/8"; con FRP de 7 cm

<b><u>DATOS DE LABORATORIO</u></b>	
PROYECTO:	TESIS DE INVESTIGACIÓN
FECHA:	25/11/2015
TIPO DE ENSAYO:	FLEXION
NOMENCLATURA:	V210-CV3/8-CFRP-A
<b><u>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:</u></b>	
SECIÓN DE VIGA	15X15 cm <sup>2</sup>
LARGO:	60 cm
F'c:	210 kg/cm <sup>2</sup>
ACERO:	3/8"
ANCHO DE FRP:	7.5 cm
LARGO DE FRP:	55 cm

		RESULTADOS DE ENSAYO	
Lectura		Deformación (mm)	Carga (kg)
Deformación	Carga (lb)		
48	0	0	0.00
49	100	0.01	45.45
50	200	0.02	90.91
51	300	0.03	136.36
52	400	0.04	181.82
53	500	0.05	227.27
54	600	0.06	272.73
54.5	700	0.065	318.18
55	800	0.07	363.64
55.5	900	0.075	409.09
56.5	1000	0.085	454.55
57	1100	0.09	500.00
58	1200	0.1	545.45
59	1300	0.11	590.91
60	1400	0.12	636.36
61	1500	0.13	681.82
61.5	1600	0.135	727.27
62.5	1700	0.145	772.73
63	1800	0.15	818.18
64	1900	0.16	863.64
64.5	2000	0.165	909.09
65	2100	0.17	954.55
66	2200	0.18	1000.00
66.5	2300	0.185	1045.45
67	2400	0.19	1090.91
68	2500	0.2	1136.36
69	2600	0.21	1181.82
69.5	2700	0.215	1227.27
70	2800	0.22	1272.73
71	2900	0.23	1318.18
71.5	3000	0.235	1363.64
72	3100	0.24	1409.09
73	3200	0.25	1454.55
73.5	3300	0.255	1500.00
74.5	3400	0.265	1545.45
75	3500	0.27	1590.91
75.5	3600	0.275	1636.36
76	3700	0.28	1681.82
77	3800	0.29	1727.27

78	3900	0.3	1772.73
78.5	4000	0.305	1818.18
79	4100	0.31	1863.64
80	4200	0.32	1909.09
80.5	4300	0.325	1954.55
81	4400	0.33	2000.00
82	4500	0.34	2045.45
82.5	4600	0.345	2090.91
83	4700	0.35	2136.36
83.5	4800	0.355	2181.82
84	4900	0.36	2227.27
84.5	5000	0.365	2272.73
84.8	5100	0.368	2318.18
85	5200	0.37	2363.64
85.5	5300	0.375	2409.09
86	5400	0.38	2454.55
88	5500	0.4	2500.00
89	5600	0.41	2545.45
89.5	5700	0.415	2590.91
90.5	5800	0.425	2636.36
91	5900	0.43	2681.82
93	6000	0.45	2727.27
93.5	6100	0.455	2772.73
94.5	6200	0.465	2818.18
96	6300	0.48	2863.64
96.5	6400	0.485	2909.09
97.5	6500	0.495	2954.55
98.5	6600	0.505	3000.00
99	6700	0.51	3045.45
100	6800	0.52	3090.91
101	6900	0.53	3136.36
102	7000	0.54	3181.82
103.5	7100	0.555	3227.27
104	7200	0.56	3272.73
105	7300	0.57	3318.18
106	7400	0.58	3363.64
107.5	7500	0.595	3409.09
109	7600	0.61	3454.55
110	7700	0.62	3500.00
110.5	7800	0.625	3545.45
111	7900	0.63	3590.91
112.5	8000	0.645	3636.36
113.5	8100	0.655	3681.82
114	8200	0.66	3727.27

115.5	8300	0.675	3772.73
116.5	8400	0.685	3818.18
117.5	8500	0.695	3863.64
119	8600	0.71	3909.09
119.5	8700	0.715	3954.55
120	8800	0.72	4000.00
121	8900	0.73	4045.45
122	9000	0.74	4090.91
123	9100	0.75	4136.36
124	9200	0.76	4181.82
125	9300	0.77	4227.27
126	9400	0.78	4272.73
127	9500	0.79	4318.18
129	9600	0.81	4363.64
130	9700	0.82	4409.09
130.5	9800	0.825	4454.55
131.5	9900	0.835	4500.00
132.5	10000	0.845	4545.45
134	10100	0.86	4590.91
135	10200	0.87	4636.36
135.5	10300	0.875	4681.82
136.5	10400	0.885	4727.27
137	10500	0.89	4772.73
138.5	10600	0.905	4818.18
139.5	10700	0.915	4863.64
141	10800	0.93	4909.09
142	10900	0.94	4954.55
143	11000	0.95	5000.00
145	11100	0.97	5045.45
146	11200	0.98	5090.91
147	11300	0.99	5136.36
148	11400	1	5181.82
149	11500	1.01	5227.27
150	11600	1.02	5272.73
150.5	11700	1.025	5318.18
152	11800	1.04	5363.64
153	11900	1.05	5409.09
154	12000	1.06	5454.55
155.5	12100	1.075	5500.00
157	12200	1.09	5545.45
158	12300	1.1	5590.91
159	12400	1.11	5636.36
160	12500	1.12	5681.82
161	12600	1.13	5727.27

162	12700	1.14	5772.73
164	12800	1.16	5818.18
165	12900	1.17	5863.64
169	13000	1.21	5909.09
177	13100	1.29	5954.55
178	13200	1.3	6000.00
179	13300	1.31	6045.45
181	13400	1.33	6090.91
182	13500	1.34	6136.36
184	13600	1.36	6181.82
185	13700	1.37	6227.27
187	13800	1.39	6272.73
190	13900	1.42	6318.18
191	14000	1.43	6363.64
194	14100	1.46	6409.09
195	14200	1.47	6454.55
196	14300	1.48	6500.00
198	14400	1.5	6545.45
202	14500	1.54	6590.91
204	14600	1.56	6636.36
205	14700	1.57	6681.82
208	14800	1.6	6727.27
210	14900	1.62	6772.73
211	15000	1.63	6818.18
216	15100	1.68	6863.64
217	15200	1.69	6909.09
218	15300	1.7	6954.55
221	15400	1.73	7000.00
223	15500	1.75	7045.45
226	15600	1.78	7090.91
228	15700	1.8	7136.36
233	15800	1.85	7181.82
234	15900	1.86	7227.27
236	16000	1.88	7272.73

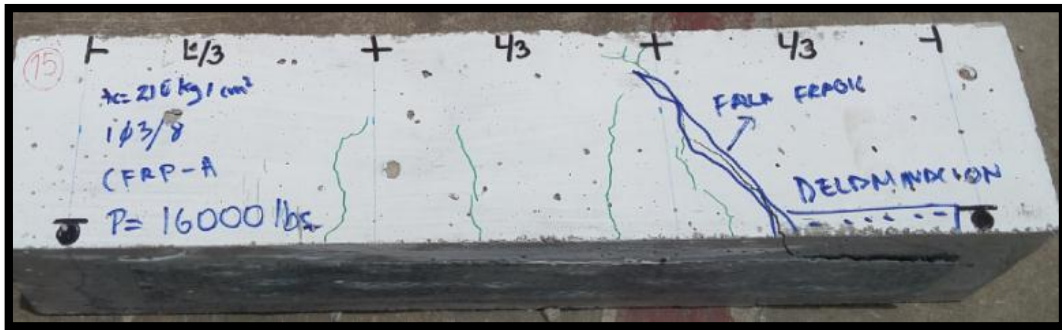
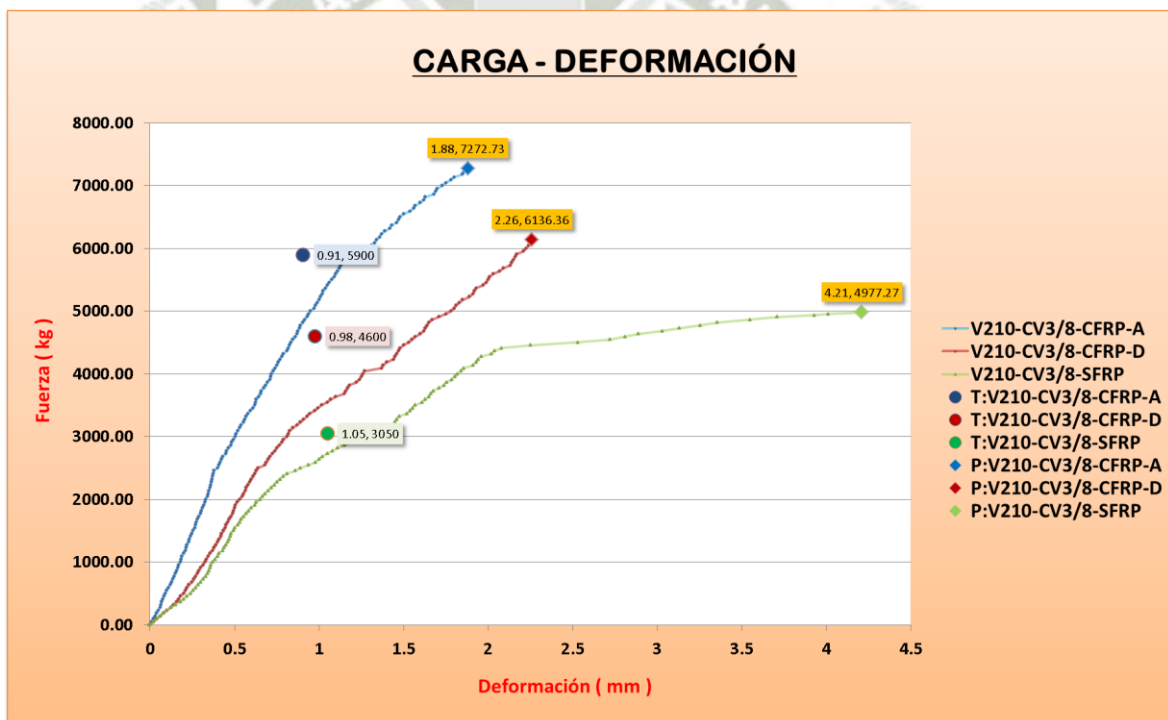


Figura 5.3 Viga #15 después del ensayo.

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 3/8 pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de

acero solo llego hasta una carga máxima de 4.9 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 6.1 tn y 7.3 tn.

Para una resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .



### Cálculo de la deformación teórica

	P (kg)	Deformacion
T:V210-CV3/8-CFRP-A	5900	0.91
T:V210-CV3/8-CFRP-D	4600	0.98
T:V210-CV3/8-SFRP	3050	1.05

	P (kg)	Deformacion
P:V210-CV3/8-CFRP-A	7272.73	1.88
P:V210-CV3/8-CFRP-D	6136.36	2.26
P:V210-CV3/8-SFRP	4977.27	4.21

#### Calculo de la deformacion

NOMENCLATURA :	T:V210-CV3/8-CFRP-A
P= 2950	kgf
a= 20	cm
E (fc 210) = 2.10E+05	kgf/cm <sup>2</sup>
I= 1189.58941	cm <sup>4</sup>
L= 60	cm
<b>Deform. : 0.90534105 mm</b>	

NOMENCLATURA :	T:V210-CV3/8-CFRP-D
P= 2300	kgf
a= 20	cm
E (fc 210) = 2.10E+05	kgf/cm <sup>2</sup>
I= 860.350357	cm <sup>4</sup>
L= 60	cm
<b>Deform. : 0.97597744 mm</b>	

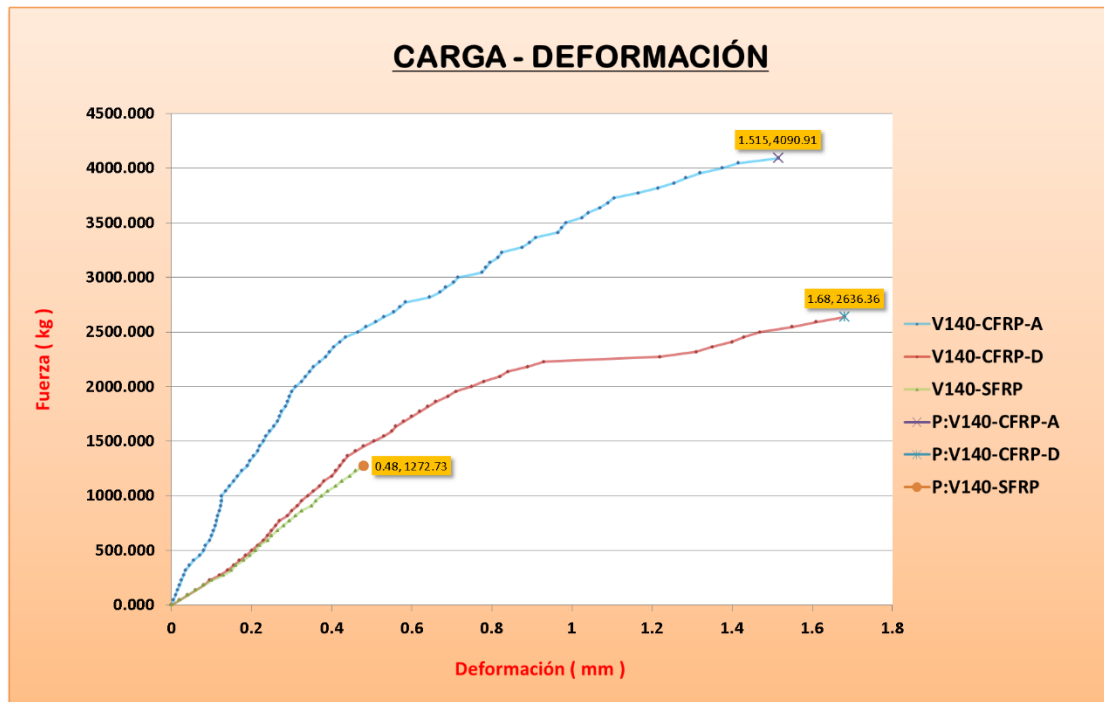
NOMENCLATURA :	T:V210-CV3/8-SFRP
P= 1525	kgf
a= 20	cm
E (fc 210) = 2.10E+05	kgf/cm <sup>2</sup>
I= 530.411	cm <sup>4</sup>
L= 60	cm
<b>Deform. : 1.04965024 mm</b>	

Ahora veremos los resultados de los demás grupos de vigas ensayadas:

- GRUPO 1:**

$f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ , sin acero

**DIAGRAMA:**

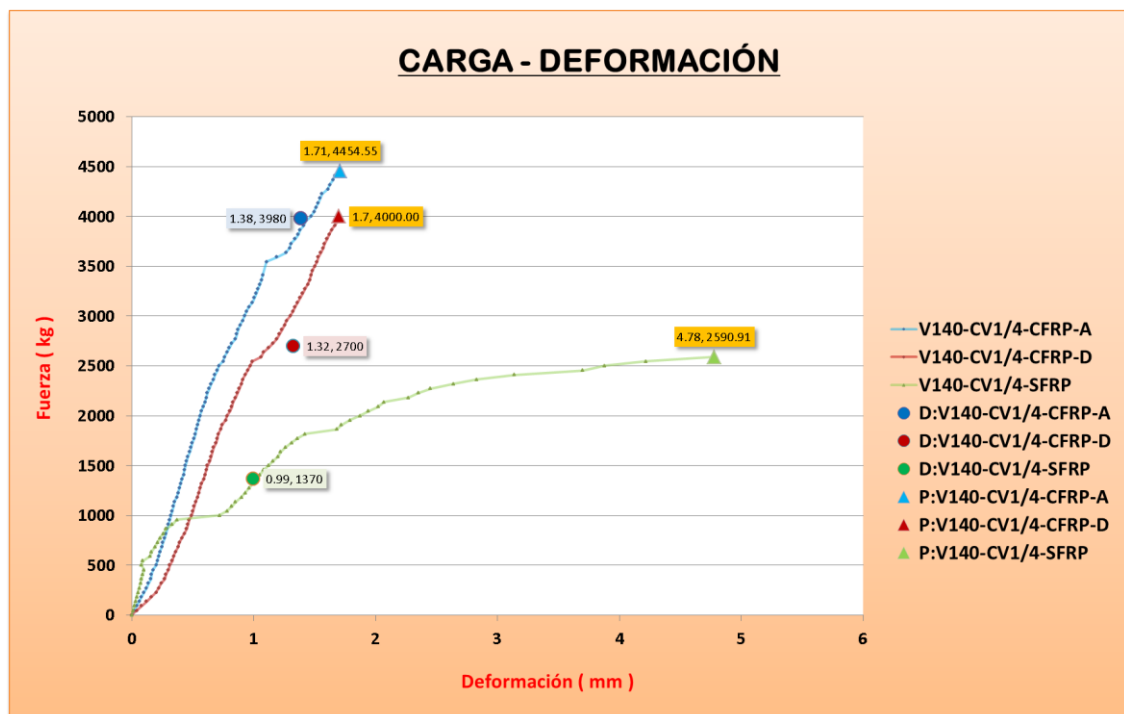


En las siguientes curvas se puede apreciar la poca ductilidad que tiene la fibra de carbono junto al concreto de  $f'_c$  de 140 kg/cm<sup>2</sup> sin refuerzo, el cual no es recomendable ya que en el momento del ensayo se presentó una falla explosiva, concluyendo que jamás deberá de reforzarse un elemento sin refuerzo estructural. Se aprecia también que hay un aumento considerable de fuerza actuante para distintos casos de ensayo, para una viga de solo concreto soporto una fuerza de 1.2 tn, con un refuerzo de 3.5 cm este resistió a una fuerza de 2.6 tn y con un refuerzo de 7 cm este resistió hasta 4 tn.

• **GRUPO 2:**

$f'c = 140$ , con refuerzo de 1/4"

**DIAGRAMA:**

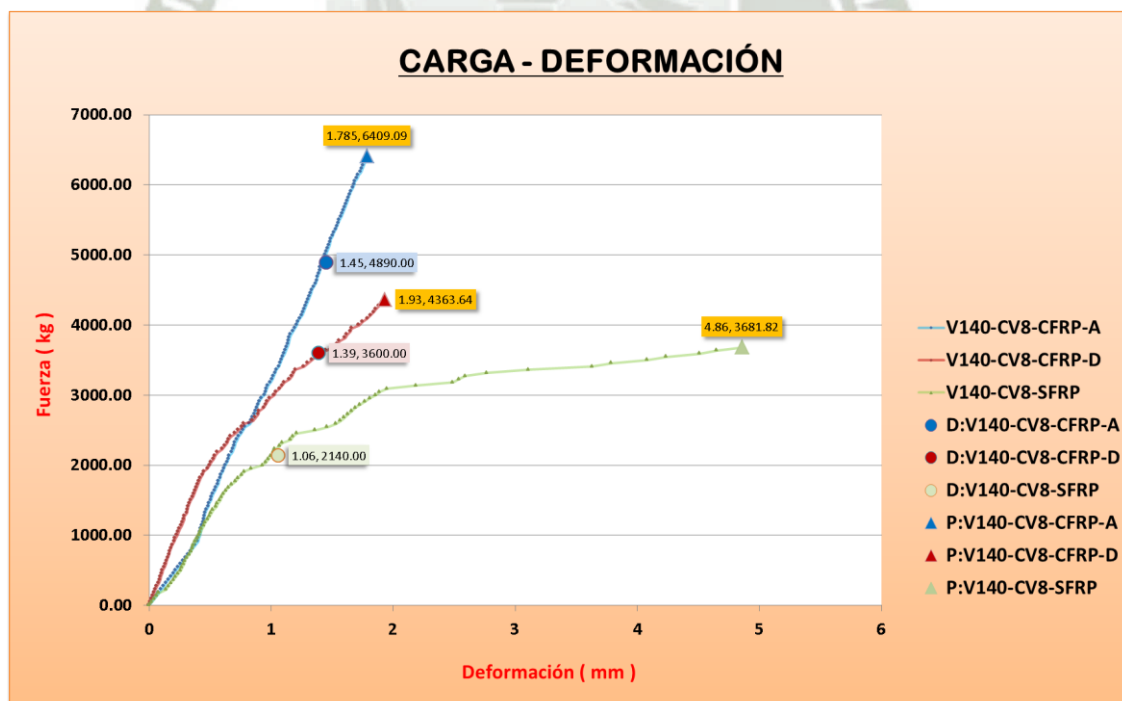


En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 1/4", pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 2.6 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 4.4 tn y 4 tn.

También se puede notar puntos teóricos que hemos determinado que están muy aproximados a las curvas reales, estos puntos son complejos de determinar ya que el valor del momento inercia en todo momento del ensayo es una variable, por tal motivo, muchos investigadores afirman que debe de ser castigado por un 70% de su momento de inercia agrietada, ya que al tratarse de un concreto de poca resistencia y verificado en los ensayos, las fisuras aparecen muy fácilmente y crecen rápidamente.

- **GRUPO 3:**  
f'c= 140, con refuerzo de 8mm

**DIAGRAMA:**



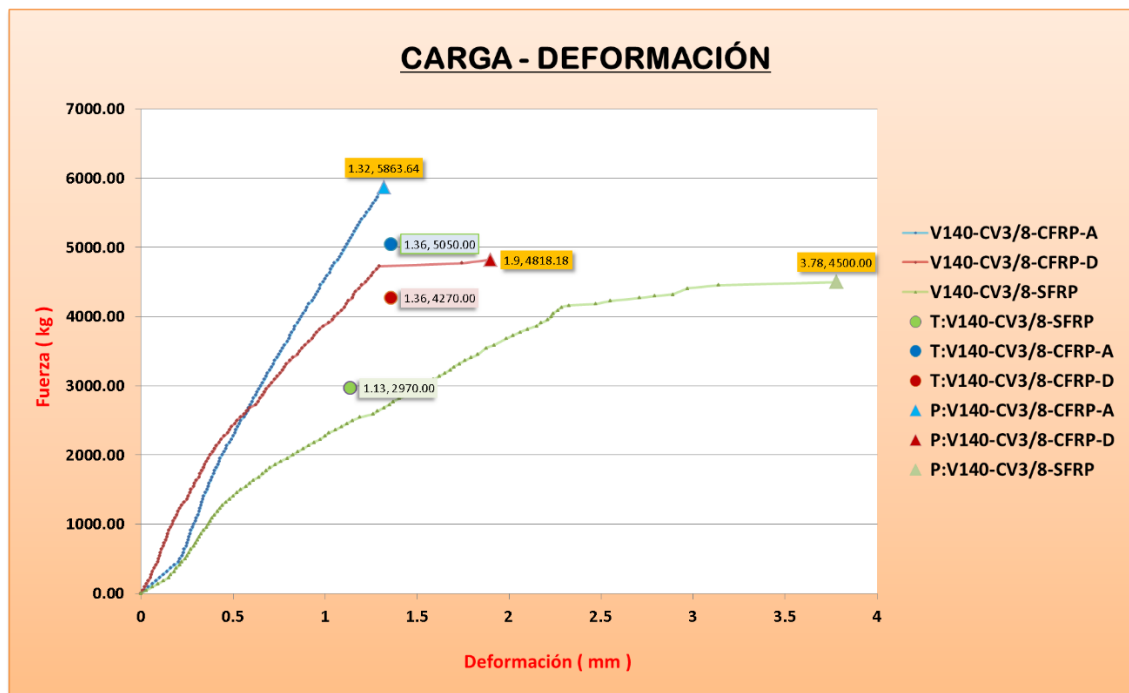
En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 8mm pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 3.6 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 4.3 tn y 6.4 tn.

También se puede notar puntos teóricos que hemos determinado que están muy aproximados a las curvas reales, estos puntos son complejos de determinar ya que el valor del momento inercia en todo momento del ensayo es una variable, por tal motivo, muchos investigadores afirman que debe de ser son castigado por un 70% de su momento de inercia agrietada, ya que al tratarse de un concreto de poca resistencia y verificado en los ensayos, las fisuras aparecen muy fácilmente y crecen rápidamente.

- **GRUPO 4:**

$f'c = 140$ , con refuerzo de 3/8"

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 3/8" pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 3.78 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 4.8 tn y 5.8 tn.

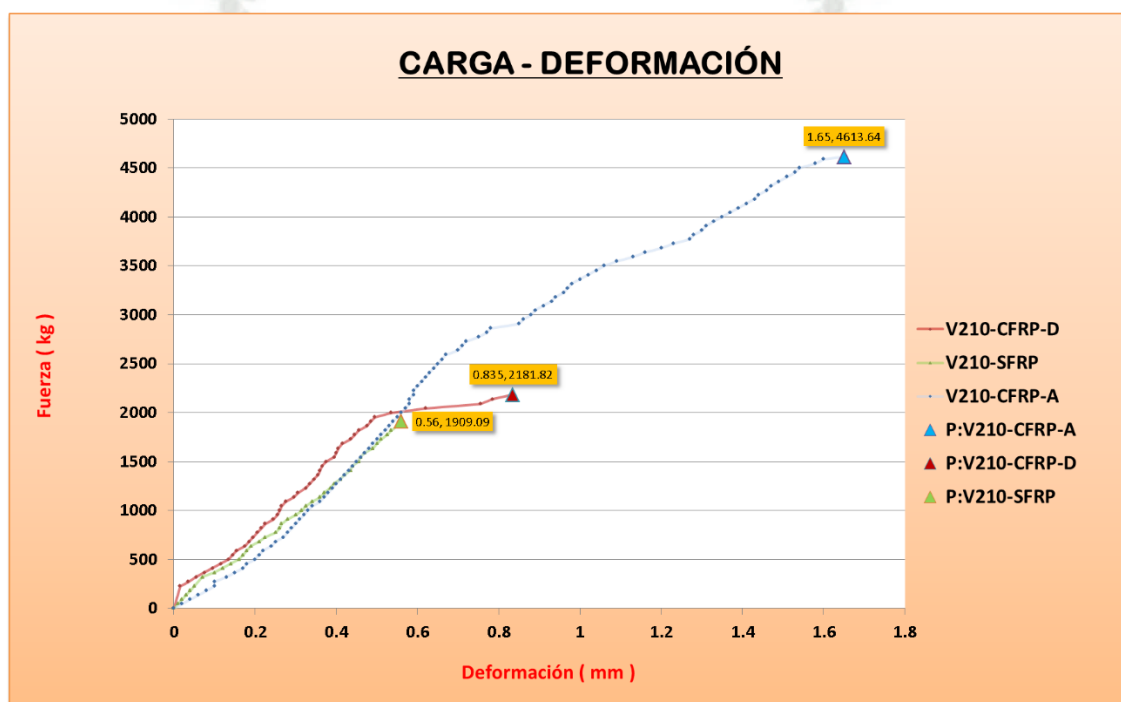
También se puede notar puntos teóricos que hemos determinado que están muy aproximados a las curvas reales, estos puntos son complejos de determinar ya que el valor del momento inercia en todo momento del ensayo es una variable, por tal motivo, muchos investigadores afirman que debe de ser son castigado por un 70% de su momento de inercia agrietada, ya que al

tratarse de un concreto de poca resistencia y verificado en los ensayos, las fisuras aparecen muy fácilmente y crecen rápidamente.

- **GRUPO 5:**

$f'c = 210$ , sin acero

**DIAGRAMA**



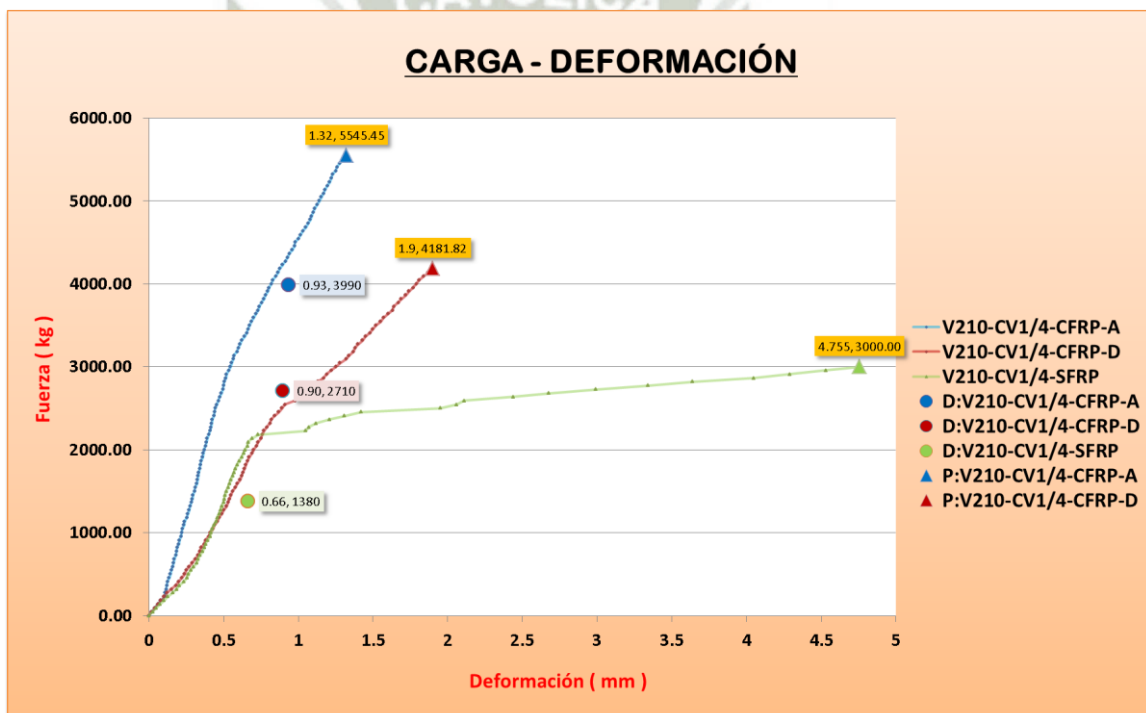
En las siguientes curvas se puede apreciar la poca ductilidad que tiene la fibra de carbono junto al concreto de  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> sin refuerzo, el cual no es recomendable ya que en el momento del ensayo se presentó una falla explosiva, concluyendo que jamás deberá de reforzarse un elemento sin refuerzo estructural.

Se aprecia también que hay un aumento considerable de fuerza actuante para distintos casos de ensayo, para una viga de solo concreto soporto una fuerza de 1.9 tn, con un refuerzo de 3.5 cm este resistió a una fuerza de 2.1 tn y con un refuerzo de 7 cm este resistió hasta 4.6 tn.

- **GRUPO 6:**

$f'c = 210$ , con refuerzo de 1/4"

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 1/4" pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 3 tn pero sin embargo se nota el

gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 4.18 tn y 5.54 tn.

Para una resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

- **GRUPO 7:**

$f'c = 210$ , con refuerzo de 8mm

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 8mm pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de

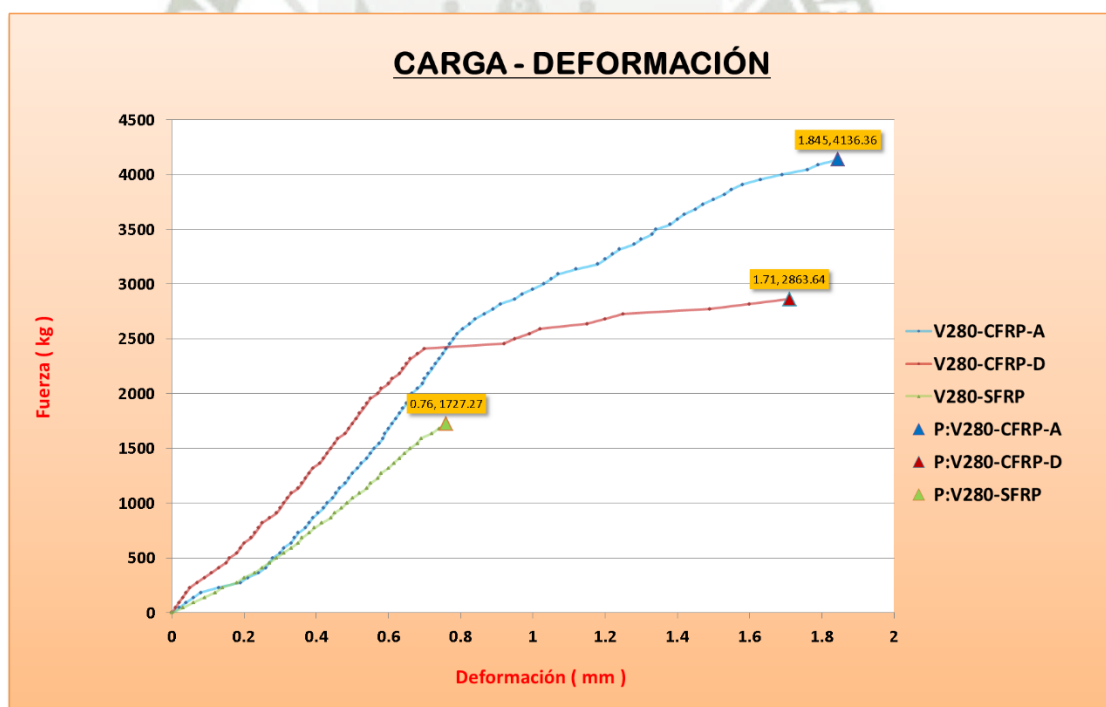
acero solo llego hasta una carga máxima de 3.7 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 5.6 tn y 6.4 tn.

Para una resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

- **GRUPO 9:**

$f'c = 280$ , sin acero

**DIAGRAMA:**



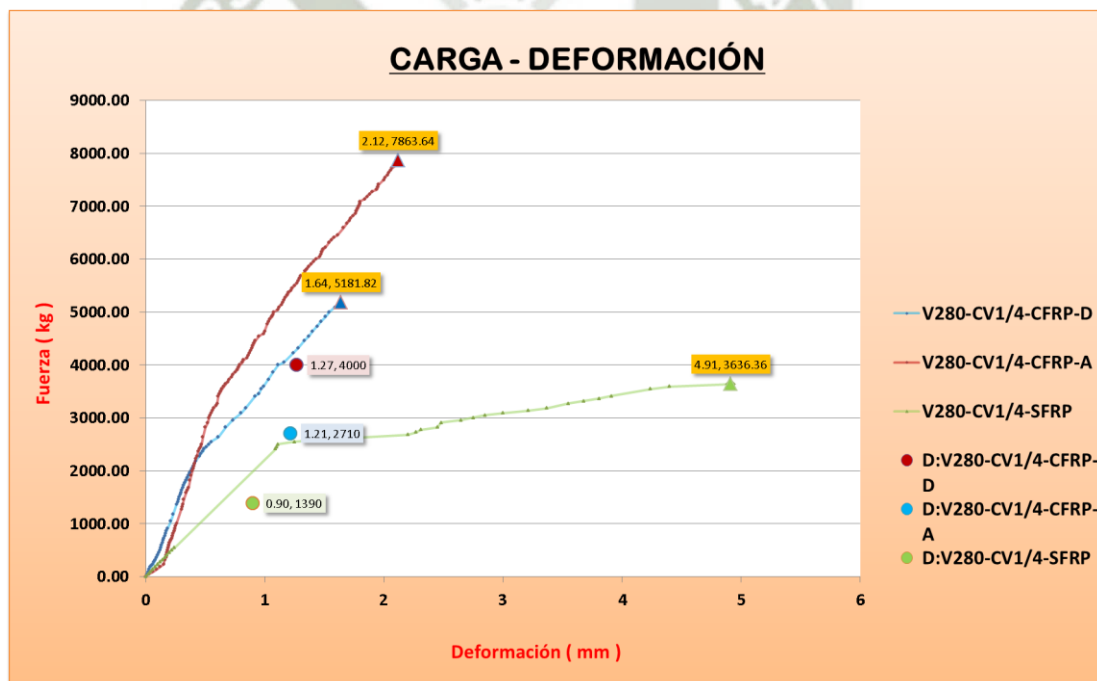
En las siguientes curvas se puede apreciar la poca ductilidad que tiene la fibra de carbono junto al concreto de  $f'c$  de  $280 \text{ kg/cm}^2$  sin refuerzo, el cual no es

recomendable ya que en el momento del ensayo se presentó una falla explosiva, concluyendo que jamás deberá de reforzarse un elemento sin refuerzo estructural. Se aprecia también que hay un aumento considerable de fuerza actuante para distintos casos de ensayo, para una viga de solo concreto soporto una fuerza de 1.7 tn, con un refuerzo de 3.5 cm este resistió a una fuerza de 2.8 tn y con un refuerzo de 7 cm este resistió hasta 4.1 tn.

- **GRUPO 10:**

$f'c = 280$ , con refuerzo de 1/4"

**DIAGRAMA**



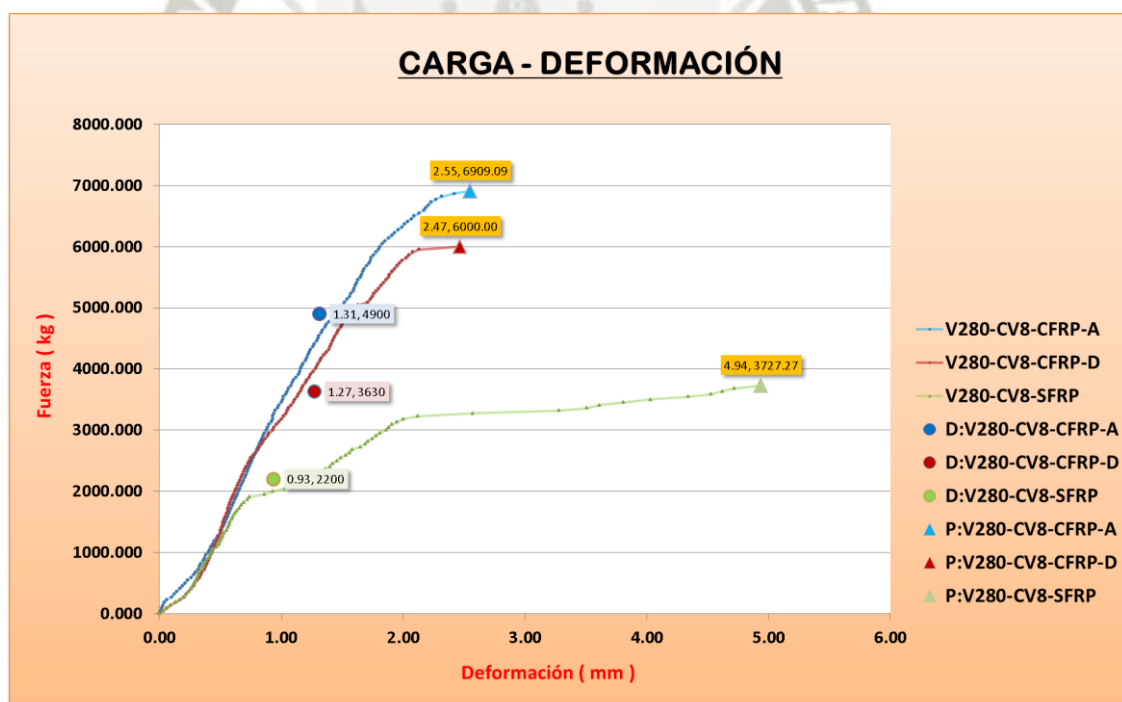
En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 1/4" pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de

acero solo llego hasta una carga máxima de 3.6 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 5.2 tn y 7.8 tn.

Para una resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

- **GRUPO 11:**  
 $f'c = 280$ , con refuerzo de 8mm

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 8mm pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada

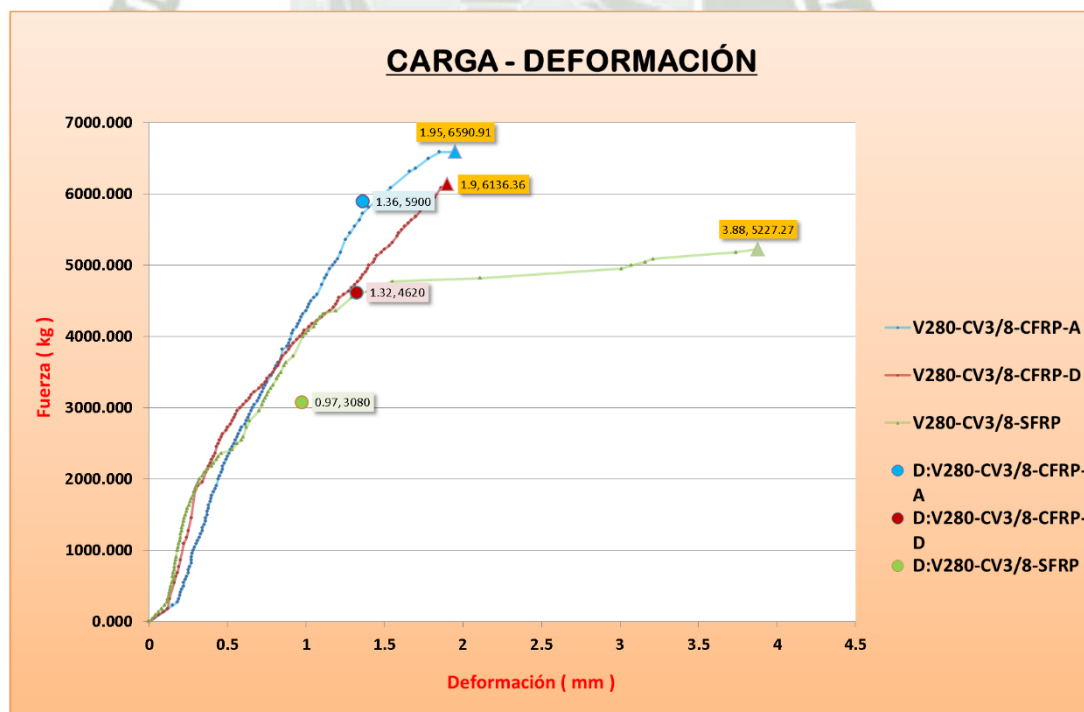
menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 3.7 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 6 tn y 6.9 tn.

Para una resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

• **GRUPO 12:**

$f'c = 280$ , con refuerzo de 3/8"

**DIAGRAMA:**



En la siguiente grafica se puede apreciar la gran ductilidad que tiene el acero de refuerzo de 3/8" pero sin embargo tiene una resistencia a la carga aplicada menor al de los de refuerzo con fibra de carbono. La viga con solo refuerzo de acero solo llego hasta una carga máxima de 5.2 tn pero sin embargo se nota el gran aumento a la resistencia pero poca ductilidad con los que si se han reforzado con fibra de carbono, estos llegaron a una resistencia de 6.1 tn y 6.6 tn.

Para una resistencia  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  evitaremos castigar el 70 %, ya que al mejorar el concreto las fisuras no crecen tan rápidamente como pasa para concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

**(\*) ANEXO 3: Al final de este documento adjuntaremos los certificados de los ensayos realizados durante la investigación.**



**CAPÍTULO 6**

## **CAPÍTULO N°06: APLICACIÓN DE REFORZAMIENTO DE VIGA POR FLEXIÓN EN EL HOTEL 4 ESTRELLAS – ILO**

### **6.1. INTRODUCCIÓN:**

En el presente capítulo se analizará la viga “V-10” del hotel 4 estrellas de la ciudad de Ilo, llegando a la conclusión de un reforzamiento por flexión con fibra de carbono.

Analizaremos la patología de la viga a reforzar, mostrando el tipo de fisura que presenta el elemento estructural, desarrollaremos el análisis estático determinando las envolventes y momentos actuantes de acuerdo a la norma de RNE, llegando a la conclusión de hacer un reforzamiento a flexión con fibra de carbono, así mismo se presentara el análisis matemático para el diseño a flexión con fibra de carbono según la normativa ACI 440.2R-08 en el cual emplearemos nuestro software elaborado; concluyendo el capítulo con el proceso de aplicación de reforzamiento con fibra de carbono en la viga analizada.

### **6.2. PATOLOGÍA DE LAS VIGAS A REFORZAR:**

#### **6.2.1. EVALUACIÓN DEL ACERO EXISTENTE:**

De acuerdo al análisis del análisis de envolvente y momentos actuantes que presenta la viga se concluye que el refuerzo de la viga no podrá soportar los momentos últimos requeridos por lo tanto habrá presencia de fisuras en pocas

semanas. También se analizó que por ser una viga de una gran luz presenta vibraciones el cual a un futuro generara que la estructura se fatigue.



Figura 6.1 Sección de la viga a evaluar.

#### 6.2.1. EVALUACIÓN DE LA FISURA:

Las fisuras mostradas fueron medidas con “medidor de ancho de grietas”, el cual llegamos a la conclusión de ser unas fisuras de 0.30 mm de espesor el cual significa que llegara a ser visibles por parte del público usuario generando preocupación, podemos clasificar la fisura como figuración por esfuerzos de tracción por flexión, este tipo de fisuras se presenta durante la primera semana de edad del concreto el cual se debe por que soportan momentos flectores en la zona de tracción y debido a su gran peralte facilita la aparición de estas fisuras.

### 6.2.2. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO:

De acuerdo a nuestra evaluación del concreto se concluye que presenta una buena resistencia, esta evaluación fue tomada gracias al instrumento del esclerómetro y corroborada con el ensayo a compresión de las probetas proporcionadas por el cliente, ya que la estructura reforzada estaba en plena construcción y finalización de pisos superiores.

### 6.3. ANÁLISIS DE ENVOLVENTES Y MOMENTOS ACTUANTES:

Se desarrolló un análisis estático para determinar las envolventes y momentos actuantes en la viga "V-10" dando como resultado lo siguientes valores.

**(\*) ANEXO 4: Al final de este documento adjuntaremos el plano de reforzamiento**

#### Carga Muerta:

VIGA :	0.4 m	x	0.8 m	x	2.4 tn/m <sup>3</sup>	=	0.77 tn/m
LOSA:	0.5 tn/m <sup>2</sup>	x	50 m <sup>2</sup>	/	9.73 m	=	2.57 tn/m
							3.34 tn/m

#### Carga Viva .

	0.5	x	50	/	9.73	=	2.57 tn/m
--	-----	---	----	---	------	---	-----------



Figura 6.2 Hotel \*\*\*\* de Ilo en 3D.

Se modeló en el programa SAP2000V14.000, de acuerdo a un análisis estático.

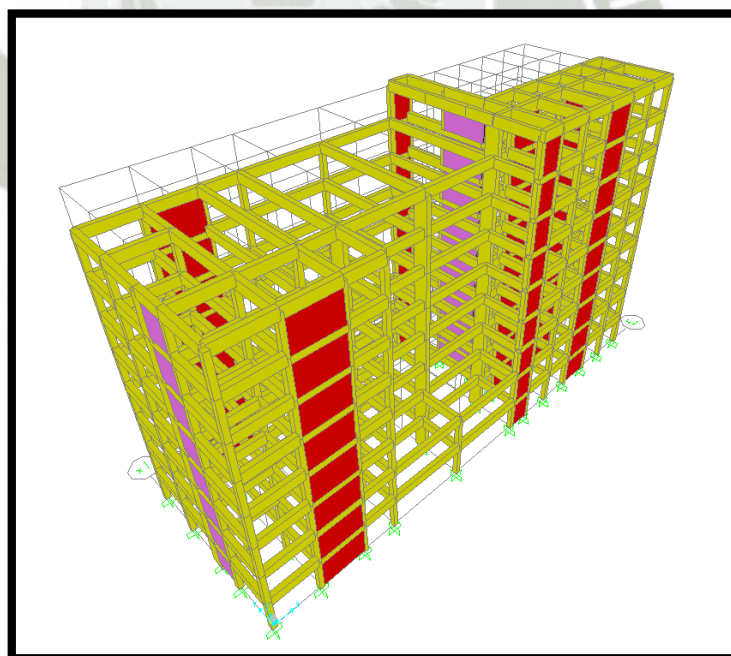


Figura 6.3 Estructura modelada en SAP – Vista 1.

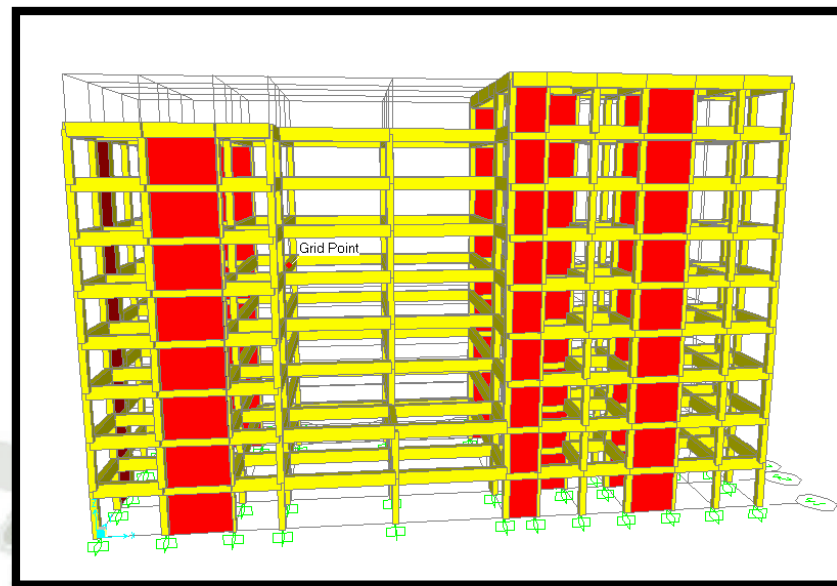
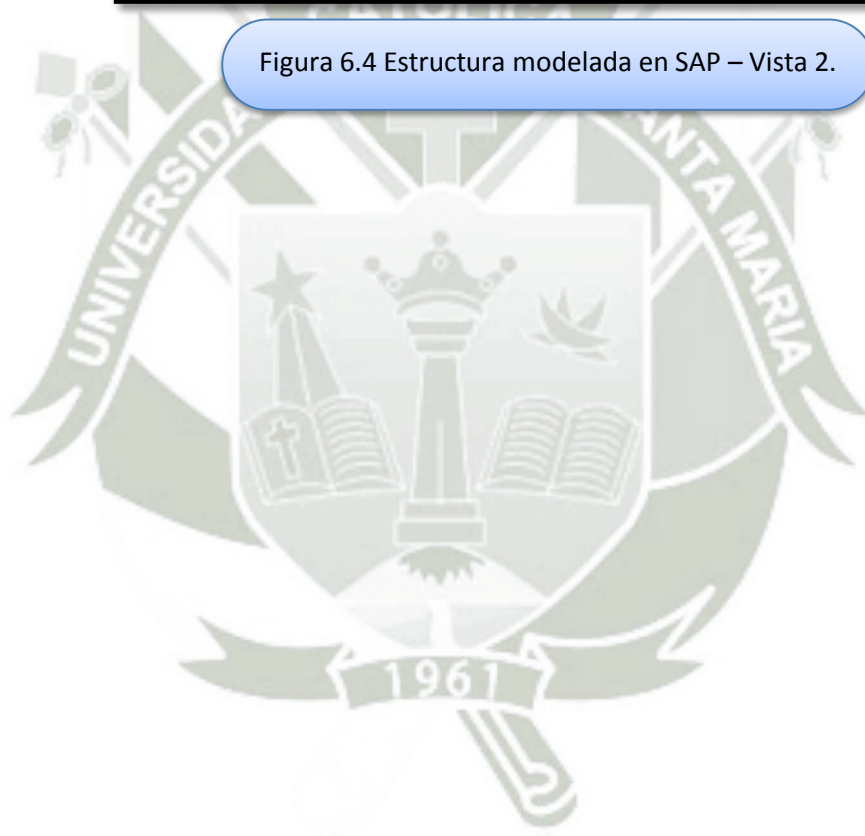


Figura 6.4 Estructura modelada en SAP – Vista 2.



### Carga Muerta

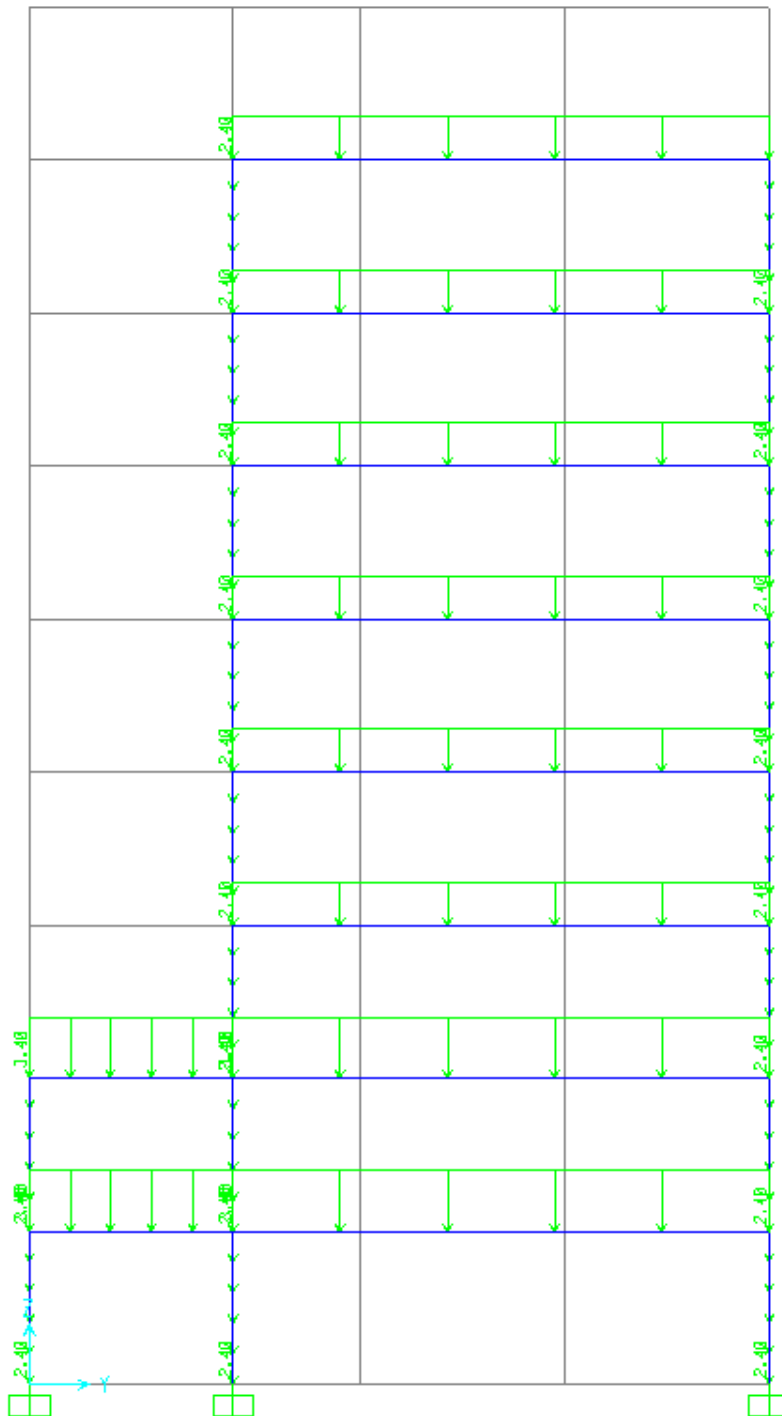


Figura 6.5 Carga muerta - SAP

### Carga Viva

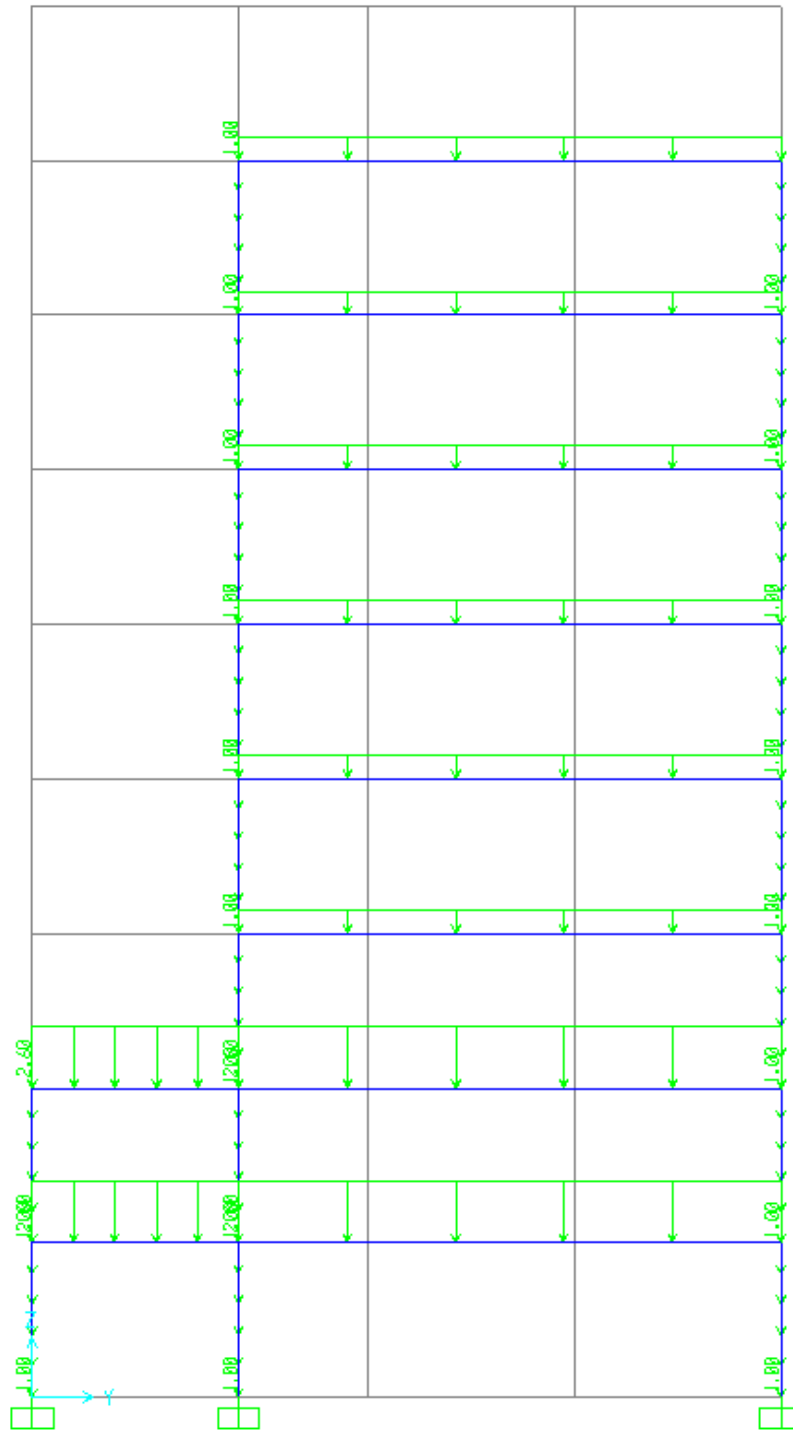


Figura 6.6 Carga viva - SAP

### Carga de Sismo

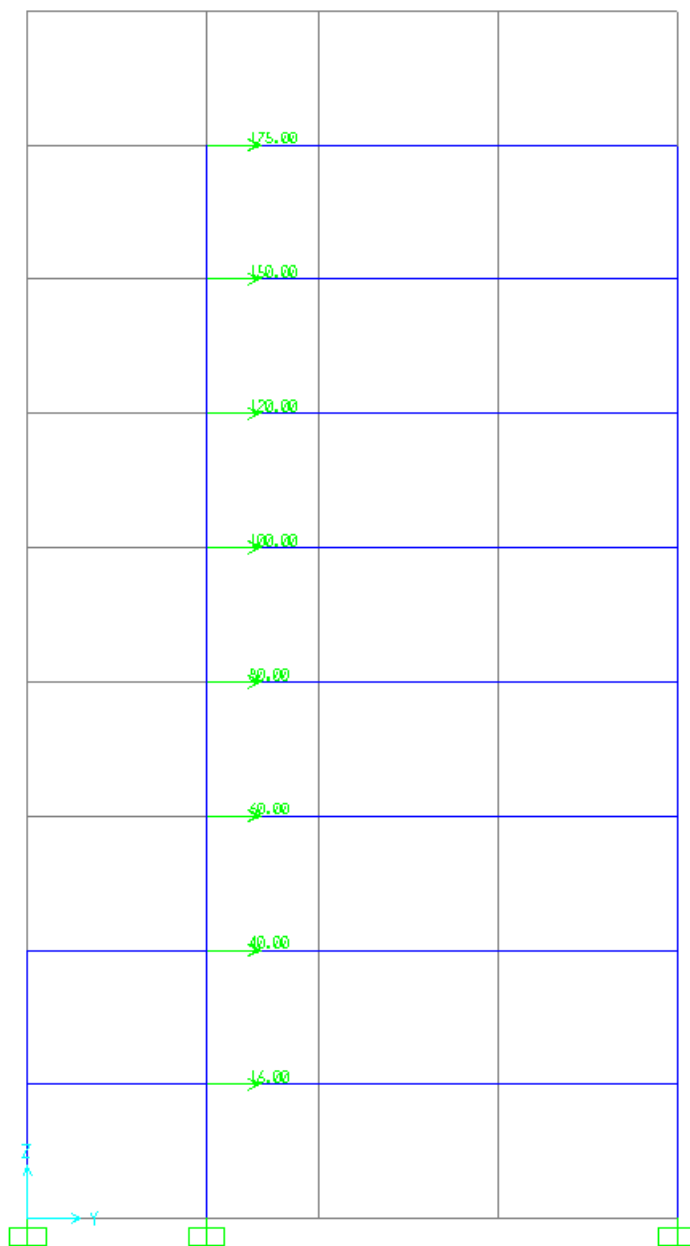


Figura 6.7 Carga de sismo - SAP

Diagrama de momentos flectores, se desea extraer los resultados de la envolvente de la viga a reforzar.

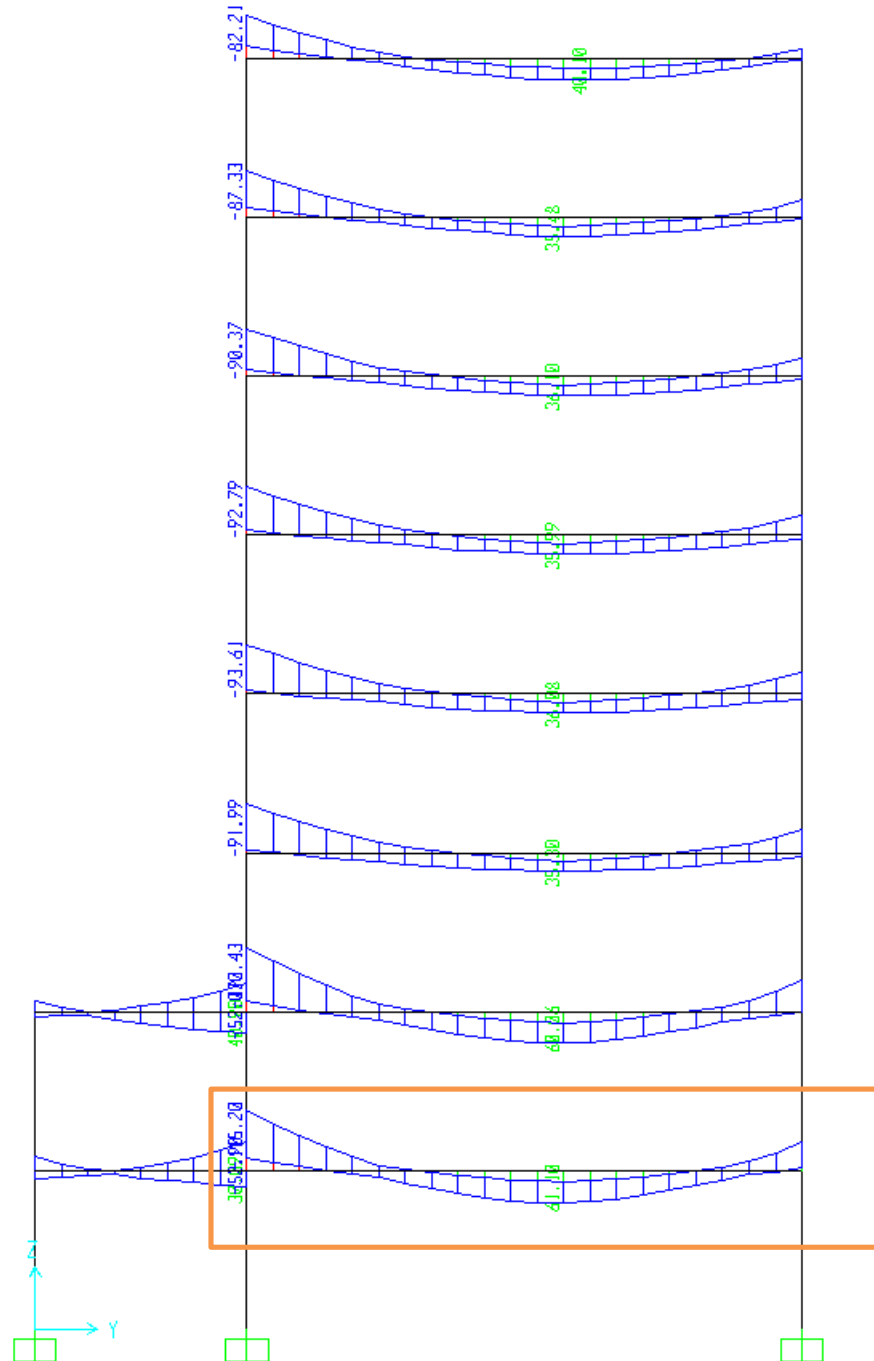


Figura 6.8 Diagrama de momentos flectores - SAP

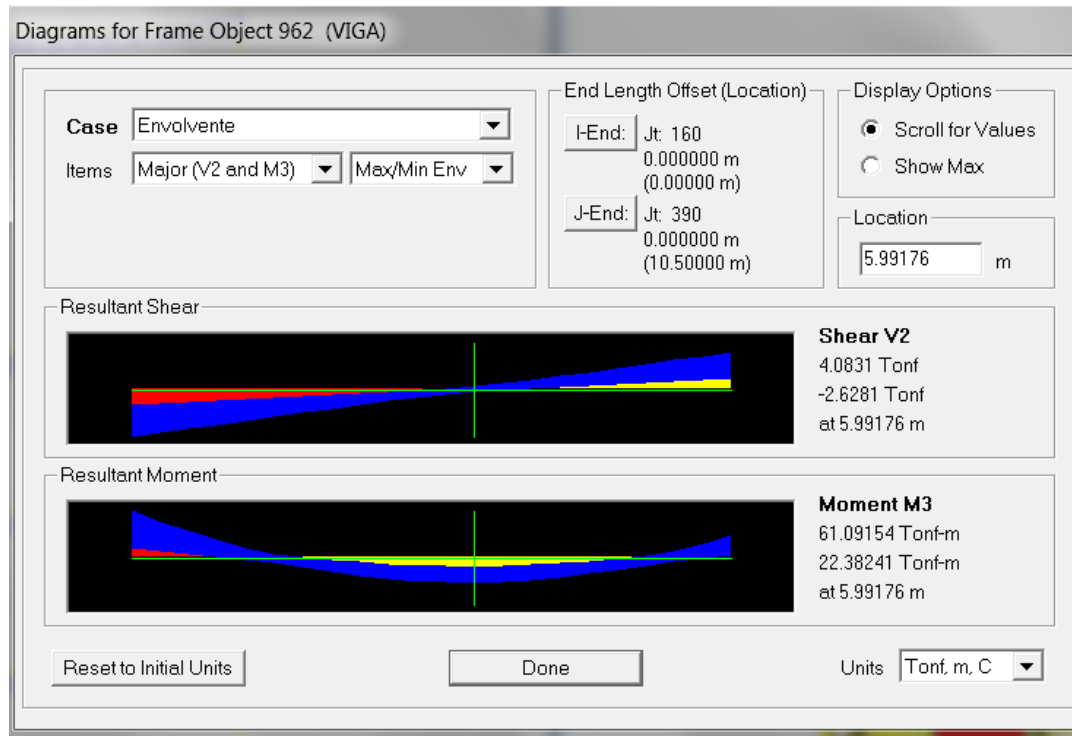


Figura 6.9 Extraído del SAP2000

Momento Requerido: 61.09 tn.m

#### 6.4. ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL REFORZAMIENTO CON FRP:

Para el reforzamiento con FRP primeramente debemos de comparar y analizar los momentos requeridos en el elemento con los momentos reales del elemento a reforzar.

Momento Requerido: De acuerdo al análisis estático se determinó que el elementos “ V-10 “ deberá ser capaz de soportar un momento últimos de 61.09 tn.m

De acuerdo a los planos extraemos y calculamos:

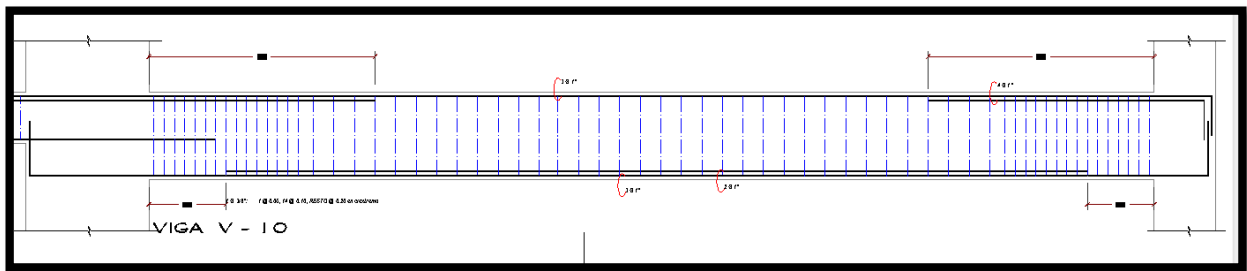


Figura 6.10 Viga V-10

- Refuerzo de Acero Estructural:

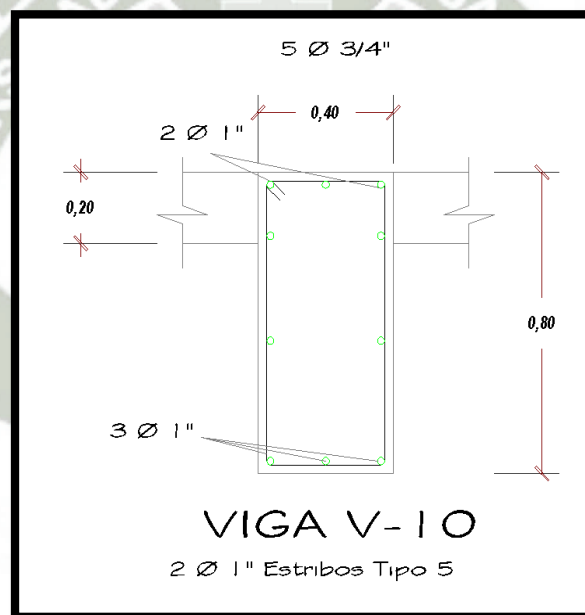
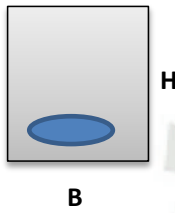


Figura 6.11 Viga V-10

$$3 \phi 1" + 2 \phi 3/4" = 3 \times 5.10 \text{ cm}^2 + 2 \times 2.84 \text{ cm}^2 = 20.86 \text{ cm}^2$$

**As real = 20.86 cm<sup>2</sup> (3.23 plg<sup>2</sup>)**

De acuerdo a la Norma NTE se concluye que el área de acero encontrado cumple con la cuantía:



H =	80	cm
B =	40	cm
d =	72	cm
f'c =	210	kgf/cm <sup>2</sup>
fy =	4200	kgf/cm <sup>2</sup>

f'c	$\rho_b$ (%)
175	1.77
210	2.13
280	2.83
350	3.33
420	3.75
450	3.9

$\rho_b$ (%)	2.13
--------------	------

Cuantia balanceada	0.02130000
Cuantia minima	0.00241523
Cuantia maxima	0.01597500

A. Acero	61.34	cm <sup>2</sup>
A. Acero	6.96	cm <sup>2</sup>
A. Acero	46.01	cm <sup>2</sup>

$\rho_{max} = 0.75 \rho_b \rightarrow 0.016$  entonces ;  $As_{max} = 0.016 \times 40 \text{ cm} \times 72 \text{ cm} = 46$   
cm<sup>2</sup>

$\rho_{min} = 0.016$  entonces ;  $As_{max} = 0.016 \times 40 \text{ cm} \times 72 \text{ cm} = 6.96 \text{ cm}^2$

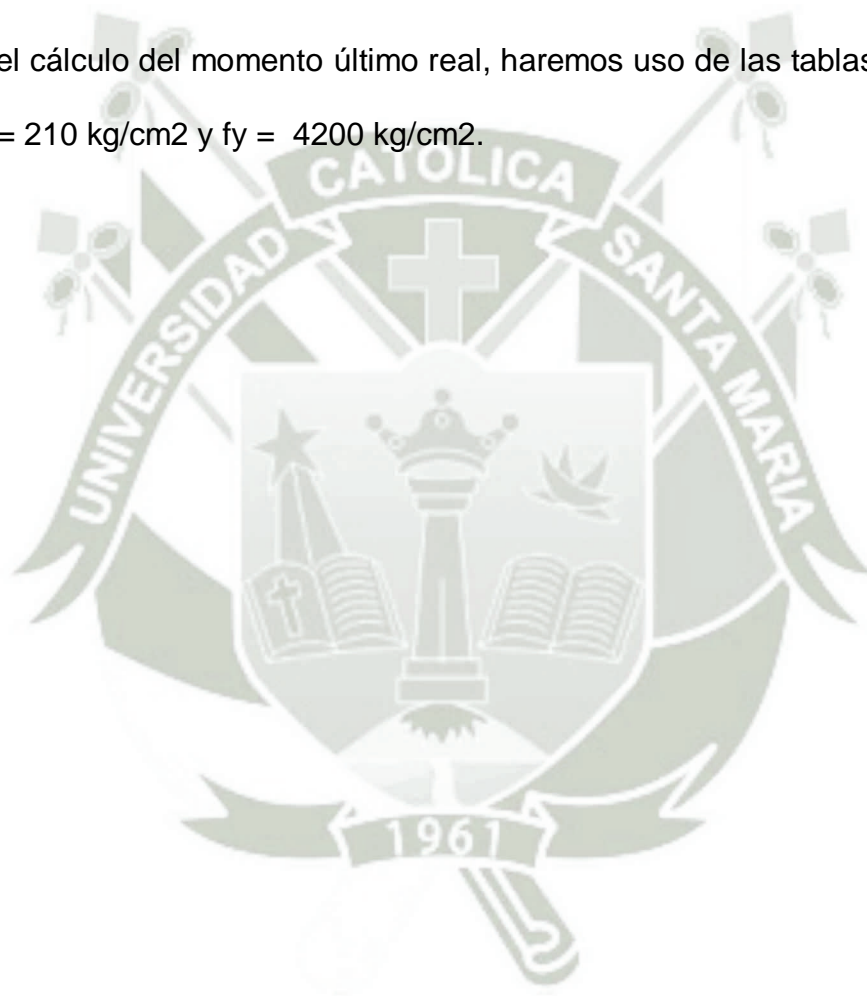
Por lo tanto:

$$As_{max} < As_{diseñado} < As_{min}$$

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

- Cálculo del momento real:

Para el cálculo del momento último real, haremos uso de las tablas de Ku, para un  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .



$E_{cu} =$	0.003
$E_s =$	2,000,000
$E_y =$	0.0021
$\beta_1 =$	0.850
$\phi =$	0.9

$\phi_{bal} = 2.13\%$   
 $0.5 \phi_{bal} = 1.06\%$   
 $0.75 \phi_{bal} = 1.59\%$

$f_c =$	210
$f_y =$	4,200

$K_u = M_u / b d^2$   
 Unidades: Kg, cm  
 $A_s = \phi (b'd)$

$\phi$	$K_u$
0.10%	3.74
0.12%	4.47
0.14%	5.20
0.16%	5.93
0.18%	6.66
0.20%	7.38
0.22%	8.10
0.24%	8.82
0.26%	9.53
0.28%	10.23
0.30%	10.94
0.32%	11.64
0.34%	12.34
0.36%	13.03
0.38%	13.72
0.40%	14.41
0.42%	15.09
0.44%	15.77
0.46%	16.44
0.48%	17.12
0.50%	17.78
0.52%	18.45
0.54%	19.11
0.56%	19.77
0.58%	20.42
0.60%	21.07
0.62%	21.72
0.64%	22.37
0.66%	23.01
0.68%	23.64
0.70%	24.27
0.72%	24.90
0.74%	25.53
0.76%	26.15
0.78%	26.77
0.80%	27.39
0.82%	28.00
0.84%	28.60
0.86%	29.21
0.88%	29.81
0.90%	30.41
0.92%	31.00
0.94%	31.59
0.96%	32.18
0.98%	32.76
1.00%	33.34
1.02%	33.92
1.04%	34.49
1.06%	35.08
1.08%	35.62
1.10%	36.18
1.12%	36.74

$\phi$	$K_u$
1.14%	37.30
1.16%	37.85
1.18%	38.39
1.20%	38.94
1.22%	39.48
1.24%	40.01
1.26%	40.55
1.28%	41.08
1.30%	41.60
1.32%	42.12
1.34%	42.64
1.36%	43.16
1.38%	43.67
1.40%	44.18
1.42%	44.68
1.44%	45.18
1.46%	45.68
1.48%	46.17
1.50%	46.66
1.52%	47.15
1.54%	47.63
1.56%	48.11
1.58%	48.59
1.60%	49.06
1.62%	49.53
1.64%	50.00
1.66%	50.46
1.68%	50.91
1.70%	51.37
1.72%	51.82
1.74%	52.27
1.76%	52.71
1.78%	53.15
1.80%	53.59
1.82%	54.02
1.84%	54.45
1.86%	54.88
1.88%	55.30
1.90%	55.72
1.92%	56.13
1.94%	56.54
1.96%	56.95
1.98%	57.36
2.00%	57.76
2.02%	58.16
2.04%	58.55
2.06%	58.94
2.08%	59.33
2.10%	59.71
2.12%	60.09
2.14%	---
2.16%	---

0.75  $A_{sb}$

$A_{sb}$

$$k_u = \frac{M_u}{b d^2}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 51.5 \text{ Tn.m} \\ b &= 40 \text{ cm} \\ d &= 72 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$K_u = 24.836034$$

Varilla	Area ( cm2 )
1/4	0.317 cm2
8mm	0.503 cm2
3/8	0.71 cm2
1/2	1.27 cm2
5/8	1.98 cm2
3/4"	2.84 cm2
1	5.06 cm2

Uso de la tabla:

Para un  $K_u = 24.84$  obtenemos una  $\rho = 0.72\%$

Entonces decimos que :

$$\rho = 0.0072$$

$$A_s = \rho b d \quad A_s = 20.736 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 20.86 \text{ cm}^2 \approx 20.74 \text{ cm}^2$$

Momento último real es de  $51.5 \text{ Tn. M}$

Según el análisis estructural se determinó

$$M_{cm} = 24.95 \text{ tn. m}$$

$$M_{cv} = 15.39 \text{ tn.m}$$

$$M_u \text{ requerido} = 1.4 ( 24.95 ) + 1.7 ( 15.39 )$$

$$M_u \text{ requerido} = 61.09 \text{ tn.m}$$

Se concluye que el momento requerido es mayor que el momento ultimo real, esto quiere decir que es necesario el reforzamiento de la viga “V-10”.

$$\text{Mu requerido} = 61.09 \text{ tn.m} > \text{Mu real} = 51.5 \text{ tn.m}$$

Para el análisis de reforzamiento estructural del elemento V-10 es importante aclarar que los momentos originados por la carga muerta serán los mismos antes y después del reforzamiento, por consecuencia la diferencia de momentos se considera adicional en la sobre carga (carga viva).

	<u>Estructuras Exisitentes</u>		<u>Estructura Reforzada</u>
Mu cm =	34.93 tn.m	Mu cm =	34.93 tn.m
<b>Mu cv =</b>	<b>16.57 tn.m</b>	Mu cv =	26.16 tn.m
Mu =	51.5 tn.m	Mu =	61.09 tn.m
<b>Mu cv = Mu - Mu cm</b>			

Según el análisis presentado, la carga viva adicional se estima en un incremento del 58% aproximadamente, lo que significa, que la fibra de carbono deberá de reforzar al elemento.

Para el reforzamiento a flexión con fibra de carbono supondremos un reforzamiento de 6 plg  $\approx$  15 cm de ancho de SikaWRAP-600c.

## SikaWRAP-600c

### DATOS TECNICOS

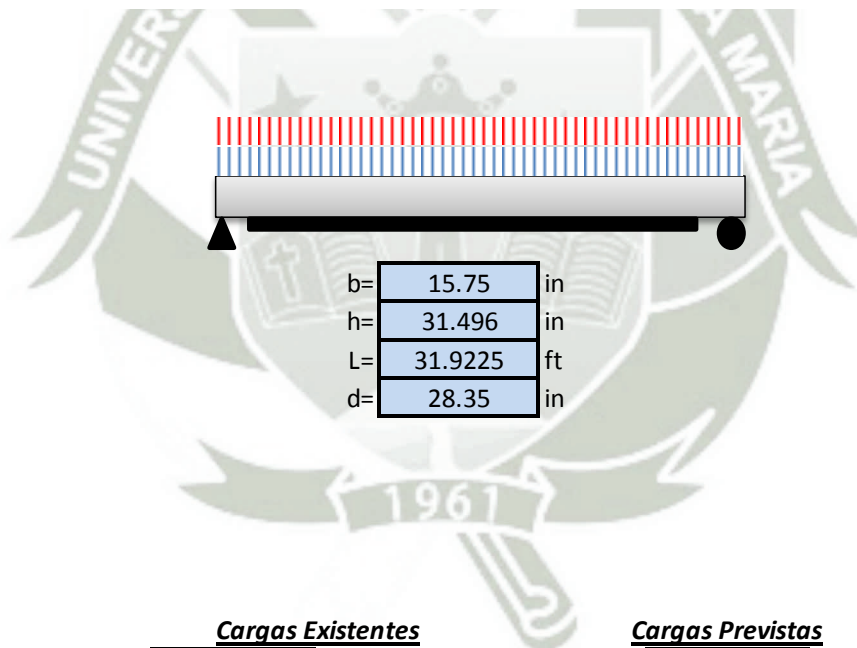


### PROPIEDADES DE LA LÁMINA CURADA

Resistencia a la tensión	139,000 psi (960 N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	10.6 10 <sup>6</sup> psi (73,100 N/mm <sup>2</sup> )
Elongación a la rotura	1.33%
Espesor	1.0 mm (0.039 pulgadas)
Dirección de la fibra	0° (unidireccional)
Peso por metro cuadrado	610 g

### PROPIEDADES DE LA FIBRA

Resistencia a la tensión	620,000 psi (4,300 N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	34.9 10 <sup>6</sup> psi (240,000 N/mm <sup>2</sup> )
Elongación	1.55%
Densidad	1.81 g/cc
Espesor	0.337 mm (0.0133 pulgadas)



**Cargas Existentes**

WL=	0.554	k/ft
WD=	1.40847	k/ft

**Cargas Previstas**

WL=	0.872	k/ft
WD=	1.40847	k/ft

f'c=	3000	psi
fy=	60	ksi

140 kg/cm <sup>2</sup>	2000 psi
210 kg/cm <sup>2</sup>	3000 psi
280 kg/cm <sup>2</sup>	4000 psi
350 kg/cm <sup>2</sup>	5000 psi

	Carga no mayorada WL + WD	Carga limite sin reforzamiento 1.2WD + 0.85 WL	Carga Mayoradas 1.4WD+1.7WL	Momento de carga muerta MD	Momento de carga viva ML	Momento de servicio MS	Momento Limite sin Reforzamiento 1.2MD+0.85 ML	Momento Mayorada 1.4MD+1.7ML	7.216
<b>Cargas Existentes</b>	1.96	n/a	2.91	179.41	70.57	249.98	n/a	371.14	51.43
	k/ft	n/a	k/ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	tn.m
<b>Cargas Previstas</b>	2.28	2.43	3.45	179.41	111.08	290.49	309.71	440.01	60.98
	k/ft	k/ft	k/ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	K.ft	ton.m

**Area de Refuerzo**

Numero de varillas : **3φ1" + 2φ3/4"**  
 Area de Varilla : - in2  
 Area de Refuerzo : **3.23** in2

Refuerzos	
1/4"	0.049 in2
8mm	0.078 in2
3/8"	0.11 in2
1"	0.784 in2

**Propiedades del Sistemas de Reforzamiento**

Numero de Capas : **1**  
 Ancho Wf: **6** in  
 Largo Lf : **29** ft  
 Espesor tf : **0.0133** in  
 Resistencia a tension fu : **620** ksi  
 Deformacion de rotura ε f : **0.0155** in/in  
 Modulo de elasticidad de las  
 laminas FRP Ef : **34900** ksi

**PROCEDIMIENTO DE REFORZAMIENTO:**

**1 Calculo de las propiedades de diseño del material del sistema FRP**

Factor de reduccion ambiental: **0.95**

$$f_{fu} = C_e * f_u$$

$$f_{fu} = 0.95 \times 620$$

$$f_{fu} = 589 \text{ ksi}$$

$$\epsilon_{fu} = C_e * \epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{fu} = 0.95 \times 0.0155$$

$$\epsilon_{fu} = 0.014725 \text{ in/in}$$

## 2 *Calculos*

Condición de exposición	Tipo de fibra y resina	Factor de reducción ambiental, $C_E$
Exposición interior	Carbono/epóxico	0.95
	Vidrio/epóxico	0.75
	Aramida/epóxico	0.85
Exposición exterior (puentes, muelles, y garajes de parqueo sin cerramiento)	Carbono/epóxico	0.85
	Vidrio/epóxico	0.65
	Aramida/epóxico	0.75
Ambientes agresivos (plantas químicas y plantas para el tratamiento de agua residual)	Carbono/epóxico	0.85
	Vidrio/epóxico	0.50
	Aramida/epóxico	0.70

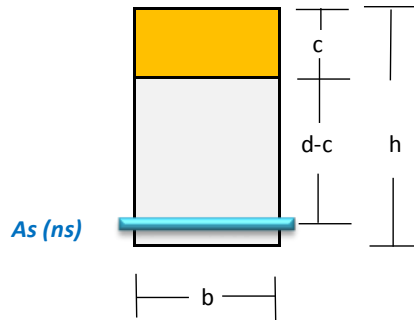
Tabla 6.1 Factores de reducción ambiental para diferentes sistemas FRP y condiciones de exposición.

## 3 *Determinacion del estado de deformacion existente en la cara Inferior:*

\* *El estado de deformacion existente se calcula asumiendo que la viga esta fisurada y que las unicas cargas que actuan sobre la viga en el momento de la instalacion del FRP son cargas muertas.*

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - c)}{I_{cr}E_c}$$

**3.1 Calculo de centroide :**



$$As ( ns ) = 30.00 \text{ in}^2$$

$$\frac{c^2 b}{2} = As ( n ) ( d - c )$$

Valores para la solucion de la ecuacion cuadratica :

a= b/2	a= 7.88
b= As ( n )	b= 30.00
c= (-1) As ( n ) d	c= -850.59

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

donde:  $x = "c"$

Despejando " c " :

$$c = \frac{-30.00 \pm \sqrt{15.75}}{15.75}$$

$$c = 8.66 \text{ in}$$

**3.2 Calculo del momento de inercia :**

$$I_{cr} = \frac{b^3 c^3}{3} + As ( n ) ( d - c )^2$$

$$I_{cr} = \frac{15.75 \text{ in} \times 649.691 \text{ in}^3}{3} + 30.003 \text{ in}^2 ( 19.689 \text{ in} )^2$$

$$I_{cr} = 3410.88 \text{ in}^4 + 11630.85 \text{ in}^4$$

$$I_{cr} = 15041.7304 \text{ in}^4$$

**3.3 Cálculo del Momento Actuante en el instante de colocación de la FRP:**

$$MDL = 179.411966 \text{ k.ft}$$

Conversión:

$$MDL = 2152.94359 \text{ k.in}$$

**3.4 Cálculo de la deformación :**

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(h - c)}{I_{cr}E_c}$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{2152.94 \text{ k.in} \times 22.83 \text{ in}}{15041.7 \text{ in}^4 \times 3122.019 \text{ ksi}}$$

$$\varepsilon_{bi} = 0.00104689$$



**4 Determinación del coeficiente dependiente de adherencia del sistema FRP**

$$K_m = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 1,000,000 \text{ lb / plg} \\ \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{500,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 1,000,000 \text{ lb / plg} \end{cases} \quad (9-2) \text{ US}$$

$$K_m = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360,000} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f \leq 180,000 \text{ N / mm} \\ \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{90,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90 & nE_f t_f > 180,000 \text{ N / mm} \end{cases} \quad (9-2) \text{ SI}$$

**4.1 Comparación del n E f t f :**

**n E f t f**

$$n E f t f = 1 \times 34900000 \text{ psi} \times 0.0133 \text{ in}$$

$$n E f t f = 464170 \text{ lb/in}$$

**Use la formula 1**

$\frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{2,000,000} \right) \leq 0.90$	<b>Formula 1</b>
$\frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{500,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0.90$	<b>Formula 2</b>

$$K_{m1} = \frac{1}{0.8835} \left( 0.767915 \right) \quad K_{m1} = 0.86917374$$

$$K_{m2} = \frac{1}{0.8835} \left( 1.07719155 \right) \quad K_{m2} = 1.21923208$$

**Coficiente a tomara : Km= 0.87**

**5 Estimación de la profundidad del eje neutro "c"**

\* Se aconseja una estimación del 20% de la altura de la sección a reforzar, este valor será reajustado hasta verificar el equilibrio de

$$c = 0.20 h$$

$$c = 0.2 \times 28.35 \text{ in} = 5.67 \text{ in} *$$

$$c = 6.53 \text{ in}$$

**\*Este valor es recomendable para la primera iteración**

CORRECTO
"c" calculado c= 6.53 in

**6 Determinación del nivel efectivo de deformación en el refuerzo FRP**

\* Para la profundidad del eje neutro seleccionado, el aplastamiento del concreto será el modo de falla por cuanto la primera expresión en esta ecuación controla. Si gobierna la segunda expresión (limitante), entonces la falla del FRP será el modo de falla.

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \frac{h-c}{c} - \epsilon_{bi} \leq k_m \epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{fe} = 0.003 \frac{24.97}{6.53} - 0.00104689 \leq k_m \epsilon_{fu} = 0.86917374 \times 0.014725$$

$$\epsilon_{fe} = 0.0104 \leq k_m \epsilon_{fu} = 0.0128$$

$$\epsilon_{fe} = 0.0104$$

**7 Calculo de la deformacion en el acero de refuerzo existente**

\* La deformación en el acero de refuerzo puede ser calculada utilizando la teoría de triángulos semejantes

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bi}) \frac{d-c}{h-c}$$

$$\epsilon_s = ( 0.0104 + 0.00104689 ) \frac{21.82}{24.97}$$

$$\epsilon_s = 0.0100$$

deformacion debe de ser como minimo 0.005

Chequeo

$$\epsilon_s > 0.005$$

**CORRECTO**

**8 Calculo del esfuerzo en el acero y FRP en la sección reforzada**

**8.1 Resistencia en el acero:**

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y$$

$$f_s = 29000 \text{ ksi} \times 0.0100$$

$$f_s = 291 \text{ ksi} \leq 60 \text{ ksi}$$

$$f_s = 60 \text{ ksi}$$

**8.2 Resistencia en el FRP:**

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe}$$

$$f_{fe} = 34900 \text{ ksi} \times 0.0104$$

$$f_{fe} = 363.76 \text{ ksi}$$

**9 Calculo de las fuerzas resultantes internas y verificación del equilibrio**

\* El equilibrio de fuerzas es verificado mediante la comprobación del estimado inicial de c , ya que el aplastamiento del concreto controla la falla , Y puede ser tomada como 0.85)

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\gamma f'_c \beta_1 b}$$

$$Y = 0.85$$

$$c = \frac{3.23 \text{ in}^2 \times 60 \text{ ksi} + 0.0798 \text{ in}^2 \times 363.8 \text{ ksi}}{0.85 \times 3 \text{ ksi} \times 0.85 \times 15.75 \text{ in}}$$

$$c = 6.53 \text{ in}$$

**10 Verificacion de c hasta que el equilibrio de las fuerzas sea satisfecho**

**CORRECTO**

**11 Calculo de la resistencia de diseño a flexión de la sección reforzada**

\* El factor de seguridad adicional,  $\Psi = 0.85$ , es aplicado a la construcción del sistema FRP.

$\Psi = 0.85$

$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi_f M_{nf}]$

**11.1 Factor de Reduccion de Resistencia:**

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \epsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\epsilon_t - \epsilon_{sy})}{0.005 - \epsilon_{sy}} & \text{for } \epsilon_{sy} < \epsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \epsilon_t \leq \epsilon_{sy} \end{cases}$$

$\epsilon_s = 0.0100$

Condiciones	Primera	Segunda	Tercera
$\phi$	0.9	1.33	0.65

$\phi = 0.90$

**11.2 Calculo del Momento Nominal Resistente por parte del Acero:**

$M_{ns} = A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c}{2})$

$M_{ns} = 3.23 \quad 60 \quad ( \quad 28.35 \quad - \quad \frac{5.55}{2} )$

$M_{ns} = 4956.61 \quad \text{k.in}$

$57.2264643 \quad \text{tn.m}$

**11.3 Calculo del Momento Nominal Resistente por parte del Sistema FRP:**

$M_{nf} = A_f f_{fc} (d_f - \frac{\beta_1 c}{2})$

$M_{nf} = 0.0798 \quad 363.76 \quad 31.496 \quad \frac{5.55}{2}$

$M_{nf} = 833.74 \quad \text{k.in}$

$\phi M_n = \phi [M_{ns} + \Psi_f M_{nf}]$

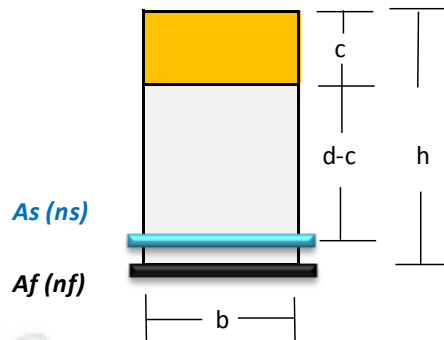
$\phi M_n = 0.90 ( \quad 4956.61 \quad + \quad 0.85 \quad 833.74 )$

$\phi M_n = 5098.77 \quad \text{k.in}$

$\phi M_n = 424.90 \quad \text{k.ft}$

**12 Verificación de los esfuerzos de servicios en el refuerzo de acero y en el FRP**

**12.1 Cálculo de centroide :**



$$As ( ns ) = 30.00 \text{ in}^2$$

$$Af ( nf ) = 0.89 \text{ in}^2$$

$$\frac{c^2}{2} = As(n)(d-c) + Af(nf) (h - c)$$

Valores para la solución de la ecuación cuadrática :

a= b/2	a= 7.88
b= As ns + Af nf	b= 30.90
c= (-1)( As ns d + Af nf h)	c= -878.68

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

donde: x = "c"

Despejando "c" :

$$c = \frac{-30.90 \pm \sqrt{169.21}}{15.75}$$

$$c = 8.78 \text{ in}$$

**12.2 Calculo del momento de inercia**

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + A_s (n_s) (d - c)^2 + A_f (n_f) (h - c)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15.75 \text{ cm} \cdot 677.317 \text{ cm}^3}{3} + 30.003 \text{ cm}^2 (19.568 \text{ cm}^2)^2 + 0.892 \text{ cm}^2 (22.714 \text{ cm}^2)^2$$

$$I_{cr} = 3555.92 \text{ cm}^4 + 11488.26 \text{ cm}^4 + 460.23 \text{ cm}^4$$

$$I_{cr} = 15504.4109 \text{ in}^4$$

**12.3 Calculo del momento de servicio**

$$M = M_s + \epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right)$$

$$M_s = 3485.85577 \text{ k.in}$$

$$\epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) = 0.00104689 \cdot 0.0798 \cdot 34900 \left( 31.496 - 2.93 \right)$$

$$\epsilon_{bi} A_f E_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) = 83.2948109$$

$$M = 3569.15058 \text{ k.in}$$

**12.4 Calculo del Esfuerzo del acero en el sistema FRP en Carga de Servicio:**

$$f_s = \frac{M Y}{I_{cr}}$$

$$Y = d - c$$

$$Y = 19.57 \text{ in}$$

$$f_s = \frac{3569.151 \text{ k.in} \times 19.568 \text{ in}}{15504.41 \text{ in}^4} = 0.929$$

$$f_s = 41.8424174 \text{ ksi}$$



$$f_s = \frac{\left[ M_s + A_f E_f \varepsilon_f \left( h - \frac{k_d}{3} \right) \right] (d - k_d) E_s}{\left[ A_s E_s \left( h - \frac{k_d}{3} \right) (d - k_d) + A_f E_f (h - k_d) \left( d - \frac{k_d}{3} \right) \right]}$$

$$f_s = \frac{3652.445 \times 19.57 \times 29000}{46597843.38 + 1807215.59}$$

$$f_s = 42.818912 \text{ ksi}$$

### 12.5 Chequeo del esfuerzo del acero

\* Bajo cargas de servicio debe estar limitado al 80% de la resistencia a fluencia el Acero

$$0.80 * f_y = 48 \text{ ksi}$$

$$f_s \leq 0.80 f_y$$

CORRECTO

### 12.4 Calculo del Esfuerzo del FRP en el sistema FRP en Carga de Servicio:

$$f_f = \left( \frac{M Y}{I_{cr}} n \right) - \varepsilon_{bi} * E_f$$

$$Y = d - c$$

$$Y = 22.71 \text{ in}$$

$$f_f = \left( \frac{3569.151 \text{ k.in} \times 22.714 \text{ in}}{15504.41 \text{ in}^4} \right) - 0.00104689 \times 34900$$

$$f_f = 21.91 \text{ ksi}$$

### 12.6 Chequeo del esfuerzo del FRP

\* Bajo cargas de servicio debe estar limitado al 55% de la resistencia a fluencia el FRP

$$0.55 * f_y = 341 \text{ ksi}$$

$$f_s \leq 0.55 f_y$$

CORRECTO

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLECCION</b>		
		<b>conversión</b>
* <i>Momento resistente del Acero en el sistema FRP:</i>	413.05 k.ft	57.24 tn.m
* <i>Momento resistente del FRP en el sistema FRP:</i>	59.06 k.ft	8.18 tn.m
* <i>Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:</i>	424.90 k.ft	58.88 tn.m
* <i>Momento Previsto:</i>	440.01 k.ft	60.98 tn.m
* <i>Chequeo de la distancia "c" estimada</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero &gt; 0.005</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:</i>	INCORRECTO	
* <i>Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio</i>	CORRECTO	

En nuestro cuadro de resumen nos marca que el chequeo de reforzamiento por flexión es insuficiente, "incorrecto", por que deberíamos haber vencido un momento de 60.98 tn.m pero sin embargo solo hemos logrado llegar a 58.88 ton.m, deberemos de repetir todo el procedimiento de antes mencionado hasta que cumplan todas las condiciones con una nueva iteración.

Para el reforzamiento a flexión con fibra de carbono supondremos un reforzamiento de 9.84plg  $\approx$  25 cm de ancho de SikaWRAP-600c.

<b>CUADRO DE RESUMEN DEL DISEÑO DEL SISTEMA FRP A FLECCION</b>		
		<b>conversión</b>
* <i>Momento resistente del Acero en el sistema FRP:</i>	410.12 k.ft	56.83 tn.m
* <i>Momento resistente del FRP en el sistema FRP:</i>	88.17 k.ft	12.22 tn.m
* <i>Momento Ultimo reforzado mediante el sistema FRP:</i>	448.46 k.ft	62.15 tn.m
* <i>Momento Previsto:</i>	440.01 k.ft	60.98 tn.m
* <i>Chequeo de la distancia "c" estimada</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo de la ductilidad , deformacion del acero &gt; 0.005</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo de Reforzamiento por fleccion suficiente:</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo del esfuerzo del acero por carga de servicio</i>	CORRECTO	
* <i>Chequeo del esfuerzo del FRP por carga de servicio</i>	CORRECTO	

Para culminar nuestro reforzamiento no debemos de olvidar que la Norma ACI-440.2R-08 nos recomienda que la fuerza a cortante mayorada en la terminación debe también ser verificada contra  $2/3$  de la resistencia a cortante del concreto. Si la fuerza a cortante es mayor a  $2/3$  de la resistencia a cortante del concreto, se recomienda envoltura en U para reforzar contra la delaminación del recubrimiento.

Determinación de la fuerza cortante mayorada en la terminación:

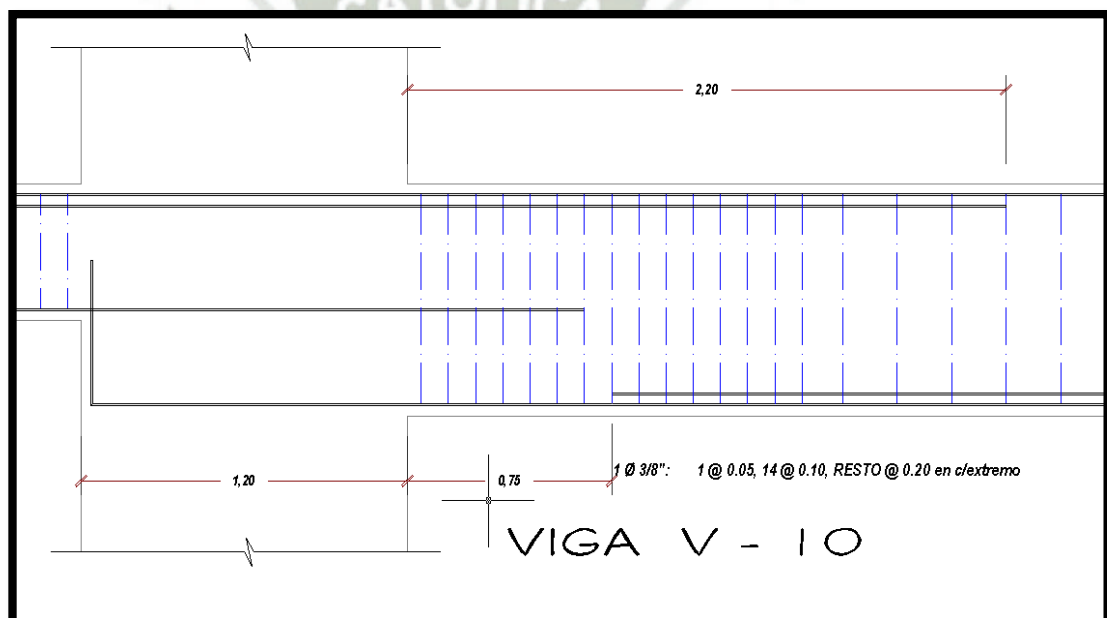


Figura 6.12 Ampliación de Viga V-10

Nuestra fuerza cortante mayorada se determinara en la posición de +0.60, siendo este la terminación de nuestra viga V-10:  $V_u = 54 \text{ tn}$

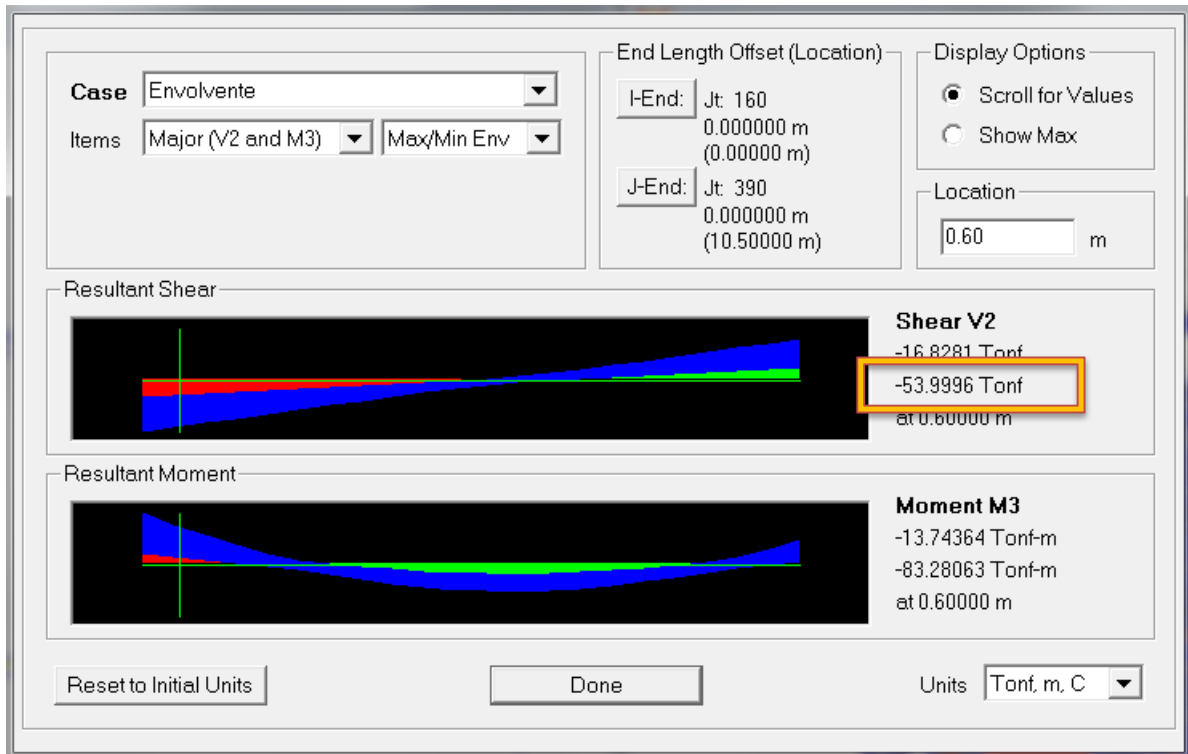


Figura 6.13 Extraído de SAP2000

Fuerza cortante resistente de la viga "V-10" ( $V_c$  resistente)

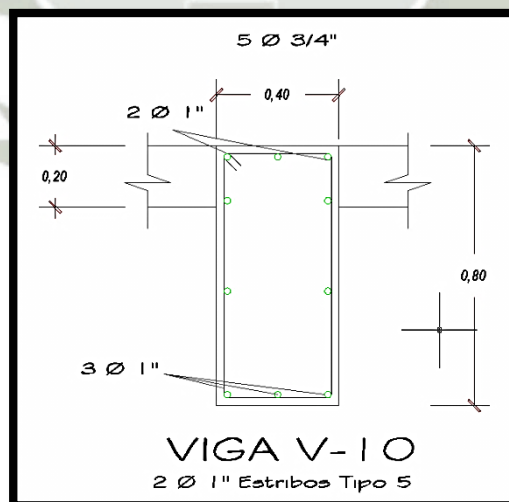


Figura 6.14 Sección de Viga V-10

## CUADRO DE ESTRIBOS VIGAS

TIPO 1: ESTRIBOS Ø 3/8" 1 @ 0.05, 8 @ 0.10, RESTO @ 0.20 C/EXTREMO  
 TIPO 2: ESTRIBOS Ø 3/8" 1 @ 0.05, 6 @ 0.10, RESTO @ 0.20 C/EXTREMO  
 TIPO 3: ESTRIBOS Ø 3/8" 1 @ 0.05, 11 @ 0.10, RESTO @ 0.20 C/EXTREMO  
 TIPO 4: ESTRIBOS Ø 3/8" 1 @ 0.05, 10 @ 0.10, RESTO @ 0.20 C/EXTREMO  
 TIPO 5: ESTRIBOS Ø 3/8" 1 @ 0.05, 15 @ 0.10, RESTO @ 0.20 C/EXTREMO

Sabiendo que se colocó el refuerzo Tipo 5 , tomaremos el primer estribo para determinar la cortante máxima resistente del elemento.

S= 5 cm

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} b d$$

$$V_c = 22119.64 \text{ kg}$$

$$V_c = 22.12 \text{ Tn}$$

\* Calcularemos el aporte del Acero a una distancia de S=5 cm

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

\* De acuerdo al tipo de estribo sabemos que :

$$A_v = 1.42 \text{ cm}^2$$

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

$$d = 72 \text{ cm}$$

$$s = 5 \text{ cm}$$

$$V_s = 85881.6 \text{ kg}$$

$$V_s = 85.88 \text{ Tn}$$

$$V_{s \max} = 2.1 \sqrt{f'c} b d$$

$$V_s \max = 87643.8466 \text{ kg}$$

$$V_s < V_s \max$$

Entonces  $V_u$  real resistente :

$$V_u \text{ real} = 0.85 * (V_c + V_s)$$

$$V_u \text{ real} = 91.80 \text{ Tn}$$

Chequeo por corte:

$$V_u < 2/3 V_u \text{ real}$$

$$52.76 < 61.20 \quad \text{OK}$$

Por tanto cumplimos con el momento requerido según el análisis estructural ( $M_u = 61.09 \text{ tn.m}$ ) de la envolvente de momentos y analizamos que no es necesario un reforzamiento por corte.

## 6.5. PROCESO DE REFORZAMIENTO CON FRP EN VIGA V-10 EN EL HOTEL 4 ESTRELLAS – ILO:

Primeramente se analizó las patologías de la estructura y se elaboró un análisis del elemento a reforzar para poder calcular el ancho y longitud del FRP necesaria bajo las recomendaciones y aplicaciones de las fórmulas que establece la norma ACI 440.2R-08, culminando el trabajo de gabinete con la elaboración de planos.

La viga V-10 fue pulida a pesar que no presentaba un recubrimiento (tarrajeo), por el motivo el cual al momento del vaciado de las vigas se deben de vibrar ocasionando que condensemos las partículas grandes y generando una lechada de cemento (agua + cemento) el mismo que se asienta al fondo de la viga, por lo tanto esto al secarse tiene un aspecto de cascara inservible por tal motivo la viga deberá ser pulida un aproximado de 1 mm.



Figura 6.15 Pulido de viga V-10

Cuando culminamos con el pulido, se recomienda que limpiemos la viga, sin humedecerla, con una escobilla eliminamos las partículas de polvo que genero el pulido de la viga; acto seguido se traza una línea longitudinal en la viga a reforzar ubicando así la posición exacta donde deberá estar el refuerzo de fibra de carbono.



Figura 6.16 Limpieza y eliminación de partículas de polvo.

Luego se habilito el FRP; cortando este en dirección a las fibras de carbono, jamás en dirección perpendicular, protegiendo contra el polvo del piso en todo momento colocando un plástico como base, evitando así que se adhiera el polvo o suciedad al FRP. El aditivo se preparó de acuerdo a su dosificación exacta que recomienda su fabricante.



Figura 6.17 Habilitación de fibra de carbono.

Al mezclar el Sikadur 301 A y B de acuerdo a la dosificación del fabricante, formamos una pasta de consistencia uniforme, se aplica primero a una cara del FRP en dirección a las fibras, tratando en todo momento evitar desordenar el orden del tejido; a su vez y sin dejar pasar mucho tiempo aplicar en forma uniforme en la superficie del elemento a reforzar pegando uno con otro siguiendo el trazo que se realizó anteriormente.



Figura 6.18 Aplicación de SIKADUR-301 en la viga.



Figura 6.19 Aplicación de SIKADUR-301 en la fibra.



Figura 6.20 Colocación de SIKAWRAP-600C en la viga V-10.

Para culminar la aplicación de la fibra de carbono después de a ver pegado la fibra en el elemento estructural, deberemos de quitar todo el aire atrapado pasando un rodillo especial que viene con el producto sin desordenar la posición de las fibras, al mismo tiempo se puede ir colocando la última capa de Sikadur 301 por donde ya se eliminó el aire atrapado para la finalizar el

refuerzo con FRP, es importante que todos los procedimientos antes mencionados siempre estén bajo supervisión del ingeniero estructuralista.



Figura 6.21 Eliminación de burbujas y sellado.

Para el reforzamiento con fibra de carbono se recomienda el uso del producto SikaWRAP 600c (tejido de carbono) con su aditivo SIKADUR 301 (puente de adherencia entre el tejido y el elemento estructural), ya que estos fueron ensayados y comprobados.

## CONCLUSIONES

1. Se ha podido demostrar que en las vigas simplemente reforzadas, el momento resistente calculado bajo la normativa NTE E.060 presenta un 15% a 20% de margen de seguridad, según las vigas ensayadas. Además estas presentan una gran cantidad de ductilidad del orden 2 – 3 antes de llegar al colapso.
2. Se pudo demostrar la efectividad del reforzamiento con fibra de carbono por flexión, ya que en todas las vigas ensayadas se obtuvo momentos resistentes mayores, llegando así a un aumento aproximado de 30% a 40% en comparación a las que no fueron reforzadas.
3. Al realizar los ensayos a las vigas con y sin fibra de carbono, la diferencia de la calidad del concreto ( $f_c=140$  kg/cm<sup>2</sup>;  $f'_c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>) influye en 10% aproximadamente en la resistencia última, por lo que se concluye que es posible reforzar estructuras con baja calidad de concreto siempre y cuando se cuide la falla por laminación en la fibra de carbono.
4. En los ensayos realizados se pudo apreciar que a pesar que las vigas fueron diseñadas a flexión y al momento de los ensayos estas fallan por cortante, superando los momentos últimos calculados según la norma ACI 440.2R-08 quedando demostrado así una vez más la efectividad de la fibra

de carbono, al no presentarse la falla por flexión era de esperarse que las vigas fallaran por corte.

5. Gracias a los ensayos se demuestra que es recomendable prolongar la fibra de carbono hasta los extremos, ayudando este significativamente a la resistencia de esfuerzos cortantes del elemento reforzado.
6. Se demuestra que el reforzamiento a flexión de la fibra de carbono controla y evita deformaciones significativamente aproximadamente a un 50% en evitar tales deformaciones.
7. Las vigas ensayadas sin refuerzo presentan falla frágil y explosiva, por lo que el reforzamiento con fibra de carbono se debe de emplear en estructuras con refuerzo para que pueda aumentar su ductilidad del elemento estructural y evitar la falla explosiva.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de la fibra de carbono en estructuras de concreto armado para el reforzamiento en vigas, conociendo ampliamente la norma ACI 440.2R-08 y hacer poder realizar los cálculos necesarios y adjuntándolos en el trabajo de investigación.
2. Se recomienda el uso de la fibra de carbono para el reforzamiento de vigas por flexión lográndose incrementar significativamente su resistencia.
3. Se recomienda antes de diseñar el reforzamiento fibra de carbono determinar las patologías de la estructura (evaluación del acero existente, presencia de fisuras, determinación de la resistencia del concreto) además de hacer un análisis estructural del proyecto para poder calcular el momento previsto de diseño y en base a las ecuaciones dadas por el reglamento ACI 440.2R-08, determinar el ancho y ubicación de la fibra de carbono a colocar.
4. Se recomienda con respecto a la colocación de la fibra de carbono, debe realizarse por gente especializada y capacitados por el ingeniero estructural encargado a reforzar.
5. Se recomienda que en nuestro reglamento deba de contemplar e incluirse normas de reforzamiento con fibra de carbono en elementos de concreto armado, pueden plantearse con base a la norma ACI 440.2R-08, por ser de muy buena referencia.

6. El reforzamiento con fibra de carbono para elementos estructurales es un método más rápido, eficiente y económico con respecto a otras alternativas de reforzamiento por lo que se recomienda su mayor difusión y capacitación a los ingenieros estructurales.
  
7. Para la evaluación de la resistencia del concreto previa al reforzamiento con fibra de carbono se recomienda evitar sacar muestras de diamantina ya que este método es destructivo. En vez de este método recomendamos el uso del esclerómetro dándonos resultados confiables para nuestro diseño.



## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA**

ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete",  
Apendice A.

ACI Committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally  
Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures" (ACI 440.2R-08).

McCormac, Jack C., "Diseño de Concreto Reforzado", Editorial Alfa-Omega  
2005.

Park, R., Paulay, T., "Estructuras de concreto reforzado", Editorial Limusa  
1980.

Bousias, Stathis N., Triantafillou, Thanasis C., Fardis Michael N., Spathis L. y  
O'Regan Bill A., "Fiber-Reinforced Polymer Retrofitting of Rectangular  
Reinforced Concrete Columns with or without Corrosion", ACI Structural  
Journal, Julio - Agosto 2004.

Canbolat, B. A., Parra-Montesinos, Gustavo J., y Wight, James K.,  
"Experimental Study on Seismic Behavior of High-Performance Fiber-  
Reinforced Cement Composite Coupling Beams", ACI Structural Journal Enero-  
Febrero 2005.

González Cuevas, O., Robles, F., "Aspectos fundamentales del concreto  
reforzado", editorial Limusa 2000.

Harmon, Thomas G., Kim, Yoo Jae., Kardos, J., Johnson, T., y Stark, A., “Bond of Surface- Mounted Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures”, ACI Structural Journal, Septiembre – Octubre 2003.

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/fibra-de-carbono.html>

<http://per.sika.com/es/RD-concreto/sika-aditivos-concreto.html#sthash.zM2YoEj6.dpuf>

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pe/2011/11/fibra-de-carbono.html>

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

<http://es.slideshare.net/sereny21/reforzamiento-fibracarbono?related=2>

<http://civilgeeks.com/2011/09/26/consideraciones-en-el-mezclado-del-concreto/>



**ANEXOS**

# HOJA TÉCNICA

## SikaWrap®-600C

Tejido de Fibra de Carbono para Reforzamiento Estructural

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un tejido unidireccional de fibra de carbono. El material es laminado en campo usando Sikadur®-301 o Sikadur® Hex -300/306 (adhesivos epóxicos) para conformar el polímero reforzado con fibras (CFRP), el cual es empleado para el reforzamiento de elementos estructurales.

#### USOS

Para refuerzo a flexión, cortante, confinamiento de elementos estructurales tales como vigas, columnas, losas y muros por las siguientes causas.

- Incremento de cargas
- Incremento de carga viva
- Incremento de volumen de tráfico en puentes
- Instalación de maquinaria pesada en edificios industriales
- Estructuras con vibración
- Cambios en el uso de edificios
- Refuerzo sísmico
- Envoltura de columnas (confinamiento)
- Paredes de mampostería no reforzada
- Daño de partes estructurales
- Envejecimiento de materiales de construcción (corrosión)
- Impacto de vehículos
- Fuego
- Cambio en el sistema estructural
- Supresión de muros o columnas
- Remoción de secciones de losa y muros con aperturas
- Defectos de diseño o construcción
- Refuerzo insuficiente
- Altura insuficiente de los elementos
- Reforzamiento temporal

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Es flexible, puede colocarse envolviendo elementos de forma compleja
- Alta resistencia

- Bajo peso
- No se corroe
- Resistente a sustancias ácidas y a álcalis.
- Bajo impacto estético
- Económico
- Puede ser aplicado en húmedo o en seco.

## DATOS BÁSICOS

### FORMA

#### ASPECTO

Tejido

#### COLORES

Negro oscuro

#### PRESENTACIÓN

Rollo de 25.00 m<sup>2</sup> (50 cm x 50.00 m)

Orientación de la Fibra: 0° (unidireccional)

### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Se debe proteger el material de posibles ataques mecánicos o contaminación por tal razón se debe almacenar en su empaque bien cerrado. Transportar con las precauciones normales para productos delicados.

### DATOS TECNICOS

#### PROPIEDADES DE LA LÁMINA CURADA

Resistencia a la tensión	139,000 psi (960 N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	10.6 10 <sup>6</sup> psi (73,100 N/mm <sup>2</sup> )
Elongación a la rotura	1.33%
Espesor	1.0 mm (0.039 pulgadas)
Dirección de la fibra	0° (unidireccional)
Peso por metro cuadrado	610 g

#### PROPIEDADES DE LA FIBRA

Resistencia a la tensión	620,000 psi (4,300 N/mm <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	34.9 10 <sup>6</sup> psi (240,000 N/mm <sup>2</sup> )
Elongación	1.55%
Densidad	1.81 g/cc
Espesor	0.337 mm (0.0133 pulgadas)

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

### MÉTODO DE APLICACIÓN

#### PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia y sana. Puede estar seca o húmeda, pero libre de agua empozada o hielo. Remover polvo, lechada, grasa, compuestos curadores, impregnaciones, grasas, partículas extrañas, material suelto o cualquier otro elemento que impida la adherencia.

Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación adecuado. La resistencia en adherencia del concreto debe ser verificada, después de la preparación de superficie por un ensayo aleatorio de resistencia de adherencia a la tensión (ACI 503R) a criterio del ingeniero.

La mínima resistencia a la tensión debe ser de  $15 \text{ kg/cm}^2$  con falla del concreto.

#### MÉTODO DE LIMPIEZA

Para la preparación de la superficie de concreto se recomienda utilizar chorro de arena o cualquier otro procedimiento de limpieza mecánica (escarificado con amoladora) que provea textura rugosa a la superficie.

#### RECOMENDACIONES PREVIAS PARA LA APLICACIÓN DE SIKAWRAP 600C

- Temperatura del sustrato:  $\pm 8^\circ\text{C}$
- Máxima humedad relativa: 4%
- Contenido máximo de humedad menos  $3^\circ\text{C}$  sobre la temperatura del punto de rocío.
- Se debe medir el punto de rocío durante toda la aplicación.
- Hacer una prueba de adherencia, la cual no debe ser menor a  $1.5 \text{ N/mm}^2$

Para pequeñas aplicaciones: 4 mínimas

Para grandes aplicaciones: 1 cada 10 m

- Para nivelar la superficie puede aplicar el Sikagrout<sup>®</sup>-212 o Sikadur<sup>®</sup>-31

#### MÉTODO DE APLICACIÓN EN

##### HÚMEDO

Para información sobre mezclado del Sikadur<sup>®</sup>-301 referirse a la hoja técnica del producto.

El consumo de la resina epóxica Sikadur<sup>®</sup>-301, depende de la rugosidad de la superficie y la práctica que se tengan en el procedimiento de impregnación del tejido. Sin embargo, el consumo teórico aproximado es de  $1.5 \text{ kg/m}^2$  a  $1.6 \text{ kg/m}^2$  de producto para la imprimación de la superficie del sustrato y para la saturación o impregnación del tejido.

---

## Aplicación

Antes de la colocación del tejido la superficie de concreto debe ser imprimada y sellada usando el epóxico Sikadur®301, el producto puede ser aplicado por brocha o rodillo. El SikaWrap®- 600C debe ser saturado o impregnado en forma manual o mecánica.

### Mezclado del epóxico

En cualquier caso, la instalación de los epóxicos de adherencia (Sikadur®301) debe ser realizada por un aplicador autorizado o personal calificado.

### Corte del tejido

El tejido puede ser cortado a la longitud apropiada usando tijeras de tipo industrial o para trabajo pesado. Debe evitarse el uso de cualquier elemento de corte sin filo que pueda debilitar o deshilar la fibra.

### MÉTODO DE APLICACIÓN EN SECO

Aplicar la mezcla de resina epóxica Sikadur®-301 directamente sobre el sustrato en una proporción de 1.2 – 1.5 kg/m<sup>2</sup>, dependiendo de la rugosidad de la superficie.

Colocar cuidadosamente el tejido sobre la resina con guantes de goma y alisar las irregularidades o bolsas de aire usando un rodillo de plástico. Permitir que la resina pase a través de los hilos del tejido. Si se necesita más de una capa de tejido aplicar una capa adicional de Sikadur®-301 a una lata de 0.5 kg/m<sup>2</sup> y repetir el proceso anterior. Aplicar una capa final de Sikadur®-301 sobre la superficie expuesta a una lata de 0.2 kg/m<sup>2</sup>.

### MÉTODO DE APLICACIÓN EN HÚMEDO

Aplicar la mezcla de resina epóxica Sikadur®-301 directamente sobre el sustrato, dependiendo de la rugosidad de la superficie, en una proporción 1.5 – 1.6 kg/m<sup>2</sup>, incluyendo la saturación de la fibra.

Colocar cuidadosamente el tejido sobre la resina con guantes de goma y alisar las irregularidades o bolsas de aire usando un rodillo de plástico.

Permitir que la resina pase a través de los hilos del tejido. Si se necesita más de una capa de tejido aplicar una capa adicional de Sikadur®-301 a una lata de 0.5 kg/m<sup>2</sup> y repetir el proceso anterior. Aplicar una capa final de Sikadur®-301 sobre la superficie expuesta a una lata de 0.2 kg/m<sup>2</sup>.

### IMPORTANTE

Los cálculos de diseño deben ser realizados por un ingeniero independiente, debidamente acreditado.

El sistema es barrera de vapor. No se debe encapsular elementos de concreto en zonas donde se presente ciclo de hielo – deshielo.

---

Para mayor detalle sobre la instalación y requerimiento de control de calidad referirse a las Especificaciones Generales para la Instalación del Sistema Sika Wrap de Sika. Consultar al Departamento Técnico.

---

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

---

### RESTRICCIONES LOCALES

La información, regulaciones y normas pueden variar de país a país, por eso para mayor información de cada país, consulte la última versión de la Hoja Técnica del producto de cada país.

---

### INFORMACIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD

Para mayor información sobre el manejo, almacenamiento y disposición de los residuos, consulte la versión más reciente de la Hoja de Seguridad que contiene los datos de las propiedades físicas, ecológicas, toxicidad y otros datos de seguridad pertinentes.

---

### NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 2  
la misma que deberá ser destruida”**

---

**PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE SikaWrap®-600C :**

**1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS**



**2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL**



**Sika Perú S.A.**  
Refurbishment  
Centro industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,  
Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
SikaWrap®-600C  
02.12.14, Edición 3

**Versión elaborada por: Sika Perú S.A.**  
NA, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



# HOJA TÉCNICA

## Sikadur<sup>®</sup>-301

Resina de Impregnación de Alta Resistencia y Alto Módulo

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sistema epóxico de dos componentes, 100% de contenido de sólidos, de alta resistencia y alto módulo, admite presencia de humedad.

#### USOS

Como resina de impregnación de los tejidos SikaWrap<sup>®</sup>, para refuerzo de estructuras.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Largo tiempo abierto después de mezclado.
- Fácil de mezclar.
- Admite presencia de humedad antes, durante y después de curado.
- Adhesivo de alta resistencia y alto módulo.
- Excelente adherencia a concreto, mampostería, metales, madera y a la mayoría de materiales de construcción.
- Completamente compatible y desarrollado específicamente para el sistema SikaWrap<sup>®</sup>.
- Resistencia a más altas temperaturas comparado con los epóxicos convencionales.
- Alta resistencia a flujo plástico (creep) ante cargas permanentes.
- Alta resistencia a abrasión e impacto.
- Libre de solventes, cumple VOC.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### COLORES

Gris Claro

#### ASPECTO:

Viscoso

#### PRESENTACIÓN

Juego de 4 kg.

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

1 año en su envase original, bien cerrado, almacenado en un lugar fresco y seco (4°C a 35°C) y bajo techo. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.

---

## DATOS TÉCNICOS

### DENSIDAD

1.31 kg/L

### VISCOSIDAD (MEZCLADO)

Aproximadamente 2,700 cps

### DATOS TÍPICOS PARA SIKADUR 301 (CONDICIONES DE CURADO DEL MATERIAL A 23°C Y 50% H.R.)

#### VIDA EN EL RECIPIENTE

40 minutos (masa de 1 galón)

#### TIEMPO DE CONTACTO

90 minutos

#### TEMPERATURA DE FLEXIÓN(HDT)

47°C

#### PROPIEDADES MECÁNICAS DE TENSIÓN (ASTM D-638) RESISTENCIA A TENSIÓN A LOS 7 DÍAS

8,000 psi (52.0 MPa)

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD

290 ksi (2,000 MPa)

#### ELONGACIÓN A LA ROTURA

3.5%

#### PROPIEDADES DE FLEXIÓN (ASTM D-790) MÓDULO TANGENTE

500,000 psi (3448 MPa)

#### RESISTENCIA A TENSIÓN A 7 DÍAS

13,000 psi (90.0 MPa)

#### DEFORMACIÓN UNITARIA DE FLUENCIA

3.0%

#### PROPIEDADES DE COMPRESIÓN (ASTM D-695) RESISTENCIA A COMPRESIÓN

1 día: 4,000 psi (27.6 MPa)

3 día: 11,900 psi (82.1 MPa)

7 día: 13,900 psi (96.0 MPa)

#### MÓDULO DE COMPRESIÓN

250 ksi (1,725 MPa)

---

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

---

### DETALLES DE APLICACIÓN

#### CONSUMO / DOSIS

Aproximadamente 1.5 kg/m<sup>2</sup> a 1.6 kg/m<sup>2</sup> (SikaWrap®-600C)

---

### MÉTODO DE APLICACIÓN

#### PREPERACION DE LA SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, sana y libre de humedad superficial. Remover polvo, lechada, grasa, compuestos curadores, impregnaciones, grasas, partículas extrañas, material suelto o cualquier otro elemento que impida la adherencia por medios mecánicos como chorro de arena. Para mejores resultados el sustrato debe estar seco. Sin embargo, una condición de base saturada superficialmente seca (SSS) es aceptable.

#### MEZCLADO

Premezclar cada componente por separado. Mezcle la unidad completa, no divida las unidades. Vierta el contenido de la parte B en la parte A. Mezcle vigorosamente por 5 minutos usando un mezclador mecánico de bajas revoluciones (400-600 rpm) hasta que la mezcla sea uniforme.

---

## RECOMENDACIONES PREVIAS PARA LA APLICACIÓN DE SIKADUR-301

- Temperatura del sustrato  $\pm 8^{\circ}\text{C}$
- Máxima humedad relativa en toda la aplicación: 85%
- Contenido máximo de humedad: 4%
- El sustrato debe estar al menos  $3^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura del punto de rocío.
- Se debe medir el punto de rocío durante toda la aplicación.
- Hacer una prueba de adherencia, la cual no debe ser menor a  $1.5 \text{ N/Mm}^2$
- Para pequeñas aplicaciones: 4 mínimas
- Para grandes aplicaciones 1 cada 10 m
- Para nivelar la superficie se debe aplicar Sikagrout<sup>®</sup>-212, Sikadur<sup>®</sup> 31

## METODO DE APLICACIÓN

Aplicación del SikaWrap-600C: aplique la mezcla de Sikadur<sup>®</sup>-301 a razón de 1,500 a 1,600  $\text{g/m}^2$ .

El producto es sensible a los rayos ultravioleta, en caso de estar a la intemperie, protegerlo con una pintura.

Para mayor información consulte las especificaciones generales de instalación del Sistema SikaWrap<sup>®</sup>.

---

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

### OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

---

### PRECAUCION DE MANIPULACIÓN

Componente A – Irritante. Contiene resinas epóxicas que pueden causar sensibilidad después de prolongado o repetitivo contacto. Altas concentraciones de vapores pueden causar irritación en vías respiratoria. Evita el contacto con la piel. Úselo solamente con adecuada ventilación.

El uso de gorro y guantes de seguridad es recomendable. Se recomienda el uso de máscaras de protección adecuadas. Retirar las prendas contaminadas.

Componente B – Corrosivo. Contiene aminas. Su contacto con ojos o piel puede causar quemaduras severas. Puede causar sensibilidad después de contacto prolongado o repetitivo. Altas concentraciones de vapor pueden causar irritación en vías respiratorias. Evite el contacto con la piel. Úselo solamente con adecuada ventilación. El uso de gorro y guantes de seguridad es recomendable. Se recomienda el uso de máscaras de protección adecuadas. Retirar las prendas contaminadas. Primeros auxilios. En caso de contacto con la piel lavar muy bien con agua y jabón. Para contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos y acudir al médico inmediatamente. Para problemas respiratorios llevar a la persona a un lugar con aire fresco. Lavar las prendas antes de usarlas nuevamente.

---

## NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 2**

**la misma que deberá ser destruida”**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikadur®-301 :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.  
Refurbishment  
Centro industrial "Las Praderas  
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,  
Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sikadur®-301  
21.11.14, Edición 3

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
NA, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



RECIBI CONFORME  
ENRIQUE ALARCON MANSILLA

04.04.12

### DISEÑO DE MEZCLAS

SOLICITA : PERUANA DE VIGILANCIA Y PROTECCION S.A.  
OBRA : AMPLIACION OFICINAS AVENIDA OLIMPICA  
LOCALIZACION : AVENIDA #206 - CERCADO  
AGREGADO FINO : LA PODEROSA  
AGREGADO GRUESO : LA PODEROSA  
FECHA : AREQUIPA, 2012 ABRIL 03

EXPEDIENTE : 173-8593

### CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Densidad	2259	kg/m <sup>3</sup>
Relación Arena/Agregado	0.46	

### DOSIFICACIÓN PARA

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 (\approx 28 \text{ MPa})$

Slump: 3 a 4 pulgadas

### PESOS S.S.S.

Agua	189	L/m <sup>3</sup>
Cemento	401	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	765	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	904	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.47	

### PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD (OBRA)

Agua	181	L/m <sup>3</sup>
Cemento	401	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	788	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	889	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.45	

S.S.S. : Saturado Superficialmente Seco

Cemento : YURA TIPO IP

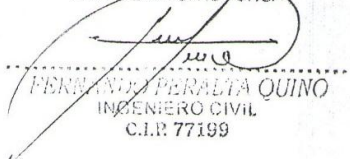
	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
Proporción en peso	1	1.97	2.22
Agua		19.18	Litros/saco

	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
Proporción aproximadas en volumen	1	2.37	2.72
Agua		19.18	Litros/saco

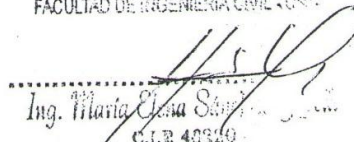
### CONSIDERACIONES GENERALES:

- Los materiales fueron entregados al Laboratorio por el Solicitante.
- El Diseño de Mezclas realizado, esta proyectado para obtener la resistencia a la compresión indicada a los 28 días, el Diseño aun no ha sido verificado.
- La resistencia de diseño promedio ha sido calculada de acuerdo a la Norma E.060 del RNE.
- El tipo de cemento utilizado ha sido definido y proporcionado por el solicitante.
- Para el diseño de mezclas se ha utilizado Agua Potable.
- El Slump del diseño ha sido definido por el solicitante, de acuerdo a la estructura y tipo de vaciado.
- El nombre de las canteras han sido designadas por el Solicitante.

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
INGENIERIA CIVIL UNSA

  
FERNANDO PERALTA QUINO  
INGENIERO CIVIL  
C.I.R. 77199

Unidad de Producción y Control  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL UNSA

  
Ing. María Elena Sánchez  
C.I.R. 40310

**PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES**

SOLICITA PERUANA DE VIGILANCIA Y PROTECCION S.A.  
 OBRA AMPLIACION OFICINAS AVENIDA OLIMPICA  
 LOCALIZACION AVENIDA #206 - CERCADO  
 AGREGADO FINO LA PODEROSA  
 AGREGADO GRUESO LA PODEROSA  
 FECHA AREQUIPA, 2012 ABRIL 03 EXPEDIENTE : 173-8593

**GRANULOMETRIA**

MALLA AMERICANA	ABERTURA EN mm:	AGREGADO FINO % PESO		AGREGADO GRUESO % PESO		ASTM 33-02 (Pasante) NTP 400.037-2002 (Pasante) ESPECIFICACION	
		RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	PASANTE	ARENA	GRAVA
2 1/2 "				0.00	100.00		
2 "	50.800			0.00	100.00		
1 1/2 "	38.100			0.00	100.00		100 - 100
1 "	25.400			16.02	83.98		90 - 100
3/4 "	19.050			59.95	24.03		20 - 55
1/2 "	12.700			23.90	0.13		0 - 10
3/8 "	9.525	0.00	100.00	0.07	0.07		0 - 5
No 4	4.760	4.33	95.67	0.07	0.00	95 - 100	
No 8	2.380	7.87	87.80	0.00	0.00	80 - 100	
No 16	1.190	19.17	68.62			50 - 85	
No 30	0.590	28.60	40.02			25 - 60	
No 50	0.270	20.09	19.93			10 - 30	
No 100	0.147	11.45	8.48			2 - 10	

**PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES**

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
Peso Especifico SSS	2.592	2.507	g/cm <sup>3</sup>
% Cont. d Humedad	4.504	0.331	%
% Absorción	1.440	2.080	%
Peso Unitario Suelto	1.233	1.211	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Varillado	1.514	1.377	g/cm <sup>3</sup>
Modulo de Fineza	2.795	7.759	
% Pasante Malla # 200	3.558	-	%
Tamaño Máximo Nominal	-	1	pulg

Cemento : YURA TIPO IP	Peso Especifico :	2.86	g/cm <sup>3</sup>
------------------------	-------------------	------	-------------------

**CONSIDERACIONES GENERALES:**

- Los materiales fueron entregados al Laboratorio por el Solicitante
- De acuerdo a la NTP 400.037, se permitirá el uso del agregado que no cumpla con la gradación indicada, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto), de la calidad requerida.
- El nombre de las canteras han sido designadas por el Solicitante.

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 INGENIERIA CIVIL UNSA

*Fernando Peralta Quino*  
 FERNANDO PERALTA QUINO  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 77199

Unidad de Producción y Servicios  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

*Marta Elena Sáenz*  
 Ing. Marta Elena Sáenz  
 C.I.R. 48389

RECIBI CONFORME  
 Luis Housnadas  
 PROCATECH  
 29664412

**DISEÑO DE MEZCLAS**

SOLICITA : ROCATECH S.A.C.  
 OBRA : CONTROL DE CALIDAD  
 LOCALIZACION : VAR. UCHUMAYO KM. 6, SACHACA  
 AGREGADO FINO : LA PODEROSA - TIABAYA  
 AGREGADO GRUESO : LA PODEROSA - TIABAYA  
 FECHA : AREQUIPA, 2012 JULIO 31

EXPEDIENTE : 360-8767

**CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA**

Densidad	2379	kg/m <sup>3</sup>
Relación Arena/Agregado	0.43	

**DOSIFICACIÓN PARA**

**f<sub>c</sub> = 210 kg/cm<sup>2</sup> (≈ 21 MPa)**

**Slump: 3 a 4 pulgadas**

**PESOS S.S.S.**

Agua	194	L/m <sup>3</sup>
Cemento	365	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	781	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	1039	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.53	

**PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD (OBRA)**

Agua	201	L/m <sup>3</sup>
Cemento	365	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	777	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	1036	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.55	

S.S.S. : Saturado Superficialmente Seco

Cemento : **MISHKY TIPO IP**

	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
Proporción en peso	1	2.13	2.84
Agua	23.40		Litros/saco

	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso
Proporción aproximadas en volumen	1	2.24	3.08
Agua	23.40		Litros/saco

**CONSIDERACIONES GENERALES:**

- Los materiales fueron entregados al Laboratorio por el Solicitante.
- El Diseño de Mezclas realizado esta proyectado para obtener la resistencia a la compresión indicada a los 28 días, habiendo sido verificado a los 07 días.
- La resistencia de diseño promedio ha sido calculada de acuerdo a la Norma E.060 del RNE.
- El tipo de cemento utilizado ha sido definido y proporcionado por el solicitante.
- Para el diseño de mezclas se ha utilizado Agua Potable.
- El Slump del diseño ha sido definido por el solicitante, de acuerdo a la estructura y tipo de vaciado.
- El nombre de las canteras han sido designadas por el Solicitante.
- Para la verificación de la resistencia a la compresión del diseño, en las probetas cilíndricas se ha realizado un curado húmedo por inmersión total de forma permanente y continua.
- En el Diseño de Mezclas no se ha utilizado ningún Aditivo.

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales

INGENIERO CIVIL - UNSA

*Fernando Peralta Quino*  
 FERNANDO PERALTA QUINO  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 77199

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

*Alonso del Correal*  
 Alonso del Correal  
 JEFE DE LABORATORIO  
 C.I.R. 04229



VCEIBI CONFORME:  
Bee  
22-09-2014

### DISEÑO DE MEZCLAS

SOLICITA : DIEGO BUSTAMANTE MEDINA  
OBRA : TESIS: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ALIVIANDO CON PS  
LOCALIZACION : AREQUIPA  
AGREGADO FINO : LA PODEROSA  
AGREGADO GRUESO : LA PODEROSA  
FECHA : AREQUIPA, 2014 SETIEMBRE 01 EXPEDIENTE: 803-2214-14

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Densidad	1415	kg/m <sup>3</sup>
Relación Arena/Agregado	0.57	

#### DOSIFICACIÓN PARA

$f'c = 140 \text{ kg/cm}^2 (\approx 14 \text{ MPa})$

Slump: 6 pulgadas

#### PESO SECO

Agua	181.5	L/m <sup>3</sup>
Cemento	550.0	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	382.5	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	288.6	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.33	

#### PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD (OBRA)

Agua	186.1	L/m <sup>3</sup>
Cemento	550.0	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Fino	382.5	kg/m <sup>3</sup>
Ag. Grueso	288.6	kg/m <sup>3</sup>
Relación A/C	0.34	

P.E. Poligradado 1.62 kg/m<sup>3</sup>  
Sikament TM140 0.18 L/m<sup>3</sup>

Cemento : YURA TIPO IP

#### CONSIDERACIONES GENERALES:

- Los materiales fueron entregados al Laboratorio por el Solicitante.
- El Diseño de Mezclas realizado esta proyectado para obtener la resistencia a la compresión indicada a los 28 días, habiendo sido verificado a los 07 días.
- La resistencia de diseño promedio ha sido calculada de acuerdo a la Norma E.060 del RNE.
- El tipo de cemento utilizado ha sido definido y proporcionado por el solicitante.
- Para el diseño de mezclas se ha utilizado Agua Potable.
- El Slump del diseño ha sido definido por el solicitante, de acuerdo a la estructura y tipo de vaciado.
- El nombre de las canteras han sido designadas por el Solicitante.
- Para la verificación de la resistencia a la compresión del diseño, en las probetas cilíndricas se ha realizado un curado húmedo por inmersión total de forma permanente y continua.
- Los aditivos utilizados han sido definidos y proporcionados por el solicitante, de acuerdo a las características y propiedades deseadas.
- En los ensayos de Propiedades Físicas de los Agregados, así como en el Diseño de Mezclas del Concreto, ha participado el Sr. Diego Bustamante Medina.

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
INGENIERIA CIVIL - UNSA

.....  
FERNANDO GERALTA QUINO  
INGENIERO CIVIL  
C.P. 77199

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

.....  
Ing. Jorge Acuña Pérez  
JEFE DE LABORATORIO  
C.P. N° 37242

## PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

SOLICITA	DIEGO BUSTAMANTE MEDINA	
OBRA	TESIS: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ALIVIANDO	
LOCALIZACION	AREQUIPA	
AGREGADO FINO	LA PODEROSA	
AGREGADO GRUESO	LA PODEROSA	
FECHA	AREQUIPA, 2014 SETIEMBRE 01	EXPEDIENTE : 803-2214-14

### GRANULOMETRIA

MALLA AMERICANA	ABERTURA EN mm:	AGREGADO FINO % PESO		AGREGADO GRUESO % PESO		ASTM 33-02 (Pasante) NTP 400.037-2002 (Pasante) ESPECIFICACION	
		RETENIDO	PASANTE	RETENIDO	PASANTE	ARENA	GRAVA
2 1/2 "				0.00	100.00		
2 "	50.800			0.00	100.00		
1 1/2 "	38.100			0.00	100.00		
1 "	25.400			0.00	100.00		100 - 100
3/4 "	19.050			4.58	95.42		90 - 100
1/2 "	12.700			41.03	54.39		
3/8 "	9.525	0.00	100.00	21.37	33.02		20 - 55
No 4	4.760	2.56	97.44	29.39	3.63	95 - 100	0 - 10
No 8	2.380	11.91	85.53	3.63	0.00	80 - 100	
No 16	1.190	39.01	46.51			50 - 85	
No 30	0.590	20.46	26.05			25 - 60	
No 50	0.270	11.50	14.55			10 - 30	
No 100	0.147	7.03	7.52			2 - 10	

### PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	
Peso Específico SSS	2.648	2.758	g/cm <sup>3</sup>
% Cont. d Humedad	0.180	0.040	%
% Absorción	0.685	0.689	%
Peso Unitario Suelto	1.488	1.503	g/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Varillado	1.737	1.617	g/cm <sup>3</sup>
Modulo de Fineza	3.224	6.716	
% Pasante Malla # 200	7.523	-	%
Tamaño Máximo Nominal	-	3/4	pulg

Cemento : YURA TIPO IP	Peso Específico :	2.85	g/cm <sup>3</sup>
------------------------	-------------------	------	-------------------

#### CONSIDERACIONES GENERALES:

- Los materiales fueron entregados al Laboratorio por el Solicitante
- De acuerdo a la NTP 400.037, se permitirá el uso del agregado que no cumpla con la gradación indicada, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto), de la calidad requerida.
- El nombre de las canteras han sido designadas por el Solicitante.

Laboratorio de Concreto e Insay de Materiales  
INGENIERIA CIVIL - UNSA

*Hernando Piralta Quino*  
HERNANDO PIRALTA QUINO  
INGENIERO CIVIL  
C.I.R. 77199

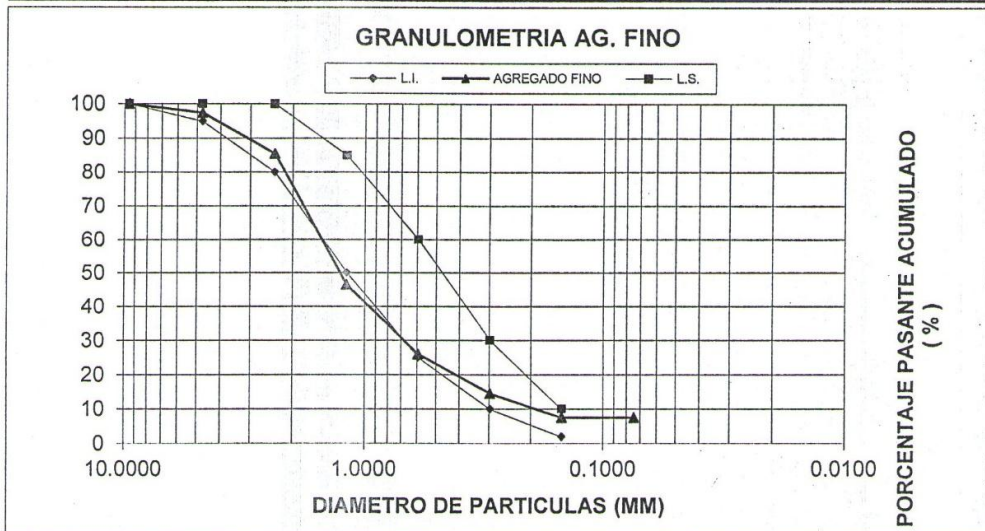
Laboratorio de Concreto e Insay de Materiales  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

*Jorge Luis Pérez*  
Ing. Jorge Luis Pérez  
JEFE DE LABORATORIO  
C.I.R. N° 37242

## GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

SOLICITA                    DIEGO BUSTAMANTE MEDINA  
 OBRA                        TESIS: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ALIVIANDO CON PS  
 LOCALIZACION            AREQUIPA  
 MATERIAL                 AGREGADO FINO  
 CANTERA                  LA PODEROSA  
 DESIGNACION             ASTM 33-78  
 FECHA                        AREQUIPA, 2014 SETIEMBRE 01

Malla	Abertura mm	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Ret. Acum.	Pasante Acumulado	ASTM 33-78 (Pasa) NTP 400.037-2002	
		gr.	%	%	%	L.I.	L.S.
3/8"	9.5250	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.7500	13.00	2.56	2.56	97.44	95	100
Nº 8	2.3813	60.50	11.91	14.47	85.53	80	100
Nº 16	1.1906	198.10	39.01	53.49	46.51	50	85
Nº 30	0.5953	103.90	20.46	73.95	26.05	25	60
Nº 50	0.2977	58.40	11.50	85.45	14.55	10	30
Nº 100	0.1488	35.70	7.03	92.48	7.52	2	10
Nº 200	0.0744	0.00	0.00	92.48	7.52		
< 200		38.20	7.52	100.00	0.00		
Total		507.80					



**CONSIDERACIONES GENERALES:**

- El material fué entregado al Laboratorio por el Solicitante
- De acuerdo a la NTP 400.037, se permitirá el uso del agregado que no cumpla con la gradación indicada, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto), de la calidad requerida.

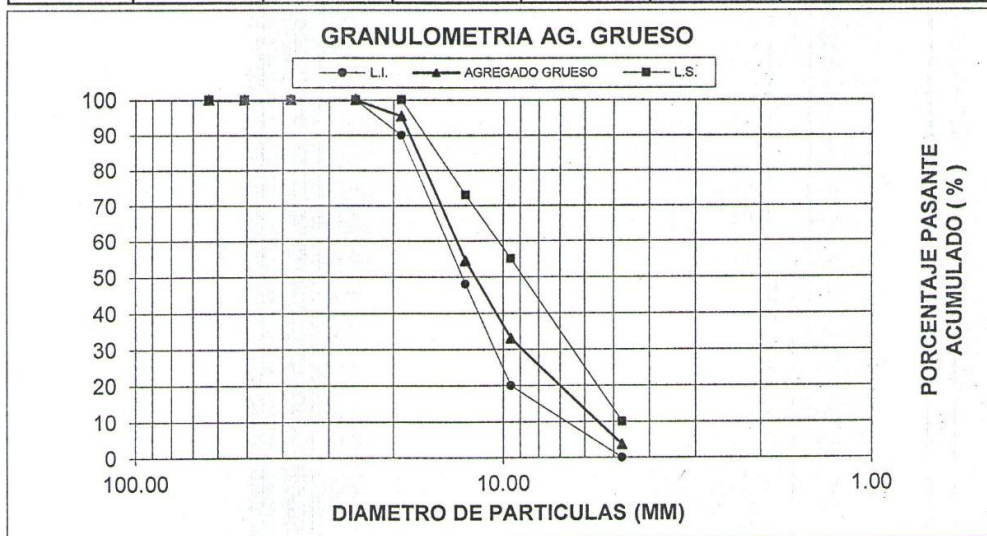
Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 INGENIERIA CIVIL - UNSA  
  
**FERNANDO PERALTA QUINO**  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 77199

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA  
  
**Ing. Jorge A. Trivi Pérez**  
 JEFE DEL LABORATORIO  
 C.P. Nº 37242

## GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA                    DIEGO BUSTAMANTE MEDINA  
 OBRA                        TESIS: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ALIVIANDO CON PS  
 LOCALIZACION            AREQUIPA  
 MATERIAL                 AGREGADO GRUESO  
 CANTERA                 LA PODEROSA  
 DESIGNACION            ASTM 33-78  
 FECHA                      AREQUIPA, 2014 SETIEMBRE 01

Malla	Abertura mm	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Ret. Acum.	Pasante Acumulado	ASTM 33-02 (Pasa) NTP 400.037-2002	
		gr.	%	%	%	L.I.	L.S.
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	---	---
2	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	---	---
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	---	---
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	0.48	4.58	4.58	95.42	90	100
1/2"	12.70	4.30	41.03	45.61	54.39	---	---
3/8"	9.53	2.24	21.37	66.98	33.02	20	55
Nº 4	4.75	3.08	29.39	96.37	3.63	0	10
< Nº 4		0.38	3.63	100.00	0.00	0	5
Total		10.48					



**CONSIDERACIONES GENERALES:**

- El material fué entregado al Laboratorio por el Solicitante
- De acuerdo a la NTP 400.037, se permitirá el uso del agregado que no cumple con la gradación indicada, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá hormigón (concreto), de la calidad requerida.
- El nombre de la cantera ha sido designada por el Solicitante.

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 INGENIERIA CIVIL - UNSA

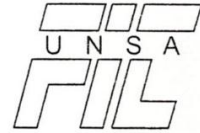
*Fernando Peralta Quino*  
 FERNANDO PERALTA QUINO  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.R. 77199

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

*Jorge Iván Pérez*  
 Ing. Jorge Iván Pérez  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP Nº 37242



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN  
DE AREQUIPA  
Av. Independencia s/n - Area Ingenierias



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE CONCRETO Y EMC  
Teléfono N° 299992

## CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Jorge Iruri Pérez Jefe del Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales de Construcción de la Facultad de Ing. Civil de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

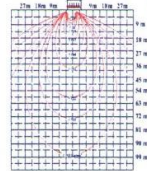
Hace constar:

Que los Bachilleres en Ing. Civil FERNANDO JESUS CALLA DEZA Y JENIFFER CARLA TORRES, han realizado en el laboratorio los ensayos para el desarrollo de su Tesis intitulado "REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRAS DE CARBONO".

Arequipa, 26 de abril 2016

Laboratorio de Concreto y Ensayo de Materiales  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNSA

.....  
*Ing. Jorge A. Iruri Pérez*  
JEFE DE LABORATORIO  
CIF N° 272142



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

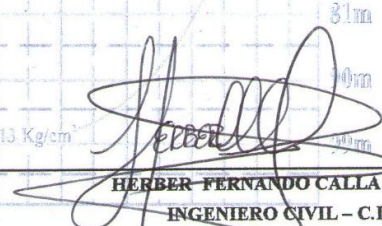
**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

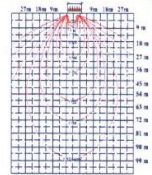
**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

**FECHA:** AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

FECHA DE VACEADO	ESPECIFICACION DE MUESTRA	DIAMETRO CM	EDAD DIAS	FECHA ENSAYO	CARGA KG.	ESFUERZO DE ROTURA ( KG/CM2)
14/10/2015	V.f.c:140 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	7.00	21/10/2015	21259	117.2
14/10/2015	V.f.c:140 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	15.00	29/10/2015	26875	148.1
14/10/2015	V.f.c:140 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	28.00	11/11/2015	32444	178.8
15/10/2015	V.f.c:210 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	7.00	22/10/2015	30358	167.3
15/10/2015	V.f.c:210 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	15.00	30/10/2015	37898	208.9
15/10/2015	V.f.c:210 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	28.00	12/11/2015	44955	247.7
16/10/2015	V.f.c:280 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	7.00	23/10/2015	42587	234.7
16/10/2015	V.f.c:280 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	15.00	31/10/2015	53309	293.8
16/10/2015	V.f.c:280 kg/cm <sup>2</sup>	15.2	28.00	13/11/2015	59078	325.6

NOTA: LOS ENSAYOS FUERON REALIZADOS SEGUN LOS TESTIGOS, PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES INDICADOS.

  
**HERBER FERNANDO CALLA ARANDA**  
 INGENIERO CIVIL - C.I.P 48620  
 SEGUNDA ESPECIALIDAD EN INGENIERIA SISMO RESISTENTE UNI-CISMID



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACION:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

Dias	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>167.4 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	140 kgf/cm <sup>2</sup>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
7	117.2	70

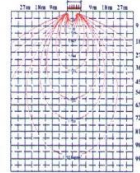
**ENSAYO DE COMPRESION**



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

FCD= 140 kgf/cm<sup>2</sup>  
FC= 117.2 kgf/cm<sup>2</sup>





<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

Dias	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	120.45
28	100	146.26

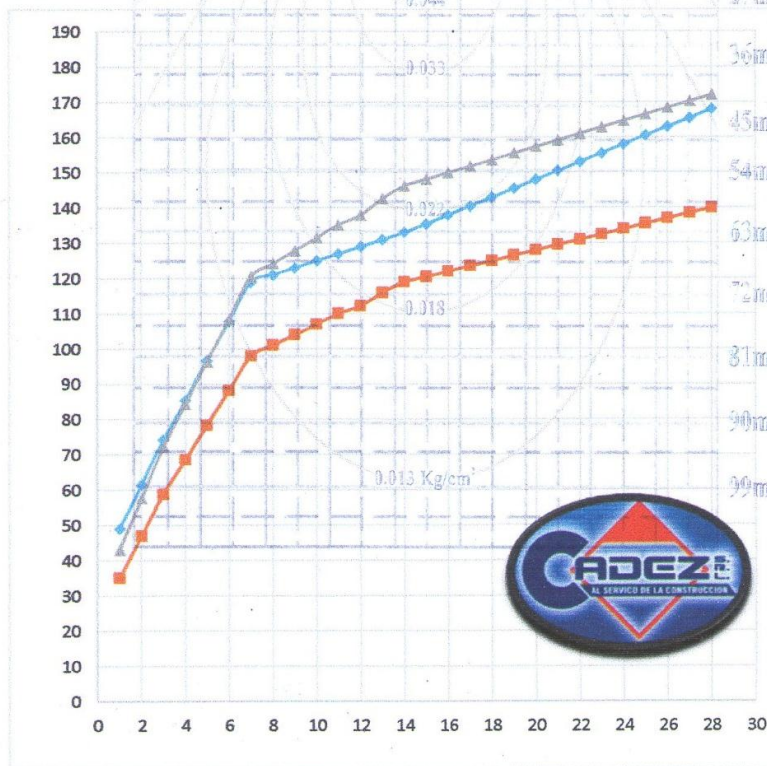
PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>172.1 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Resultados obtenidos de ensayo**

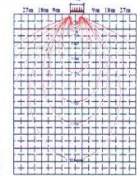
fc=	<b>140 kgf/cm<sup>2</sup></b>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del día
	<b>148.1</b>	<b>86.07</b>

**ENSAYO DE COMPRESION**



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

FCD= 140 kgf/cm<sup>2</sup>  
FC= 148.1 kgf/cm<sup>2</sup>



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

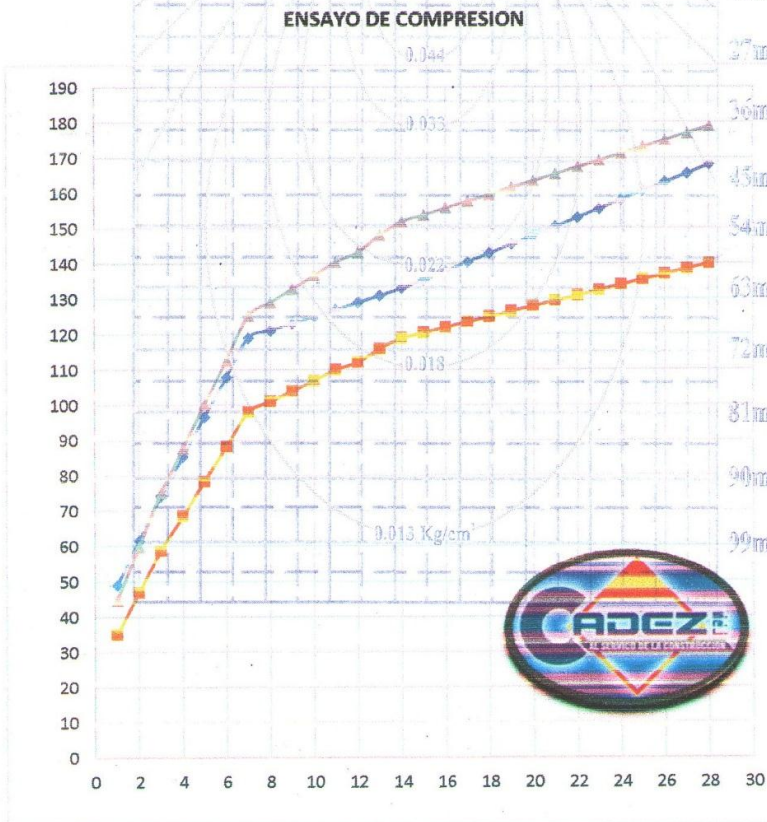
Días	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

PROYECCION

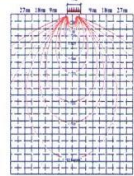
fc 28 DIAS
<b>178.8 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	140 kgf/cm <sup>2</sup>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
28	178.8	100



**FCD= 140 kgf/cm<sup>2</sup>**  
**FC= 178.8 kgf/cm<sup>2</sup>**



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACION:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

Días	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

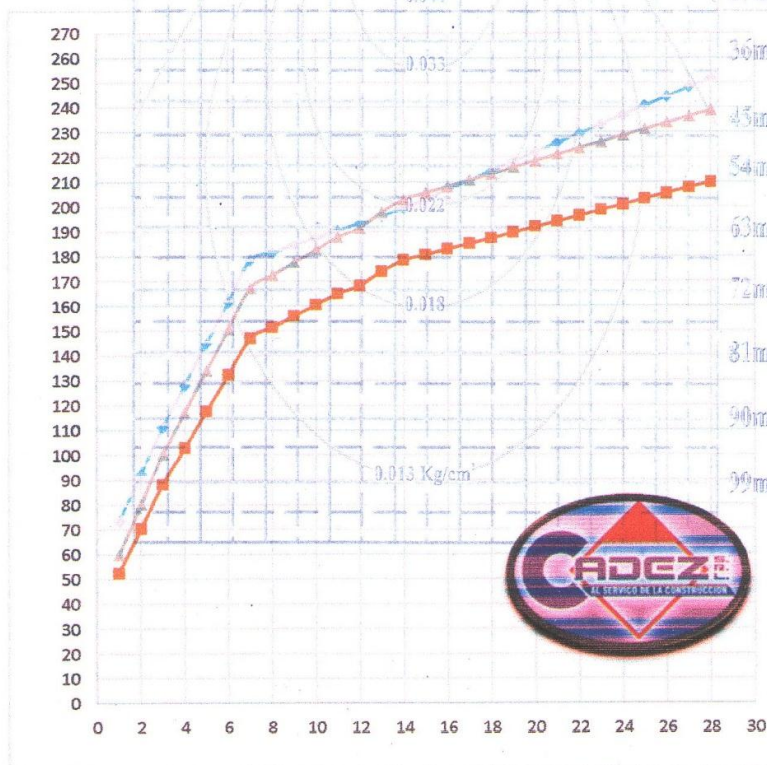
PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>239 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Resultados obtenidos de ensayo**

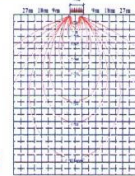
fc=	<b>210 kgf/cm<sup>2</sup></b>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
7	167.3	70

**ENSAYO DE COMPRESION**



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

**FCD= 210 kgf/cm<sup>2</sup>**  
**FC= 167.3 kgf/cm<sup>2</sup>**



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

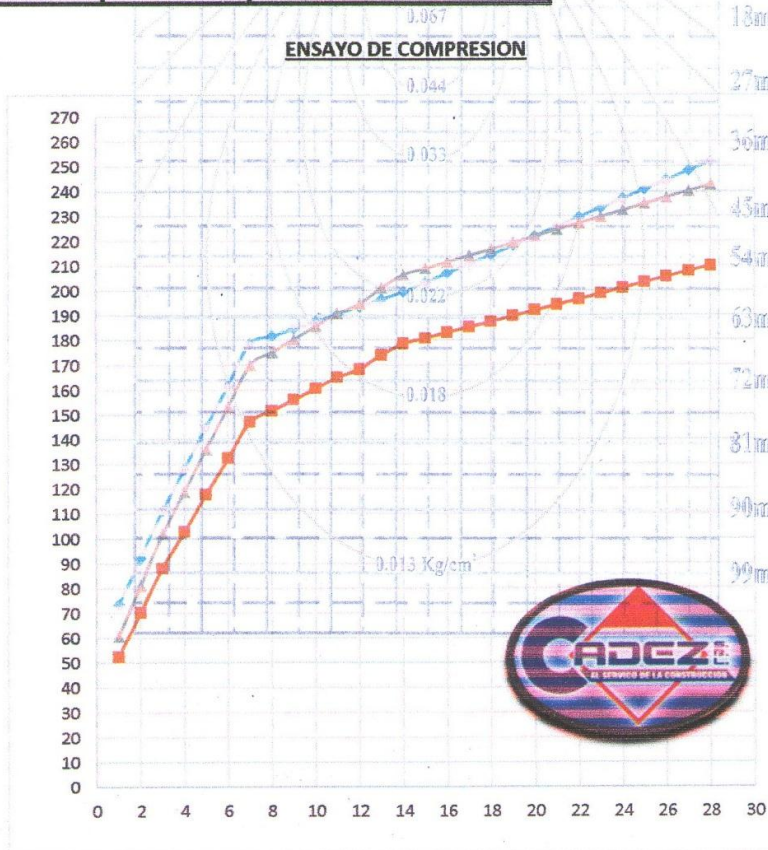
Días	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>242.7 kgf/cm<sup>2</sup></b>

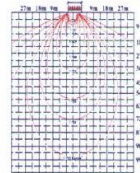
**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	210 kgf/cm <sup>2</sup>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
15	208.9	86.07



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

**FCD= 210 kgf/cm<sup>2</sup>**  
**FC= 208.9 kgf/cm<sup>2</sup>**



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

Días	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

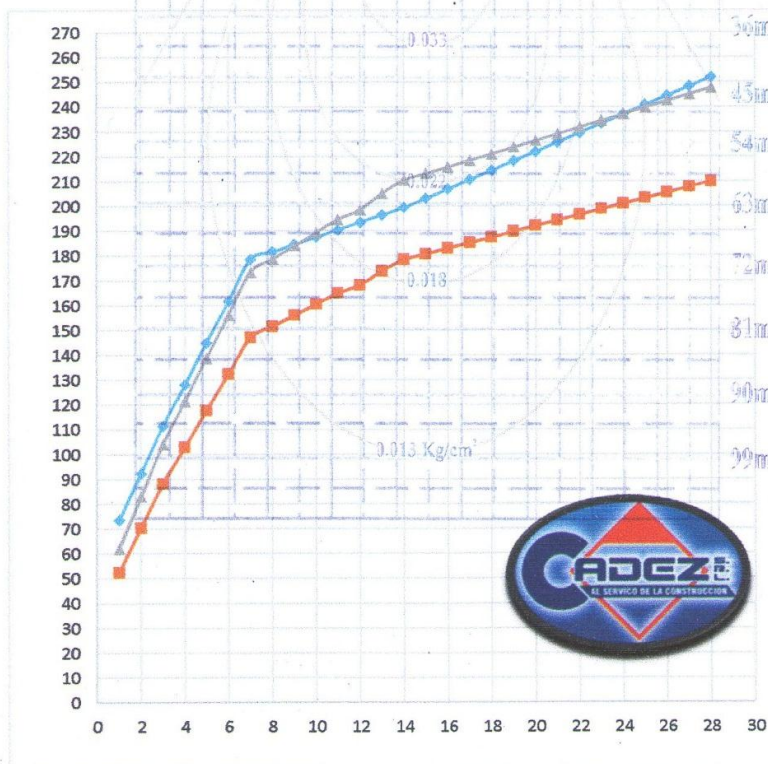
PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>247.7 kgf/cm<sup>2</sup></b>

**Resultados obtenidos de ensayo**

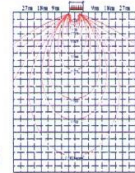
fc=	<b>210 kgf/cm<sup>2</sup></b>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
28	247.7	100

**ENSAYO DE COMPRESION**



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

FCD= 210 kgf/cm<sup>2</sup>  
FC= 247.7 kgf/cm<sup>2</sup>



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016
<b>ENSAYO COMPRESION SIMPLE</b>	
<b>NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034</b>	

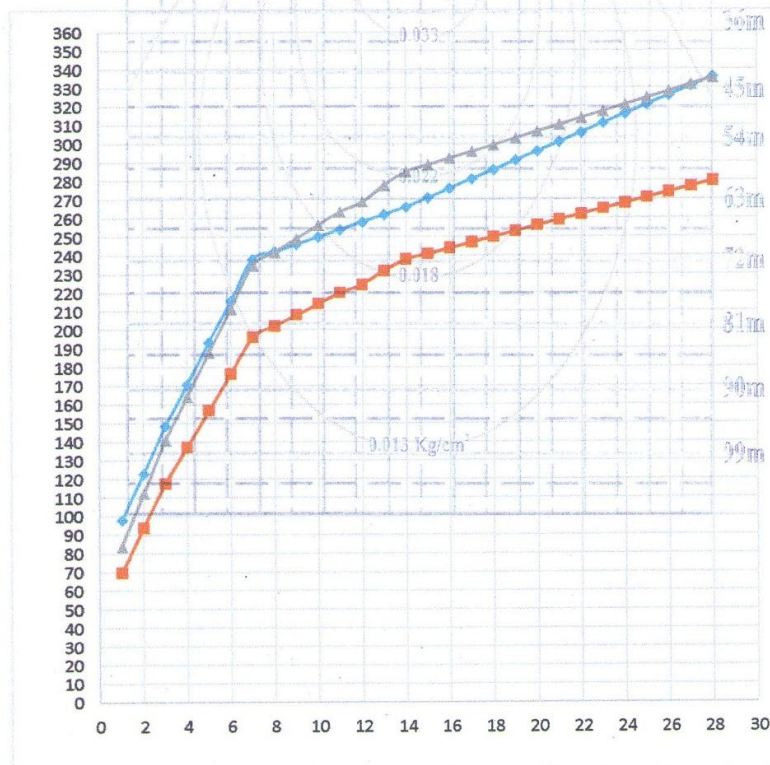
Dias	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

PROYECCION  
fc 28 DIAS  
335.3 kgf/cm<sup>2</sup>

**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	280 kgf/cm <sup>2</sup>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
7	234.7	70

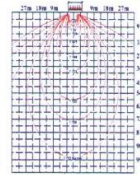
**ENSAYO DE COMPRESION**



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

FCD= 280 kgf/cm<sup>2</sup>  
FC= 234.7 kgf/cm<sup>2</sup>





<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACIÓN:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

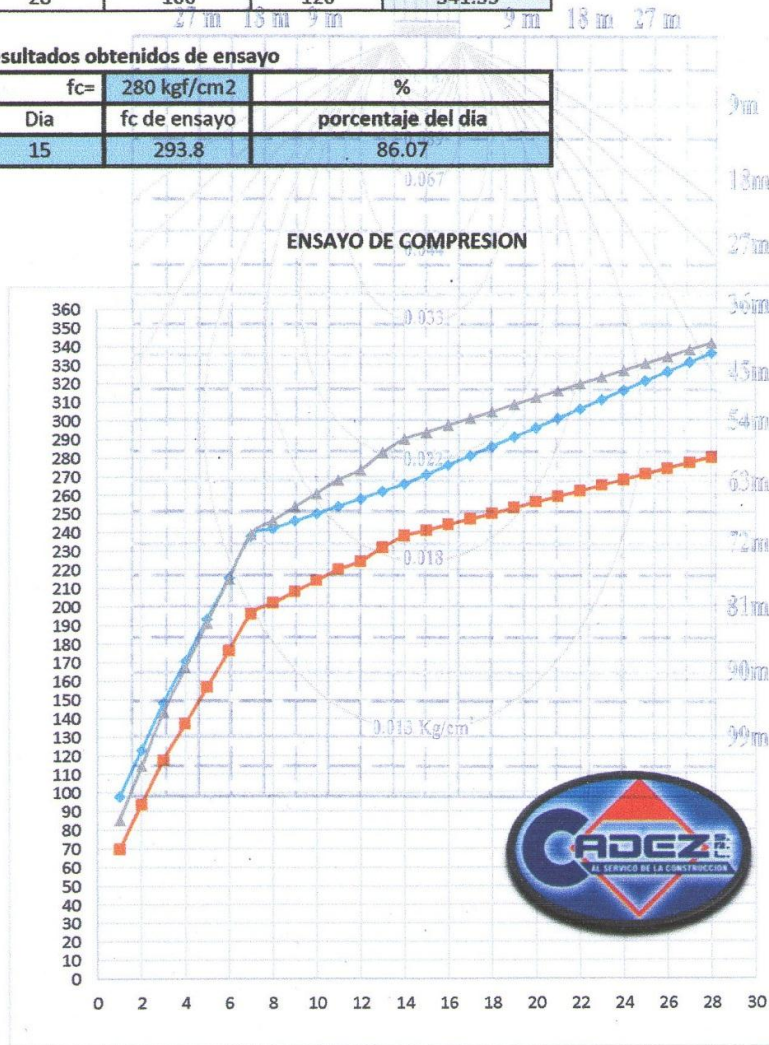
Dias	%	Fc Real Aprox.
1	25	85.34
3	42	143.37
7	70	238.95
14	85	290.15
28	100	341.35

PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>341.4 kgf/cm2</b>

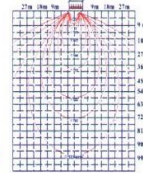
**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	<b>280 kgf/cm2</b>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
15	293.8	86.07



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

FCD= 280 kgf/cm2  
FC= 293.8 kgf/cm2



<b>SOLICITA:</b>	JENIFFER CARLA TORRES ALMIRON, FERNANDO JESUS CALLA DEZA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS - REFORZAMIENTO POR FLEXION DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO
<b>UBICACION:</b>	-
<b>FECHA:</b>	AREQUIPA, 13 ABRIL DEL 2016

**ENSAYO COMPRESION SIMPLE**

**NORMA: ASTM C 39-96 ; ITINTEC 339.034**

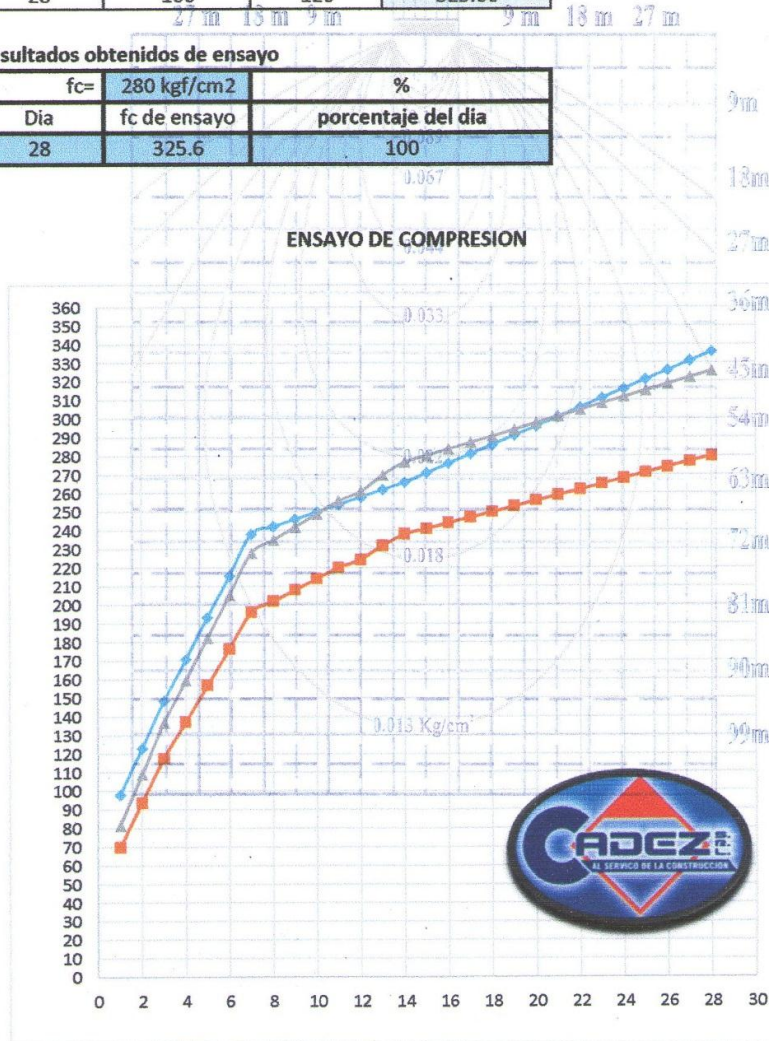
Días	%	Fc Real Aprox.
1	25	35
3	42	53
7	70	85
14	85	95
28	100	120

PROYECCION

fc 28 DIAS
<b>325.6 kgf/cm<sup>2</sup></b>

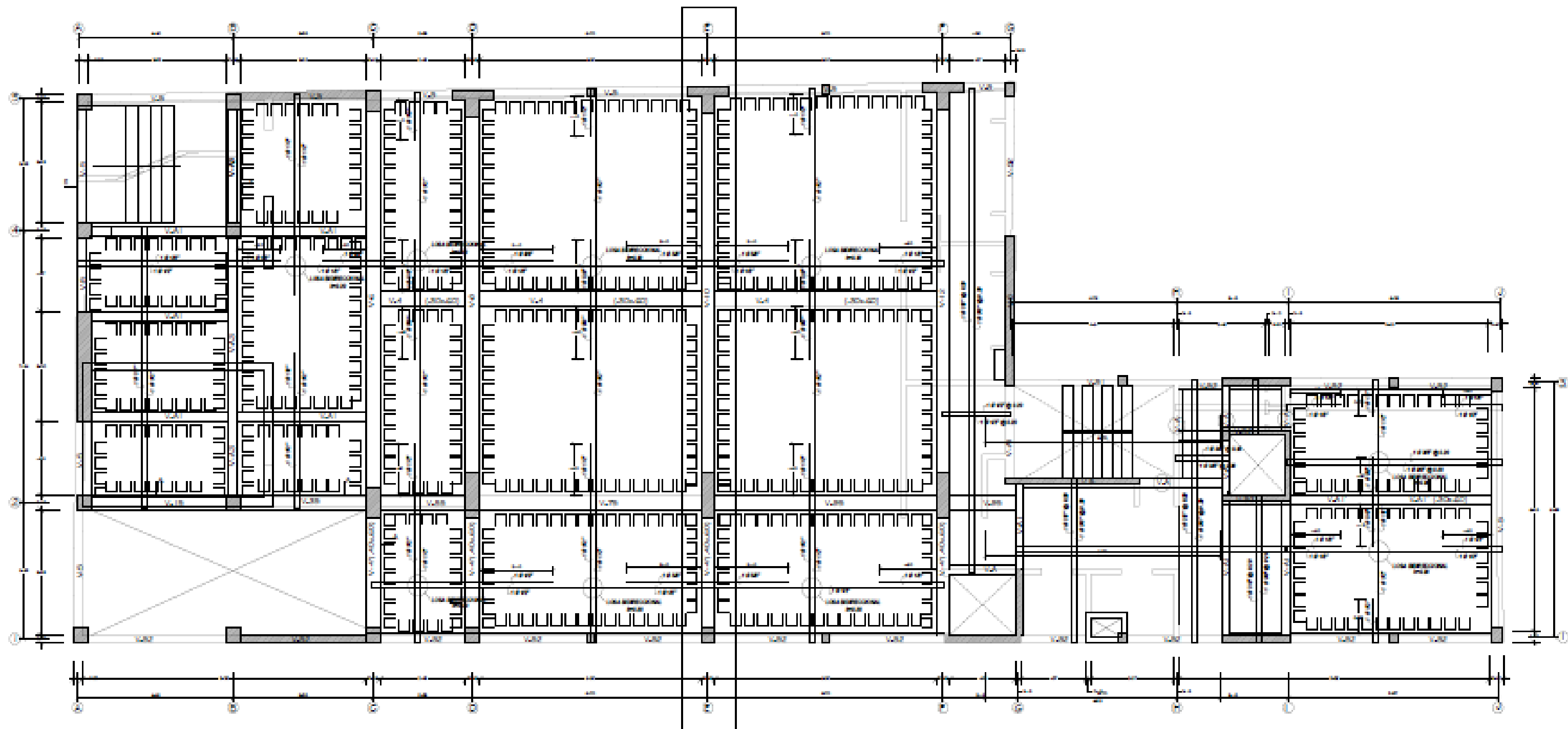
**Resultados obtenidos de ensayo**

fc=	<b>280 kgf/cm<sup>2</sup></b>	%
Dia	fc de ensayo	porcentaje del dia
28	325.6	100



CURVA DE ENSAYO  
 CURVA MAXIMA  
 CURVA MINIMA

**FCD= 280 kgf/cm<sup>2</sup>**  
**FC= 325.6 kgf/cm<sup>2</sup>**



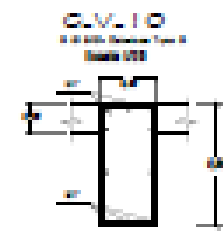
**ENCOFRADOS SOTANO**  
 Escala: 1/200 (HORIZ) 1/50 (VERT)  
 Fecha: 1/2015



**CORTE TÍPICO DEL ALIGERADO H = 0.20**  
 BIDIRECCIONAL

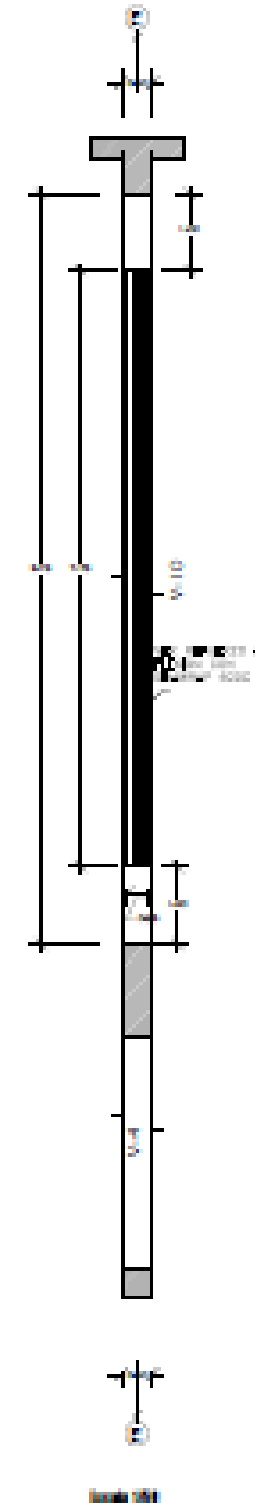
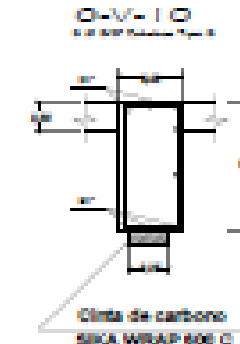
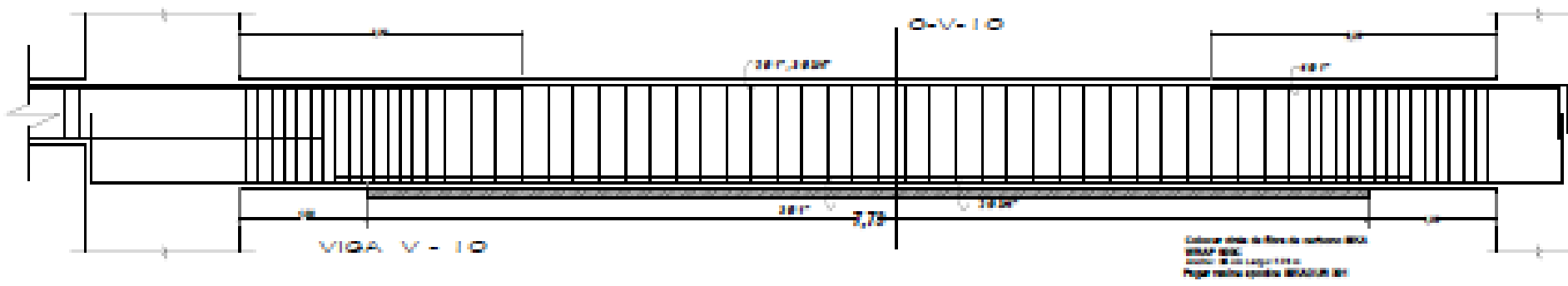
**CUADRO DE ESTRIBOS VIGAS**

Para el aligerado en el eje X, según el siguiente cuadro:  
 Para el aligerado en el eje Y, según el siguiente cuadro:  
 Para el aligerado en el eje X, según el siguiente cuadro:  
 Para el aligerado en el eje Y, según el siguiente cuadro:  
 Para el aligerado en el eje X, según el siguiente cuadro:  
 Para el aligerado en el eje Y, según el siguiente cuadro:



<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>	
<b>TESIS DE INVESTIGACIÓN</b>	
TÍTULO: <b>REFORZAMIENTO CON FRP - V-10</b>	
AUTOR: Calle Miraflores 857, San Cayetano 180 - 188, Huancayo de la Sierra, Huancayo	TÍTULO: <b>EDICIÓN</b>
AUTOR: Calle San Francisco Javier, Toros Altos, Huancayo	FECHA: Diciembre 2015
	<b>R-01</b>

**REFORZAMIENTO DE VIGA (EXISTENTES)  
CON FIBRA DE CARBONO**



**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**Materiales:**

Tipo de Fibra de Carbono para Reforzamiento Estructural

**DESCRIPCION GENERAL:**

Es un tipo estructural de fibra de carbono. El material se fabrica en compuestos de fibra de carbono (FRP) pultruido aplicados para reforzar a pilares existentes con fibra (FRP), el cual se aplica para el reforzamiento de elementos estructurales.

**Características:**

Para columnas y vigas, columnas, reforzamiento de elementos estructurales como vigas, columnas, bases y muros para las siguientes razones o momentos de carga:

- Incremento de resistencia de flexión en puntos
- Incremento con vibración
- Refuerzo estructural
- Protección de componentes no estructurales
- Distribución de momentos de momento (normal)
- Fugas
- Separación de muros o columnas
- Defensa de ductos o conductos
- Otros requisitos de los constructores

- Incremento de carga viva
- Reparación de estructuras pasadas en edificios industriales
- Defensa en el caso de edificios
- Defensa de columnas (reforzamiento)
- Defensa de juntas estructurales
- Impacto de edificios
- Defensa en el sistema estructural
- Reparación de secciones de fibra y muros con juntas
- Refuerzo estructural
- Reforzamiento completo

**VENTAJAS:**

- Es flexible, puede colocarse envolviendo elementos de forma completa
- Bajo peso
- Resistente a corrosión química y a fuego
- Duradero

- Alta resistencia
- No se oxida
- Bajo impacto acústico
- Puede ser aplicado en húmedo o en seco

**PRESTACIONES:**

- Módulo de elasticidad (E) en GPa (10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>)
- Coeficiente de expansión térmica (CTE) (coeficiente)

**RECOMENDACIONES:**

No debe proteger el material de posibles ataques oxidativos o corrosivos debido por ejemplo a la alta humedad o al agua estancada. Transportar con las precauciones normales para productos inflamables.

**DATOS TECNICOS:**

Propiedades de la fibra de carbono:

Resistencia a la tensión	1800 MPa (260 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	132 GPa (19 000 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad a la masa	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor	0.125 mm (0.0049 pulgadas)
Diámetro de la fibra	17 (microfibras)
Peso por metro cuadrado	300 g

Propiedades de la fibra:

Resistencia a la tensión	400 MPa (58 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	232 GPa (33 600 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor	0.125 mm (0.0049 pulgadas)

**APLICACION:**

Preparación de la superficie:

La superficie debe estar limpia y seca. Puede estar seca o húmeda (pero libre de agua estancada o hielo). Remover polvo, aceite, grasa, compuestos orgánicos, impregnaciones, pintura, perforaciones, etc., mediante el uso de cualquier otro elemento que limpie la superficie. Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación estructural. La preparación es diferente del proceso de aplicación. Después de la preparación de la superficie por un agente externo de resistencia de adherencia a la resina (FR-300) a través del epoxico. La misma resistencia a la tensión debe ser de 75 kg/cm<sup>2</sup> con todo el material.

**METODO DE LIMPIEZA:**

Para la preparación de la superficie se recomienda utilizar alcohol de etanol o cualquier otro procedimiento de limpieza mediante procedimientos convencionales que provea buena adhesión a la superficie.

**RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DE SICA WRAP 600 C:**

- Temperatura del ambiente: 15°C
- Humedad relativa máxima: 85%
- Condiciones mínimas de humedad relativa: 70% antes de la preparación del punto de corte.
- La temperatura mínima de corte debe ser de 5°C.
- Para una buena adherencia, la resina debe ser mezclada a 1:1 (resina:epoxico).
- Para juntas epoxico-resina: 1:1 (resina:epoxico).
- Para juntas epoxico-resina: 1:1 (resina:epoxico).
- Para aplicar la superficie puede aplicarse SICAFAST 600 C o SICAFAST 600 C.

**REPORTE:**

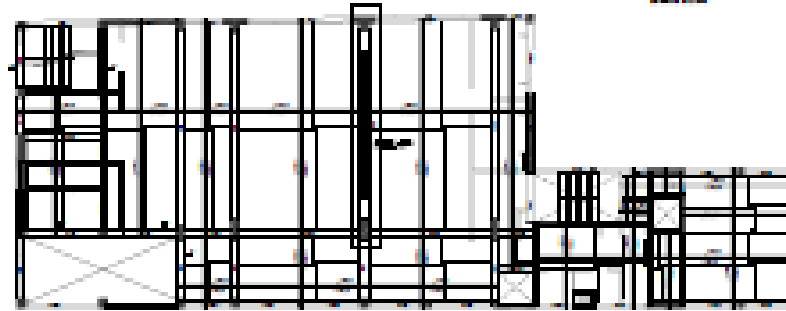
Los datos de diseño deben ser revisados por un ingeniero independiente, debidamente acreditado. El sistema de refuerzo de vigas por el método de refuerzo con fibra de carbono es un sistema de refuerzo estructural que debe ser diseñado y aplicado de acuerdo con las especificaciones de diseño para la instalación del Sistema de Refuerzo de Vigas. Consultar al Departamento Técnico.

**RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD Y PRECAUCIONES DE MANEJO:**

Debido a la manipulación de cualquier producto químico, debe utilizarse equipo de protección personal (EPP) y otros requisitos. Evitar el contacto directo con la piel, ojos y ropa. Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a un médico.

**UBICACION DE VIGA & REFORZAR**



**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**Materiales:**

Tipo de Fibra de Carbono para Reforzamiento Estructural

**DESCRIPCION:**

Es un tipo estructural de fibra de carbono. El material se fabrica en compuestos de fibra de carbono (FRP) pultruido aplicados para reforzar a pilares existentes con fibra (FRP), el cual se aplica para el reforzamiento de elementos estructurales.

**Características:**

- Para columnas y vigas, columnas, reforzamiento de elementos estructurales como vigas, columnas, bases y muros para las siguientes razones o momentos de carga:

- Incremento de resistencia de flexión en puntos
- Incremento con vibración
- Refuerzo estructural
- Protección de componentes no estructurales
- Distribución de momentos de momento (normal)
- Fugas
- Separación de muros o columnas
- Defensa de ductos o conductos
- Otros requisitos de los constructores

**VENTAJAS:**

- Es flexible, puede colocarse envolviendo elementos de forma completa
- Bajo peso
- Resistente a corrosión química y a fuego
- Duradero

**PRESTACIONES:**

- Módulo de elasticidad (E) en GPa (10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>)
- Coeficiente de expansión térmica (CTE) (coeficiente)

No debe proteger el material de posibles ataques oxidativos o corrosivos debido por ejemplo a la alta humedad o al agua estancada. Transportar con las precauciones normales para productos inflamables.

**DATOS TECNICOS:**

Resistencia a la tensión	1800 MPa (260 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	132 GPa (19 000 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad a la masa	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor	0.125 mm (0.0049 pulgadas)
Diámetro de la fibra	17 (microfibras)
Peso por metro cuadrado	300 g

Propiedades de la fibra:

Resistencia a la tensión	400 MPa (58 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad	232 GPa (33 600 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor	0.125 mm (0.0049 pulgadas)

**APLICACION:**

Preparación de la superficie:

La superficie debe estar limpia y seca. Puede estar seca o húmeda (pero libre de agua estancada o hielo). Remover polvo, aceite, grasa, compuestos orgánicos, impregnaciones, pintura, perforaciones, etc., mediante el uso de cualquier otro elemento que limpie la superficie. Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación estructural. La preparación es diferente del proceso de aplicación. Después de la preparación de la superficie por un agente externo de resistencia de adherencia a la resina (FR-300) a través del epoxico. La misma resistencia a la tensión debe ser de 75 kg/cm<sup>2</sup> con todo el material.

**METODO DE LIMPIEZA:**

Para la preparación de la superficie se recomienda utilizar alcohol de etanol o cualquier otro procedimiento de limpieza mediante procedimientos convencionales que provea buena adhesión a la superficie.

**RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DE SICA WRAP 600 C:**

- Temperatura del ambiente: 15°C
- Humedad relativa máxima: 85%
- Condiciones mínimas de humedad relativa: 70% antes de la preparación del punto de corte.
- La temperatura mínima de corte debe ser de 5°C.
- Para una buena adherencia, la resina debe ser mezclada a 1:1 (resina:epoxico).
- Para juntas epoxico-resina: 1:1 (resina:epoxico).
- Para aplicar la superficie puede aplicarse SICAFAST 600 C o SICAFAST 600 C.

**Tabla 1: Propiedades de la fibra de carbono**

Propiedad	Valor
Resistencia a la tensión (FRP)	1800 MPa (260 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad (FRP)	132 GPa (19 000 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad (FRP)	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor (FRP)	0.125 mm (0.0049 pulgadas)
Diámetro de la fibra (FRP)	17 (microfibras)
Peso por metro cuadrado (FRP)	300 g
Resistencia a la tensión (fibra)	400 MPa (58 000 lb/in <sup>2</sup> )
Módulo de elasticidad (fibra)	232 GPa (33 600 000 lb/in <sup>2</sup> )
Densidad (fibra)	1.78 g/cm <sup>3</sup>
Epesor (fibra)	0.125 mm (0.0049 pulgadas)
Diámetro de la fibra (fibra)	17 (microfibras)
Peso por metro cuadrado (fibra)	300 g

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTA MARÍA**

**TESIS DE INVESTIGACIÓN**

Título: **REFORZAMIENTO CON FRP - DETALLES**

Dirección: Calle Mapocho 857 - José Depto 857 - 858 Provincia de So. - Mapocho  
 Calle Deza Fernando José  
 Torres Aldana, Joffre Carlo  
 Fecha: 2023  
 Fecha: 2023

**R-02**