

"AÑO DE LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACIÓN"

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - LIRCAY



*J. B.  
H. Salas Tocasca*

## TESIS

**"ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL USO DE LAS FIBRAS DE CARBONO PARA EL REFORZAMIENTO EN UNA VIGA PERALTADA, DE CONCRETO ARMADO PARA UNA EDIFICACION EN LA CIUDAD DE LIRCAY - ANGARAES - HUANCAMELICA"**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
ESTRUCTURAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:  
Bach. CUTTI HUALLPA, Karina**

**ASESOR:  
Arq. SALAS TOCASCA, Hugo Camilo**

**LIRCAY - HUANCAMELICA - 2015**



27 NOV. 2015

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Facultad de Ingeniería de Minas - Civil - Ambiental en el pabellón de la FIMCA, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Lincey a los veinte días del mes de agosto del 2015; siendo las 05:00 pm se instaló los miembros del jurado en base a la resolución de Consejo de Facultad N° 080-2015-FIMCA-UNH, de fecha 20 de agosto del 2015 en el cual se resuelve:

- Artículo primero: Aprobar la Hora y fecha para la sustentación de Tesis cuyo título es: "Análisis experimental del uso de las fibras de carbono para el reforzamiento en una viga peraltada, de concreto armado para una edificación en la ciudad de Lincey - Pongorou - Huancavelca" Siendo responsable del Proyecto de Investigación Científica el Bachiller Cetti Huallpa, Karina, Miembro del Jurado como presidente: Ing. Emrique Rigoberto Canoa Ojeda Secretario: Andrés Zorimo Nohui Gaspar, Vocal: Ing. Uriel Néira Colson.

Con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis referido, inmediatamente se procedió con la intervención del presidente dando las instrucciones correspondientes para dar inicio a la sustentación, primero dando el tiempo reglamentario de 30 minutos, seguidamente terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas pertinentes, las cuales fueron obradas por el tesista.

Los miembros del jurado después de un intenso debate se resuelve: Aprobar la sustentación de tesis por: Mayoría siendo las 6:30 pm del día veinte de agosto del dos mil quince, en señal de conformidad firmaron el pie del presente

ING. NAHUI GASPAR A.  
SECRETARIO

ING. E. RIGOBERTO CANOA O.  
PRESIDENTE

ING. URIEL NEIRA COLSON  
VOCAL.

A DIOS, QUE ILUMINA Y GUÍA MI CAMINO,  
A MI PADRE, MADRE Y HERMANOS QUE  
GRACIA A SU APOYO Y COMPRESIÓN  
POR EL LOGRO DE MIS OBJETIVOS,  
PROGRESIVAMENTE LOGRAR SER  
UNA PERSONA DE ÉXITO.

*Karina.*

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas personas los que han contribuido en la elaboración de esta tesis a las que estoy sumamente agradecida por la culminación de esta tesis.

A Dios por la sabiduría y conocimiento que me dio para realizar esta presente tesis.

Al Ing. Enrique Camac Ojeda, por su apoyo en la elaboración de esta tesis, al Ing. Andrés Z. Ñahiu Gaspar, por la orientación para desarrollar la tesis, al Ing. Uriel Neira Calsin, por las enseñanzas que a lo largo de la carrera universitaria en el curso de Concreto Armado I, nos impartió y así dejado su enseñanza.

A la empresa SIKA, por su colaboración de proporcionarme la longitud de 1.00 m de Fibra de Carbono, ya que normalmente se expide en rollos de 100.00 m, y a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, al Laboratorio de Ensayos de Materiales, por brindarme su apoyo en la elaboración de las vigas y posterior ensayo.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Lircay por su apoyo en la elaboración y culminación de esta presente tesis.

A mis padres, familiares y amigos que gracias a su constante apoyo y orientación realice de manera satisfactoria está presente tesis.

El Tesista.

## ÍNDICE

Dedicatoria	I
Agradecimiento	II
Índice	III
Resumen	IV
Introducción	V

### CAPITULO I PROBLEMA

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	01
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	06
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	06
1.3.1. Objetivo General .....	06
1.3.2. Objetivos Específicos .....	06
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	07

### CAPITULO II MARCO TEÓRICO

<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	11
2.1.1. A nivel Internacionall.....	11
2.1.2. A nivel Nacional .....	15
<b>2.2. BASES TEÓRICAS</b> .....	18
2.2.1. Revision Bibliografica De Los Materiales Compuestos.....	18
2.2.2.1 Concepto De Material Compuesto .....	18

2.2.2. Materiales Compuestos De Matriz Polimérica..... 20

    2.2.2.1 Descripción De Las Matrices..... 21

    2.2.2.2 . Descripción De Las Fibras.....24

2.2.3. Revisión Bibliográfica Del Reforzamiento De Las Fibras De Carbono..... 24

    2.2.3.1 Carbono.....24

2.2.4. Fibras De Carbono.....25

2.2.5. Aplicación De Fibra De Carbono En Estructuras De Concreto Reforzad.....27

2.2.6. Consideraciones.....27

**2.3. HIPÓTESIS..... 28**

**2.4. VARIABLES DE ESTUDIO ..... 29**

    2.4.1. Variable independiente ..... 29

    2.4.2. Variable dependiente ..... 29

**CAPITULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

**3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO..... 30**

**3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN ..... 30**

**3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN ..... 30**

**3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN ..... 31**

**3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN ..... 31**

**3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO ..... 32**

    3.6.1. Población ..... 32

    3.6.2. Muestra..... 32

**3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... 32**

- 3.7.1. Técnica de recolección de datos..... 33
- 3.7.2. Instrumentos de recolección de datos ..... 33
- 3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... 33**
- 3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS..... 34**
- 3.9.1. Prueba t ..... 34

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS**

- 4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ..... 35**
- 4.1.1. Diseño con fibras de carbono. .... 35
- 4.1.2. Propiedades de los Materiales..... 36
- 4.1.3. Modos de Falla del Refuerzo CFRP ..... 38
- 4.1.4. Principios de diseño con refuerzo externamente adherido ..... 41
- 4.1.5. Utilización de Fibra de Carbono en Peru ..... 55
- 4.1.6. Elemento Estructural a estudiar en la presente tesis ..... 57
- 4.1.7. Viga peraltada de reforzamiento a flexión de la casa del maestro ..... 64
- 4.1.8. Análisis de refuerzo de viga de concreto reforzado utilizando fibras de carbonos ..... 84
- 4.2. DISCUSIÓN ..... 107**
- 4.2.1. Prueba de Hipótesis..... 107
- 4.2.2. Planteamiento de Hipótesis: ..... 107
- 4.2.3. Nivel de significancia ( $\alpha$ ) y nivel de confianza..... 108
- 4.2.4. Estimación del estadístico de prueba..... 109
- 4.2.2. Conclusión de la prueba de hipótesis: ..... 110

Conclusiones..... 111

Recomendaciones..... 112

Referencias Bibliográficas..... 113

Anexos..... 114



## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Lámina de Fibra de Carbono Sika Carbodur .....	3
Figura N° 02: Curvas típicas de esfuerzo – deformación para concreto reforzado Con fibra .....	4
Figura N° 03: Materiales Compuestos en función del tipo de refuerzo .....	20
Figura N° 04: Ordenamiento Hexagonal de la red de Átomos de Carbono .....	26
Figura 05: Perdida de Adherencia y delaminación, Comportamiento de elementos a flexión con refuerzo adherido en cara inferior .....	40
Figura N° 06: Despegue iniciado por grietas a flexión y/o corte .....	41
Figura N° 07: Delaminación del recubrimiento iniciado al final del refuerzo FRP adherido .....	41
Figura N° 08 Altura efectiva para refuerzo CFRP .....	43
Figura N° 09: Representación gráfica del factor de reducción .....	45
Figura N° 10: Nivel de momento aplicado que debe ser utilizado para verificar límites de esfuerzos en el refuerzo CFRP .....	47
Figura 11: Distribución interna de deformación unitaria y esfuerzos para una sección rectangular bajo flexión en el estado límite último .....	48

Figura N° 12: Distribución elástica de deformación unitaria y esfuerzos .....	54
Figura N° 13: Diagrama de Fuerzas Internas .....	58
Figura N° 14: Fuerzas Distribuidas .....	59
Figura N° 15: Modelo de Edificación a analizar .....	63
Figura N° 16: Transmisión De Cargas Verticales .....	65
Figura N° 17: Sección de losa aligerada .....	65
Figura N° 18: Sección De Las Viga Peraltada Existente .....	66
Figura N° 19: Área Tributaria De La Viga Peraltada .....	66
Figura N° 20: Pórtico de vigas de dos niveles .....	69
Figura N° 21: Sección de columna en el SAP 2015 .....	70
Figura N° 22: Sección de viga en el SAP 2015.....	70

Figura N° 23: Pórtico con carga muerta .....	71
Figura N° 24: Pórtico con carga viva .....	72
Figura N° 25: Pórtico con envolvente de carga .....	73
Figura N° 26 Pórtico de viga de dos niveles, con cargas incrementadas .....	76
Figura N° 27 Sección de columna en SAP 2015, con cargas incrementadas .....	77
Figura N° 28: Sección de viga en SAP 2015, con cargas incrementadas .....	77
Figura N° 29: Pórtico de carga muerta .....	78
Figura N° 30: Pórtico de carga viva .....	79
Figura N° 31: Análisis estructural, con envolvente de cargas .....	79
Figura N° 32: Pórtico en desplazamiento x-x, 1° nivel .....	82
Figura N° 33: Pórtico en desplazamiento x-x, 2° nivel .....	83
Figura N° 34: Figura de distribución de la sigma .....	110

120

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Propiedades de las Fibras de refuerzo .....	13
Tabla N° 02: Materias Primas Compuestos .....	19
Tabla N° 03: Comparación de Propiedades de resinas según su naturaleza .....	23
Tabla N° 04: Propiedades Genéricas de las Resinas Epoxi .....	24
Tabla N° 05: Factores de reducción Ambiental .....	38
Tabla N° 06: Muestra el valor del momento sostenido más esfuerzo límite cíclico .....	47
Tabla N° 07: Peso Especifico de algunos materiales .....	60

Tabla N° 08: Peso Del Tabique Por Metro Lineal ..... 62

Tabla N° 09: Resumen de momentos ..... 74

Tabla N° 10: Resumen de cargas momentos, con cargas incrementadas ..... 81

Tabla N° 11: Resumen de cargas momentos, entre dos vigas ..... 81

Tabla N° 12: Límites para desplazamiento Lateral de Entrepiso ..... 82

Tabla N° 13: Resumen de desplazamiento lateral de la edificación ..... 83

Tabla N° 14: Propiedades de la viga ..... 84

Tabla N° 15: Resumen de cargas momentos, entre dos vigas ..... 84

Tabla N° 16: Las cargas y momentos de la viga de la estructura se resumen  
en la tabla ..... 85

Tabla N° 17: Resumen de desplazamiento lateral de la edificación ..... 107

Tabla N° 18: Resistencia de carga ..... 108

Tabla N° 19: Prueba de la hipótesis ..... 109

Tabla N° 20: Estadístico de grupo ..... 109

## RESUMEN

La presente tesis expone la filosofía y metodología de diseño del refuerzo de elementos a flexión (viga) con material CFRP de fibra de carbono. Se exponen los criterios básicos para diseñar e instalar este tipo de refuerzo en estructuras de concreto reforzado según el código ACI 440.2R-08.

También se exponen los principales métodos de diagnóstico y evaluación de estructuras de concreto, métodos tradicionales de reparación y refuerzo de los elementos a flexión para vigas de edificaciones. Se exponen las características de la fibra de carbono, historia, códigos existentes, consideraciones de diseño, requisitos de aplicación para elementos sometidos a flexión, sus ventajas y desventajas y las limitaciones para su aplicación.

Toda la información teórica recopilada se aplica a un caso de reforzamiento de una viga de concreto reforzado que se diseña para una edificación. En esta presente tesis se diseñó el reforzamiento de una Viga Peralta de Concreto Armado con (CFRP) Carbon Fiber-reinforced polymer, para una edificación en la ciudad de Lircay, en dicha edificación se incrementaron las cargas vivas. La edificación fue diseñado antiguamente para una carga viva de 200 Kg/m<sup>2</sup>, uso de una vivienda, pero dicha edificación sufrió un cambio de uso al incrementar oficinas y albergar una cantidad de personas que acuden a dicha Institución.

Se realizó el ensayo de laboratorio de una viga para contrastar lo teórico con la práctica de dicha viga y así concluir y validar el buen funcionamiento de la viga, se estudiaron las características de los materiales, que componen la viga y el material de reforzamiento.

## INTRODUCCION

El presente trabajo muestra el diseño de vigas con reforzamiento de Polímeros de Fibras de Carbono, al incrementar cargas imprevistas, lo cual ocasiona que las vigas de concreto reforzado sean expuestas a un sobre esfuerzo que excede su capacidad de carga provocando la aparición de fisuras que debilitan la estructura. Por tal motivo se reforzaran la viga con CFRP, para poder mostrar una mejor resistencia a esfuerzos de flexión y corte.

El objetivo principal es cuánto de porcentaje aportaría la resistencia a flexión de una viga empleando los Polímeros de Fibras de Carbono CFRP, como material de reforzamiento; y así prevenir futuras fisuras por el incremento de carga y falla del concreto.

La investigación de este tema de reforzamiento con materiales CFRP, el interés es de ser un nuevo material; que frente a los convencionales métodos de reforzamiento, tales como: Placas de Acero adheridas externamente con placas de acero, este material tiene ciertas ventajas sobre otros debido a su alto módulo de elasticidad, poco espesor, fácil colocación.

La investigación se realizó mediante el cálculo, análisis que el código ACI recomienda y cual los valores contrastan con los valores del ensayo en el laboratorio nos muestran.

Se exponen la filosofía y consideraciones de diseño para reforzamiento de elementos a flexión, propiedades de este material, sus ventajas y desventajas. Se realiza un ejemplo de diseño y refuerzo para una viga de concreto reforzado para una edificación y se expone la reparación y reforzamiento de las vigas de una edificación de la ciudad de Lircay.

## CAPITULO I

### PROBLEMA

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La fibra de carbono (FC) se desarrolló inicialmente para la industria espacial, pero ahora, al bajar de precio, se ha extendido a otros campos: la industria del transporte, aeronáutica, Construcción, al deporte de alta competición y, últimamente encontramos la FC hasta en carteras de bolsillo y relojes. **Carolina Llano Uribe. (Fibra de Carbono, presente y futuro de un material revolucionario)**

La producción de fibra de carbón a lo largo de la década de los noventa pasó de siete a veinte toneladas. Se espera que dentro de diez años supere las quinientas. La razón de este incremento radica en el coste, que ha bajado drásticamente en los últimos años pasando de 50-250 euros/kg a unos 10 euros/kg que tenemos actualmente. Esta reducción ha implicado que la fibra de carbono haya dejado de ser un material netamente aeronáutico como ocurría en las décadas de los setenta y los ochenta para pasar a ser un material multi-sector. A principios de la década de los noventa comenzaron a utilizarse en artículos de deporte: palos de golf, raquetas, etc. Hoy en día hay dos campos donde esta fibra está emergiendo con consumos potenciales muy elevados: la construcción y el automóvil. **Carolina Llano Uribe. (Fibra de Carbono, presente y futuro de un material revolucionario)**

La fibra de carbono se utiliza de forma creciente en aquellas aplicaciones constructivas donde se requiere gran resistencia estructural y bajo peso. Existen numerosos ejemplos de aplicación. Uno muy conocido es el tablero de suelo de la zona de reptiles



del zoológico de Amberes, Bélgica. **A. MIRA VETE, Universidad de Zaragoza (Hacia la fibra de carbono en la construcción)**

El citado tablero precisaba una resistencia de 1.500 kg/m<sup>2</sup> y está fabricado en estructuras sándwich con pieles de fibra de carbono. Existen otras aplicaciones como por ejemplo cubiertas estructurales, como es el caso del edificio comedor de Toray (Japón). **A. MIRA VETE, Universidad de Zaragoza (Hacia la fibra de carbono en la construcción)**

Otro campo de aplicación de interés creciente son los edificios singulares donde predomina el trazado con curvaturas. Es una cuestión del tiempo que la fibra de carbono se imponga sobre el resto de los materiales estructurales debido a la moldeabilidad, resistencia y ligereza de material. Una aplicación en esta línea es el Museo de Arte de Milwaukee, diseñado por Santiago Calatrava. La construcción consiste en 36 parejas de timones de fibra de carbono conectadas a dos ejes de acero giratorios anclados a la estructura fija. Este sistema está diseñado para abrirse y cerrarse como las alas de un pájaro de dimensiones gigantes en 3.5 minutos. Los timones de fibra de carbono tienen longitudes variables entre 8 y 32 metros, anchos de 0.6 a 1.2 metros y espesores de 0.3 metros. **A. MIRA VETE, Universidad de Zaragoza (Hacia la fibra de carbono en la construcción).**

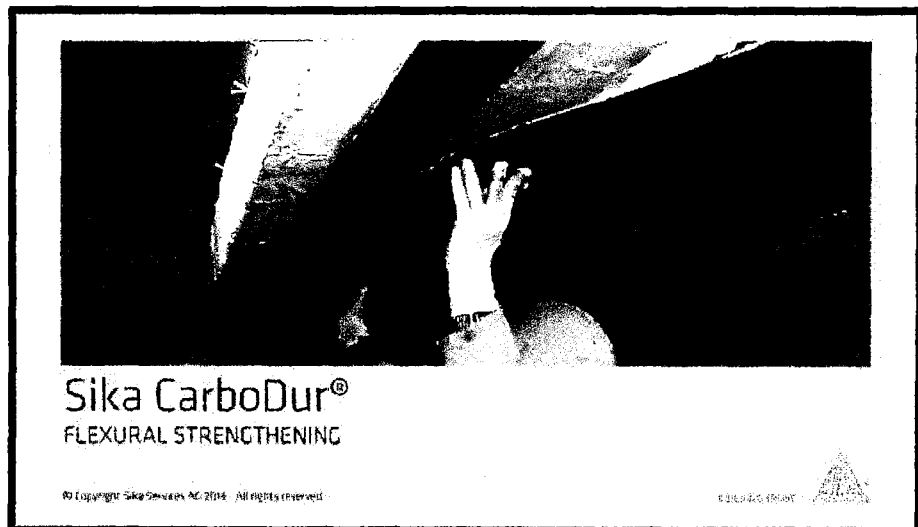
Los ingenieros que intentan hoy el uso de CFRP en aplicaciones de reforzamiento externo se encuentran en el reto de la innovación. Actualmente el Instituto Americano del Concreto (ACI) comité 440-F está desarrollando un documento (ACI 440F99, 1999) para proporcionar recomendaciones de diseño y técnica de construcción para el uso de CFRP para el reforzamiento de concreto. Sin embargo está por definirse una metodología explícita para uso apropiado de factores de seguridad, baja ductilidad, anclajes, etc. **(Ricardo PROAÑO; COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO (CFRP) (CISMID – Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería)**

En el Perú se ha venido empleando esta tecnología desde la década del 90, históricamente el reforzamiento se ha hecho de manera convencional, ya sea

agrandando las secciones estructurales o colocando elementos metálicos que ayuden a tomar las cargas. (William Baca Escobar, Cristian Espinoza Anaya, Erik Baca Escobar. COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO EN ENSAYOS A ESCALA NATURAL)

Sin embargo, cada vez más se introduce en nuestro medio un sistema de reforzamiento estructural basados en nuevos materiales de alta tecnología que presenta innumerables ventajas frente a los métodos convencionales: La fibra de Carbono, un polímero 10 veces más resistente a la tracción que el acero y mucho más liviano. (Luis Flores Tantaleán Ingeniero Civil Gerente Administrativo de Constructora RF SA REFORZANDO EDIFICACIONES CON FIBRAS DE CARBONO).

*Figura N° 01 Láminas de Fibra de Carbono Sika Carbodur.*



Fuente: Manual del Sika Carbodur, Pag. 5

El Concreto es relativamente resistente en compresión pero débil en tensión y tiende a ser frágil. La debilidad en tensión puede ser superada por el uso de refuerzo convencional de varilla y, en cierta medida, por la inclusión de un volumen suficiente de fibras de carbono. Los materiales compuestos FRP (Fiber Reinforced Polymer) son

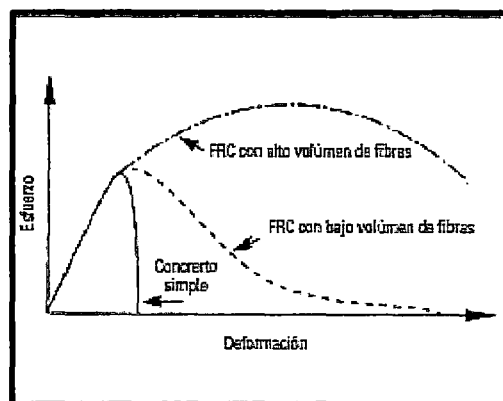
12

fibras de gran resistencia a la tensión, formadas por tejidos de fibra de carbono (CFRP). Estos compuestos se adhieren con una resina epoxica a los elementos estructurales como Vigas. Protegiéndolos del medio ambiente y generando mejoras de resistencia y de ductilidad. La fibra aporta rigidez y resistencia, y la matriz configura geoméricamente el material compuesto. Según Gomez y Sobrino, la matriz es poco resistente en comparación con las fibras y tiene la misión principal de transmitir los esfuerzos de unas fibras a otras, y entre ellas y la superficie adyacente.

El concepto de tenacidad.

En la Figura 2 se puede ver que, al agregar fibras al concreto se incrementa en forma importante la tenacidad del material; es decir, el concreto reforzado con fibras es capaz de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones. **(Ensayos de resistencia de pórticos de concreto a escala, reforzados con CFRP en los nudos. Andresg Duque, ingeniero Civil, Ingrid Amazo Ingeniera Civil, Daniel Ruiz, Ingeniero Civil)**

Figura N° 02 Curvas típicas de esfuerzo-deformación para concreto reforzado con fibra.



Fuente: ACI 440.2R – 08, Guía para el Diseño y Construcción Sistemas de FRP de Externamente Bonded para el Fortalecimiento de Estructuras de Hormigón.

En nuestro medio Regional Huancavelica, aún no se vio algún caso de refuerzo con fibras de carbono, pero esta tesis quiere dar una propuesta para la utilización de este material como reforzamiento en vigas.

Durante la vida útil del elemento estructural de Viga Peralta de Concreto Armado en una edificación de tipo esencial, el cual estaba diseñado para soportar las cargas con las cuales se realizó y tras el aumento de cargas no previstas, suele ocurrir fallas en flexión y corte, lo cual es peligroso hasta reventar el concreto y pueda haber daños materiales y humanos, tras estos peligros buscamos alternativas de solución para poder contrarrestar las cargas actuantes no previstas. Una de las técnicas que se viene empleando para realizar el reforzamiento de estructuras sujetas a flexión y cortante es el uso de las fibras de carbono, que trabajan adheridas a los elementos estructurales, este sistema es denominado FRP (Fiber Reinforced Polymer).

En respuesta a la creciente necesidad de reforzar estructuras de concreto reforzadas, han surgido nuevas tecnologías de reforzamiento estructural entre las cuales los polímeros reforzados con fibra de carbono de alta resistencia (FRP) son una alternativa real para la industria de la construcción dada la relación costo – beneficio, facilidad de colocación, etc.

La creciente demanda de personas que concurran a una determinada edificación, se hace necesario una ampliación y remodelación. En este contexto, la estructura existente exige un aumento de cargas. Para esto se dio una solución tradicional que consista en demoler el hormigón y agregar armadura adicional, sin embargo se descartó, ya que implica un tiempo excesivo de suspensión de la circulación de personas. Se decidió utilizar fibras de Carbono, una propuesta que permitió concretar el refuerzo en un tiempo reducido y con una mínima interrupción de funcionamiento normal en la edificación.

## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA:

### PROBLEMA GENERAL:

- ♣ ¿Cómo influye las fibras de carbono en el reforzamiento exterior de una viga peraltada, tras incrementar cargas, para una edificación en la ciudad de Lircay—Angaraes - Huancavelica?

### PROBLEMAS ESPECÍFICO:

- ♣ ¿Cuál será el diseño de la viga peraltada con reforzamiento de Fibras de Carbono al incrementar cargas de servicio de una edificación de la ciudad de Lircay – Huancavelica – Perú?
- ♣ ¿Cuál será el procedimiento de colocación de las Fibras de Carbono, para reforzamiento de una Viga Peraltada, al incrementar cargas de servicio, en una edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica?
- ♣ ¿Cuánto es eficiente el uso de las fibras de carbono para reforzamiento de una Viga Peraltada, al incrementar cargas de servicio, en una edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica?

## 1.3. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECIFICOS.

### 1.3.1.OBJETIVOS GENERALES:

Determinar, mediante Análisis experimental el uso de las fibras de carbono para reforzamiento, en una viga peraltada, al incrementar cargas, para una Edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica.

### 1.3.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ♣ Desarrollar y analizar los cálculos: área requerida de fibras de carbono, el espesor de la fibra, longitud de la fibra, etc., mediante cálculos matemáticos para la viga peraltada, según la norma del ACI 440.2R-08 en una Edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica.

- ♣ Describir el procedimiento de colocación de las fibras de carbono, para el reforzamiento en una viga peraltada, al incrementar cargas, en una edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica.
- ♣ Describir la eficiencia, de la fibra de carbono, mediante la prueba de la hipótesis, calculando estadísticamente los datos del laboratorio de la viga reforzada con Fibras de Carbono y la viga sin reforzamiento, para el reforzamiento en una viga peraltada, al incrementar cargas, en una edificación de la ciudad de Lircay – Angaraes – Huancavelica.

#### **1.4. JUSTIFICACION.**

El termino CFRP viene de Fibra de Carbono de Polímero Reforzado. En los compuestos de matriz polimérica FRP la matriz esta generalmente constituida por una resina epoxica mientras que los refuerzos están constituidos por fibras de carbono.

El refuerzo con fibras de carbono se ha usado durante 25 años en la industria aeronáutica y espacial y en otras industrias (los productores de artículos deportivos emplean las fibras de carbono en productos que van desde la carrocería de los coches de carrera y el marco de las bicicletas hasta las raquetas de tenis).

En el pasado, el alto costo y la falta de información técnica adecuada limitaron el uso de dichos materiales en la industria de la construcción; sin embargo, la disminución del precio de materias primas y de los costos de mano de obra ha hecho de ellos una opción económicamente competitiva ante los materiales de construcción más tradicionales; además, mediante una amplia variedad de proyectos de investigación y construcción se ha ampliado el conocimiento básico dirigido al uso de materiales compuestos en el sector de la construcción.

Los métodos convencionales de aumento de la resistencia de las estructuras existentes de hormigón, tales como el incremento de sección de los elementos, la unión de chapas mediante la inyección de adhesivos y la fijación de conectores metálicos, han sido empleados durante años. Sin embargo, estos procedimientos

pueden ser costosos y prolongados y, en algunos casos, son imposibles de ejecutar al no poder acomodar la carga muerta y el espacio requerido.

La facilidad de instalación de las fibras de carbono puede ahorrar en la mano de obra entre un 25 y 50 %, compensando con creces un coste superior del material. Los compuestos de fibra de carbono tienen un coeficiente de carga unitaria que es compatible con la armadura de acero (y el hormigón) y presentan bajos valores de fluencia y elongación. Además de ser más ligeras y delgadas que el acero, las láminas de fibras de carbono tienen la ventaja adicional de no sufrir corrosión.

Existen modelos matemáticos de hormigón confinado los cuales se pretenden cotejar con resultados prácticos.

Es usual el empleo de reforzamiento con fibras de carbono para:

- Reforzar vigas, losas, columnas, muros si se requiere mejorar la resistencia a la flexión y el cortante.

Las ventajas que ofrecen los sistemas de reforzamiento con fibras de carbono (CFRP) son las siguientes:

- Tienen poco peso, lo que facilita la instalación y no aumenta carga a la estructura.
- No modifican la arquitectura o tamaño de la sección a reforzar, pues su espesor es reducido.
- Es muy resistente a la tracción.
- Es resistente a la corrosión
- Es fácil de instalar, pero estas labores deben ser realizadas por personal Capacitado y acreditado por los fabricantes.

El desarrollo de códigos y estándares para sistemas de refuerzo externo con CFRP está activo en Europa, Japón, Canadá y los Estados Unidos en instituciones como la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE), el Instituto del Concreto de Japón (JCI), el Instituto de Ferrocarriles (RTRI), Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles,

Federación Internacional para Concreto Estructural de Suiza, Consejo Nacional Italiano de investigación, Asociación Canadiense de Estándares y el Instituto Americano del Concreto (ACI) que han publicado varios documentos relacionados con el uso de materiales CFRP en estructuras de concreto.

Como hemos visto los beneficios de este sistema de reforzamiento, y por ello su vasta aplicación en diversa construcción, se pueden resumir en:

- Peso muy liviano (mínima carga muerta adicional).
- Alta durabilidad, anticorrosivo y bajo mantenimiento.
- Rápida instalación, con el consiguiente ahorro de dinero y tiempo de espera.
- Mínimo incremento de espesor en la geometría del elemento.
- Muy flexible, adaptable a todas las formas de todos los elementos.

Sus aplicaciones más usuales vienen determinadas por:

- Cambio en el uso o cargas en las edificaciones.
- Defecto en el diseño o construcción.
- Cambios en las normas de diseño.
- Daños sísmicos.
- Deflexiones excesivas, etc.

Actualmente se vienen realizando trabajos aplicativos en la ciudad de Lima, tales como:

- Edificio Chocavento, San Isidro- Lima; City Bank 5 sótanos + 16 pisos, se reforzaron vigas y losas.
- Reparación y Reforzamiento del puente colgante Paclo Callun, Chasquitambo – Ancash, se reforzaron al pórtico que sostienen los cables.
- Reforzamiento del Supermercado Plaza Veá, Av. Brasil – Lima, se reforzaron vigas, losas y columnas por incremento de sobrecarga en zona de almacenes y depósitos.



- 12
- Reforzamiento y Reparación, Muelle San Nicolas – Marcona Perú, Aumento de Capacidad de carga del Muelle Barcos de mayor tonelaje, reparación (Hay corrosión) y reforzamiento con FRP.
  - Centro comercial Jockey Plaza- Lima; Se requiere intervención debido a que existen ampliaciones que ameriten el reforzamiento de vigas, columnas y losas postensadas por incremento de cargas, hay defectos de corrosión por deficiencias en los recubrimientos de las armaduras de las losas postensadas.
  - Reforzamiento del Tren Eléctrico de Lima Agosto 2010, Los pilares se diseñaron hace 25 años, se reforzaron columnas circulares.

Los resultados del trabajo, serán el punto de partida para diseñar según la normativa del ACI 440.2R-02, un aporte para los profesionales Huancavelicanos, para diseñar para las edificaciones que necesiten reforzamiento y así innovar en la utilización de nuevos tipos de materiales, los Polímeros Reforzados con Fibra de Carbono (CFRP). Además se vio la existencia de varios tipos de Fibras de Carbono, de distintas marcas que son comerciales y a un precio no muy caro. Se necesitaría capacitar a la mano de obra calificada para su colocación de los Polímeros Reforzados con Fibra de carbono y tal práctica es muy necesaria para que la mano de obra ya pueda realizar dicho trabajo, tener en conocimiento las condiciones del material a reforzar.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES:**

##### **2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL:**

**CARLOS HELAMAN IBAÑEZ REALIZA LA INVESTIGACION TITULADA: “DISEÑO DEL REFORZAMIENTO PARA LA REPARACION O AUMENTO DE CAPACIDAD DE CARGA DE VIGAS PARA PUENTES DE CONCRETO REFORZADO UTILIZANDO FIBRAS DE CARBONO”.**

#### **El Objetivo de esta investigación es:**

El presente documento expone la filosofía y metodología de diseño del refuerzo de elementos a flexión con material FRP de fibra de carbono. Se exponen los criterios básicos para diseñar e instalar este tipo de refuerzo en estructuras de concreto reforzado según el código ACI 440.2R-08. Se hace una exposición corta de los elementos de un puente, las cargas que lo afectan y el método líneas de influencia para el análisis del comportamiento de la superestructura.

También se exponen los principales métodos de diagnóstico y evaluación de estructuras de concreto, métodos tradicionales de reparación y refuerzo de los elementos a flexión para vigas de puentes. Se exponen las características de la fibra de carbono, historia, códigos existentes, consideraciones de diseño, requisitos de aplicación para elementos sometidos a flexión, sus ventajas y desventajas y las limitaciones para su aplicación.

Toda la información teórica recopilada se aplica a un caso de reforzamiento de una viga de concreto reforzado que se diseña para una carga HS-15 y que se desea reforzar para una carga HS-20 después de ser dañada por un golpe. Para esto se diseñan las dos vigas y con estos datos se procede a calcular la cantidad de refuerzo FRP de fibra de carbono para reforzarla explicando de forma clara el proceso de reparación y diseño.

**La Conclusión de esta investigación es:**

Se realizó un caso real de reparación y refuerzo de las vigas de un puente de la ciudad de Guatemala en 2011, se puede observar la gravedad del daño, los pasos del método de reparación de las vigas y pasó a paso la colocación del refuerzo de fibra de carbono.

El sistema de barras de fibra de carbono incrementa 20% el módulo de ruptura de una viga de concreto armado, con ventajas de bajo impacto estético y rápida aplicación, incluso en edificaciones en funcionamiento.

Sin embargo se puede obtener mejores resultados, combinando con un refuerzo en la zona de corte de las vigas.

En las vigas sin fibra de carbono se pudo observar que la falla ocurrió exactamente al centro de las vigas, a diferencia de las vigas con refuerzo de fibra de carbono, en las que la falla era inducida hacia los extremos de la fibra, fallando la viga en la zona de cortante máximo.

En viga de concreto armado, con daños severos o resistencias a compresión en el concreto debajo de 21 Mpa, las barras de fibras de carbono pueden desprenderse o fallar por falta de adherencia. Las barras de fibra de carbono son exclusivamente para refuerzo a flexión en vigas o en muros de corte.

En Guatemala, las barras de fibra de carbono ya representan una de las primeras opciones propuestas por los ingenieros estructurales, por su alto desempeño en materia de incrementos de resistencias para estructuras.

120

**ANDRES DUQUE;** INGENIERO CIVIL. INVESTIGADOR DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. BOGOTA, COLOMBIA, **INGRID AMAZO;** INGENIERA CIVIL. INVESTIGADORA DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. BOGOTA, COLOMBIA, **DANIEL RUIZ;** INGENIERO CIVIL. DOCENTE ASISTENTE E INVESTIGADOR DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. BOGOTA COLOMBIA REALIZARON LA INVESTIGACION TITULADA: **"ENSAYOS DE RESISTENCIA DE PORTICOS DE CONCRETO A ESCALA, REFORZADOS CON CFRP EN LO NUDOS"**.

**El Objetivo de esta investigación es:**

Para el reforzamiento sísmico de los nudos se utilizaron fibras de carbono unidireccionales con las características mecánicas que se presentan en la Tabla 1 (suministradas por el fabricante). Las fibras de carbono de los pórticos reforzados fueron instaladas 48 horas antes de ejecutar las pruebas del marco de reacción.

Para la instalación de las fibras, se contó con la asesoría de la empresa fabricante de las Fibras, siguiendo todos los procesos y las recomendaciones técnicas del caso. Para ello se pulió la superficie de los nudos y los vértices fueron redondeados. Previamente, las Fibras de carbono fueron cortadas a la medida, para posteriormente instalarlas envolviendo el nudo. En esta etapa fue de suma importancia la resina epoxica, suministrada por el mismo proveedor de las fibras.

*Tabla N° 01: Propiedades de las Fibras de refuerzo.*

Peso	3 N/m <sup>2</sup>
Ancho del rollo	600 mm
Longitud del rollo	50 m
Espesor de diseño del tejido	0.17 mm
Resistencia a la tensión del tejido	3900 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad del tejido	230.000 N/mm <sup>2</sup>
Elongación de rotura	1.5 %

*Fuente: Hoja Técnica – Sika carbodur, Pag. 2,3.*

12

Para la instalación se tuvo cuidado de eliminar cualquier bolsa de aire o irregularidad utilizando rodillos de caucho, impregnando en su totalidad la resina a las fibras y dejando una pequeña zona de transición entre la zona reforzada y sin refuerzo. Se instalaron los CFRP en los nudos, en las direcciones. Aparte del nudo como tal, la longitud reforzada con CFRP de los elementos estructurales fue de 20 cm desde la cara de la viga y de la columna. Es importante mencionar que el confinamiento que se dio a los nudos es el mejor posible, ya que fueron recubiertos en su totalidad. Es probable que este no pueda aplicarse con la misma facilidad en pórticos de concreto reales, dejando así la investigación de estos esquemas de refuerzo para trabajos futuros. Por último, se instalaron en los nudos strain gages biaxiales con uno de sus ejes en dirección de las fibras y el otro a 5 grados.

#### **La Conclusión de esta investigación es:**

De acuerdo con los resultados experimentales se plantean las siguientes conclusiones:

- La alternativa de refuerzo con CFRP es viable y fácil de implementar en estructuras de concreto debido a la limpieza del proceso, al bajo peso de las fibras y a la rapidez del proceso.
- Al confinar los nudos de pórticos de concreto con CFRP, se disminuye notablemente el agrietamiento de los pórticos de concreto reforzado. Así mismo, el reforzamiento cambia el esquema de falla de los pórticos a grietas originadas por flexión en la zona en donde se interrumpe el refuerzo con CFRP.
- Los pórticos reforzados con CFRP alcanzaron desplazamientos máximos (sin pérdida de resistencia) que son 60% superiores a los desplazamientos de los pórticos sin refuerzo.
- En promedio, la rigidez de los pórticos reforzados con fibras de carbono es 1.93 veces la rigidez de los pórticos de concreto sin refuerzo.

### **2.1.2 A NIVEL NACIONAL:**

**ING. WILLIAM BACA ESCOBAR, EN SU INVESTIGACION TITULADA: REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS CON FIBRAS DE CARBONO, CONCEPTOS PARA EL DISEÑO Y APLICACIONES EN EL PERU.**

#### **El Objetivo de esta investigación es:**

En el Perú hemos venido empleando esta tecnología desde la década del 90. Para el diseño y aplicación se han tomado en cuenta las recomendaciones de los fabricantes. El año 2002, el comité 440 del ACI emitió el primer reglamento para el diseño y aplicación de elementos reforzados con el sistema FRP, estas recomendaciones han tomado en cuenta el estado del arte de esta técnica hasta esa fecha. Posteriormente el año 2008, el comité 440 del ACI publicó la segunda revisión,

La cual introdujo importantes modificaciones a la luz de las diversas investigaciones sobre el tema respaldado por los numerosos ensayos de laboratorio.

En nuestro país, el uso del sistema FRP en proyectos importantes y la necesidad de verificar el comportamiento de los elementos reforzados considerando los aspectos de resistencia, ductilidad, efectos de la longitud de adherencia, el efecto del número de capas de refuerzo, los efectos del sistema de puente de adherencia, entre otros, nos llevaron a realizar un programa de ensayos por flexión a escala natural, como parte de la asesoría a diversas tesis universitarias, estos ensayos se realizaron en el laboratorio de estructuras del CISMID.

#### **La Conclusión de esta investigación es:**

Los resultados obtenidos son muy interesantes e ilustran lo complejo del comportamiento real. Se ha determinado, que algunos especímenes ensayados no alcanzaron la resistencia nominal teórica de diseño con las recomendaciones de los fabricantes, fallando prematuramente por delaminación del sistema y por desprendimiento del recubrimiento del concreto. A la luz de estos resultados y de numerosos ensayos a nivel mundial, la Norma ACI 440 el año 08, ha

introducido diferentes parámetros y establecido criterios que permiten diseñar con mayor seguridad y confiabilidad el refuerzo de estas estructuras.

**WILLIAM BACA ESCOBAR:** Ing. Civil, Profesor del Área de Estructuras de la Universidad Ricardo Palma, Gerente de Operaciones de Constructora RF SA.

**CRISTIAN ESPINOZA ANAYA:** Ingeniero Civil, Egresado de la Universidad Ricardo Palma, Autores de la tesis sobre Reforzamiento de Estructuras con Fibras de Carbono.

**ERIK BACA ESCOBAR:** Ingeniero Civil, Egresado de la Universidad Ricardo Palma, Autores de la tesis sobre Reforzamiento de Estructuras con Fibras de Carbono

**REALIZA LA INVESTIGACION TITULADA: "COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO EN ENSAYOS A ESCALA NATURAL"**

**El Objetivo de esta investigación es:**

Con el objeto de estudiar el comportamiento de elementos sujetos a flexión, reforzados con el sistema CFRP se ensayaron 08 vigas de concreto armado a escala real, reforzadas con FRP, en el laboratorio de estructuras del CISMID.

El objetivo era verificar experimentalmente el tipo de falla, y compararlo con los valores teóricos de diseño, para ello se emplearon como variables el número de capas de reforzamiento, la longitud de anclaje extremo y el tipo de sistema de reforzamiento de FRP.

**La Conclusión de esta investigación es:**

Los ensayos nos han permitido verificar diferentes tipos de falla de las vigas estudiadas.

De las 08 vigas ensayadas con FRP, solo 2 alcanzaron la resistencia nominal teórica por flexión, debido a que se usaron anclajes tipo U que evitaron la falla por delaminación anticipada del sistema CFRP. Estas vigas, tienen grados de aproximación muy buenos, comparados con los valores teóricos por flexión. Las vigas que no llegaron a alcanzar la resistencia nominal teórica, por el efecto de delaminación, fallaron a resistencias del orden del 87% para el sistema CF-130 MBrace y con resistencias del orden del 75% para el sistema Sika - Carbodur. Un aspecto importante para un adecuado reforzamiento es el de prevenir las fallas por delaminación, en

este trabajo se muestran los mecanismos de falla conocidos y reportados en estos ensayos, así como las recomendaciones para evitarlas.

El reforzamiento con FRP incrementará la resistencia de cualquier sección por flexión, sin embargo la falla final será del tipo frágil, debido a la pérdida de ductilidad de la sección. Por ello es importante determinar qué tipo de elementos pueden ser reforzados mediante esta técnica. Los efectos estudiados de las variables "ancho de la capa" de refuerzo y el "número" de capas se reflejan en los ensayos, por regla se tiene que: A menor ancho de capa, mayor esfuerzo de adherencia, por lo que la delaminación ocurrirá a valores menores de flexión. Del mismo modo la resistencia disminuye con el incremento del número de capas de refuerzo.

**ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ Y CRISTHIAN CORONEL, DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ REALIZARON LA INVESTIGACION TITULADO: REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA MEDIANTE FIBRA DE CARBONO.**

**El Objetivo de esta investigación es:**

Con el propósito de analizar la efectividad de una técnica de reparación y reforzamiento, consistente en resanar y adicionar exteriormente fibras de carbono (Mbrace CF130) a un muro de albañilería confinada, que previamente había fallado por fuerza cortante en un experimento de carga lateral cíclica, se desarrolló este proyecto en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, obteniéndose resultados relativamente satisfactorios después de someter al muro rehabilitado a la misma técnica de ensayo.

**La Conclusión de esta investigación es:**

a. A diferencia de otras técnicas de reparación y reforzamiento, donde se deben hacer perforaciones en el muro para conectar las mallas electrosoldadas, o ranuras para adicionar varillas horizontales, las bandas delgadas de fibra de carbono se pegan al muro sin ocasionar mayores daños adicionales en la albañilería, excepto su alisamiento con un esmeril.



b. La baja rigidez lateral inicial que tuvo el muro rehabilitado se debió a que las fisuras finas existentes tanto en las columnas como en la albañilería no fueron resanadas; asimismo, el taponado con mortero de las grietas diagonales principales se realizó manualmente, por lo que cabe la posibilidad de que el mortero no haya sellado completamente la parte interna de la grieta, por ello se recomienda lanzar este mortero con un equipo neumático.

## **2.2. BASES TEORICAS.**

### **2.2.1. REVISION BIBLIOGRAFICA DE LOS MATERIALES COMPUESTOS:**

#### **2.2.2.1 CONCEPTO DE MATERIAL COMPUESTO:**

Los materiales compuestos o "composites" deben su nombre a que están formados por dos o más materiales, fases o constituyentes, que actúan de manera conjunta y solidaria. Se consiguen, de esta manera, unas prestaciones óptimas en cuanto a comportamiento mecánico, principalmente, que no pueden ser obtenidas en los materiales originales.

Fases o constituyentes:

**Matriz:** Resina aglomerante para lograr las propiedades deseadas.

**Refuerzo:** Material específico de relleno que sirve de refuerzo.

Además de matriz y refuerzo existen otros tipos de componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación.

El refuerzo en el material compuesto aporta la resistencia mecánica, rigidez, dureza y va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes corresponden a su resistencia a la tracción específica y su elevado módulo de elasticidad. También cabe destacar su alta fragilidad. La matriz tiene por su parte la misión de transmitir los esfuerzos al refuerzo, hace la función de aglomerante y protección del mismo. A su vez, aporta mayor flexibilidad y proporciona la forma. Tiene menor resistencia que el refuerzo.

Tabla N° 02: Materias Primas de los Materiales Compuestos.

<b>REFUERZO</b>	Cerámicas (carburo de silicio, alúmina)
	Metálicas
	Orgánicas (aramida polietileno)
	Inorgánicas ( Carbono, vidrio, boro)
<b>MATRICES</b>	Matrices Inorgánicas ( Cemento, Yeso)
	Matrices Termoestables ( epoxi, vinilester, poliester, fenolica)
	Matrices Termoplásticas ( polipropileno, policarbonato, acetano)

Fuente: Manual de Materiales Compuestos, Pag. 25

Aunque esta definición incluye una gran diversidad de materiales (entre los materiales de construcción, el hormigón armado es el ejemplo más habitual), en este trabajo se utiliza el término material compuesto para referirse a los polímeros armados con fibras (Fiber-reinforced polymers, FRP).

Las características finales de un material compuesto dependen de las propiedades de las fases, de la proporción en que se encuentran cada una de ellas, de la geometría (forma, tamaño, orientación) y grado de dispersión de la fase dispersa en la matriz. Existen clasificaciones de los materiales compuestos en función de cada una de sus fases:

**Dependiendo del tipo de matriz empleado:**

**- Compuestos de matriz polimérica (PMC):**

- Resinas de poliéster y resinas epóxicas reforzadas con fibra de vidrio, fibra de carbono o fibra de aramida

**- Compuestos de matriz metálica (MMC):**

- Aleaciones de aluminio, titanio y magnesio

118

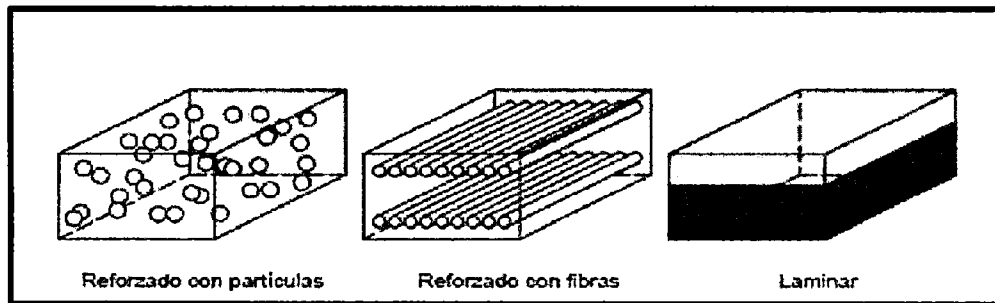
**- Compuestos de matriz cerámica (CMC):**

- Alúmina, carburo de silicio

**Dependiendo del tipo de refuerzo empleado:**

- Compuestos particulados: Partículas en una matriz
- Compuestos fibrosos: Fibras en una matriz
- Compuestos laminados: Capas o láminas alternadas de las fases.

*Figura N° 03: Materiales Compuestos en función del tipo de refuerzo.*



*Fuente: Manual de Materiales Compuestos, pag. 25*

Los compuestos de matriz polimérica corresponden al grupo de materiales compuestos más empleado en el refuerzo de estructuras de hormigón armado, por lo que a continuación se estudiará de forma más ampliada y analizaremos las características que les proporcionan su aplicación en la práctica de los refuerzos de estructuras.

**2.2.2 MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA.**

**2.2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MATRICES:**

La matriz de un material compuesto puede ser de tipo termoestable o de tipo termoplástica, siendo el primero el tipo más común. La función de esta matriz es la protección de las fibras contra la abrasión y corrosión del entorno, unir el conjunto de fibras y distribuir la carga. La matriz tiene una fuerte influencia en muchas características mecánicas del compuesto, como la

resistencia, las propiedades a cortante y a compresión. Las características físicas y químicas de la matriz como la temperatura de fusión y curado, viscosidad y reactividad con las fibras influyen en la elección del proceso de fabricación. De ahí que la apropiada selección del material matriz para un sistema compuesto requiere que todos estos factores sean tenidos en cuenta.

Resinas epoxi, poliéster y viniléster son las matrices poliméricas más comunes utilizadas con las fibras de refuerzo de alto rendimiento. Son polímeros termoestables con buena procesabilidad y buena resistencia química. Las resinas epoxis tienen, en general, mejores propiedades mecánicas que el poliéster y vinilester, y una durabilidad excepcional, en tanto que poliéster y vinilester resultan más económicas.

La función del adhesivo o resina es formar y conformar el material compuesto, y transmitir los esfuerzos rasantes movilizados entre el soporte a reforzar y el esqueleto de fibras resistentes. La tecnología de adhesión estructural aúna química de superficies, química de adhesivos, análisis de tensiones y mecánica de fracturas.

Para una adherencia perfecta es preciso determinar: materiales a adherir, relación y requisitos de mezcla, tecnología de aplicación, temperatura y humedad de curado, técnicas de preparación de superficies, coeficientes de expansión térmica, fluencia, abrasión y resistencia química y viscosidades en adhesivos.

Hay conceptos importantes ligados a la naturaleza de los adhesivos:

- Pot life: tiempo máximo de aplicación tras la mezcla de los dos componentes, debido al inicio de endurecimiento de la resina. Depende de la temperatura ambiente, cantidad de producto mezclado y tipo de resina.
- Tiempo abierto: tiempo máximo tras la aplicación del adhesivo sobre las superficies a unir, para adherirlas.
- Temperatura de transición vítrea: temperatura de pérdida de propiedades, comportamiento vítreo a plástico sin prestaciones mecánicas. Esta temperatura es diferente para distintos polímeros y formulación. Está inversamente ligado a la elasticidad del polímero.

El uso de los adhesivos de naturaleza epoxi, viene motivado, por:

- Perfecta adherencia sobre multitud de soportes, especialmente soportes minerales, hormigón, mampostería, piedra.
- Largo tiempo abierto, facilitando los trabajos de puesta en obra.
- Elevada cohesión interna y adherencia.
- Posibilidad de elastificación, mediante adiciones.

No forma subproductos tras el endurecimiento.

- Baja retracción en comparación a resinas de poliéster, vinilester y acrílicas.
- Baja fluencia, ni fatiga bajo carga sostenida.
- Formulación con tixotropía para trabajos en vertical.
- Capacidad de unión de soportes irregulares.

La naturaleza empleada en los adhesivos estructurales empleados en construcción es, generalmente, epoxi. Según su uso, requiere adición de fillers, fluidificantes, tixotropantes, promotores de adherencia, aditivos y pigmentos, entre otros. Las resinas epoxi bicomponentes deben tener la viscosidad y consistencia de acuerdo al modo de aplicación del refuerzo. En las condiciones atmosféricas de aplicación, las resinas deben ser trabajables y con pot-life (tiempo de endurecimiento dentro del conjunto) compatibles con el formato de presentación del producto.

Los productos planteados como alternativas a los adhesivos epoxi son:

- adhesivos de poliéster, de rápido fraguado, aunque presentan eventuales problemas de retracción, alto coeficiente de expansión térmico, sensibilidad a medios alcalinos y mala adherencia sobre poliéster endurecido.
- adhesivos de vinilester, con problemas de retracción y afectados en gran medida por el contenido de humedad del soporte.

Tabla N° 03: Comparación de Propiedades de resinas según su naturaleza

Resina	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a Tracción, Mpa	Módulo de Elasticidad, Mpa	Elongación en Rotura, %	Temperatura Máxima, C°
Poliéster	1.2	50 - 65	3.0	2 - 3	120
Viniléster	1.15	70 - 80	3.5	4 - 6	140
Epoxi	1.1 - 1.4	50 - 90	3.0	2 - 8	120

Fuente: Manual de Materiales Compuestos, pag. 12.

La selección del tipo de resina debe tener en cuenta el rango de temperaturas durante la aplicación así como una vez la estructura esté en condiciones de servicio. Merece especial atención el punto de transición vítrea de la resina, a partir del cual el producto empieza a perder propiedades mecánicas, con mayores deformaciones y menor rigidez. En general esta temperatura depende de la temperatura de curado, y se sitúa alrededor de 60-82°C.

Adicionalmente a los criterios de resistencia estructural, debe prestarse especial atención a la producción de gases tóxicos durante la combustión, limitándose por parte de la propiedad los valores límites, y exigiéndoselos a los fabricantes. A continuación se muestran de forma detallada las propiedades mecánicas y físicas de las resinas epoxi, comparándolas con el acero y el hormigón.

Tabla N° 04 Propiedades Genéricas de las Resinas Epoxi.

Propiedades	Adhesivo Epoxi endurecido	Hormigón	Acero
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	1100 - 1700	2350	7800
Modulo Elástico, Gpa	0.5 - 2	20 - 50	200
Modulo Cortante, Gpa	0.2 - 8	8 - 21	80
Coefficiente Poisson	0.3 - 0.4	0.2	0.3
Resistencia a Tracción, Mpa	9 - 30	1 - 4	200 - 600
Resistencia a Cortante, Mpa	10 - 30	2 - 5	200 - 600
Resistencia a Compresión, Mpa	55 - 110	25 - 150	200 - 600
	0.5 - 5	0.015	25
Elongación en Rotura, %	200 - 1000	100	105 - 106
Energía de Fractura, Jm <sup>-2</sup>	25 - 100	11 - 13	10 - 15
Coefficiente de Expansión térmica	0.1 - 3	5	0
Absorción de agua	60 - 80	-	-
T <sup>a</sup> transición Vítrea.			

### 2.2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FIBRAS:

Este apartado sólo pretende dar una breve descripción de las características que aportan al conjunto del material compuesto las fibras empleadas en el refuerzo de estructuras.

Son tres los tipos de fibras sintéticas que, fundamentalmente, se utilizan para reforzar plásticos:

- Fibras de Carbono
- Fibras de Vidrio
- Fibras Orgánicas

El vidrio es una de las fibras más extendidas para el refuerzo plástico en términos generales, debido en gran parte a que resulta la más económica. Las fibras de carbono y de aramida son muy consistentes, tienen alta resistencia a tracción, alto módulo de elasticidad y baja densidad, por lo que tienen múltiples aplicaciones en el ámbito de la ingeniería y construcción, a pesar de su precio mayor.

### 2.2.3. REVISION BIBLIOGRAFICA DEL REFORZAMIENTO DE LAS FIBRAS DE CARBONO.

#### 2.2.3.1. CARBONO

El carbono, a diferencia del nitrógeno y oxígeno, no es un elemento abundante, constituye solo el 0.027% de la corteza terrestre. Aunque parte de él se presenta en forma elemental como grafito y diamante, casi todo se encuentra en forma combinada. Más de la mitad está presente en carbonatos como carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). También hay carbono en la hulla, el petróleo y el gas natural. La importancia del elemento reside en gran parte en su presencia en los seres vivos: La vida como la conocemos se basa en compuestos de carbono. Hace 150 años los científicos creyeron que este compuesto que sustentaba la vida sólo podía ser " fabricar" dentro de los seres vivos, por esta razón se lo llamo compuesto orgánico. Hoy se sabe que estos compuestos orgánicos se los puede sintetizar en el laboratorio a partir de sustancias inorgánicas sencillas. Formas elementales del carbono. El grafito es un sólido suave, color negro, resbaladizo, con lustre metálico y es conductor de electricidad. El diamante es un sólido transparente en el cual los átomos de carbono forman una red covalente. Es más denso que el grafito (d=2,25 g/cm<sup>3</sup> para el grafito y d=3,51 g/cm<sup>3</sup> para

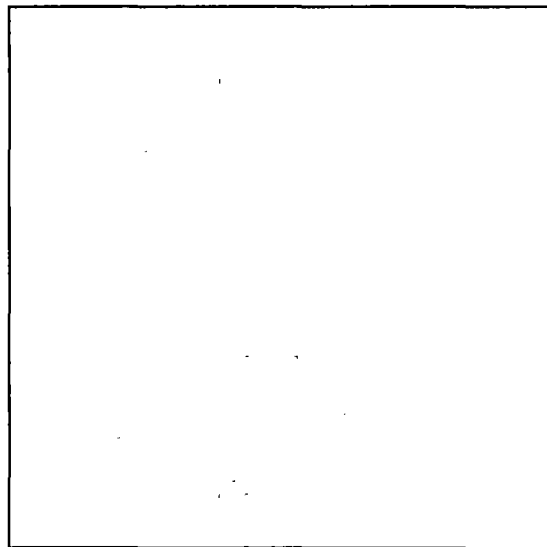
el diamante). A presiones y temperaturas altas (100 atm. Y 3000°C) el grafito se convierte en diamante. (Ref. German L. Puigdomenech 2003).

#### 2.2.4 FIBRAS DE CARBONO:

##### FIBRAS DE CARBONO:

Las fibras de carbono para materiales compuestos provienen principalmente del poliacrilonitrilo (PAN), que es un polímero de tipo acrílico. Las fibras de carbono de alta resistencia y alto módulo de elasticidad tienen un diámetro de 5 a 8µm y constan de pequeñas cristalitas de grafito. En un monocristal de grafito los átomos de carbono se ordenan en redes hexagonales, como se muestra en la figura 2.6:

*Figura N° 04 Ordenamiento Hexagonal de la red de Átomos de Carbono.*



*Fuente: Manual de Materiales Compuestos, pag. 20.*

El módulo de elasticidad de las fibras de carbono depende del grado de perfección de la orientación, la cual varía considerablemente con las condiciones y proceso de fabricación. Las imperfecciones en orientación dan como resultado, huecos de forma compleja, alargados y



paralelos al eje de la fibra. Estos actúan como puntos de concentración de tensiones y puntos débiles que llevan a la reducción de las propiedades.

Las fibras se someten a un proceso de tres etapas para producir fibras con las capas grafiticas orientadas preferencialmente paralelas al eje de la fibra:

**a) Orientación del polímero precursor PAN por estiramiento:** El primer paso es estirar el polímero de forma que quede paralelo a lo que será el eje de la fibra. Posteriormente se oxida a 200-300 °C en aire, un proceso que añade oxígeno a la molécula de PAN y crea la estructura hexagonal. El polímero que antes era blanco, ahora es negro.

**b) Carbonización de las fibras:** Para conseguir una fibra de alta resistencia se recurre al tratamiento térmico de carbonización: el PAN se calienta a 2000-2500 °C en atmósfera sin oxígeno, se alinean las cadenas del polímero hasta formar hojas de grafeno, cintas delgadísimas y bidimensionales, se eliminan todos los átomos que no sean de carbono y se logra una elevada resistencia a la tracción.

**c) Grafitización:** Este proceso se lleva a cabo por encima de los 2500°C, se aplica cuando se desea conseguir un aumento del módulo de elasticidad a expensas de la alta resistencia a tracción.

De esta forma, al material obtenido se le pueden variar algunas de sus propiedades, confiriéndoles principalmente alto módulo de elasticidad o alta resistencia, mediante procesos de tratamiento térmico. El material que ha sido calentado de 2000 a 2500°C (carbonización) exhibe la mayor resistencia a la tracción

(820.000 PSI, 5.655 MPa), mientras que la fibra de carbono calentada por encima de 2500°C (grafitización) muestra un alto módulo de elasticidad (77.000.000 psi o 531 GPa).

Las fibras de carbono de alta resistencia a tracción se designan como tipo HT. Las fibras de carbono de alto módulo de elasticidad, como tipo HM.

El CFRP son una combinación de fibras de carbono y una matriz de resina epoxica y tiene en la dirección de la fibra una resina 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 la dirección de la sollicitación, de esta forma la lámina tiene una dirección unidireccional.

Las fibras son los elementos con capacidad de carga y la matriz epoxica sirve para unir entre si las fibras, permite la transferencia de carga entre las fibras y las protege del medio ambiente. (Ricardo Proaño – CISMID- UNI).

### **2.2.5 APLICACIÓN DE FIBRA DE CARBONO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO**

El código que se utiliza como referencia para realizar este documento es el ACI 440 2R – 02 guía para el diseño y construcción de sistemas FRP externamente adherido para esfuerzo de estructuras de concreto, publicado por el Instituto Americano del Concreto (ACI), el cual provee una guía para la selección, diseño e instalación de los sistemas FRP de adherencia externa de refuerzo de estructuras de concreto.

Las fibras de carbono de polímeros reforzadas (CFRP) surgieron como una alternativa a los materiales tradicionales para reparación y rehabilitación como placas de acero adheridas externamente postensado externo, aumento de la sección del elemento estructural y confinamiento con placas de acero.

Este material tiene ciertas ventajas sobre otros debido a su alto módulo de elasticidad su elasticidad poco espesor, que lo hace a menudo deseable cuando la estética y acceso son consideraciones importantes, también puede ser colocado en lugares donde las técnicas tradicionales son más difíciles de aplicar, la mano de obra no especializada y fácil colocación.

#### **CONSIDERACIONES:**

El refuerzo con sistema CFRP es bastante efectivo para refuerzos de elementos de flexión y corte. También provee confinamiento adicional, sin embargo para otros tipos de fallas como corte por punzonamiento y capacidad de soporte de zapatas este sistema no es adecuado.

Los sistemas CFRP pueden ser utilizados para rehabilitar o restaurar la resistencia de un elemento estructural, adaptar o reforzar por completo un elemento estructural para resistir incrementos de carga debido a cambios de uso de la estructura.

Para evaluar el sistema CFRP a utilizar se deben hacer varias pruebas para asegurarse que la estructura donde se pretende utilizar cumple con los requisitos necesarios, como mínimo se debe evaluar lo siguiente de una estructura de concreto:

- Dimensiones existentes del elemento estructural.
- Ubicación, tamaño y causa de fisuras y astillas, fisuras mayores a 0.3 milímetros de ancho deben ser inyectadas con epóxico ya que pueden afectar el desempeño del CFRP.
- Ubicación y cantidad de corrosión en el acero de refuerzo, el cual debe ser reparado antes de aplicar el sistema CFRP.
- Presencia de corrosión activa, ya que este sistema no detiene la corrosión.
- Cantidad y ubicación de acero de refuerzo existente.
- Resistencia a compresión del concreto del elemento estructural in situ, el  $f_c$  debe de ser mayor de 17.5 mega pascales (2500 libras sobre pulgadas).
- Integridad del concreto, especialmente de concreto de recubrimiento, en todas las arras donde el sistema FRP será adherido al concreto.
- Ambiente al que será expuesto, temperatura ambiente, exposición al fuego, protección contra vandalismo.

### **2.3 HIPOTESIS:**

#### **HIPOTESIS ALTERNA:**

Las Fibras de Carbono influyen significativamente en el reforzamiento de una viga peraltada de concreto armado para una edificación proporcionándole más resistencia en una edificación en la ciudad de Lircay- Angaraes – Huancavelica.

#### **HIPOTESIS NULA:**

Las Fibras de Carbono no influyen significativamente en el reforzamiento de una viga peraltada de concreto armado para una edificación proporcionándole ninguna resistencia en una edificación en la ciudad de Lircay- Angaraes – Huancavelica.

**2.4. VARIABLES DE ESTUDIO:**

2.4.1 Variable Independiente:

Las Fibras de Carbono para reforzamiento de una viga peraltada.

2.4.2 Variables dependientes:

Resistencia a las cargas incrementadas.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1. AMBITO DE ESTUDIO**

La presente investigación se desarrollara en el departamento de Huancavelica., Provincia de Angaraes, Distrito de Lircay, Pueblo Nuevo.

#### **3.2. TIPO DE INVESTIGACION:**

El presente trabajo es una investigación APLICATIVO, que se requiere de una descripción de las características más significativa de los Polímeros de las Fibras de Carbono, como reforzamiento en el Concreto Armado, juntamente con un matriz epóxido adhesivo, para unir las fibras de carbono al elemento estructural. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías.

#### **3.3. NIVEL DE INVESTIGACION**

El presente trabajo es del nivel DESCRIPTIVA, Y EXPLICATIVOS Tiene como objetivo la descripción de los fenómenos a investigar, tal como es y cómo se manifiesta en el momento (presente) de realizarse el estudio y utiliza la observación como método descriptivo, buscando especificar las propiedades importantes para medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes. Pueden ofrecer la posibilidad de predicciones aunque rudimentarias. Se sitúa en el primer nivel de conocimiento científico. Se incluyen en esta

modalidad gran variedad de estudios (estudios correlacionales, de casos, de desarrollo, etc.).

### 3.4. METODOS DE INVESTIGACION

Método de investigación es el experimental:

Consiste en realizar actividades con la finalidad de comprobar, demostrar o reproducir ciertos fenómenos hechos o principios en forma natural o artificial, de tal forma que permita establecer experiencias para formular hipótesis que permitan a través del proceso científico conducir a generalizaciones científicas que puedan verificarse en hechos concretos en la vida diaria.

### 3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACION:

#### 3.7.1 DISEÑO CUASI EXPERIMENTAL CON POST TEST Y GRUPOS INTACTOS:

Este diseño dos grupos, uno recibe el tratamiento experimental y el otro no. Los grupos son comparados en el post test para abalizar si el tratamiento experimental tuvo un efecto sobre la variable dependiente. Cabe mencionar que los grupos se asignan aleatoriamente Su esquema es el siguiente:

#### ABREVIATURAS:

GE \_\_\_\_\_ X1 \_\_\_\_\_ O1  
GC \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ O2

GE = GRUPOS EXPERIMENTAL.

GC = GRUPO CONTROL.

O1 Y O2 = MEDICIONES DEL POST TEST.

X = MANIPULACION O DESARROLLO DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.

### 3.6. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO:

#### POBLACION:

Las vigas rectangulares Reforzadas con Fibras de Carbono, para una edificación de la ciudad de Lircay.

Las vigas rectangulares sin reforzamiento, para una edificación de la ciudad de Lircay.

#### MUESTRA:

Las vigas rectangulares de la casa del maestro Reforzada con Fibras de Carbono, y las Vigas rectangulares sin reforzamiento de la casa del maestro.

#### MUESTREO:

Se eligió 2 tipos de muestra: una viga con reforzamiento y otra viga sin reforzamiento, por razones de estudio, asumí, 5 datos para viga con reforzamiento y 5 datos para viga sin reforzamiento, considerando la media al dato del laboratorio.

### 3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

#### 3.7.1 TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS:

##### La Observación:

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis.

##### Observación de campo y de Laboratorio:

Se realizó el ensayo de 01 vigas de concreto sin reforzamiento, de las dimensiones L= 69.00 cm A= 15.50 cm, E=15.45 cm, y 01 muestras de viga reforzada con Fibra de Carbono, de las dimensiones L= 69.00 cm A= 15.50 cm, E=15.45 cm.

Tales muestras se realizaron ensayo para determinar el esfuerzo a flexión del concreto, y se obtuvo que las vigas reforzadas con Fibras de Carbono, obtienen más resistencia frente a las vigas sin reforzamiento con 1 ton más de carga que podría soportar.

Pero por razones de estudio asumí, una cantidad de 5 datos de vigas con reforzamiento y 5 datos de vigas sin reforzamiento, y se utilizó como media a los datos de laboratorio de cada muestra.

### 3.7.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS:

El instrumento de evaluación y medición de datos requiere:

**Confiabilidad**, la confiabilidad supone pues, la certeza del investigador de que los datos obtenidos son consistentes.

**Validez**: En términos generales, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide las variables que pretende medir. (Hernández y otros 2006).

**Poder discriminativo**: Otro requisito que debe cumplir la prueba, para ser eficaz, es permitir que se puede discriminar a los materiales que brindan más resistencia frente a materiales que no tienen la resistencia.

### 3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS:

Se realizó la recolección de datos a través de los datos de laboratorio del grupo de 05 vigas reforzadas con fibras de carbono y el grupo de 05 vigas sin reforzamiento, los cuales se ordenaron, y el Laboratorio me entregó la mediana de cada grupo independiente, estos datos son fiables, ya que la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, nos dio los resultados de los ensayos.



### 3.9. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS:

#### 3.9.1. LA PRUEBA t:

La prueba t se emplean para hacer comparaciones entre dos medidas de muestras independientes.

Muestreo aleatorio: debemos haber extraído nuestras muestras sobre una base aleatoria de una población de puntajes.

Una distribución normal, para muestras pequeñas (30 máximo), requiere que la característica de la muestra que hayamos medido este normalmente distribuida en la población fundamental.

## TITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS:

##### 4.1.1. DISEÑO CON FIBRAS DE CARBONO:

##### DISEÑO DEL CFRP (FIBRAS DE CARBONO):

El diseño de sistemas CFRP indica que la pérdida de refuerzo CFRP no debe causar la falla del elemento estructural bajo la carga de servicio. Para lograr las recomendaciones de diseño se basan en principios de estados límites. Esto establece niveles de seguridad aceptables para la ocurrencia de estados límites de servicio (deflexión excesiva y fisuras) y de estados últimos (falla y fatiga) tiene que evaluar siempre la resistencia del elemento, posibles modos de falla y los esfuerzos en los materiales. Estos sistemas deben de ser diseñados de acuerdo a los requerimientos de resistencia y servicio utilizando factores de carga y esfuerzos del código ACI 318-08 y factores adicionales que reflejan la incertidumbre inherente de los sistemas CFRP comparados con el acero de refuerzo.

Estos límites son puestos para prevenir el colapso de la estructura si el sistema CFRP falla debido a daño por cualquier causa. La premisa básica para su utilización dice que el elemento estructural no reforzado con CFRP debe tener la suficiente resistencia para cierto nivel de carga. En el caso que el sistema CFRP fuera dañado, la estructura será capaz de resistir un nivel de carga razonable sin colapsar. La resistencia existente de la estructura debe ser suficiente para resistir la carga descrita en la ecuación.

$$\phi R_n \geq 1.1S_{DL} + 0.75S_{LL}$$

101

Donde:

$\phi R_n$  = Resistencia Nominal existente del elemento estructural.

$S_{DL}$  = Efectos de carga muerta nueva.

$S_{LL}$  = Efectos de carga viva muerta.

Esta condición mínima permitirá al elemento estructural mantener la suficiente capacidad estructural hasta que el refuerzo CFRP sea reparado.

#### **REFUERZO A FLEXION:**

El refuerzo a flexión de CFRP se debe adherir en la cara a tensión del elemento estructural de concreto con las fibras orientadas a lo largo del elemento, esto prevé un incremento en la resistencia a flexión. Tomando en cuenta los límites anteriores descritos el aumento de resistencia es en un 40 por ciento.

El diseño del refuerzo a flexión quiere que se cumpla la siguiente ecuación  $\phi M_n \geq M_u$  donde  $\phi M_n$  se refiere al esfuerzo nominal del elemento multiplicado por un factor de reducción  $\phi$  y  $M_u$  se refiere al momento calculado con las cargas factoradas como momentos de cargas viva más cargas muerta, calculados utilizando factores de reducción de carga del código ACI 318-08. Adicionalmente se utiliza otro factor de reducción,  $\psi_f$  el cual debe ser aplicado al refuerzo CFRP para mejorar la confiabilidad de la predicción del refuerzo considerando los diferentes tipos de fallas observados para el refuerzo con FRP.

#### **4.1.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

Las propiedades del material de refuerzo CFRP utilizadas son las reportadas por el fabricante, sabiendo que no toman en cuenta exposición prolongada a diferentes condiciones ambientales a las que se expone el refuerzo CFRP, que pueden reducir las propiedades a tensión, el flujo plástico y resistencia de fatiga de los materiales CFRP, por lo que las propiedades de los

materiales deben ser reducidos con base en el tipo de exposición del ambiente para ser utilizados como condiciones iniciales.

Las siguientes ecuaciones deben ser utilizadas para calcular las propiedades de los materiales junto con los factores de la tabla según el tipo de fibra el tipo y de exposición ambiental.

- Resistencia ultima de diseño a tensión:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

Donde:

$f_{fu}$  = Resistencia ultima de diseño a tensión.

$C_E$  = Coeficiente de reducción ambiental.

$f_{fu}^*$  = Resistencia ultima del material CFRP según fabricante.

- Deformación unitaria de ruptura de diseño.

$$\xi_{fu} = C_E \xi_{fu}^*$$

Donde:

$\xi_{fu}$  = Deformación de ruptura de diseño del refuerzo CFRP.

$C_E$  = Coeficiente de reducción ambiental.

$\xi_{fu}^*$  = Deformación ultima de ruptura del refuerzo CFRP.

Debido a la elasticidad lineal los materiales CFRP hasta la falla, el módulo de elasticidad de diseño para refuerzo CFRP unidireccional puede ser determinado por la ley de Hook, ya que no es afectado por las condiciones ambientales de exposición, por lo que será el mismo que da el fabricante. La ecuación que lo define es:

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\xi_{fu}}$$

Donde:

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$f_{fu}$  = Resistencia última de diseño a tensión.

$\xi_{fu}$  = Deformación de ruptura de diseño del refuerzo CFRP.

*Tabla N°05: Factores de reducción Ambiental*

Condición de Exposición	Tipo de Fibra	Factor de Reducción Ambiental $C_e$
Exposición en interiores	Carbono	0.95
Exposición exterior (puentes, pilas y estacionamiento no cerrados)	Carbono	0.85
Exposición agresivo (plantas químicas y plantas de tratamiento de agua)	Carbono	0.85

*Fuente ACI 440.2R-08 Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adherido p.24.*

#### 4.1.3. MODOS DE FALLA DEL REFUERZO CFRP

Debido a que la resistencia a flexión de una sección depende del control del modo de falla, es importante saber cómo puede fallar el refuerzo FRP, a continuación se enumera cada uno.

- Aplastamiento del concreto en compresión antes de que fluya el acero de refuerzo.
- Fluencia del acero en tensión seguido de la ruptura de la planta de refuerzo FRP.

- Fluencia del acero en tensión seguido por aplastamiento del concreto.
- Delaminación del recubrimiento de concreto debido a corte o tensión.
- Pérdida de adherencia del refuerzo FRP con el sustrato del concreto.

El aplastamiento del concreto se asume que ocurre cuando el esfuerzo a compresión alcanza la deformación unitaria máxima utilizable ( $\xi_c = \xi_{cu} = 0.003$ ). La ruptura del refuerzo CFRP externamente adherido es asumido que ocurre si la deformación unitaria del CFRP alcanza la deformación unitaria de diseño ( $\xi_f = \xi_{fu}$ ) antes que el concreto alcance su deformación unitaria máxima utilizable. La delaminación del recubrimiento puede ocurrir si la fuerza del CFRP no puede ser soportada por el concreto. Este comportamiento también se conoce como pérdida de adherencia, sin tener en cuenta el plano donde la falla se propaga en la región CFRP – adherido – sustrato, según se ve en la figura 14.

Lejos de la sección donde el refuerzo CFRP externamente adherido termina, el modo de falla gobernante debe ser pérdida de adherencia, figura 14 (b). Para prevenir una falla de despegue debido a una fisura inducida intermedia, la deformación unitaria en que la pérdida de adherencia del refuerzo CFRP debe ocurrir,  $\xi_{fd}$ , según de lo define la siguiente ecuación

$$\xi_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9\xi_{fu}, \text{ unidades SI}$$

Donde:

$\xi_{fd}$  = Deformación unitaria por pérdida de adherencia.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

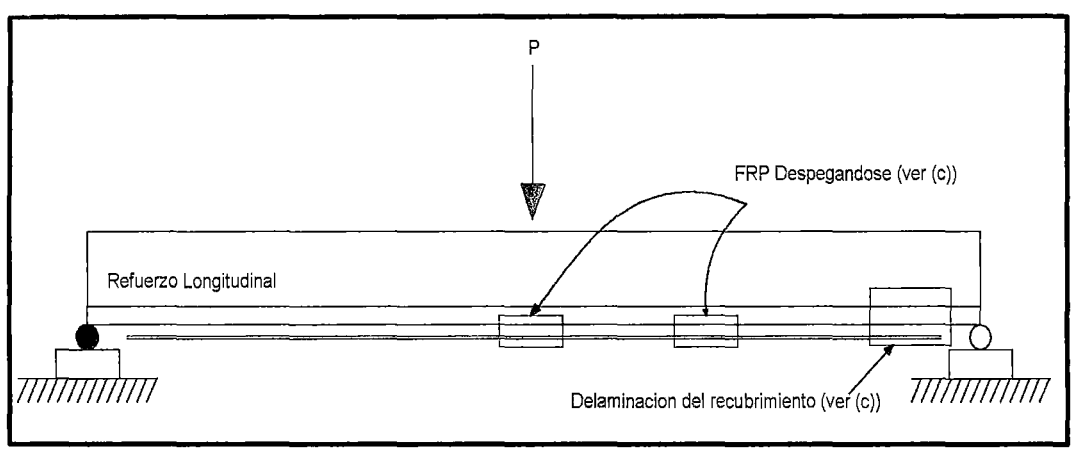
$n$  = Numero de capas del refuerzo CFRP.

$E_f$  = Modulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$t_f$  = Espesor nominal de una capa de refuerzo CFRP.

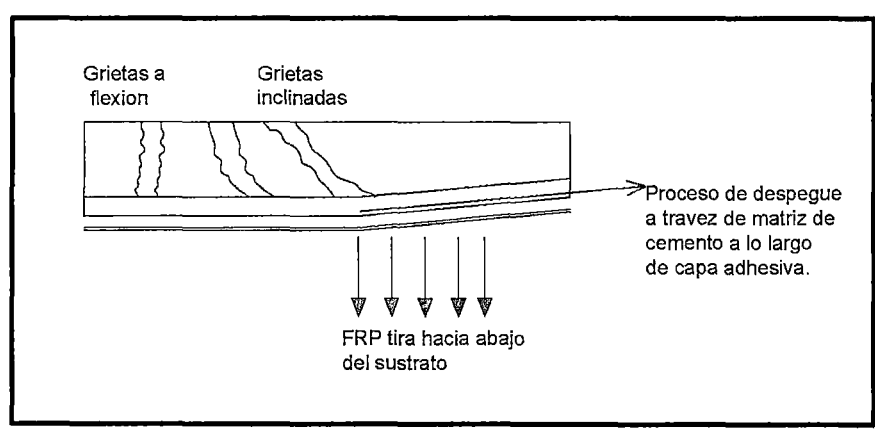
$\xi_{fu}$  = Deformación de ruptura de diseño del refuerzo CFRP.

a) *Figura N° 05: Pérdida de Adherencia y delaminación, Comportamiento de elementos a flexión con refuerzo adherido en cara inferior.*



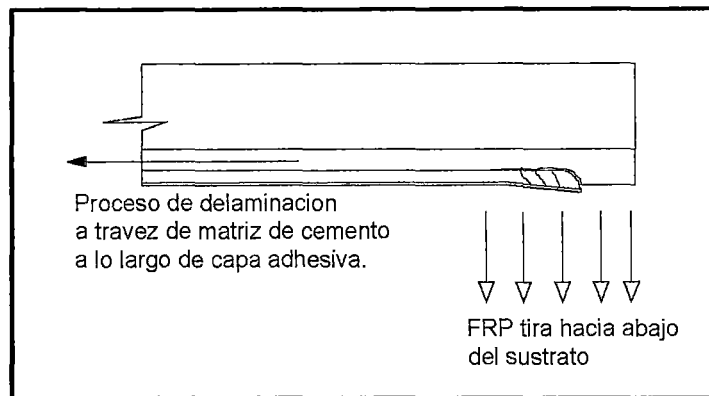
Fuente: ACI 440.2R-08. Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos. p.25.

b) *Figura N° 06: Despegue iniciado por grietas a flexión y/o corte.*



Fuente: ACI 440.2R-08. Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos. p.25.

c) *Figura N° 07: Delaminación del recubrimiento iniciado al final del refuerzo FRP adherido.*



*Fuente: ACI 440.2R-08. Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos. p.25.*

#### 4.1.4. PRINCIPIOS DE DISEÑO CON REFUERZO CFRP EXTERNAMENTE ADHERIDO

Para calcular la resistencia a flexión de una sección reforzada con refuerzo CFRP adherido externamente se hacen las siguientes suposiciones:

- Los cálculos de diseño están basados en las dimensiones, distribución del acero de refuerzo interno, y propiedades del material del elemento estructural existente que se desea reforzar.
- Las deformaciones en el acero de refuerzo y el concreto son directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro. Esto significa que una sección plana antes de soportar carga se mantiene plana después de ser cargada.
- No existe deslizamiento relativo entre el refuerzo CFRP externo y el concreto.
- La deformación unitaria por corte en la capa adhesiva no se considera debido a que la capa adhesiva es muy delgada y tiene poca variación en su espesor.



- La deformación unitaria máxima utilizable del concreto sometido a compresión es 0.003.
- La resistencia a tensión del concreto no es considerada.
- La relación esfuerzo - deformación hacia la falla del refuerzo CFRP es inicialmente elástica.

Mientras que algunas de las suposiciones ayudan al cálculo, no reflejan el comportamiento verdadero del refuerzo CFRP a flexión. Sin embargo, esta inexactitud de las suposiciones no afectara los cálculos de la resistencia a flexión de un elemento reforzado con CFRP. Hay que tener en mente que cuando se refuerza a flexión un elemento, este debe ser capaz de resistir los esfuerzos de corte asociados con el aumento de resistencia a flexión.

Es importante determinar el nivel de la deformación unitaria del refuerzo CFRP en su estado el límite último. Debido a que la deformación del material CFRP es lineal elástico hasta su falla, el grado de deformación unitaria en el refuerzo CFRP determina el nivel de esfuerzo que puede desarrollar el refuerzo CFRP. La deformación unitaria máxima que lograra el refuerzo CFRP es determinada el nivel, ya sea por el grado de deformación del refuerzo CFRP al momento que el concreto falle por aplastamiento, el punto donde el refuerzo CFRP se rompa o el punto donde el refuerzo CFRP pierde adherencia con el concreto.

La deformación efectiva del refuerzo CFRP en su estado límite último se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\xi_{fe} = \xi_u \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \xi_{bi} \leq \xi_{fd}$$

Donde:

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva del refuerzo CFRP alcanzada en la falla.

$\xi_u$  = Deformación unitaria del concreto.

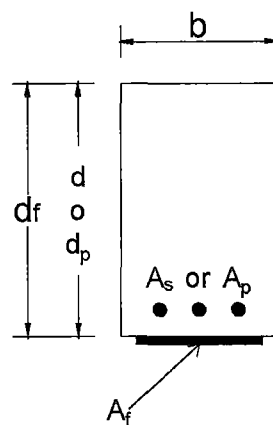
$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión el eje neutro.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$\xi_{fa}$  = Deformación del refuerzo CFRP en falla por falta de adherencia.

Figura N° 08 Altura efectiva para refuerzo CFRP.



Fuente ACI 440.2R – 08. Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos. p.27.

La deformación máxima que puede tener el refuerzo CFRP, antes que la sección falle por flexión se obtiene por la siguiente ecuación:

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

Donde:

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo en el refuerzo CFRP alcanzado en la sección al momento de la falla.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva en el refuerzo CFRP alcanzado al momento de falla.

Hay que recordar que el uso de refuerzo CFRP externamente adherido para refuerzo a flexión reduce la ductilidad original del elemento estructural, lo cual puede ser ignorado en algunos casos. Sin embargo en casos que la pérdida de ductilidad sea considerable esta debe ser considerada.

Para elementos de concreto reforzados una ductilidad adecuada es alcanzada si la deformación unitaria del acero en el punto que el concreto falla por aplastamiento, o falla el refuerzo CFRP, incluyendo delaminación o pérdida de adherencia, es por lo menos 0.005 según la definición de una sección controlada por tensión de acuerdo al ACI 318-08, pues se basa en esa filosofía, por lo que se debe utilizar el factor de reducción  $\emptyset$  que se define en la siguiente ecuación:

$$\emptyset = \left\{ \begin{array}{l} 0.90 \text{ para } \xi_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25 (\xi_t - \xi_{sy})}{0.005 + \xi_{sy}} \text{ para } \xi_{sy} < \xi_t < 0.005 \\ 0.65 \text{ para } \xi_t \leq \xi_{sy} \end{array} \right\}$$

Donde:

$\emptyset$  = Factor de reducción de resistencia según ACI 318-08

$\xi_t$  = Deformación unitaria del acero en tensión.

$\xi_{sy}$  = Deformación unitaria del acero correspondiente al punto fluencia.

Esta ecuación fija el factor de reducción en 0.90 para secciones dúctiles, 0.65 para secciones frágiles donde el acero no fluye y provee una transición lineal para el factor de reducción entre los dos extremos. Para evitar deformaciones inelásticas en el concreto reforzado con refuerzo externo CFRP, se debe evitar que el acero interno de refuerzo fluya bajo las cargas de servicio, especialmente en elementos expuestas a cargas cíclicas. El esfuerzo en el acero debe ser limitado al 80 por ciento de su resistencia a la fluencia según la ecuación.

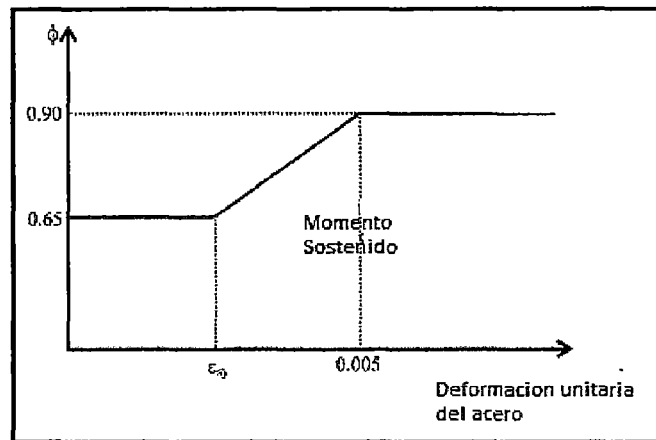
$$f_{s,s} \leq 0.80f_y$$

Donde:

$f_{s,s}$  = Esfuerzo en acero de refuerzo con cargas de servicio.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Figura N° 09: Representación gráfica del factor de reducción.



Fuente ACI 440.2R – 08 Guía para diseño y construcción de sistemas FRP p.27.

Y el refuerzo a compresión del concreto debe estar limitado al 45 por ciento de su resistencia a la compresión según la ecuación:

$$f_{c,s} \leq 0.45 f'_c$$

Donde:

$f_{c,s}$  = Esfuerzo de compresión del concreto en condiciones de servicio.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

Este tipo de material está sujeto a falla por flujo plástico, por lo que se debe revisar el nivel de esfuerzos en el esfuerzo CFRP cuando está sujeto a esfuerzos constantes o bajo

esfuerzos cíclicos. Según investigaciones se ha determinado que la fibra de carbono resiste aproximadamente 0.9 veces su resistencia ultima antes tener un problema de falla por flujo plástico.

Para evitar este tipo de falla se debe evaluar por medio de un análisis elástico con un momento aplicado debido a todas las cargas sostenidas (cargas muertas y la parte sostenida de la carga viva) más el momento máximo inducido en un ciclo de carga de fatiga, como se muestra en la figura 3.

El esfuerzo sostenido para mantener el nivel de seguridad debe ser limitado según la ecuación:

$$f_{f,s} < \text{Momento sostenido mas esfuerzo limite ciclico.}$$

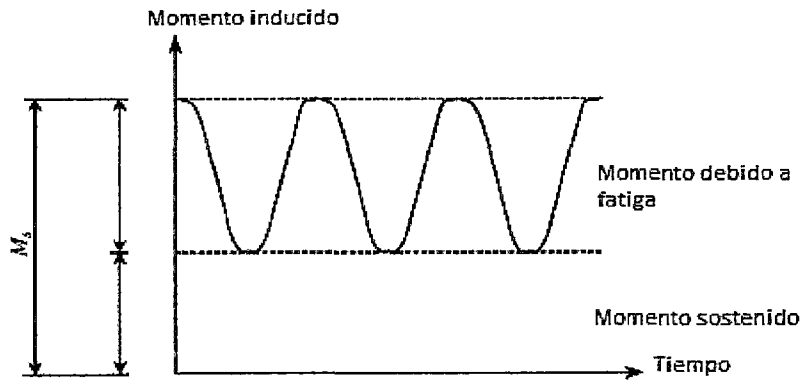
Donde:

$f_{f,s}$  = Esfuerzo en refuerzo CFRP por el momento dentro del rango elástico.

Para ilustrar todos los conceptos anteriormente mencionados, se describe a continuación su aplicación en una sección rectangular simplemente reforzada, la siguiente figura ilustra la deformación unitaria interna bajo flexión en el estado limite último.

El proceso de cálculo utilizado para llegar a la resistencia última debe satisfacer la compatibilidad entre la deformación unitaria y la fuerza de equilibrio y debe considerar el modo gobernante de falla. Este método requiere varias iteraciones para satisfacer esta condición, por lo que es un método de prueba y error.

Figura N° 10: Nivel de momento aplicado que debe ser utilizado para verificar límites de esfuerzos en el refuerzo CFRP.



Fuente ACI 440.2R – 08 Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos p.27.

Tabla N° 06: Muestra el valor del momento sostenido más esfuerzo límite cíclico.

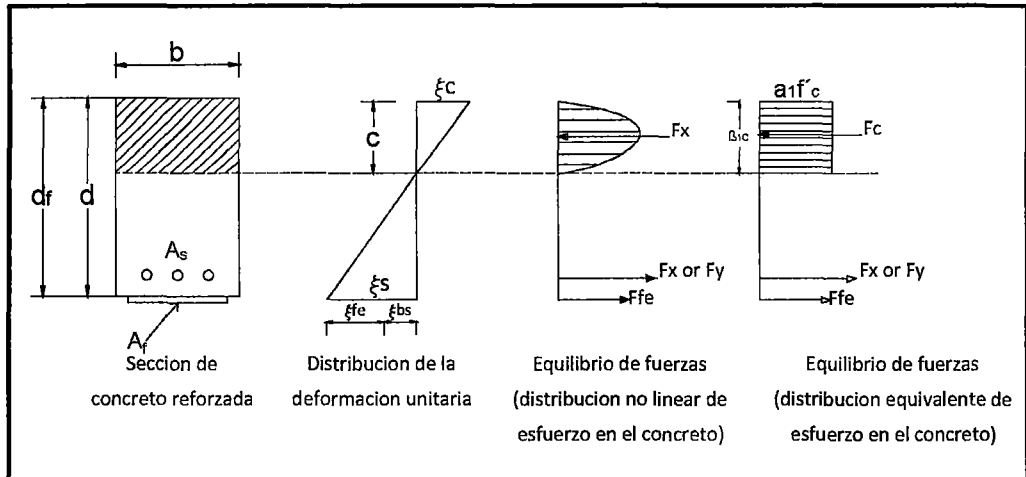
Tipo de esfuerzo	CFRP
Momento sostenido más límite de esfuerzo cíclico.	$0.55f_{fu}$

Fuente ACI 440.2R – 08 guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridas p.28.

Donde:

$f_{fu}$  = Esfuerzo de diseño ultimo a tensión del refuerzo CFRP.

Figura 11: Distribución interna de deformación unitaria y esfuerzos para una sección rectangular bajo flexión en el estado limite último.



Fuente ACI 440.2R – 08 guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos. p.28

El método se describe a continuación:

- Elegir una profundidad inicial asumida del eje neutro  $c$ , ya que en base a esto se harán los cálculos de deformación y esfuerzos.
- Calcular el nivel de deformación en cada material utilizando compatibilidad de deformaciones unitarias.

La deformación del refuerzo CFRP se calcula con la siguiente ecuación:

$$\xi_{fe} = \xi_u \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \xi_{bi} \leq \xi_{fd}$$

Donde:

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva del refuerzo CFRP alcanzada en la falla.

$\xi_u$  = Deformación unitaria del concreto.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión el eje neutro.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$\xi_{fa}$  = Deformación del refuerzo CFRP en falla por falta de adherencia.

Esta ecuación considera el modo de falla gobernante para la profundidad asumida del eje neutro. Si el lado izquierdo de la desigualdad controla, significa que la falla por aplastamiento del concreto gobierna la falla a sección de la sección. Si el lado izquierdo de la desigualdad controla, la falla del CFRP (ruptura o pérdida de adherencia) gobierna la falla a flexión de la sección.

La deformación unitaria del acero se determina basándose en la deformación unitaria del refuerzo CFRP utilizando compatibilidad de deformaciones con la siguiente ecuación:

$$\xi_s = (\xi_{fe} + \xi_{bi}) \left( \frac{d - c}{d_f - c} \right)$$

Donde:

$\xi_s$  = Deformación del acero de refuerzo.

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva del refuerzo CFRP.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al centroide del refuerzo.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

- Calcular el nivel de esfuerzo asociado en cada material.



El esfuerzo efectivo en el refuerzo CFRP se calcula utilizando la deformación unitaria del refuerzo CFRP, asumiendo un comportamiento perfectamente elástico, con la ecuación:

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

Donde:

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo en el refuerzo CFRP alcanzado en la sección al momento de la falla.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva en el refuerzo CFRP alcanzado al momento de falla.

El esfuerzo en el acero se determina con la deformación del acero utilizando la curva esfuerzo – deformación, con la ecuación:

$$f_s = E_s \xi_s \leq f_y$$

Donde:

$f_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo.

$E_s$  = Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo.

$\xi_s$  = Deformación del acero de refuerzo.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Una vez determinados el esfuerzo y la deformación unitaria en el refuerzo CFRP y en el acero de refuerzo para la profundidad asumida del eje neutro, el equilibrio de fuerzas internas se revisa utilizando la siguiente ecuación:

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

Donde:

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

$A_s$  = Área del acero de refuerzo.

$f_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo.

$A_f$  = Área del refuerzo CFRP.

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo del refuerzo CFRP en la sección de falla.

$\alpha_1$  = Factor del  $f_c$  para calcular intensidad del rectángulo equivalente de esfuerzos de concreto.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

$\beta_1$  = Proporción entre la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos y la profundidad del eje neutro.

$b$  = Ancho de la cara a compresión del concreto.

Los términos  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  son parámetros que definen un bloque rectangular de esfuerzos en el concreto equivalente a una distribución no lineal de esfuerzos. Si el modo de falla que gobierna es el aplastamiento del concreto, antes o después que el acero fluye,  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  pueden ser tomados como  $\alpha_1 = 0.85$  y  $\beta_1$  según la sección 10.2.7.3 del ACI 318-08 que dice que "para  $f'_c$  entre 18 y 30 mega pascales,  $\beta_1$  debe ser tomado como 0.85. Para  $f'_c$  superior a 4000 libras sobre pulgadas,  $\beta_1$  se debe reducir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 100 libras sobre pulgadas cuadradas de aumento sobre 30 mega pascales, pero  $\beta_1$  no debe ser tomado menor a 0.65. Sin embargo, métodos que consideran una distribución no lineal de esfuerzos en el concreto también pueden ser utilizados.

La profundidad del eje neutro se encuentra al satisfacer de manera simultánea las cinco ecuaciones anteriores, esto establece un equilibrio interno de fuerzas y una compatibilidad de

deformaciones unitarias. Para resolver la profundidad asumida del eje neutro  $c$ , debe de coincidir con la profundidad del eje neutro calculada. Si coinciden se asume otro valor de profundidad de eje neutro y se repiten estos pasos hasta que el valor de la profundidad de eje neutro asumida coincida con la profundidad del eje neutro calculada.

- Una vez encontrado la profundidad del eje neutro,  $c$ , se procede a calcular la resistencia nominal a flexión de la sección reforzada de la sección reforzada externamente con CFRP utilizando la ecuación:

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

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal a flexión.

$A_s$  = Área de acero de refuerzo.

$f_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión hacia el centroide del refuerzo a tensión.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

$\beta_1$  = Proporción entre la profundidad del bloque rectangular equivalente.

$\psi_f$  = Factor de reducción de resistencia del refuerzo CFRP para flexión.

$A_s$  = Área del refuerzo CFRP.

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo del refuerzo CFRP en la sección de falla.

$h$  = Altura o ancho del elemento.

El factor adicional,  $\psi_f$ , es aplicado a la contribución de resistencia a flexión del refuerzo FRP con un valor recomendado de 0.85. Este factor se aplica para reflejar incertezas inherentes en

los sistemas CFRP comparados con el acero de refuerzo y el concreto preesforzado. Este factor fue calculado en base a evaluaciones estadísticas de variabilidad en las propiedades mecánicas, predicciones en ensayos a escala natural y aplicaciones en campo. Este factor está dado para dar un índice de seguridad mayor de 3.5.

- Calcular el esfuerzo en el acero de refuerzo bajo las cargas de servicio. Este esfuerzo se calcula basado en el análisis de una sección fisurada de la sección de concreto reforzada con refuerzo CFRP utilizando la ecuación:

$$f_{x,s} = \frac{\left[ M_s + \xi_{bi} A_f E_f \left( d_f - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) E_s \right]}{A_s E_s \left( d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left( d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)}$$

Donde:

$f_{s,s}$  = Esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio.

$M_s$  = Momento de servicio de la sección.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$A_f$  = Área del refuerzo CFRP.

$E_s$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$k$  = Proporción entre la profundidad del eje neutro y de la profundidad del refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión.

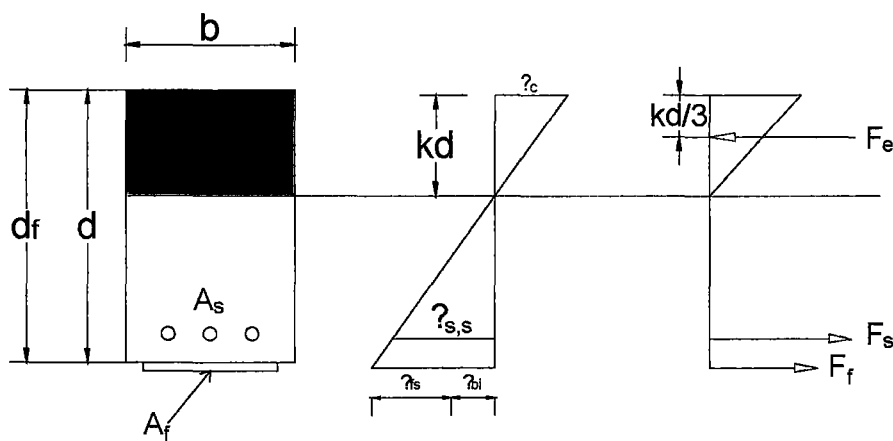
$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión hacia el centroide del refuerzo a tensión.

$E_s$  = Módulo de elasticidad del acero de refuerzo.

$A_s$  = Área de acero de refuerzo.

Que debe cumplir con el esfuerzo máximo según la ecuación  $f_{s,s} \leq 0.80f_y$ , que fue mencionada anteriormente.  $M_s$  Es igual al momento de todas las cargas aplicadas (carga muerta y la porción de carga viva sostenida) más el momento máximo inducido en un ciclo de carga de fatiga, como se mencionó anteriormente.

Figura N° 12: Distribución elástica de deformación unitaria y esfuerzos.



Fuente ACI 440.2R – 08, Guía para diseño y construcción de sistemas FRP externamente adheridos.

p.28

- Cálculo del esfuerzo en CFRP debido a cargas de servicio. Este esfuerzo se calcula utilizando la ecuación.

$$f_{f,s} = f_{f,s} \left( \frac{E_f}{E_s} \right) \frac{d_f - kd}{d - kd} - \xi_{bi} E_f$$

Donde:

$f_{f,s}$  = Esfuerzo en el refuerzo CFRP dentro del rango elástico.

$f_{s,s}$  = Esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$E_s$  = Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$k$  = Proporción entre la profundidad del eje neutro y de la profundidad del refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión hacia el centroide del refuerzo a tensión.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

Esta ecuación da el esfuerzo en el refuerzo CFRP bajo un momento aplicado dentro del rango de respuesta del elemento estructural. Este esfuerzo debe cumplir con el límite impuesto por la ecuación.

$$f_{f,s} \leq \text{Momento sostenido mas esfuerzos limite ciclico.}$$

Donde:

$f_{f,s}$  = Esfuerzo en el refuerzo CFRP dentro del rango elástico.

Este método es el que describe el código ACI 440.2R – 08 para diseño con refuerzo CFRP, el cual se utilizara más adelante en este documento.

#### **4.1.5. UTILIZACION DE FIBRA DE CARBONO EN PERU**

En el Perú se ha venido empleando esta tecnología desde la década del 90. Para el diseño y aplicación se han tomado en cuenta las recomendaciones de los fabricantes. El año 2002, el comité 440 del ACI emite el primer reglamento para el diseño y aplicación de elementos reforzados con el sistema FRP, estas recomendaciones han tomado en cuenta el estado del arte hasta la fecha.

El uso de este tipo de refuerzo en edificaciones ha sido poco, sin embargo se ha visto la funcionalidad y efectividad de este tipo de refuerzo. Las edificaciones donde se ha utilizado el refuerzo FRP de fibra de carbono para reforzar son:

- Edificio Chocavento.  
Ubicación: San Isidro – Lima Perú.  
(City bank 5 Sotanos + 16 Pisos)  
Febrero -2002  
Se realizó el reforzamiento de vigas y losas del edificio refuerzo por cortante y por flexión
- Proyecto y Obra de Reforzamiento: Supermercado Plaza Vea Av. Brasil  
Junio 2002  
Reforzamiento de vigas, losas y columnas por incremento de Sobrecarga en zona de almacenes y depósitos.
- Centro Comercial Jockey Plaza.  
El centro comercial tiene 12 años.  
Se requiere intervención debido a que existen ampliaciones que ameritan el reforzamiento de vigas columnas y losas postensadas por incremento de cargas.  
Hay defectos de corrosión por deficiencias en los recubrimientos de las armaduras de las losas postesada.

## **CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ESTRUCTURA Y CARGAS**

### **ESTRUCTURA:**

Es el armazón que le da forma a un edificio (Esqueleto) Sostiene a un edificio, lo fija al suelo y hace que las cargas se transmitan a éste. Lo que hace resistente a una edificación ante movimientos sísmicos.

#### 4.1.6. ELEMENTOS ESTRUCTURAL A ESTUDIAR EN LA PRESENTE TESIS:

##### **Vigas:**

##### Definición:

Resisten cargas transversales en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de la viga. Trabaja a flexión. Recibe las cargas de las losas transmitiéndolas a las columnas y/o muros. Sus apoyos se encuentran en los extremos.

##### **PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS:**

- Las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte del orden de 1/10 a 1/12 de la luz libre. Debe aclararse que esta altura incluye el espesor de la losa del techo o piso
- El ancho es variable de 0,3 a 0,5 veces su altura, teniendo en cuenta un ancho mínimo de 25cm, con la finalidad de evitar el congestionamiento del acero y presencia de cangrejeras.

##### **DIMENSIONES USUALES EN VIGAS:**

- $L \leq 5,5m$     25x30, 30x50cm
- $L \leq 6,5m$     25x60, 30x60, 40x60cm
- $L \leq 7,5m$     25x70, 30x70, 40x70, 50x70cm
- $L \leq 8,5m$     30x75, 40x75, 30x80, 40x80cm
- $L \leq 9,5m$     30x85, 30x90, 40x85, 40x90cm

##### **CARGAS ESTRUCTURALES:**

La actividad del diseño estructural que realiza el ingeniero civil, requiere un gran conocimiento de las cargas, los materiales y las formas estructurales y no solo de los modelos matemáticos usados para obtener las fuerzas internas: momento flector (M), cortante (V), fuerza axial (N), y momento torsor (T)

En el proceso de diseño el ingeniero civil debe evaluar las cargas o sollicitaciones a las que estará sometida la estructura durante su vida útil. Debe hacer un esfuerzo por tenerlas todas en cuenta sin olvidar aquellas que aunque pequeñas puedan poner en peligro la resistencia o estabilidad de la estructura.

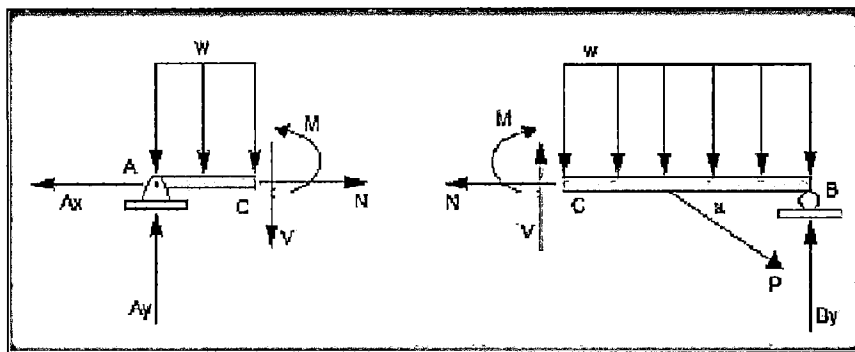


## CARGAS INTERNAS:

La carga interna en un punto específico puede determinarse usando el método de secciones.

En general esta carga para una estructura coplanar consistirá en una fuerza normal ( $N$ ), una fuerza cortante ( $V$ ), y un momento flexionante ( $M$ ), sin embargo debe quedar claro que esas cargas representan en realidad las resultantes de las distribuciones de esfuerzo que actúan sobre la sección transversal del miembro de la sección cortada. Una vez conocidas las fuerzas internas o resultantes, la magnitud de los esfuerzos puede determinarse siempre que se especifique una supuesta distribución de los esfuerzos sobre el área de la sección transversal.

Figura N° 13: Diagrama de Fuerzas Internas.



Fuente: Resistencia de Materiales, pag. 125.

## CARGAS EXTERNAS

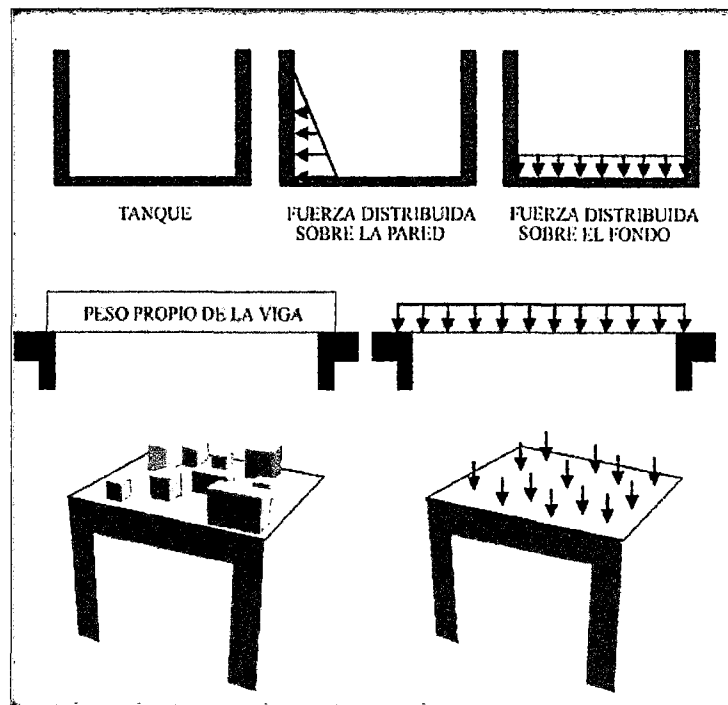
### CARGAS MUERTAS:

- Son aquellas cargas que actúan durante toda la vida de la estructura. Incluyen todos aquellos elementos de la estructura como vigas, pisos, techos, columnas, cubiertas y los elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes. También se denominan cargas permanentes. Su símbolo "D", corresponde a la inicial en inglés de Dead (muerto).
- La principal carga muerta es el *peso propio de la estructura*. Sus valores se obtienen considerando el peso específico del material de la estructura y el volumen de la estructura. Aunque es el tipo de carga más fácil de evaluar, su monto depende de las dimensiones de los miembros de la estructura las cuales no se conocen al inicio del

proceso. Es necesario recurrir entonces a estimaciones del valor inicial. Esta acción será más o menos aproximada, dependiendo de la experiencia del diseñador. En los casos comunes esta estimación inicial será suficiente; pero en casos no rutinarios, será necesario evaluar de nuevo el peso de la estructura y revisar el diseño.

- Para elementos longitudinales (vigas), la carga se evalúa por unidad de longitud. Ha sido costumbre evaluarla en sistema MKS: "kg/m, t/m" y en el Sistema Internacional (SI): N/m, kN/m.
- El control de las cargas muertas es muy importante en estructuras de concreto reforzado construidas «in situ», pues el volumen de los concretos colocados puede ser muy variable, conduciendo a sobre espesores que producen masas adicionales a las contempladas en el diseño, afectando la evaluación de las cargas de sismo. En el acero estructural se controlan más fácilmente, pues los perfiles vienen de fábrica con tolerancias de peso pequeñas.

Figura N° 14: Fuerzas Distribuidas



Fuente: Análisis Estructural, pag. 210

Tabla N°07: Peso Específico de algunos materiales.

MATERIAL	PESO	DENSIDAD
Concreto simple	23 kN/m <sup>3</sup>	2300 Kg/m <sup>3</sup>
Concreto reforzado	24 kN/m <sup>3</sup>	2400 Kg/m <sup>3</sup>
Mampostería de ladrillo	18 kN/m <sup>3</sup>	1800 Kg/m <sup>3</sup>
Acero	78 kN/m <sup>3</sup>	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Madera laminada	6 kN/m <sup>3</sup>	600 Kg/m <sup>3</sup>
Madera, densa, seca	7,5 kN/m <sup>3</sup>	750 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, grava, tierra suelta	16 kN/m <sup>3</sup>	1600 Kg/m <sup>3</sup>
Arena, grava compactada	19 kN/m <sup>3</sup>	1900 Kg/m <sup>3</sup>
Macadam	22 kN/m <sup>3</sup>	2200 Kg/m <sup>3</sup>
Mampostería de piedra	27 kN/m <sup>3</sup>	2700 Kg/m <sup>3</sup>
Mortero de pega	21 kN/m <sup>3</sup>	2100 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Materiales de Construcción, pag. 50.

### CARGAS VIVAS

Las cargas vivas son cargas no permanentes producidas por materiales o artículos, e inclusive gente en permanente movimiento. Cabinas, particiones y personas que entran y salen de una edificación pueden ser consideradas como carga vivas. Para simplificar los cálculos las cargas vivas son expresadas como cargas uniformes aplicadas sobre el área de la edificación. Las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la edificación debido al uso que ésta va a tener y están determinadas con base a una parte variable y a una porción sostenida por el uso diario.

- **Vivienda** 1.80 kN/m<sup>2</sup> (180 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Oficinas** 2.00 kN/m<sup>2</sup> (200 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Escaleras en oficinas y vivienda** 3.00 kN/m<sup>2</sup> (300 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Salones de Reunión**
  - Con asientos fijos (anclados al piso) 3.00 kN/m<sup>2</sup> (300kgf/m<sup>2</sup>)
  - Sin asientos fijos 5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Hospitales**
  - Cuartos 2.00 kN/m<sup>2</sup> (200 kgf/m<sup>2</sup>)
  - Salas de operaciones 4.00 kN/m<sup>2</sup> (400 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Coliseos y Estadios**
  - Graderías 4.00 kN/m<sup>2</sup> (400 kgf/m<sup>2</sup>)
  - Escaleras 5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Garaes**
  - Automóviles 2.50 kN/m<sup>2</sup> (250kgf/m<sup>2</sup>)
  - Hoteles 2.00 kN/m<sup>2</sup> (200 kgf/m<sup>2</sup>)
  - Escuelas, Colegios y Universidades 2.00 kN/m<sup>2</sup> (200 kgf/m<sup>2</sup>)
- **Bibliotecas**
  - Salas de lectura 2.00 kN/m<sup>2</sup> (200 kgf/m<sup>2</sup>)
  - Depósitos de libros 5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)

#### **Cubiertas, Azoteas y Terrazas**

La misma del resto de la edificación.

#### **Cubiertas inclinadas de estructuras metálicas y de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a las aquí estipulada:**

- si la pendiente es mayor del 20% 0.35 kN/m<sup>2</sup> (35 kgf/m<sup>2</sup>)

- si la pendiente es menor del 20%      0.50 kN/m<sup>2</sup> (50 kgf/m<sup>2</sup>)

**Fábricas:**

- Livianas      5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)

- Pesadas      10.00 kN/m<sup>2</sup> (1000 kgf/m<sup>2</sup>)

**Depósitos**

- Livianos      5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)

- Pesados      10.00 kN/m<sup>2</sup> (1000 kgf/m<sup>2</sup>)

**Almacenes**

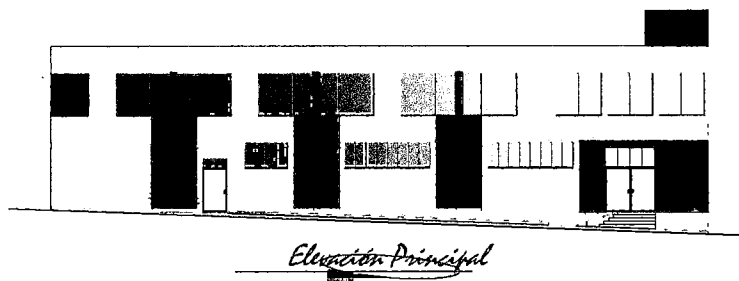
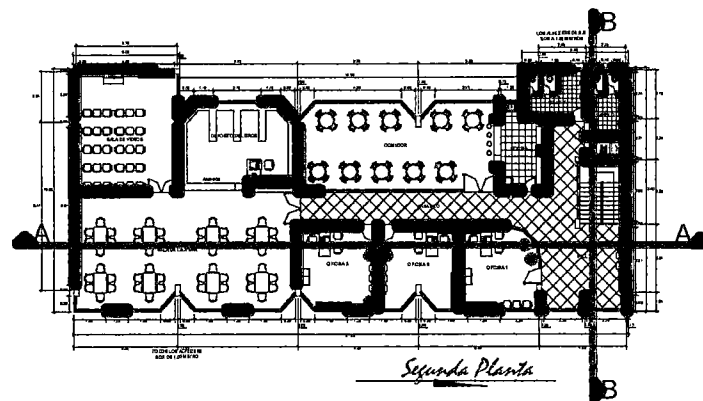
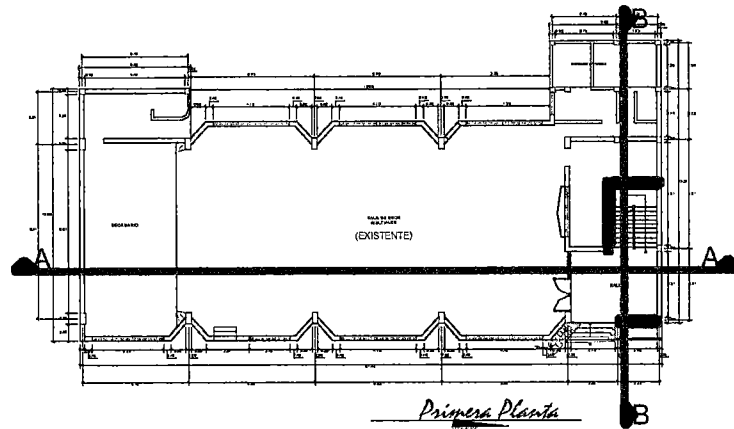
- Detal      3.50 kN/m<sup>2</sup> (350 kgf/m<sup>2</sup>)

- Por Mayor      5.00 kN/m<sup>2</sup> (500 kgf/m<sup>2</sup>)

*Tabla N° 08: Peso Del Tabique Por Metro Lineal*

TABLA 2.3 DE LA NORMA E-020	
Peso del Tabique (kg/m)	Carga Equivalente (kg/m <sup>2</sup> )
74 o menos	30
75 a 149	60
150 a 249	90
250 a 399	150
400 a 549	210
550 a 699	270
700 a 849	330
850 a 1000	390

Figura N° 15: Modelo de Edificación a analizar.



#### 4.1.7. VIGA PERALTADA DE REFORZAMIENTO A FLEXION DE LA CASA DEL MAESTRO

El cálculo del refuerzo se va a centrar expresamente en el desarrollo del procedimiento de trabajo para cumplir la resistencia requerida por la viga sometida a esfuerzos de flexión.

Vamos a estudiar el caso práctico de una viga de concreto armado de sección rectangular 0.30 x 0.85m. Del primer nivel de una edificación, de la casa del maestro. A partir de un incremento de carga por razones de diseño previamente estimada, se ha calculado que las cargas variables que actúan sobre la viga aumentan en un 30% la anterior. Nuestro trabajo consiste en comprobar si la resistencia de la viga puede soportar este incremento de cargas o por el contrario, necesitamos reforzar la viga a flexión. En caso de reforzar, se ha propuesto el sistema compuesto de laminados de Fibra de Carbono adheridos externamente en la cara traccionada de la viga de Concreto Armado, de forma que no se reduzca la altura libre de planta.

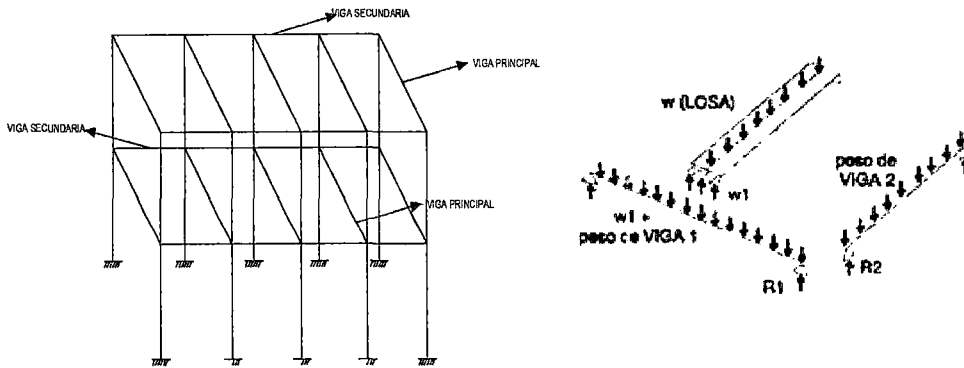
En el análisis de la viga peraltada de la casa del maestro, se eligió una de las vigas peraltadas ya que todos son iguales. Ya que la viga peraltada es un elemento estructural, que sostiene la carga de la estructura. La razón por que necesito reforzar la viga peraltada es por el incremento en las cargas de diseño previamente estimada, Por lo cual crean la necesidad en aumentar la resistencia a la estructura mediante el reforzamiento.

Ya que la casa del maestro, se asumió incrementar cargas vivas por la concurrencia y algunos dados de concreto para internet, se vio asumir que la casa del maestro la mitad de área se utilizaría para cabinas de internet.

Para el análisis de la edificación en primer lugar la vemos como un pórtico en la cual podemos repartir las cargas que se presentan sobre esta.

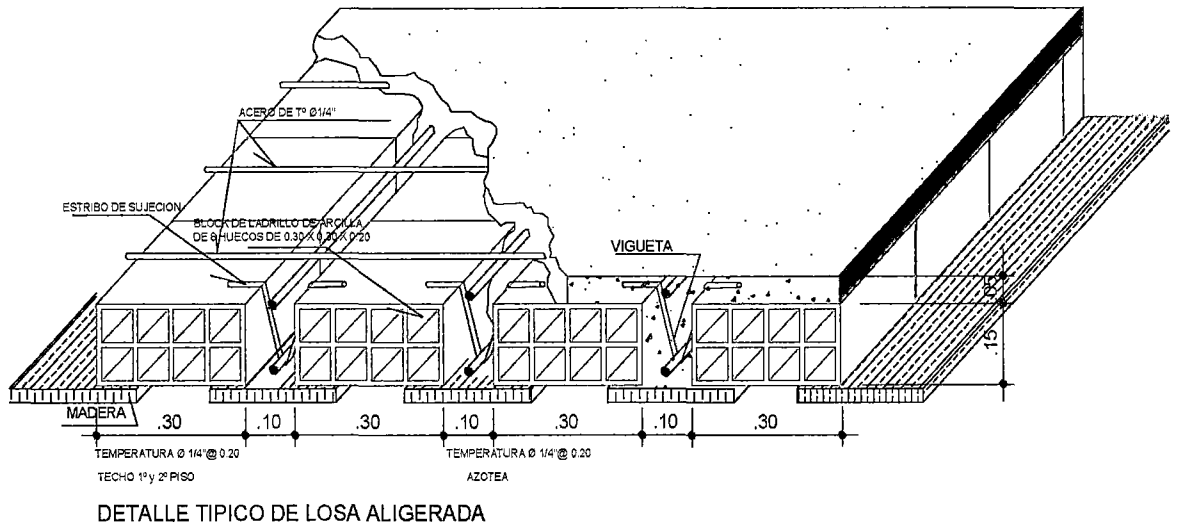
- Las vigas principales son perpendiculares al sentido del vaciado de la losa.
- Las vigas principales soportan cargas, las vigas secundarias solo son de enlace

Figura N° 16: Transmisión De Cargas Verticales.



Fuente: Análisis de Edificios, Angel San Bartolomé, pag. 52.

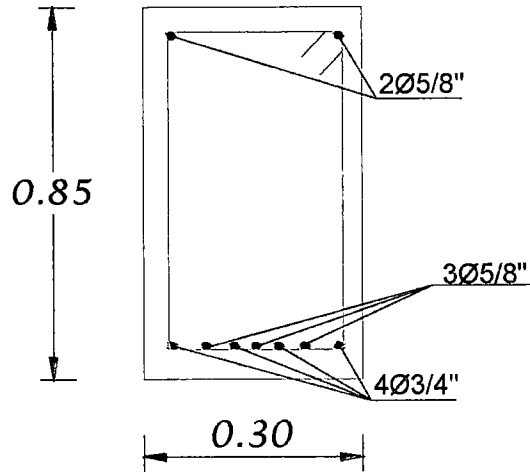
Figura N° 17: Sección de losa aligerada.



Fuente: Concreto Armado I, Ortega Jimenes.

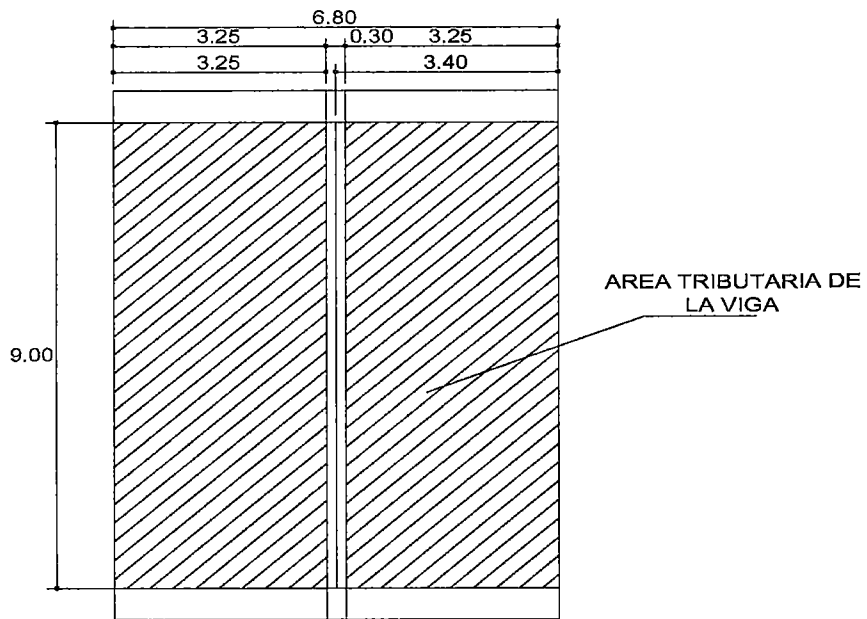


Figura N° 18: Sección De Las Viga Peraltada Existente



Fuente: Propia.

Figura N° 19: Área Tributaria De La Viga Peraltada.



Fuente: Propia

**METRADOS DE CARGA PARA LA VIGA PERALTADA EXISTENTE PRIMER NIVEL**

**CARGAS MUERTAS:  $P = \text{VOLUMEN} \times \text{PESO ESPECIFICO}$**

**CARGAS DIRECTAS:**

**PESO PROPIO DE LA VIGA:  $P = 0.30 \text{ m} \times 0.85 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$**

$$P = 5508.00 \text{ Kg} = 612.00 \text{ Kg/m}$$

**PESO DEL MURO:  $P = 14.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{cm}} \times 15 \text{ cm} \times 2.4 \text{ m}$**

$$P = 504 \text{ Kg/m}$$

Según la Tabla 2.3 por peso corresponde:

$$P = 210 \text{ Kg/m}^2$$

H = Altura de muro; H= 2.50 m. :  $2.50 \times 21 = 525.00 \text{ Kg/m}$

**CARGAS DE LOSA:**

**PESO DE LA LOSA:** Para H = 0.20 m. de aligerado pesa 300 kg/m<sup>2</sup>

$$P = \text{Ltr.} \times 300 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = 6.50 * 300 \text{ Kg} = 1950 \text{ Kg/m}$$

**PESO MUERTO:** El peso muerto en losas aligeradas está conformada por el peso del falso

Piso (5cm) + Acabados (0.5 cm) + Peso de cielo raso (2cm) = 0.075 m.

$$P = \text{Ltr.} \times 150 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = (3.25 + 3.40) * 150 \text{ Kg} = 997.500 \text{ Kg/m}$$

**TOTAL DE CARGA MUERTA:  $3472.50 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 3.472 \text{ Tn/m}$**

**CARGAS VIVAS:  $P = \text{PESO POR M}^2 \times \text{LONG. ITUD}$**

$$300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 6.65 \text{ m} = 1995.00 \text{ Kg/m}$$

**CARGA VIVA:  $1995.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1.995 \text{ Tn/m}$**

## METRADOS DE CARGA PARA LA VIGA PERALTADA EXISTENTE SEGUNDO NIVEL

**CARGAS MUERTAS:**  $P = \text{VOLUMEN} \times \text{PESO ESPECIFICO}$

**CARGAS DIRECTAS:**

**PESO PROPIO DE LA VIGA:**  $P = 0.30 \text{ m} \times 0.85 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$P = 5508.00 \text{ Kg} = 612.00 \text{ Kg/m}$$

**PESO DEL MURO:**  $P = 14.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{cm}} \times 15 \text{ cm} \times 1.00 \text{ m}$

$$P = 210 \text{ Kg/m}$$

Según la Tabla 2.3 por peso corresponde:  $P = 100 \text{ Kg/m}^2$

H = Altura de muro; H= 1.00 m. :  $1.00 \times 100 = 100.00 \text{ Kg/m}$ , ya que en el segundo nivel no existen muros, ya que se consideró azotea y los muros son de 1.00 m., se considera solo 100 kg/ml.

**PESO MUERTO:** El peso muerto en losas aligeradas está conformada por el peso del falso

Piso (5cm) + Acabados (0.5 cm) + Peso de cielo raso (2cm) = 0.075 m.

$$P = \text{Ltr.} \times 135.1 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = (3.25 + 3.40) \times 135.1 \text{ Kg} = 898.41 \text{ Kg/m}$$

**CARGAS DE LOSA:**

**PESO DE LA LOSA:** Para H = 0.20 m. de aligerado pesa 300 kg/m<sup>2</sup>

$$P = \text{Ltr.} \times 300 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = 6.50 \times 300 \text{ Kg} = 1950 \text{ Kg/m}$$

**TOTAL DE CARGA MUERTA:**  $2948.42 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 2.948 \text{ Tn/m}$

**CARGAS VIVAS:**  $P = \text{PESO POR M}^2 \times \text{LONG. ITUD}$

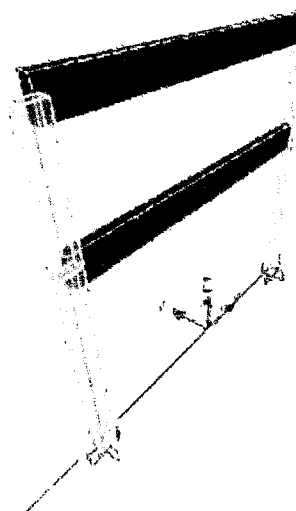
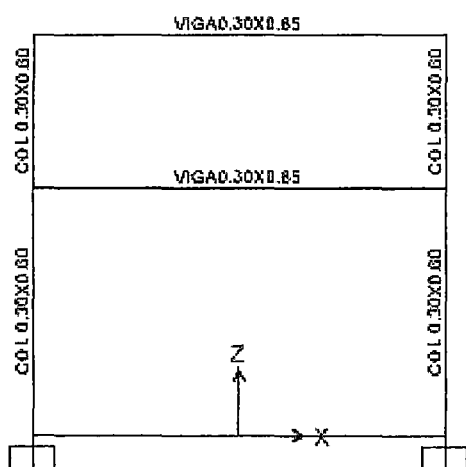
$$100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 6.65 \text{ m} = 665.00 \text{ Kg/m}$$

**CARGA VIVA:**  $665.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 0.665 \text{ Tn/m}$

## CALCULANDO EL MOMENTO ULTIMO DE LA VIGA CON EL PROGRAMA SAP 2000V15

Para calcular el momento de la viga se utilizó, el programa SAP 2000 v 2015, en el cual observamos la figura, en este análisis se realizó con las mismas cargas existentes:

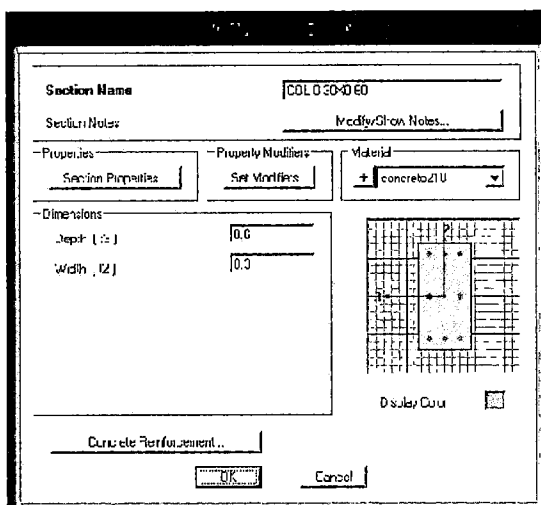
Figura N° 20: Pórtico de vigas de dos niveles.



### DATOS:

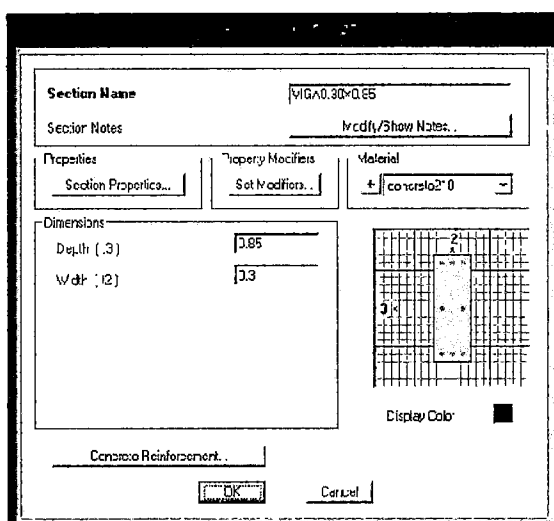
1. **Materiales:**
  - a. Concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
  - b. Acero:  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$
2. **SECCIONES:**
  - a. **COLUMNAS:**

Figura N° 21: Sección de columna en el SAP 2015.



b. **VIGAS:**

Figura N° 22: Sección de Viga en el SAP 2015.



3. **CARGAS:**

Las cargas que se presentan a continuación, tanto la carga viva como la carga muerta, se obtuvieron de haber realizado el metrado de cargas para el pórtico dado. (Ancho tributario, Peso de Aligerado, Peso de Acabados, Peso de Tabiquería, Peso de Muro sobre la viga, Sobrecarga, etc.). No se incluye el peso propio de la viga.

El Programa SAP2000 para facilitar el metrado de cargas tiene definido por defecto el PATRON DE CARGAS: DEAD (Muerta) que calcula de manera automática el PESO PROPIO de los elementos estructurales a los que se les ha asignado una sección previamente definida.

Por lo tanto para el modelamiento del pórtico se asignara CARGA VIVA Y CARGA MUERTA, en esta última no se considera el peso propio de la viga.

a. **PRIMER PISO:**

Carga Muerta: 3.472 Ton/m

Carga Viva: 1.995 Ton/m

b. **SEGUNDO PISO:**

Carga Muerta: 2.948 Ton/m

Carga Viva: 0.665 Ton/m

Figura N° 23: Pórtico con carga muerta.

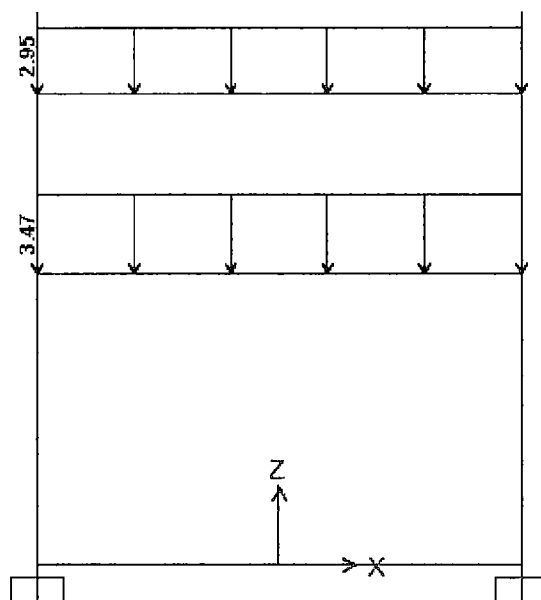


Figura N° 24: Pórtico con carga viva.

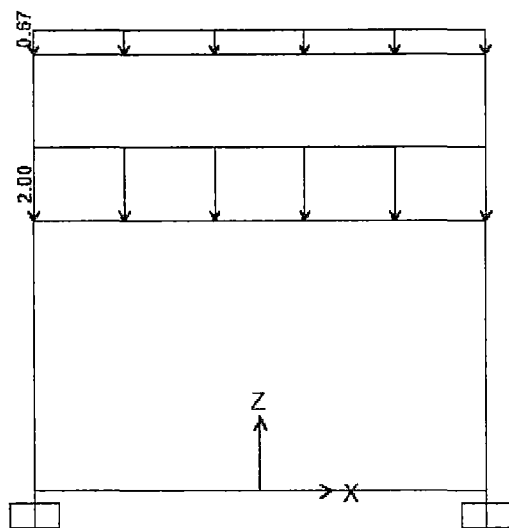
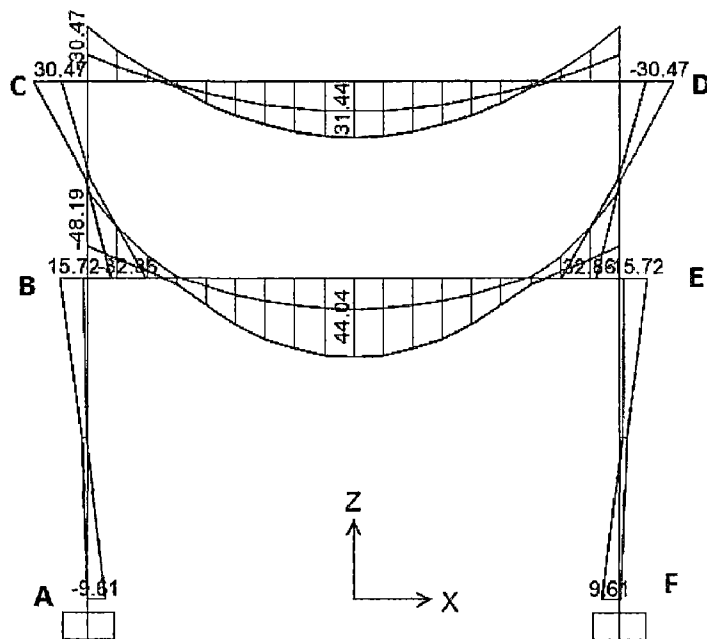


Figura N° 25: Pórtico con envolvente de cargas.



### CALCULANDO EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA:

Se calcula con los valores de cuantía máxima ya que tenemos todos los valores

$$M_{BE}^o = 44,04 \text{ Tn} - \text{m}$$

### DISEÑO FINAL DE LA VIGA

Del diseño de la viga ya tenemos la cantidad de acero, del cual obtuvimos área de acero, la cuantía de refuerzo.

### LA CUANTIA OBTENIDA ES:

De la formula se obtiene la cuantía, el acero es existente:

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

$$A_s = 16,87 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 0,007096$$

### CALCULAMOS LA CUANTIA MAXIMA:

Calculando la cuantía básica:

$$\rho_b = 0,000119 * f'_c * \beta_1$$

$$\rho_b = 0,000119 * 210 * 0,85 = 0,02124$$

$$0,75\rho_b = 0,75 * 0,02124 = 0,01593$$

$$0,75\rho_b > \rho \text{ ---- } 0,01593 > 0,007096$$

Cuantía mínima:

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} = 0,00333$$

Significa que está dentro del rango permitido por el código.

### CALCULAMOS EL MOMENTO NOMIAL:

$$\phi M_n = \phi \left[ \rho b f_y d^2 \left( 1 - 0,59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right) \right]$$



$$\phi M_n = 46.31 \text{ Tn} - \text{m}$$

Tabla N° 09: Resumen de momentos.

VIGA NORMAL	Mu	Mn	As
Viga actual	44.04 Tn-m	46.31 Tn - m	16.87 cm <sup>2</sup>

### METRADO PARA VIGA PERALTADA INCREMENTADO CARGAS PRIMER NIVEL

**CARGAS MUERTAS:**  $P = \text{VOLUMEN} \times \text{PESO ESPECIFICO}$

**CARGAS DIRECTAS:**

**PESO PROPIO DE LA VIGA:**  $P = 0.30 \text{ m} \times 0.85 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$P = 5508.00 \text{ Kg} = 612.00 \text{ Kg/m}$$

**PESO DEL MURO:**  $P = 14.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{cm}} \times 15 \text{ cm} \times 2.4 \text{ m}$

$$P = 504 \text{ Kg/m}$$

Según la Tabla 2.3 por peso corresponde:  $P = 210 \text{ Kg/m}^2$

H = Altura de muro.

$$H = 2.50 \text{ m.} : 2.50 \times 210 = 525.00 \text{ Kg/m}$$

**CARGAS DE LOSA:**

**PESO DE LA LOSA:** Para H = 0.20 m. de aligerado pesa 300 kg/m<sup>2</sup>

$$P = \text{Ltr.} \times 300 \text{ Kg/m}^2 \quad P = 6.50 * 300 \text{ Kg} = 1950 \text{ Kg/m}$$

**PESO DE DADOS PARA INTERNET:**  $P = 3 \times 0.650 \text{ m} \times 0.650 \text{ m} \times 0.50 \times 2400 \text{ Kg/m}^3$

$$P = 1521 \text{ Kg} = 172.64 \text{ Kg/m}$$

**PESO MUERTO:** El peso muerto en losas aligeradas está conformada por el peso del falso

Piso (5cm) + Acabados (0.5 cm) + Peso de cielo raso (2cm) = 0.075 m.

$$P = \text{Ltr.} \times 150 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = (3.25 + 3.40) * 150 \text{ Kg} = 997.50 \text{ Kg/m}$$

TOTAL DE CARGA MUERTA:  $3645.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 3.65 \text{ Tn/m}$ .

CARGAS VIVAS:  $P = \text{PESO POR M}^2 \times \text{LONGITUD}$

$$500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 6.65 \text{ m} = 3325.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 3.33 \text{ Tn/m}$$

**METRADOS DE CARGA PARA LA VIGA PERALTADA INCREMENTADA EXISTENTE**  
**SEGUNDO NIVEL**

CARGAS MUERTAS:  $P = \text{VOLUMEN} \times \text{PESO ESPECIFICO}$

CARGAS DIRECTAS:

PESO PROPIO DE LA VIGA:  $P = 0.30 \text{ m} \times 0.85 \text{ m} \times 9.00 \text{ m} \times 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$P = 5508.00 \text{ Kg} = 612.00 \text{ Kg/m}$$

PESO DEL MURO:  $P = 14.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{cm}} \times 15 \text{ cm} \times 1.00 \text{ m}$

$$P = 210 \text{ Kg/m}$$

Según la Tabla 2.3 por peso corresponde:  $P = 100 \text{ Kg/m}^2$

H = Altura de muro; H= 1.00 m. :  $1.00 \times 100 = 100.00 \text{ Kg/m}$ , ya que en el segundo nivel no existen muros, ya que se consideró azotea y los muros son de 1.00 m., se considera solo 100 kg/ml.

**PESO MUERTO:** El peso muerto en losas aligeradas está conformada por el peso del falso

Piso (5cm) + Acabados (0.5 cm) + Peso de cielo raso (2cm) = 0.075 m.

$$P = \text{Ltr.} \times 135.1 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = (3.25 + 3.40) * 135.1 \text{ Kg} = 898.41 \text{ Kg/m}$$

CARGAS DE LOSA:

PESO DE LA LOSA: Para H = 0.20 m. de aligerado pesa 300 kg/m<sup>2</sup>

$$P = \text{Ltr.} \times 300 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = 6.50 * 300 \text{ Kg} = 1950 \text{ Kg/m}$$

$$\text{TOTAL DE CARGA MUERTA: } 2948.42 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 2.948 \text{ Tn/m}$$

$$\text{CARGAS VIVAS: } P = \text{PESO POR M}^2 \times \text{LONG. ITUD}$$

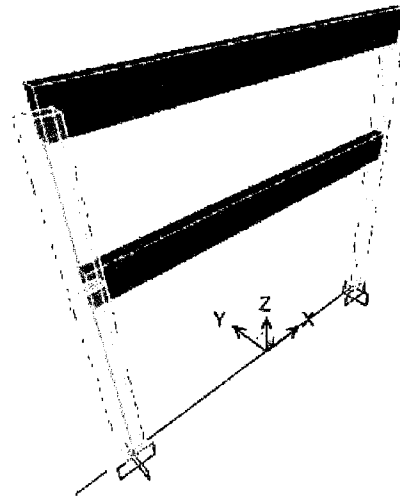
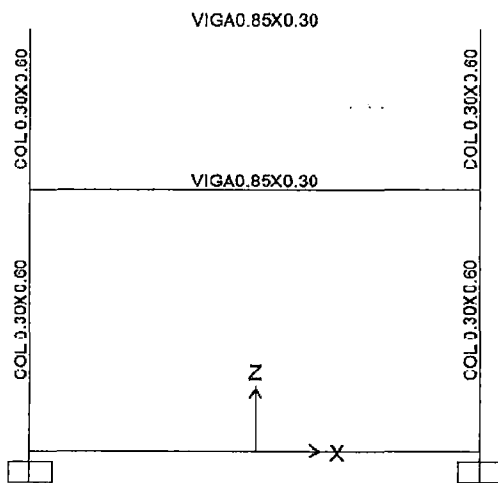
$$100 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times 6.65 \text{ m} = 665.00 \text{ Kg/m}$$

$$\text{CARGA VIVA: } 665.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 0.665 \text{ Tn/m}$$

#### CALCULANDO EL MOMENTO ULTIMO DE LA VIGA

Para calcular el momento de la viga se utilizó, el programa SAP 2000 v 2015, en el cual observamos la figura, en este análisis se realizó con el incremento de cargas:

Figura N° 26: Pórtico de viga de dos niveles, con cargas incrementadas.



#### DATOS:

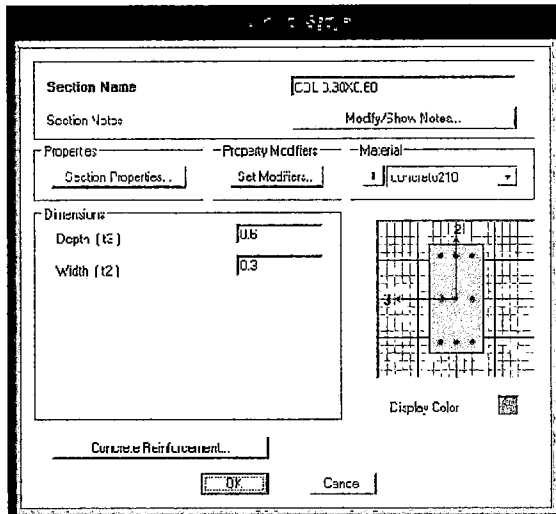
##### 1. Materiales:

- a. Concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- b. Acero:  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

##### 2. SECCIONES:

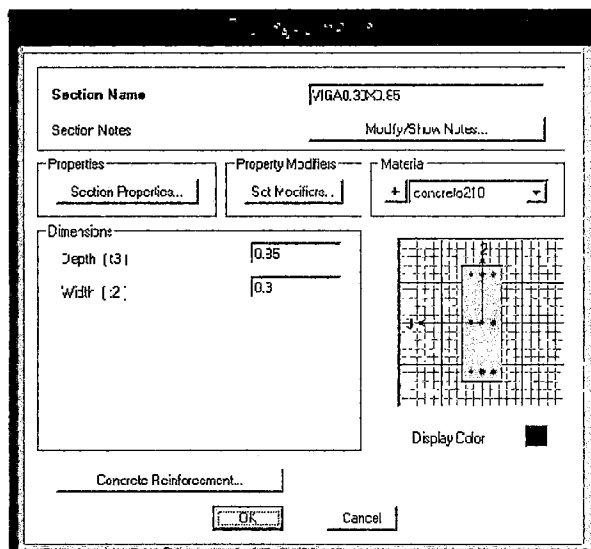
- a. COLUMNAS:

Figura N° 27: Sección de columna en SAP 2015, con cagas incrementadas.



b. **VIGAS:**

Figura N° 28: Sección de viga en SAP 2015, con cagas incrementadas.



### 3. CARGAS:

Las cargas que se presentan a continuación, tanto la carga viva como la carga muerta, se obtuvieron de haber realizado el metrado de cargas para el pórtico dado. (Ancho tributario, Peso de Aligerado, Peso de Acabados, Peso de Tabiquería, Peso de Muro sobre la viga, Sobrecarga, etc.). No se incluye el peso propio de la viga.

El Programa SAP2000 para facilitar el metrado de cargas tiene definido por defecto el PATRON DE CARGAS: DEAD (Muerta) que calcula de manera automática el PESO PROPIO de los elementos estructurales a los que se les ha asignado una sección previamente definida.

Por lo tanto para el modelamiento del pórtico se asignara CARGA VIVA Y CARGA MUERTA, en esta última no se considera el peso propio de la viga.

#### a. PRIMER PISO:

Carga Muerta: 3.65 Ton/m

Carga Viva: 3.33 Ton/m

#### b. SEGUNDO PISO:

Carga Muerta: 2.948 Ton/m

Carga Viva: 0.665 Ton/m

Figura N° 29: Pórtico de carga muerta.

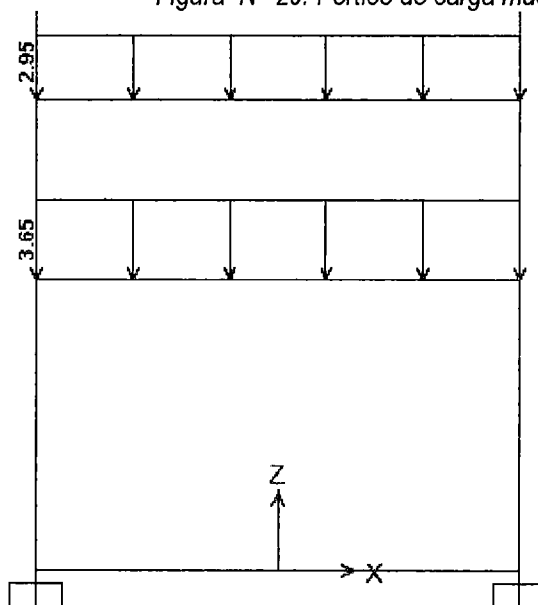


Figura N° 30: Pórtico de carga viva.

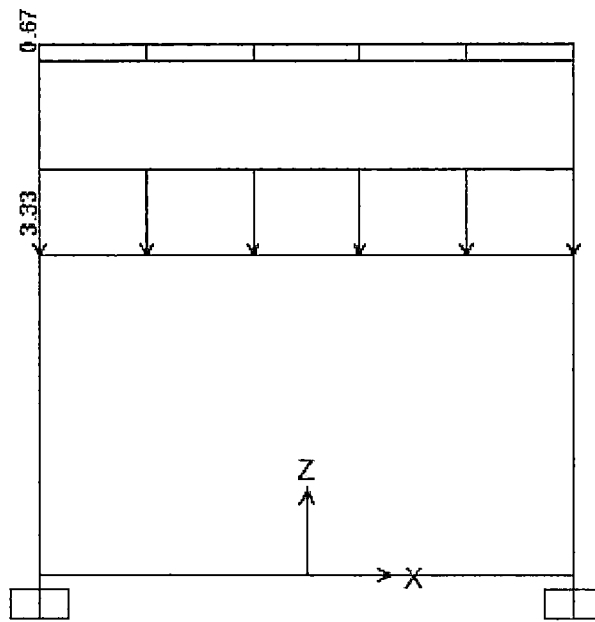
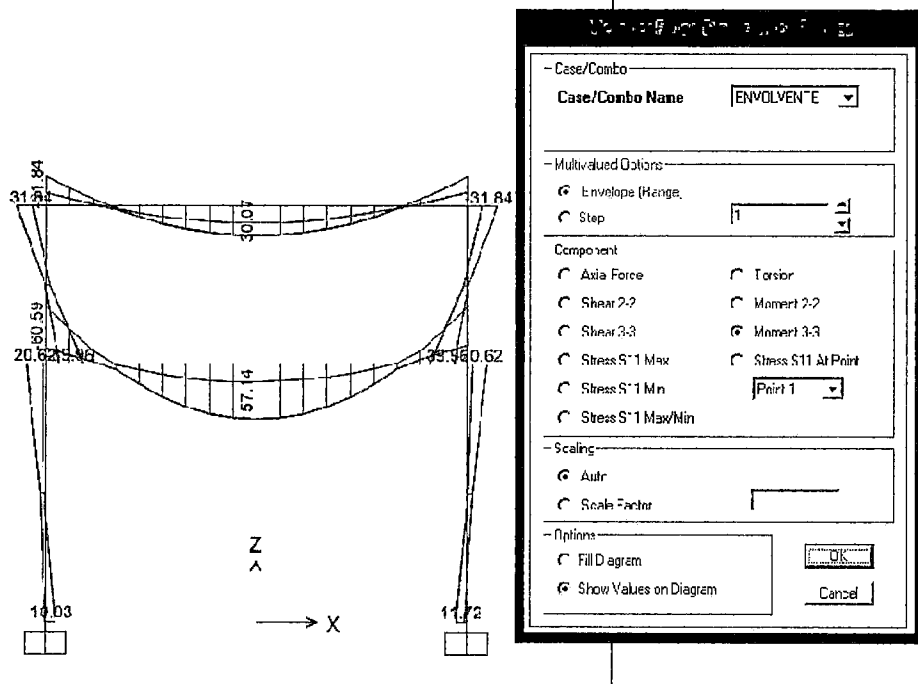


Figura N° 31: Análisis estructural, con envoltura de cargas.



### COMPARACIÓN ENTRE EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA:

$$\phi M_n > M_{u1}; 46.31 Tn - m > 44.04 Tn - m$$

Comparando entre el momento último de la viga incrementada la carga y el Momento nominal de la viga sin carga.

$$M_{u2} > M_n; 57.14 Tn - m > 46.31 Tn - m$$

Por lo tanto, se necesita reforzamiento ya que el momento último de la viga incrementada las cargas, es mucho más superior al momento nominal de la viga normal, (sin incremento de carga), ya que no estaría dentro del estado límite de servicio y nuestra estructura fallaría, por lo cual se procederá a reforzarse con Polímero Reforzado con Fibra de Carbono.

### CACULANDO LA CANTIDAD DE REFUERZO A FLEXION QUE SE NECESITARA:

Teniendo el momento ultimo de las cargas incrementadas, calculamos la cantidad de área de flexión que se necesitara:

$$M^o_y = 57.14 Tn - m = 57141.97 Tn - m$$

### DISEÑO FINAL DE LA VIGA:

$$M_u = \phi \left[ \rho b f_y d^2 \left( 1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right) \right]$$

Calculando la cuantía:

$$\phi = 0.90$$

$$M_u = 43,426.73 - m$$

$\rho =$  incognita la que debemos ayar

$$b = 0.30$$

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

$$d = h - r - \phi \frac{3}{8} - \phi \frac{5}{2} = 85 - 4 - 0.952 - \frac{1.588}{2} = 79.25 \text{ cm}$$

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

CALCULANDO SE OBTIENE LA CUANTIA:

$$\rho = 0.008973$$

**CALCULAMOS LA CUANTIA MAXIMA:**

Calculando la cuantía básica:

$$\rho_b = 0.000119 * f'_c * \beta_1$$

$$\rho_b = 0.000119 * 210 * 0.85 = 0.02124$$

$$0.75\rho_b = 0.75 * 0.02124 = 0.01593$$

$$0.75 \rho_b > \rho \text{ ---- } 0.01593 > 0.008973$$

Cuantía mínima:

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} = 0.00333$$

Significa que está dentro del rango permitido por el código.

**CALCULAMOS AREA DE ACERO:**

$$A_s = \rho * b * d = 0.008973 * 30 * 79.25 = 21.33 \text{ cm}^2$$

Ya que con respecto a la viga diseñada, necesitamos reforzar por que al momento de aumentar cargas la viga sufriría agrietamiento y deflexiones significativas, por lo tal necesitamos reforzar Área de Fibra de Carbono.

*Tabla N° 10: Resumen de cargas momentos, con cargas incrementadas.*

<b>VIGA CARGAS INCREMENTADAS</b>	<b>Mu</b>	<b>As</b>
Viga bajo cargas incrementadas	57.14 Tn - m	21.33 cm <sup>2</sup>

*Tabla N° 11: Resumen de cargas momentos, entre dos vigas.*

<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>Mu</b>	<b>As</b>
Viga actual	44.04 Tn - m	16.87 cm <sup>2</sup>
Viga bajo cargas incrementadas	57.14 Tn -m	21.33 cm <sup>2</sup>

**DESPLAZAMIENTOS LATERALES.**

**Desplazamientos laterales Permisibles.**

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado con el análisis estructural realizado con el



SAP V 14.01, esta no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la tabla N° 12.

Tabla N° 12: Límites para desplazamiento Lateral de Entrepiso.

Tabla N° 12	
Límites para desplazamiento Lateral de Entrepiso	
Material Predominante	( $i/e_i$ )
Concreto Armado Acero	0.007
Albañilería	0.010
Madera	0.005
	0.010

Fuente: E030, Diseño Sismoresistente del RNE

Figura N° 32: Pórtico en desplazamiento x-x, 1° nivel

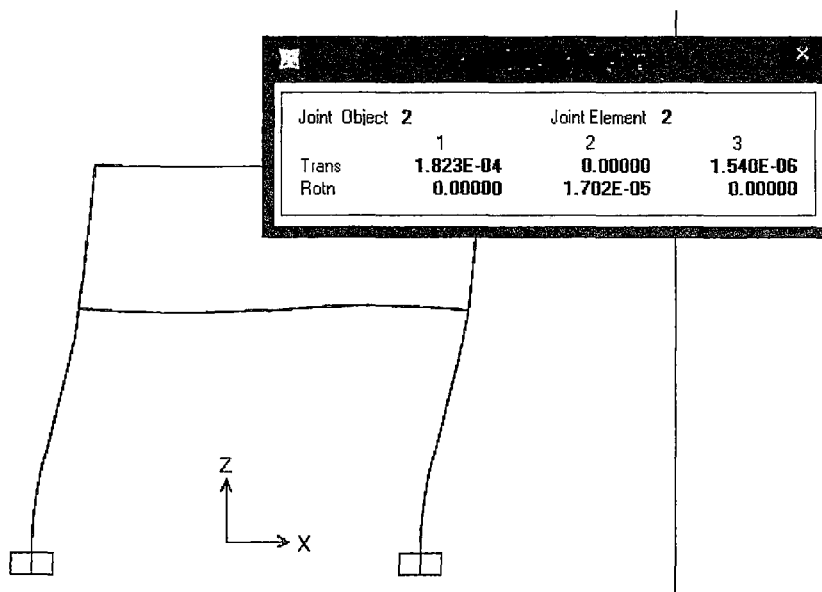


Figura N° 33: Pórtico en desplazamiento x-x, 2° nivel

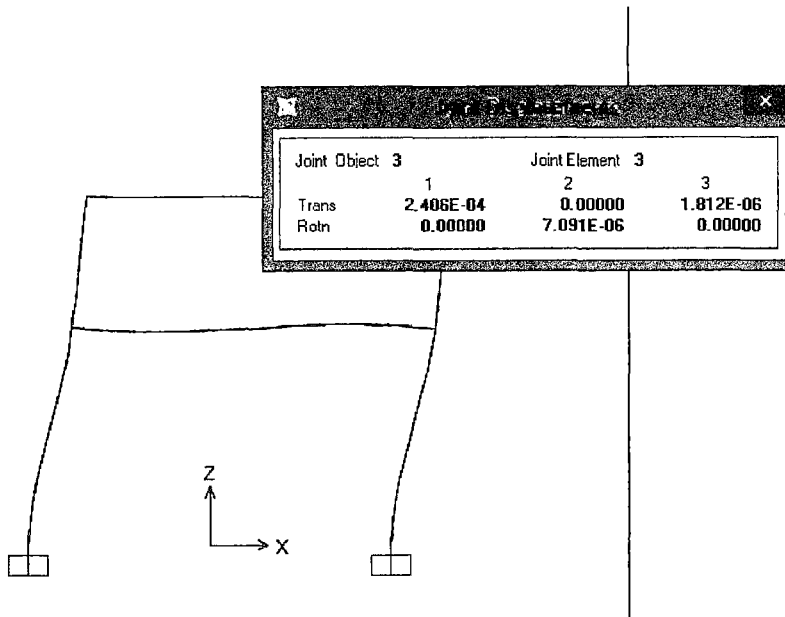


Tabla N° 13: Resumen de desplazamiento lateral de la edificación.

**RESUMEN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE LA EDIFICACION**

**DIRECCION X**

N°	PISO SUP.	PISO INF.	DIFER.	R	3/4x R	H piso	Δ piso	Despl.o	espl.Ma	Observ.
2	0.0002406	0.0001823	0.001702	8	6	4.16	0.00041	<b>0.0025</b>	0.007	O.K!!!!!!
1	0.0001823	0	0.003594	8	6	4.2	0.00086	<b>0.0051</b>	0.007	O.K!!!!!!

- \* Despla.obt. : Desplazamiento obtenido según análisis
- \* Despl.Max.Nor. : Desplazamiento Máximo permisible según

Nota: Los desplazamientos obtenidos son menores a los máximos permitidos, por lo que el análisis sísmico es correcto.

#### 4.1.8. ANALISIS DE REFUERZO DE VIGA DE CONCRETO REFORZADO UTILIZANDO FIBRA DE CARBONO.

Tabla N° 14: Propiedades de la viga.

PROPIEDADES DE LA VIGA	
L	9.00 m
b	300 mm
d	792.50 mm
h	850.00 mm
$f'_c$	21 N/mm <sup>2</sup>
$f'_y$	412 N/mm <sup>2</sup>
Barras Acero	4 Ø ¾" y 2 Ø ½"
$\emptyset M_n$ sin CFRP	454.26 KN-m

Fuente: Propia.

El refuerzo de fibra de carbono que se utilizara es fabricado por Sika y se propone utilizar 3 tiras de 100 mm de ancho colocadas a lo ancho de la cara inferior de la viga. Sus propiedades son obtenidas de la hoja técnica del producto Sika Carbodur, resumido en la tabla VII.

Tabla N° 15: Propiedades de la Fibra de Carbono

Sika Carbodur S 1012	
Espesor por tira $t_f$	1.20 mm
Resistencia ultima a tensión $f_{fu}^*$	3100.00 N/mm <sup>2</sup>
Deformación de falla, $\xi_{fu}^*$	1.70 %
Módulo de elasticidad del FRP $E_f$	165 000 N/mm <sup>2</sup>

Fuente: Especificaciones Técnicas, SIKACARBODUR.

Tabla N° 16: Las cargas y momentos de la viga de la estructura se resumen en la tabla.

Cargas y Momentos		
Carga/Momento	Carga Actual	Carga esperada
Carga muerta $W_{DL}$	34.07 N/mm	35.76 N/mm
Carga viva $W_{LL}$	19.57 N/mm	32.62 N/mm
Cargas sin factorar $W_{DL} + W_{LL}$	53.64 N/mm	68.38 N/mm
Carga limite sin reforzar: $1.1 W_{DL} + 0.75 W_{LL}$	N/A/mm	63.80 N/mm
Carga factorada: $1.40 W_{DL} + 1.70 W_{LL}$	80.96 N/mm	105.51 N/mm
Momento carga muerta $M_{DL}$ :	189.33 kN-m	198.41 kN-m
Momento carga viva $M_{LL}$ :	98.23 kN-m	166.55 kN-m
Momento en servicio de carga $M_S = (M_{DL} + M_{LL})$ :	287.56 kN-m	364.76 kN-m
Momento Limite sin refuerzo: $1.1 M_{DL} + 0.75 M_{LL}$	N/A/mm	343.01 kN-m
Momento Factorado: $M_u = 1.40 W_{DL} + 1.70 W_{LL}$	432.05 kN - m	560.56 kN - m

Fuente: ACI 440.2R-08, Diseño con Fibras.

### CALCULO DE REFUERZO CON FIBRA DE CARBONO

Antes de iniciar el cálculo del refuerzo de la fibra de carbono se debe verificar que la estructura cumpla con el criterio de esfuerzo limite, según de da la siguiente ecuación.

La guía ACI 440 exige las comprobaciones iniciales de resistencia y resistencia al fuego del elemento estructural que va a ser reforzado y que debe satisfacer antes de la aplicación del refuerzo.

$$(\phi M_n)_{w/o} \geq (1.1M_{DL} + 0.75M_{LL})_{NUEVAS}$$

Donde:

$\phi$  = Factor de reducción de resistencia según ACI 318-08.

$(M_n)_{w/o}$  = Resistencia nominal a flexión sin refuerzo CFRP.

$M_{DL}$  = Momento por carga muerta.

$M_{LL}$  = Momento por carga viva.

La ecuación estipula que el momento existente sin refuerzo CFRP  $(M_n)_{w/o} = 454.26 \text{ KN} - \text{m}$ , debe ser mayor que el momento limite sin refuerzo con la carga anticipada  $1.1 M_{DL} + 0.75 M_{LL} = 343.01 \text{ kN} - \text{m}$ , el procedimiento de cálculo se desarrolla a continuación:

**Paso 1: Cálculo de las propiedades del sistema CFRP.**

Al ser una viga de una edificación su condición de exposición es interior, por lo tanto según la tabla I el factor de reducción a utilizar es de **0.95**.

Resistencia ultima de diseño a tensión:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* = f_{fu} = (0.95) * \left( 3100 \frac{N}{mm^2} \right) = 2945.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi_{fu} = C_E \xi_{fu}^* = \xi_{fu} = (0.95) * \left( 0.0170 \frac{N}{mm^2} \right) = 0.01615 \text{ mm/mm}$$

**Paso 2: Cálculos preliminares.**

Propiedades del hormigón.

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = E_c = 4700\sqrt{21} = 21,538.106 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

$E_c = \text{modulo de elasticidad del concreto.}$

$f'_c = \text{resistencia a compresion del concreto.}$

Valor de:

$\beta_1 = 0.85$  (Para concretos de 210 Kg/cm<sup>2</sup>)

**Propiedades del Acero:**

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

$$A_s = 14.55 \text{ cm}^2 = 1455 \text{ mm}^2$$

**Propiedades del Refuerzo CFRP.**

$$A_f = n f_t W_f$$

$$A_f = (1 \text{ capa}) \left( 1.20 \frac{\text{mm}}{\text{capa}} \right) (300 \text{ mm}) = 360.00 \text{ mm}^2$$

Se obtiene que el área de refuerzo CFRP es  $A_s = 360.00 \text{ mm}^2$

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

$$\rho_s = \frac{360}{300\text{mm} \times 7952\text{mm}} = 0.0001509$$

**Paso 3: Determinar la deformación existente en la cara inferior.**

La deformación existente es calculada asumiendo que la viga está completamente agrietada, la viga es considerada, sin acero en compresión:

$$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n$$

$n$  = relación modular de los materiales, con valor de 9.

$\rho$  = Cuantía de acero en tracion. = 0.007016

$$B = \frac{b}{(nA_s)}$$

$$kd = (\sqrt{2dB + 1} - 1)/B$$

$$k = 0.30$$

La ecuación permite calcular la posición del eje neutro mediante la expresión  $c = kd$ , es aplicable únicamente a vigas rectangulares sin acero en compresión.

Para calcular la deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP, se calcula el momento de inercia de la sección fisurada.

$$I_{cr} = b \frac{(kd)^3}{3} + nA_s(d - kd)^2$$

Donde:

$I_{cr}$  = Momento de inercia de la seccion fisurada.

$b$  = Ancho de la alma de la viga.

$k$  = Proporción de la profundidad del eje neutro al refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión.

$n$  = Relación modular de los materiales, con valor de 9.

$A_s$  = Área de acero de refuerzo.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al centroide del refuerzo.

$$I_{cr} = 300 * \frac{(0.30 * 792.5)^3}{3} + 9 * 1563(792.50 - 0.3 * 792.50)^2$$

$$I_{cr} = 4905291463.88 \text{ mm}^2$$

Deformación en el Concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

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

$\varepsilon_{bi}$  = Deformacion en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$M_{DL}$  = Momento por carga muerta.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexion.

$k$  = Proporción de la profundidad del eje neutro al refuerzo medido desde la fibraextrema a compresion.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresion al centroide del refuerzo.

$I_{cr}$  = Momento de inercia de la seccion fisurada.

$E_c$  = Modulo de elasticidad del concreto.

$$\varepsilon_{bi} = \frac{159.28 * 1000(800 - 0.30 * 792.50)}{4905291463.88 * 21538.106}$$

$$\varepsilon_{bi} = 0.000870$$

**Paso 4: Determinar la deformación de diseño del sistema CFRP.**

La deformación de diseño del CFRP,  $\xi_{fd}$ , se calcula para que falle por perdida de adherencia con el concreto mediante la ecuación.



$$\xi_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'c}{nE_f t_f}} \leq 0.9\xi_{fu}, \text{ unidades SI}$$

Donde:

$\xi_{fd}$  = Deformación unitaria por pérdida de adherencia del refuerzo CFRP.

$f'c$  = Resistencia a compresión del concreto.

$n$  = Numero de capas del refuerzo CFRP.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$t_f$  = Espesor nominal de una capa de refuerzo CFRP.

$\xi_{fu}$  = Deformación de ruptura de diseño del refuerzo CFRP.

$$\xi_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{28N/mm^2}{(1 \text{ capa})\left(\frac{165000N}{mm^2}\right)(1.20mm)}} \leq 0.9(0.01615)$$

$$\xi_{fd} = 0.00422 \leq 0.01454$$

Debido a que la ecuación si se cumple por ser la deformación de diseño menor que la deformación de ruptura, el tipo de falla que gobierna el sistema CFRP es por pérdida de adherencia.

**Paso 5: Estimación de c, la profundidad del eje neutro.**

Un valor razonable de c para iniciar es 0.20d. El valor de c es ajustado después comparar equilibrio entre valor de c asumido y c calculado. Este valor sugerido es c = 148.50 milímetros, valor donde se alcanza el equilibrio.

$$c = 0.20 * 742.50 = 148.50$$

**Paso 6: Determinar el nivel de deformación efectiva del refuerzo CFRP.**

La deformación efectiva se encuentra con la ecuación.

$$\xi_{fe} = 0.003 \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \xi_{bi} \leq k_m \xi_{fu}$$

$\xi_{fe}$  = Deformacion efectiva del refuerzo CFRP alcanzada en la falla.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexion.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresion al eje neutro.

$\xi_{bi}$  = Deformacion en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$\xi_{fa}$  = Deformacion unitaria por perdida de adherencia del refuerzo CFRP.

Calculando  $k_m$ :

$$nE_f t_f = 1 * 165000 * 1.20 = 198,000 > 180,000$$

Se utiliza esta fórmula:

$$k_m = \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{90,000}{nE_f t_f} \right) = \frac{1}{60(0.01615)} \left( \frac{90,000}{198,000} \right) = 0.47$$

Calculando:

$$\xi_{fe} = 0.003 \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \xi_{bi} \leq k_m \xi_{fu}$$

$$\xi_{fe} = 0.003 \left( \frac{800 - 148.50}{148.50} \right) - 0.000870 \leq (0.47)(0.01615)$$

$$\xi_{fe} = 0.01229 > 0.0076$$

La condición no se cumple, por lo tanto  $\xi_{fe} = \xi_{fd} = 0.0076$

Debe notarse que para la profundidad del eje neutro seleccionada, la falla por adherencia debe ser el modo de falla gobernante porque la segunda expresión de la ecuación gobierna. Si la primera expresión de la ecuación gobierna la falla por aplastamiento del concreto es la que gobierna. Debido a que el CFRP controla el modo de falla de la sección, la deformación unitaria del concreto a la falla  $\xi_c$  debe ser menor que 0.003 y se calcula con la ecuación:

$$\xi_c = (\xi_{fe} + \xi_{bi}) \left( \frac{c}{d_f - c} \right)$$

Donde:

$\xi_c$  = Deformación del concreto.

$\xi_{fe}$  = Deformación efectiva del refuerzo CFRP alcanzada en la falla.

$\xi_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

$d_f$  = Altura efectiva del refuerzo CFRP a flexión.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

$$\xi_c = (0.0076 + 0.000870) \left( \frac{148.50}{800 - 148.50} \right)$$

$$\xi_c = 0.001931$$

#### **Paso 7: Calculo de la deformación en el acero de refuerzo existente.**

Esta deformación se calcula según la siguiente formula:

$$\xi_c = (\varepsilon_f + \varepsilon_{bi}) \left( \frac{d - c}{d_f - c} \right)$$

$$\xi_c = (0.0076 + 0.000870) \left( \frac{792.50 \text{ mm} - 148.50 \text{ mm}}{800 \text{ mm} - 148.50 \text{ mm}} \right)$$

$$\xi_c = 0.007053$$

### Paso 8: Cálculo del esfuerzo en el acero de refuerzo y en el CFRP.

El esfuerzo en el acero de refuerzo se calcula utilizando.

$$f_s = E_s \xi_s \leq f_y$$

Donde:

$f_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo.

$E_s$  = Módulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo.

$\xi_s$  = Deformación del acero de refuerzo.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

$$f_s = \left( 200 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2} \right) (0.007053) \leq 0.412 \text{ KN/mm}^2$$

$$f_s = 1.4106 \text{ KN/mm}^2 \leq 0.412 \text{ KN/mm}^2$$

Debido a que:

$$f_s > f_y, \text{ entonces } f_s = 0.412 \text{ KN/mm}^2$$

El esfuerzo en el CFRP se calcula utilizando la ecuación:

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

Donde:

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo del refuerzo CFRP en la sección de falla.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

$\varepsilon_{fe}$  = Deformación efectiva del refuerzo CFRP.

$$f_{fe} = (165)(0.0076) = 1.252515 \text{ kN/mm}^2$$

### **Paso 9: Cálculo de fuerzas internas resultantes y revisión de equilibrio.**

El equilibrio de esfuerzos se hace comparando el valor inicial de  $c$  con:

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe}}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b}$$

Donde:

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

$A_s$  = Área de acero de refuerzo.

$f_s$  = Esfuerzo del acero de refuerzo.

$A_f$  = Área de refuerzo CFRP.

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo del refuerzo CFRP en la sección de falla.

$\alpha_1$  = Factor del  $f'_c$  para calcular intensidad del rectángulo equivalente de factor de esfuerzos de concreto.

$f'_c$  = Resistencia a compresión del concreto.

$\beta_1$  = Proporción entre la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos y la profundidad del eje neutro.

$b$  = Ancho de la cara a compresión del elemento.

$$c = \frac{(1563)(412) + (360)(1.2525)}{(0.85)(21)(0.85)(300)}$$

$$c = 141.57 \text{ mm} \neq 148 \text{ mm}$$

Ya que no son iguales, se reformula hasta obtener equilibrio.

**Paso 10: Ajuste de c hasta obtener equilibrio.**

Por lo tanto la c se tantea con otro valor y disminuimos:

$$c = 0.19 * 742.50 = 141.075$$

Calculamos:

$$\xi_{fe} = 0.003 \left( \frac{800 - 141.075}{141.075} \right) - 0.000870 \leq (0.0076)$$

$$\xi_{fe} = 0.013142 > 0.0076$$

Se utiliza:  $\xi_{fe} = 0.0076$

Ya que se realizó el cálculo:

$$c = \frac{(1563)(412) + (360)(1.2525)}{(0.85)(21)(0.85)(300)}$$

$$c = 141.57 \text{ mm} = 141.60$$

Se ajusta c hasta encontrar el equilibrio y se encontró.

**Paso 11: Calculo del esfuerzo a flexión de los componentes.**

El esfuerzo a flexión de diseño se calcula utilizando la ecuación:

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

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

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal a flexión.

$A_s$  = Área de acero de refuerzo.

$f_s$  = Esfuerzo del área de acero.

$d$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al centroide del refuerzo a tensión.

$c$  = Distancia desde la fibra extrema a compresión al eje neutro.

$\beta_1$  = Proporción entre la profundidad del bloque rectangular equivalente.

$\phi_f$  = Factor de reducción de resistencia del refuerzo CFRP para flexión.

$A_f$  = Área del refuerzo CFRP.

$f_{fe}$  = Esfuerzo efectivo del refuerzo CFRP para flexión.

Un factor adicional de reducción  $\phi_f = 0.85$ , es aplicado a la contribución del sistema CFRP.

Contribución del acero:

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

$$M_{ns} = (1563) \left( \frac{0.412 \text{ kN}}{\text{mm}^2} \right) \left( 742.50 - \frac{0.85 * 141.60}{2} \right)$$

$$M_{ns} = 439384.06 \text{ kN} - \text{mm} = 439.39 \text{ kN} - \text{m}$$

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

$$M_{nf} = (360)(1.252515)\left(742.50 - \frac{(0.85)(141.60)}{2}\right)$$

$$M_{nf} = 307661.77 \text{ kN} - \text{mm} = 307.66 \text{ kN} - \text{m}$$

**Paso 12: Calculo de la resistencia de diseño a flexión de la sección.**

$\phi = \{0.90, \text{cuando } \epsilon_s > 0.005\}$  ya que  $\epsilon_s = 0.007053 > 0.005$

Por lo tanto:  $\phi = 0.90$

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

Donde:

$\phi$  =Factor de reducción de resistencia según ACI 318-08.

$M_n$  =Resistencia nominal a flexión.

$M_{ns}$  = Resistencia nominal a flexión del acero.

$M_{nf}$  =Resistencia nominal a flexión del refuerzo CFRP.

$\phi_f$  = Factor de reducción de resistencia del refuerzo CFRP para flexión.  $\phi_f = 0.90$

$$\phi M_n = 0.90[349.38 \text{ kN} - \text{m} + 0.90 * 307.66 \text{ kN} - \text{m}]$$

$$\phi M_n = 563.65 \text{ kN} - \text{m}$$

$$\phi M_n = 563.65 - \text{m} \geq 560.56 - \text{m}$$

Se obtiene el resultado satisfactorio de que la sección reforzada es capaz de sostener la nueva carga requerida.

**Paso 13: Evaluación de los esfuerzos de servicio en el acero de refuerzo en el CFRP.**



El cálculo de la profundidad del eje neutro de la fisurada puede ser simplificado para una viga rectangular sin refuerzo a compresión según la ecuación:

$$k = \sqrt{\left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c}\right)^2 + 2 \left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c} \left(\frac{d_f}{d}\right)\right)} - \left(\rho_s \frac{E_s}{E_c} + \rho_f \frac{E_f}{E_c}\right)$$

Donde:

$k$  = Proporción de la profundidad del eje neutro al refuerzo medido desde la fibra extrema a compresión.

$\rho_s$  = Cuantía de acero de refuerzo.

$E_s$  = Modulo de elasticidad a tensión del acero de refuerzo.

$E_c$  = Modulo de elasticidad del concreto.

$\rho_f$  = Cuantía del refuerzo CFRP.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

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

$$\rho_s = \frac{1563 \text{ mm}^2}{300\text{mm} * 7925\text{mm}} = 0.0001509$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd_f}$$

$$\rho_f = \frac{360}{300 * 800} = 0.0015$$

Sustituyendo datos en la ecuación:

$$k = 0.32$$

$$kd = 0.32 * 742.50 = 237.60 \text{ mm}$$

El esfuerzo en el acero de refuerzo se calcula y verifica que sea menor que el límite recomendado con la ecuación:

$$f_{s,s} = \frac{\left[ M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left( d_f - \frac{kd}{3} \right) \right] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left( d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left( d_f - \frac{kd}{3} \right) (h - kd)} \leq 0.80 F_y$$

Donde:

$f_{s,s}$  = Esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio.

$M_s$  = Momento de servicio de la sección.

$\varepsilon_{bi}$  = Deformación en el concreto al momento de colocar el refuerzo CFRP.

Sustituyendo datos en la ecuación:

$$M_s = 309.39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\varepsilon_{bi} = 0.000870$$

$$A_f = 360 \text{ mm}^2$$

$$E_f = 165000 \text{ N/mm}^2$$

$$d_f = 800 \text{ mm}$$

$$d = 742.50 \text{ mm}$$

$$E_s = 196000 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 0.32$$

$$A_s = 1563 \text{ mm}^2$$

$$f_{s,s} = 0.2479 \leq 0.33$$

$$f_{s,s} = 247.90 \text{ N/mm}^2$$

El nivel de esfuerzo en el acero de refuerzo si cumple con el límite recomendado.

**Paso 14: Verificación del límite de flujo plástico (creep) del CFRP bajo cargas de servicio.**

El esfuerzo en el CFRP debe ser menor que el esfuerzo de ruptura del límite plástico dado en la tabla,

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left( \frac{E_f}{E_s} \right) \left( \frac{d_f - kd}{d - kd} \right) - \varepsilon_{bi} E_f \leq 0.55 f_{fu}$$

$f_{f,s}$  = Esfuerzo en el refuerzo CFRP dentro del rango elástico.

$f_{s,s}$  = Esfuerzo en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio.

$E_f$  = Módulo de elasticidad a tensión del refuerzo CFRP.

Sustituyendo datos en la ecuación:

$$f_{f,s} = 247.90 \text{ N/mm}^2$$

$$E_f = 165000 \text{ N/mm}^2$$

$$d_f = 800 \text{ mm}$$

$$d = 742.50 \text{ mm}$$

$$E_s = 196000 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 0.32$$

$$\xi_{bi} = 0.000870$$

$$f_{f,u} = 2945.00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{f,s} = 88.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 1449.25 \text{ N/mm}^2$$

El nivel de tensión en el armado está dentro del límite recomendado.

El nivel de tensión en el refuerzo CFRP es estado de servicio no se ha verificado dado que su cálculo y limitaciones se realizan en base a elementos sometidos a cargas cíclicas. No es nuestro caso puesto que las cargas son de tipo monótonas, como corresponde al uso de edificación.

#### **Detalle del refuerzo CFRP:**

La capacidad de adherencia del CFRP es desarrollada sobre una longitud de desarrollo  $l_{df}$ , pues para desarrollar el esfuerzo efectivo del CFRP en la sección el anclaje disponible debe ser mayor que  $l_{df}$ , según la ecuación:

$$l_{df} = \sqrt{\frac{nEftf}{\sqrt{f'c}}}$$

$$l_{df} = \sqrt{\frac{1 * 165000 * 1.2}{\sqrt{21}}}$$

$$l_{df} = 200 \text{ mm} = 200 \text{ mm.}$$

Calculamos el momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$f_r = 0.62\sqrt{f'c} = 0.62\sqrt{21} = 2.84$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{(300)(850)^3}{12} = 15353125000 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{850}{2} = 425$$

$$M_{cr} = 102638239.10 \text{ N} - \text{mm} = 10462.61 \text{ kg} - \text{m}$$

La longitud del refuerzo CFRP está determinado por el momento de fisura miento  $M_{cr}$  ya que para vigas simplemente apoyadas el extremo de una capa de refuerzo CFRP debe terminar por lo menos una distancia igual a  $l_{df}$ , pasado del punto donde se encuentra el  $M_{cr}$ .

Ubicando la distancia del  $M_{cr}$ , a cada lado de la viga se obtiene la ubicación donde debe terminar el refuerzo CFRP a 2.00 m a cada lado respectivamente, pero por factor de seguridad se colocara a cada 1.00 m.

## PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE LAS FIBRAS DE CARBONO

### Preparación de la superficie:

Las superficies a tratar se presentarán de tal manera que en el momento de ejecutar los trabajos de refuerzo, estén en perfectas condiciones, para lo cual se eliminarán las lechadas superficiales, manchas, suciedad, partes mal adheridas, restos de otros oficios, armaduras expuestas o con síntomas de corrosión.etc., y la superficie seca.

Las superficies de hormigón se prepararán mediante medios mecánicos, como son chorro de arena, chorro de agua a alta presión, chorro mixto, o mediante repicado, cincelado, escarificado, abujardado.

-Chorro de arena

Es la más indicada para este tipo de trabajos. Consiste en proyectar sobre el soporte un chorro de arena de sílice mediante un compresor de caudal variable en función de la distancia al soporte, con una presión de 7 atm aproximadamente. La granulometría de la arena estará

comprendida entre 1 y 2 mm y el operario que realice el trabajo actuará provisto de una escafandra protectora ventilada con aire fresco.

-Agua a alta presión

Consiste en proyectar sobre el soporte agua con una presión mínima de 150 atm, mediante un equipo especial, a través de una lanzadera provista de una boquilla adecuada y con una presión en bomba controlada con un manómetro.

-Chorro de agua-arena

Sistema combinación de los otros mencionados, en el que se utiliza básicamente el equipo de chorro de agua a alta presión y una lanza de proyección con un dispositivo que permite incorporar la arena de sílice en la boquilla (Efecto Venturi).

Todas las superficies se deben repasar con el compresor de aire limpio y aspirar para eliminar todo el resto de polvo. Las fisuras existentes en el hormigón con ancho 0'25 mm se inyectarán previamente con una resina de baja viscosidad, base epoxi.

En el caso en que se requiera o se especifique protección anticorrosión, aplicaremos los productos existentes y normalizados de protección contra la corrosión sobre la superficie del hormigón; posteriormente será necesaria la utilización de imprimación para el adhesivo epoxi.

Después de la preparación de la imprimación, se debe limpiar la superficie y aspirarla hasta obtener una superficie libre de polvo. Todas las superficies se deben repasar con el compresor de aire limpio y aspirar para eliminar todo el resto de polvo.

Según las recomendaciones, la superficie que se va a reforzar tiene que estar nivelada con resaltes y oquedades menores de 0,5 mm. Se debe comprobar la planeidad y nivelación de la superficie con una regla. Para regla de 2 m, la tolerancia máxima es de 4 mm y para regla de 0,3 m de longitud 2 mm, pero nunca mayores de 0,5 mm para marcas de encofrado o pequeños escalones. Las tolerancias serán más restrictivas si la normativa local lo exige.

Para la reparación o eliminación de las irregularidades se procederá a la aplicación de morteros de reparación, seleccionando el tipo de mortero a aplicar en función del espesor de las irregularidades, según sea superior o inferior a 5 mm.

#### **Resina epoxi. Mezclado:**

La resina epoxi es un producto bicomponente. Para su aplicación, mezclar los dos componentes A y B durante al menos 3 minutos con una batidora eléctrica de bajas revoluciones (máx. 600 r.p.m.) hasta que el material tenga una consistencia y color gris homogéneo. Verter la mezcla en un recipiente y batir nuevamente durante 1 minuto aproximadamente. Es importante respetar los tiempos de mezclado para el correcto endurecimiento de la resina.

Proporción de la mezcla A: B = 3:1 en peso o volumen.

Generalmente el soporte suele estar fino, la limpieza con chorro abrasivo lo deja ligeramente rugoso. Esto influirá en el consumo de la resina.

#### **Aplicación del refuerzo de CFRP:**

Debido a su baja densidad, no se requieren medios auxiliares de apuntalamiento, de manera que no se interfiere en el desarrollo del resto de trabajos de la obra.

Para la puesta en servicio hay que tener en cuenta que el adhesivo va adquiriendo sus resistencias desde el momento en que es colocado hasta conseguir el endurecimiento total a los 7 días. Por lo tanto es necesario esperar 7 días hasta sobrecargar el elemento estructural a su carga máxima, pudiendo cargarse previamente con sobrecargas inferiores que no hagan superar el límite de resistencia del adhesivo en cada momento.

#### **Aplicación de la Resina-Adhesivo:**

Antes de empezar la aplicación de la resina sobre el soporte previamente preparado, se deben preparar los laminados, que ya estarán cortados en las longitudes adecuadas. Esta preparación de los laminados consiste en su limpieza, se coloca el laminado sobre una mesa limpia, se

limpia la superficie no serigrafiada con líquido limpiador a base de disolventes orgánicos usando un paño limpio. En el caso de que se tenga que colocar capas adicionales de laminados, se limpiarán ambas caras.

Una vez limpio el laminado, se colocará una capa de adhesivo cuidadosamente sobre el soporte con una espátula formando una capa fina (aproximadamente 1 mm.)

A continuación, o a la vez, se aplica el adhesivo sobre el laminado con una espátula especial de forma curvada o con ayuda de una herramienta la cual se puede construir fácilmente con una tabla de madera, dos listones y una chapa metálica. Se pegan los dos listones a la tabla con la separación correspondiente al laminado, a mitad de los listones se clava la chapa metálica dejando una altura libre desde la tabla de madera de 22 mm aprox., de manera que el espesor de adhesivo aplicado sea de 1 mm.

Con esta herramienta garantizamos que la aplicación del adhesivo sobre el laminado será continua y uniforme.

#### **Colocación del laminado de fibra de carbono:**

Dentro del tiempo abierto del adhesivo, colocar el laminado de refuerzo con adhesivo epoxi sobre la superficie del soporte donde se haya aplicado previamente la resina. Usando un rodillo de goma presionar el laminado hasta que el adhesivo sea forzado a salir por ambas caras del mismo. Retirar el adhesivo sobrante.

Evitar aplicar una fuerza excesiva al pasar el rodillo de goma sobre el laminado para evitar la salida excesiva de adhesivo por ambas caras del laminado, de forma que quede menor espesor de adhesivo del adecuado.

No realizar solapes de laminados (uniones longitudinales), ya que esa zona concreta se producen picos de tensión los cuales pueden llevar al colapso de la unión adherida, produciéndose el despegue del laminado. Es decir, el refuerzo mediante laminados de CFRP



debe ser continuo. Los materiales se comercializan en rollos de forma que la longitud del laminado se puede adaptar a nuestras necesidades, evitando cortes y solapes entre unidades.

#### **Disposiciones generales de colocación de los laminados:**

El refuerzo a flexión mediante laminados adheridos por la cara externa del elemento a reforzar implica la posibilidad de colocación del mismo en la cara inferior del elemento, momentos negativos, o en la cara superior, momentos positivos (menos frecuente).

El cálculo nos indica el número de laminados a colocar y sus longitudes totales, donde también se incluye la longitud de anclaje que prevea el cálculo.

Respecto a la separación entre laminados, se debe tener en cuenta una separación mínima igual al recubrimiento de las armaduras del hormigón según la exposición del ambiente, esta separación mínima se debe de cumplir al igual para los bordes del hormigón, y además una separación máxima entre laminados que cumpla los dos requisitos siguientes:

La orientación del laminado de FRP debe ser en la dirección principal del esfuerzo. Pequeñas desviaciones en la orientación del laminado de FRP, tan solo de 5 grados, puede ocasionar reducciones sustanciales del refuerzo.

#### **Recubrimiento de los laminados:**

El laminado se puede recubrir con pinturas contra la carbonatación y la acción de rayos UV. También se puede recubrir con morteros, escayolas, etc. siempre que se desee tapar por cuestiones estéticas o por protección contra los rayos UV.

Si se deseara proteger el refuerzo contra el fuego cuando venga especificada dicha necesidad, se recomienda la utilización de placas ignífugas. También se pueden utilizar pinturas ignífugas, previa comprobación de la adherencia y compatibilidad con el laminado mediante ensayos previos. Para una mayor protección mecánica/química se puede aplicar puente unión y mortero tixotrópico o enyesar y luego pintar.

Se debe proteger el sistema de refuerzo mediante laminados, tanto durante la instalación como una vez finalizada para el curado correcto del adhesivo, de las temperaturas adversas, del contacto directo con la lluvia, polvo o suciedad, de la acción directa del sol, y de la alta humedad. Esta protección se puede realizar con plásticos.

## 4.2 DISCUSION:

### 4.2.1 PRUEBA DE HIPOTESIS:

Por fines de estudio se supuso 5 muestras de cada grupo, trabajadas del dato que se utiliza como una mediana de ambos grupos, el cual se obtuvo del Laboratorio de la UNI.

Tabla N° 17: Resultados de los ensayos, para cada tipo de viga.

DATOS DE ENSAYO CON FIBRAS DE CARBONO	DATOS DE ENSAYO SIN FIBRAS DE CARBONO
2899.5	1899.5
2900.7	1900.7
2899.4	1899.4
2900.5	1900.5
2899.9	1899.9
X = 2900	X = 1900

### 4.2.2 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS:

**HIPOTESIS NULA ( $H_0$ ) Y ALTERNA ( $H_1$ ), SE DEBE PLANTEAR DE MANERA ESTADÍSTICA:**

$$H_1 = \overline{x_{RF}} \neq \overline{x_C}$$

En la hipótesis alterna, el resultado de la mediana del Concreto reforzado con fibras de carbono, proporciona más resistencia al concreto, con respecto al concreto sin reforzamiento, la mediana nos da un valor inferior.

$$H_0 = \overline{x_{RF}} = \overline{x_C}$$

En la hipótesis nula, nos indica que la mediana del Concreto reforzado con fibras de carbono, no proporciona más resistencia al concreto, con respecto al concreto normal sin reforzamiento, la mediana nos da un valor igual al del concreto con reforzamiento.

#### 4.2.3 NIVE DE SIGNIFICANCIA Y NIVEL DE CONFIANZA:

Selección de un nivel de significancia de dos colas con una probabilidad del 95% de rechazar la hipótesis nula  $H_0$ . En la figura siguiente puede apreciarse el nivel de significancia, así como la zona no rechazo de la hipótesis nula.

El nivel de significancia será  $\alpha = 0.005$  para proyectos de investigación.

**Estadísticos:**

Tabla N° 18: Resistencia de carga.

##### 1. Estadísticos

##### RESISTENCIA DE CARGA

N	Válidos	10
	Perdidos	0
Media		2400,0000
Desv. típ.		527,04656
Varianza		277778,080
Mínimo		1899,40
Máximo		2900,70

##### RESISTENCIA DE CARGA

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1899,40	1	10,0	10,0	10,0
1899,50	1	10,0	10,0	20,0
1899,90	1	10,0	10,0	30,0
1900,50	1	10,0	10,0	40,0
1900,70	1	10,0	10,0	50,0
Válidos 2899,40	1	10,0	10,0	60,0
2899,50	1	10,0	10,0	70,0
2899,90	1	10,0	10,0	80,0
2900,50	1	10,0	10,0	90,0
2900,70	1	10,0	10,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

#### 4.2.4 ESTIMACION DEL ESTADISTICO DE PRUEBA:

Para el efecto, a continuación se presenta el modelo estadístico utilizado:

Tabla N° 19: Prueba de la hipótesis.

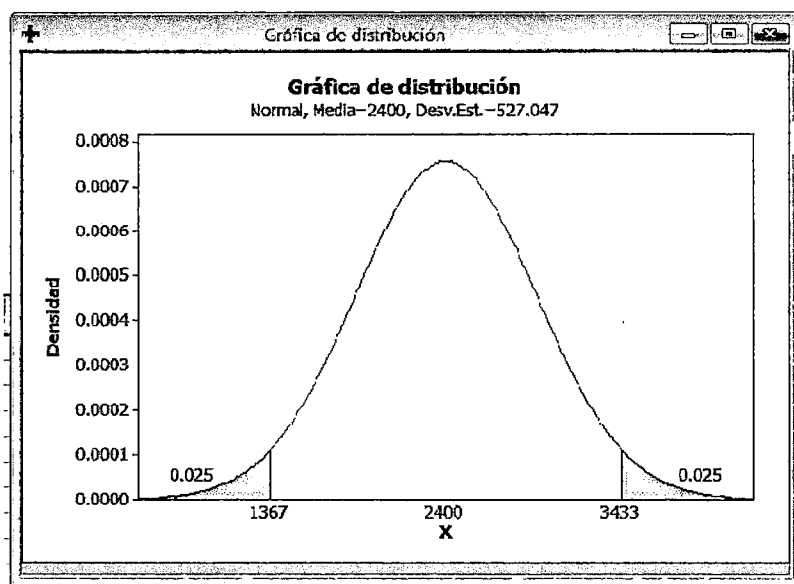
Tabla N° 20: Estadístico de grupo.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas				Prueba T para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl.	0.5 (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	% Intervalo de confianza para la diferencia	
									inferior	superior
RESISTENCIA DE CARGA	Se han asumido varianzas iguales	,000	,000	27*,631	€	,000	1000,00000	,36878	999,4959	1000,85041
	No se han asumido varianzas iguales			27*,631	€	,000	1000,00000	,36878	999,4959	1000,85041

	TIPO DE MATERIAL	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
RESISTENCIA DE CARGA	CON FIBRA	5	2900,0000	,58310	,26077
	SIN FIBRA	5	1900,0000	,58310	,26077

2. Formulación de la regla de la decisión. En este caso particular, la regla es la siguiente: si los valores z calculados a través de la recopilación de la información son mayores de 1.96, ello significara que no se acepta la hipótesis nula, con otras palabras, que el impacto del Proyecto es significativo en cada indicador evaluado.

Figura N° 34: Figura de Distribución de la sigma.



**3. Establecer la regla de la decisión :**

De la estadística, mediante el t de estudent el valor de sig = 0.00

Y siendo sig = 0.00 menor de  $\alpha = 0.005$

**4. Tomar la decisión:**

$$0.00 \leq 0.005$$

Por lo tanto se rechaza Ho

**4.2.5 Conclusión de la prueba de hipótesis:**

Con un 95% de certeza se afirma que la resistencia del concreto Reforzado con Polímeros de Fibras de Carbono es diferente a la resistencia que proporciona el Concreto Normal.

Siendo el Concreto Reforzado con Fibra de Carbono superior en resistencia a incremento de cargas, en la viga.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el ensayo en el laboratorio de la UNI, el ensayo a flexión de una viga sin reforzamiento, y el ensayo de una viga con reforzamiento con fibras de carbono, el cual fue positivo, dándonos como resultado que al incrementar cargas, la fibra de carbono influye en incrementar la resistencia de la viga, incrementando 1000 kg (1 ton) a la viga normal.
2. Según la Norma del ACI 440.2R-08, guía para el diseño y construcción de sistemas FRP externamente adherido para refuerzo de estructuras de concreto publicado por el Instituto Americano de Concreto (ACI) se realizaron los cálculos matemáticos con las características del SIKACARBODUR S 1012 y el epoxico SIKADUR 30, con resultados de longitud de fibra, ancho de fibra, área de fibra.
3. El método de diseño presentado, por el ACI se enfoca principalmente en estructuras en general, no exclusivamente en edificaciones, sin embargo se pudo aplicar el método y los criterios de diseño para una vivienda.
4. El refuerzo CFRP y los materiales para la colocación tiene la desventaja de tener un costo comparado con los métodos tradicionales, siendo compensado por sus ventajas como peso, resistencia a tracción, facilidad de colocación e impacto visual en el elemento reforzado.
5. La colocación del material de fibra de carbono es relativamente fácil, pero requiere de una mano de obra calificada para estos tipos de trabajo. Debe estar siempre bajo la supervisión de un profesional competente y con experiencia.
6. El refuerzo CFRP tiene la ventaja de no modificar o incrementar de manera significativa el tamaño de la sección del elemento reforzado evitando agregar carga muerta innecesaria y afectar de manera visual al elemento.
7. Una desventaja es el cálculo y diseño del refuerzo CFRP, ya que se requieren conocimientos específicos de las propiedades del material CFRP y del comportamiento de la estructura, por lo que solamente una persona debidamente capacitada puede realizar este tipo de diseño.

## RECOMENDACIONES

1. Ya que mediante un experimento en el Laboratorio de la UNI, se disolvieron las dudas, ya que se comprobó realmente que la Fibra de Carbono nos provee una mayor resistencia al incrementar cargas, siendo un buen material en el uso de reforzamiento, se recomienda, realizar experimentos ya que se palpa realmente las reacciones de los materiales, y así realizar las investigaciones.
2. Ya que según las investigaciones que se realizaron, el ACI 440.2R-08, nos proporciona una serie de recomendaciones, y normativas, recomiendo que los estudiantes de esta casa de estudios realicen cálculos para distintos elementos estructurales.
3. Recomiendo a partir de esta tesis desarrollar diseños para otros tipos de elementos estructurales, ya sea para edificaciones, puentes, reservorios, etc.
4. Recomiendo a partir de esta tesis, el análisis de los cotos unitarios de los materiales de reforzamiento, comparando con los reforzamientos anteriores o convencionales.
5. Recomiendo a los de Construcción Civil, capacitarse, en la utilización de estos materiales y procedimiento de colocación de la Polímero Reforzado de Fibra de Carbono.
6. El refuerzo CFRP se debe de colocar de manera adecuada el refuerzo, totalmente recto, sin arrugas o dobleces.
7. Ya que un profesional de Ingeniería Civil lo puede realizar estos cálculos invito a revisar la normativa de la Fibra de Carbono, ACI 440.2R-08, en el cual nos brinda las normativas que debemos basarnos para realizar el cálculo.
8. Para realizar el reforzamiento de los elementos estructurales debemos hacer un estudio, previo para ver qué zonas necesitan este tratamiento, o talvez por corrosión y necesitamos utilizar otros tipos de epoxico para contrarrestar la corrosión, y la cantidad de refuerzo que necesitamos colocar.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Otazzi Pasino Gianfranco (2011). *“Apuntes del curso Concreto Armado I”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
2. Baca Escobar William, & Espinoza Anaya Cristian, & Baca Escobar Erik. (2009). *“Comportamiento de vigas de concreto reforzadas con fibras de carbono en ensayos a escala natural”*. Lima, Perú.
3. ACI 440 2R-08. (2008). *Guide for the Design and Construcción of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Estructures*.
4. Sika (2003). *“Guía para reforzamiento con sistemas de fibra de carbono para estructuras de concreto y madera”*. Bogotá – Colombia.
5. Nanni Antonio, & Tumialan Gustavo (2002). *“Aplicaciones de materiales compuestos en el reforzamiento de infraestructura”*. I Convención Internacional del Capitulo Peruano del ACI – Lima, Perú.
6. Fernández Flores Mercedes (2012). *“Aplicaciones de refuerzos de estructuras en base a fibras de carbono”*. Udelar.
7. Galvín Barrera Pedro (2002). *“Estructuras de Hormigón Reforzadas con Fibras de Carbono”*. Sevilla, España.



# ANEXOS

# PANEL FOTOGRAFICO

u

**EMPRESA SIKA, COMPRANDO LOS MATERIALES: SIKACABODUR S 512, EPOXICO SIKADUR 30  
PARA EL ENSAYO EN EL LABORATORIO**



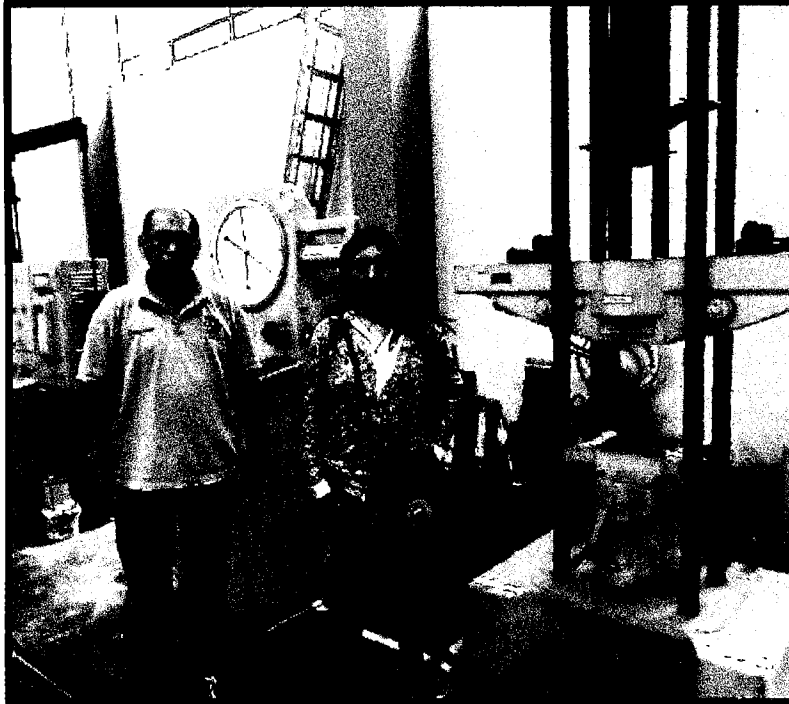
EN EL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA UNI



MUESTRA DE LA VIGA CON REFORZAMIENTO DE FIBRA DE CARBONO Y VIGA SIN REFORZAMIENTO



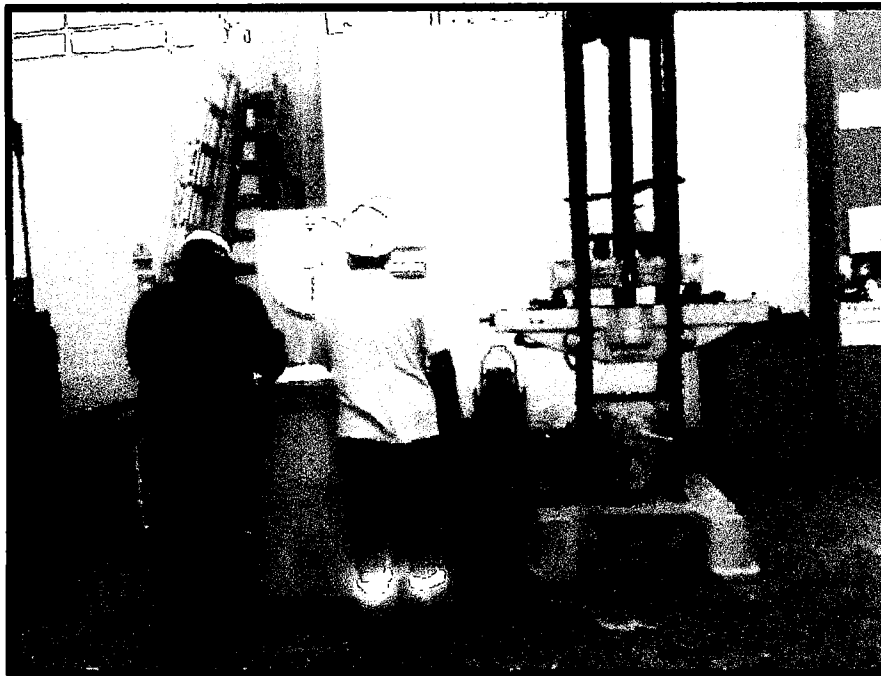
**EQUIPOS DE LABORATORIO SENSOR DE CARGA Y EL ROTURADOR UNIVERSAL**



**COLOCACION DE LA VIGA PARA SU ENSAYO DE ROTURA A FLEXION**



**ENSAYO DE FLEXION DE VIGA BAJO CARGA DEL EQUIPO UNIVERSAL**



**ENSAYO DE LA VIGA CON REFORZAMIENTO CON EL INGENIERO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE LA UNI**



# **ENSAYO DE MATERIALES**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES "ING MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

### INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : KARINA CUTTI HUALLPA  
Obra : TESIS DE INVESTIGACIÓN  
Asunto : Ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto  
Expediente N° : 15-1197  
Recibo N° : 81843  
Fecha de emisión : 03/06/2015

1.0. DE LA MUESTRA : 02 Vigas de concreto elaboradas con la siguiente dosificación:

	Pesos de obra x 1m <sup>3</sup>
Cemento	357 Kg
Agua	226 Kg
Arena	904 Kg
Piedra	818 Kg
Aditivo Plastificante	4.29 Kg

A la muestra M-2 se le adhirió una lámina de fibra de carbono (Sika CarboDur) en toda su longitud, el puente de adherencia utilizado fue un mortero adhesivo de dos componentes (Sikadur 30)

2.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia: ASTM C 78.

3.0. RESULTADOS :

Muestra	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Luz (cm)	Carga (Kg)	Módulo de rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Observaciones
M-1	15.50	15.45	69.0	1900	35.4	S/O
M-2	15.25	15.40	69.0	2900	55.3	Reforzada con fibra de carbono

4.0. OBSERVACIONES : 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Ms. Ing. A. Torre C.  
Técnico : Sr. V.G.R.



Ms. Ing. Ana Torre Carrillo  
Jefe del laboratorio

#### NOTAS:

- 1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
- 2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.



Av. Túpac Amaru N 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
Telefax: (511) 381-3343 Central Telefónica: (511) 481-1070 Anexo: 306  
www.lem.uni.edu.pe / lem@uni.edu.pe





# **ESPECIFICACIONES TECNICAS**

## Sika® CarboDur®

### Sistema de Refuerzo a Base de Polímeros Reforzados con Fibra de CarboDur (CFRP)

#### Descripción General

Es un sistema de refuerzo para concreto armado o estructuras de acero y metal. Este sistema está compuesto por láminas de refuerzo resistentes a la corrosión, reforzadas con fibra de carbono (CFRP) y el adhesivo especial Sikadur 30.

#### Campos de aplicación

El sistema Sika CarboDur se utiliza para refuerzos de estructuras de concreto, madera y metal, en los siguientes casos:

##### Incremento de carga

- Incremento de cargas vivas en almacenes
- Incremento de volumen de tráfico en puentes
- Instalación de maquinaria pesada en edificios industriales
- Estructuras sometidas a vibración
- Cambios de uso en edificaciones

##### Daños a partes estructurales

- Envejecimiento de materiales de construcción
- Corrosión de los refuerzos de acero
- Impacto de vehículos
- Incendios

##### Mejora de la capacidad de servicio

- Disminución de la deformación
- Reducción de la fatiga en los refuerzos de acero
- Reducción del ancho de las fisuras

##### Cambios en sistemas estructurales

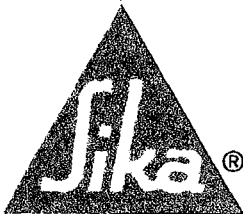
- Eliminación de paredes o columnas
- Eliminación de una sección de loza

##### Defectos en el procedimiento constructivo o diseño

- Insuficiente refuerzo
- Insuficiente recubrimiento

#### Ventajas

- Poco peso
- Disponibilidad en cualquier longitud sin necesidad de traslapes
- Poco espesor
- Fácil de transportar (en rollos)
- Las láminas no requieren previo tratamiento
- Simplicidad en las intersecciones de las láminas (emparillados)
- Aplicación de bajo costo. No requiere manipulación compleja ni equipo de instalación
- Gran resistencia a la tracción
- Disponibilidad en varios módulos de elasticidad
- Excelente resistencia a la fatiga
- Permite ser pintado sin preparación previa
- Resistente a los álcalis



**ANCLAF**  
*Ricardo*  
RICARDO QUINTANA ROMERO  
GERENTE GENERAL

## Datos Básicos

### Presentación

Tipo	Ancho mm	Espesor mm	Area de corte transversal mm <sup>2</sup>
Sika CarboDur S Módulo E > 165 000 N/mm <sup>2</sup>			
S512	50	1.2	60
S612	60	1.2	72
S818	80	1.2	96
S1012	100	1.2	120
S1212	120	1.2	144
S1512	150	1.2	180
S614	60	1.4	84
S914	90	1.4	126
S1214	120	1.4	168

Sika CarboDur M Módulo E > 210 000 N/mm <sup>2</sup>			
M614	60	1.4	84
M914	90	1.4	126
M214	120	1.4	168

Sika CarboDur H Módulo E > 300 000 N/mm <sup>2</sup>			
H514	50	1.4	70

### Envases

- Lámina CarboDur : Rollo de 250 m
- Sikadur 30: Unidades pre-selladas (comp- A+B) de 5 kg

### Almacenamiento

- Lámina CFRP  
Se puede almacenar ilimitadamente, siempre que no se le exponga a la luz solar directa.
- Sikadur 30  
Se puede almacenar durante un año en su envase original entre +5°C y +25°C.

## Datos Técnicos

### Láminas CarboDur (CFRP)

Color	Negro
Composición	Fibra de carbono reforzada con matriz epóxica
Volumen de fibra	>68%

	Sika CarboDur S	Sika CarboDur M	Sika CarboDur H
Módulos E	>165 000 N/mm <sup>2</sup>	>210 000 N/mm <sup>2</sup>	>300 000 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	>2800 N/mm <sup>2</sup>	>2400 N/mm <sup>2</sup>	>1300 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la rotura *	3050 N/mm <sup>2</sup>	2900 N/mm <sup>2</sup>	1450 N/mm <sup>2</sup>
Elongación a la rotura	>1.7%	>1.2%	>0.45%
Densidad	1.5 g/cm <sup>3</sup>	1.6 g/cm <sup>3</sup>	1.6 g/cm <sup>3</sup>

(\*) Valores mecánicos obtenidos según la longitudinal de las fibras.

  
**RICARDO QUINTANA ROMERO**  
 GERENTE GENERAL

Adhesivos Sikadur 30 para refuerzos por pegado	Aspecto	Compuesto A	Pasta blanca grisácea
		Compuesto B	Pasta negra
		Compuesto A + B	Pasta gris claro
	Densidad	1.77 kg/l	
	Post-life (según FIB)*	40 minutos (a 35°C)	
	Tiempo abierto (según FIB)	30 minutos (a 35°C)	
	Flujo de escurrimiento (según FIB)*	3-5 mm (a 35°)	
	Encogimiento (según FIB)*	0.04%	
	Punto de transición, avidriado (según FIB)*	62°C	
	Módulo E estático (según FIB)*	12 800 N/mm <sup>2</sup>	
	Fuerza de adhesión (húmedo) (según FIB)*	Falla del concreto 4 N/mm <sup>2</sup>	
	Resistencia a cortante (según FIB)*	Falla del concreto 15 N/mm <sup>2</sup>	
	Coefficiente de expansión	9 x 10 <sup>-5</sup> por °C (-10°C a +40°C)	

(\* ) Federación Internacional de Pre-armado

Los valores pueden variar según la intensidad de la mezcla y el monto de aire que se incorpore mediante la misma. (Gráfico)

### Aplicación Consumo

Tipo de lámina	Sikadur 30
S512 / M514	0.34 kg/ml
S612 / S614 / M614	0.41 kg/ml
S812	0.54 kg/ml
S914 / M914	0.61 kg/ml
S1012	0.67 kg/ml
S12112 / S1214 / M1214	0.80 kg/ml
S1512	1.02 kg/ml

La cantidad de adhesivo consumida varía dependiendo del nivel y rugosidad de la superficie, así como de cuántas láminas se superpongan.

#### Mezclado de Sikadur 30

Comp. A : Comp. B = 3 : 1 (partes en peso)

### Procedimiento para la evaluación de la condición de la estructura

Las dimensiones (geometría, refuerzos, emparejamiento de la superficie que se va a reforzar), la calidad de los materiales de construcción empleados, condiciones climáticas ambientales, y las estipulaciones de operación.

### Verificaciones

#### Seguridad de soporte

- Estructura no reforzada (con margen para un factor de seguridad de reducción total de  $\square = 1$ )
- Estructura reforzada (según el modo de falla descrito anteriormente, chequear las deformaciones)
- Fractura la lámina
- Anclajes

#### Resistencia a la fatiga

- Verificar las tensiones para el concreto y acero

#### Condiciones de servicio

- Deformación (con deformaciones medias, asumiendo el comportamiento elástico de la estructura y cambios de las deformaciones en el concreto con el paso del tiempo)
- Tensión del acero (no se produce deformación plástica en condiciones de servicio)
- Ancho de fracturas (limitando las tensiones sobre el acero en condiciones de servicio)

**ANCLAF**  
  
**RICARDO QUINTANA ROMERO**  
 GERENTE GENERAL

**Recomendaciones previas para la aplicación de Sika CarboDur**

- 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 Sikadur 30.

**Aplicaciones**

**Observaciones importantes**

- Mezcle el Sikadur 30 lentamente (máximo 500 rpm) para evitar, tanto como sea posible, la incorporación de aire.
- Cubra bien la superficie de concreto con el adhesivo.
- La resistencia a la tracción de la superficie preparada de concreto armado debe ser  $>1.5 \text{ N/mm}^2$ .
- El sistema SikaCarboDur debe protegerse de los rayos solares directos.
- La temperatura máxima de servicio es  $50^{\circ}\text{C}$ .
- Debe seguirse las instrucciones de la Hoja Técnica cuando se aplique el adhesivo Sikadur30.

**Sustrato**

Concreto

El concreto debe estar limpio, libre de grasa y aceite, seco, sin partículas libres. La edad del concreto dependiendo de las condiciones de clima debe ser por lo menos de 4 a 6 semanas.

Preparación: Arenado, escobillado o escarificado.

Madera

La superficie debe encontrarse limpia, libre de grasa o aceite, sin partículas sueltas.

Preparación: Arenado, escobillado o escarificado.

La superficie debe ser pareja. Las marcas de trabajo o ranurados no deben ser de más de 0.5 mm.

Después de limpiar, eliminar el polvo de la superficie empleando una aspiradora industrial.

Verificar el sustrato con un nivel de metal. La tolerancia es de 10 mm para dos metros de longitud, o de 2.5 mm para 50 cm de longitud, respectivamente.

**Mezclado**

Paquete pre-dosificado

Agitar bien los componentes en sus envases antes de usar. Añadir el compuesto B al compuesto A. Mezclar usando una mezcladora manual eléctrica a baja velocidad (máximo 500 rpm) durante tres minutos hasta obtener una apariencia uniforme. Evitar incorporar aire.

**Método de aplicación**

Si la superficie del concreto presenta burbujas, rellénelas con el mortero epóxico de reparación Sikadur 41. El adhesivo Sikadur 30 se debe emplear como capa de contacto para asegurar una buena adhesión al sustrato de concreto.

Con una espátula, aplique con cuidado el adhesivo Sikadur 30 bien mezclado al sustrato correctamente preparado. Cubra la superficie con una capa de aproximadamente 1 mm. Coloque la lámina CarboDur en una mesa y límpiela con Thinner Acrílico. Aplique a la lámina CarboDur una capa de 1 a 2 mm del adhesivo Sikadur 30 empleando una espátula.

Mientras el adhesivo está al aire, y dependiendo de la temperatura, coloque la lámina en la superficie de concreto. Use un rodillo para presionar la lámina contra el material epóxico hasta que el adhesivo se salga por ambos lados del laminado. Elimine el exceso de adhesivo epóxico. Tome una muestra para verificar si el adhesivo empleado da el resultado final y resistencia esperados. Mida el esfuerzo flexión y la fuerza de pegado del curado.

Cuando se haya secado el adhesivo Sikadur 30 se puede retirar la película que recubre la lámina. Como última comprobación, verifique que la lámina CarboDur no presente burbujas golpeando suavemente. La parte superior de la lámina se puede pintar con un material de recubrimiento como Sikagard 62 o Sikagard 550 Elastic.

**ANCLAF**  
*Quintana*  
RICARDO QUINTANA ROMERO  
GERENTE GENERAL

**Limpieza de Herramientas** Limpie inmediatamente las herramientas con limpiador Thinner Acrílico. Lávese las manos y la piel cuidadosamente con jabón y agua tibia. Antes de su utilización, los compuestos A y B contaminan el agua y no deben ser arrojados al desagüe, cursos de agua o a la tierra. Los residuos del limpiador Thinner Acrílico y de Sikadur 30 siempre deben ser desechados con cuidado. El material ya endurecido sólo se puede eliminar por medios mecánicos.

**Importante** Las láminas CarboDur (CFRP) no presentan reserva de deformación plástica, por lo que la resistencia máxima de flexión de una sección reforzada se alcanza cuando se produce la falla de la lámina cuando el acero fluye o el concreto falla. El modo de falla depende de la sección transversal de la lámina. Para limitar el ancho de la fisura y la deformación, el punto de fluencia no debe producirse en las barras de refuerzo cuando el material se encuentre en servicio. No debe permitirse ninguna fisura por cortante, porque esto puede causar el desplazamiento de la superficie reforzada por consiguiente desplazamiento de la lámina. Se puede emplear los métodos convencionales para realizar los cálculos de tensión y deformación, los mismos que se deben verificar empleando los estándares SIA 160 (1989) y 162 (1989).

**Referencias**

**Pruebas**

Informe EMPA N° 154490/1  
Informe EMPA N° 154490  
Informe EMPA N° 161782  
Informe IBMB, IU Braunschweig N° 144B/325  
Informe CISMID, Perú

**Referencias**

Bauzinger H. Steiner W. 1989: Adhesivos epóxicos para juntas flexibles Schweizer Baublatt N° 64, Agosto 1980

Deuring M. 1993: Reforzamiento de concreto armado con materiales compuestos pretensados. Centro Federal de Investigación y Pruebas de Materiales (EMPA), Informe EMPA N° 224, 1993

Deuring M., 1994: Láminas CFRP en la industria de la construcción. Reforzamiento de estructuras de concreto. Revista Swoss Engineer and Architect N° 26, 23 de julio de 1994.

Deuring M., Oser M., Burgi B. 1994: Refuerzos pegados. Análisis de adhesivos epóxicos. Centro Federal de Investigación y Pruebas de Materiales (EMPA), Informe EMPA N° (ilegible), 1994

Meier U., 1994: Reforzamiento de estructuras con materiales compuestos. Informe VDI N° 1080, 1994, pp. 587-594

SIA/EMPA: Refuerzo posterior de estructuras con lámina CarboDur. Documentación D0120.21 de setiembre de (ilegible)

**Instrucciones de Seguridad**

**Precauciones de manipulación**

Use una crema protectora en las manos y la piel descubierta antes de empezar a trabajar. Use ropa de protección (guantes, lentes de seguridad). Cuando el producto entre en contacto con los ojos u otras mucosas, lave inmediatamente con agua tibia limpia y acuda al médico.

**Medio ambiente**

Con permiso de las autoridades se puede incinerar pequeñas cantidades de material curado en un incinerador municipal. Los compuestos no utilizados no deben arrojarse a los desagües, cursos de agua o al suelo.

**Toxicidad**

- Compuesto A: Clase 4, según el Reglamento Suizo de Salud y Seguridad
- Compuesto B: No tóxico

**Transporte**

- Compuesto A: No peligroso
- Compuesto B: 8/65 c) en cantidad de 500 kh

**ANCLAF**  
*[Firma]*  
RICARDO QUINTANA ROMERO  
GERENTE GENERAL

**Nota**

En caso de duda siga las instrucciones del embalaje o etiqueta. La empresa garantiza que la información en la hoja es verdadera y exacta. Sin embargo, la información sobre el rendimiento puede variar de acuerdo con la manera en que se emplee el producto u otras condiciones de uso que escapan al control de la empresa. Por tanto, la garantía de la empresa se limita a la calidad de los productos que se proporcionan .

**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)

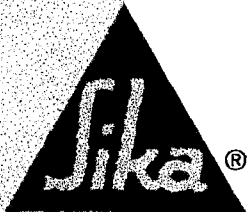
**Nota Legal**

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° 3  
la misma que deberá ser destruida”**

**ANCLAF**  
*Quinta*  
**RICARDO QUINTANA ROMERO**  
GERENTE GENERAL



Sika Perú S.A., Av. Los Frutales 253, Ate / Lima 3 – Perú  
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070  
E-mail: [construccion@pe.sika.com](mailto:construccion@pe.sika.com) / Web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)



## Sikadur® 30

### Adhesivo para Refuerzos Pegados

#### Descripción

##### General

Es un mortero adhesivo de 2 componentes a base de resinas epóxicas, exento de solventes y tixotrópico.

##### Campos de aplicación

- Mortero epóxico utilizado para adherir las láminas Sika CarboDur® en estructuras de: concreto, madera y metal.
- Adhesivo para pegar refuerzos metálicos sobre concreto, madera y piedra.
- Unión de elementos de concreto, acero, piedra, madera, epóxicos.
- Anclajes en cualquier posición.
- Corrección de pequeñas imperfecciones dimensionales en elementos de concreto.

##### Ventajas

- Pot life extenso.
- Altas resistencias mecánicas a la abrasión y al impacto.
- Puede ser aplicado sobre superficies ligeramente húmedas.
- Aplicable en superficies verticales y sobre cabeza.
- No contiene componentes volátiles.
- Elevadas resistencias mecánicas.
- No sufre retracciones.
- Fácil de mezclar y aplicar.

#### Datos Básicos

##### Aspecto

Pasta cremosa

##### Color

- Comp. A: blanco
- Comp. B: negro
- Comp. A + B mezclado: gris claro

##### Presentación

Juego de 5 kg.

##### Almacenamiento

Un año bajo techo a una temperatura entre 5°C y 25°C, en envases originales cerrados y sin deterioro.

#### Datos Técnicos

##### Densidad

1.77 kg/l

##### Pot life (según FIB)\*

40 minutos (a 35°C)

##### Tiempo de trabajabilidad

min.30 minutos (a 35°C)

##### Escurrimiento (FIB)\*

3-5 mm (a 35°C)

##### Retracción (FIB)\*

0.04%

##### Punto de Cristalización (FIB)\*

62° C

##### Módulo Estático E (FIB)\*

12,800 N/mm<sup>2</sup>

##### Fuerza de Adhesión (húmedo) (FIB)\*

Falla del concreto 1 N/mm<sup>2</sup>



**ANCLAF**  
RICARDO QUINTANA ROMERO  
GERENTE GENERAL



**Resistencia Cortante (FIB)\*** Falla del concreto 15 N/mm

**Coefficiente de Expansión (Sika)**  $9 \times 10^{-5}$  por °C (10°C a + 4° C)

Los valores mencionados pueden variar con la intensidad de mezclado y la cantidad de aire incorporado (durante el mezclado).

### Aplicación

#### Consumo

En láminas Sika CarboDur	Lámina 50 mm	Aproximadamente 0.34 kg/ml
	Lámina 80 mm	Aproximadamente 0.54 kg/ml
	Lámina 100 mm	Aproximadamente 0.67 kg/ml

**En una superficie de concreto:** 8.85 kg/m<sup>2</sup> en una capa de 5 mm de espesor.

**Relación del mezclado por peso** Componente A : Componente B = 3:1

**Concreto** Al momento de aplicar Sikadur 30, el concreto debe tener por lo menos 28 días de edad, encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. Firme y sano con respecto a sus resistencias.  
Para una adecuada limpieza es recomendable un arenado, hidroarenado, escarificado o chorro de agua a alta presión.

**Madera** La superficie debe estar sana, limpia, libre de partículas sueltas, contaminación de grasa, aceite, pinturas, entre otros. Para una adecuada limpieza se debe utilizar chorro de arena o lijado.

**Metales** Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pinturas, entre otros. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto, utilizar métodos térmicos o físico químicos.

**Epóxicos** La superficie debe estar sana y firme, limpia, libre de elementos contaminantes, grasas, aceites, entre otros. Para una adecuada preparación se debe dar rugosidad a la superficie mediante métodos abrasivos mecánicos.

**Preparación del producto** Homogeneizar separadamente los componentes, verter completamente el componente B sobre el componente A y mezclar durante un mínimo de tres minutos con taladro a bajas revoluciones (máximo 500 r.p.m.) para evitar al máximo la inclusión de aire, hasta obtener una mezcla homogénea.

**Método de aplicación** Si existen cavidades en la superficie del concreto se deben rellenar con un mortero epóxico de reparación. Una vez mezclado correctamente el adhesivo Sikadur 30, aplicar cuidadosamente empleando llana o espátula sobre la superficie de concreto o madera y sobre la superficie de la lámina de refuerzo, de acero o Sika CarboDur (CFRP), en espesores de 0.5 – 2 mm. El adhesivo debe ser aplicado con cuidado sobre la superficie del concreto de modo de asegurar el llenado de todos los poros y pequeñas cavidades. Los refuerzos mediante láminas Sika CarboDur o acero deben ser mantenidos en su posición mediante dispositivos adecuados, cuando el sistema de refuerzo lo requiera. La superficie de los refuerzos debe ser presionada hasta que el adhesivo reviente por los costados de la lámina. En el caso de pegado de láminas de refuerzo de acero, los elementos de soporte deben ser retirados después de 2 días como mínimo. Para comprobar la adherencia debe golpearse las láminas de refuerzo con un pequeño martillo para detectar áreas no adheridas.  
Para el control del material adhesivo usado referente a desarrollo de resistencias, se recomienda fabricar probetas de ensayo en la obra. Después del endurecimiento medir las resistencias a compresión, flexotracción y adherencia.

**Limpieza**

- Limpiar las herramientas inmediatamente con diluyente a la piroxilina, lávese las manos con agua tibia y jabón.
- Sikadur 30, componentes A+B, contamina el agua y no debe ser arrojado a los drenes ni desagües mientras no esté totalmente curado.
- Debe disponerse apropiadamente de los residuos de Colma Limpiador y Sikadur 30.
- El material, una vez curado sólo puede ser removido mecánicamente.

## Instrucciones de Seguridad

### Precauciones de manipulación

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

### 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)

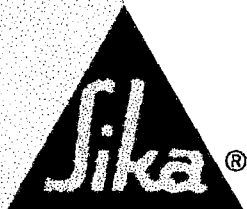
### Nota Legal

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 las 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°1 la misma que deberá ser destruida”**

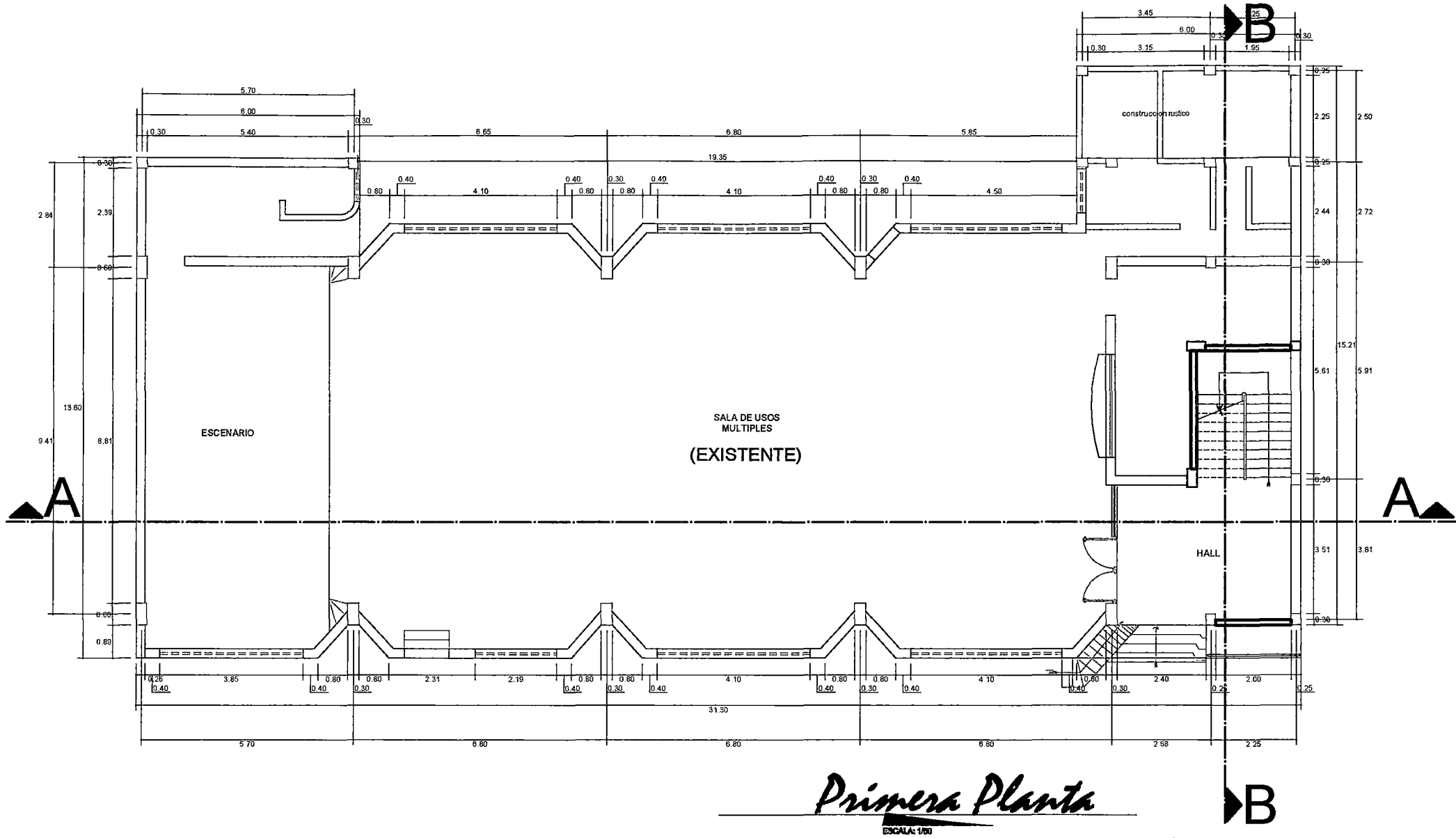
**ANCLAF**  
C.A.S.  
*Ricardo Quintana Romero*  
RICARDO QUINTANA ROMERO  
GERENTE GENERAL



Sika Perú S.A., Av. Los Frutales 253, Ate / Lima 3 – Perú  
Tel: (51-1) 618-6060 / Fax: (51-1) 618-6070  
E-mail: [construccion@pe.sika.com](mailto:construccion@pe.sika.com) / Web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

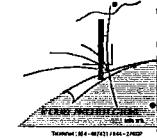


# PLANOS



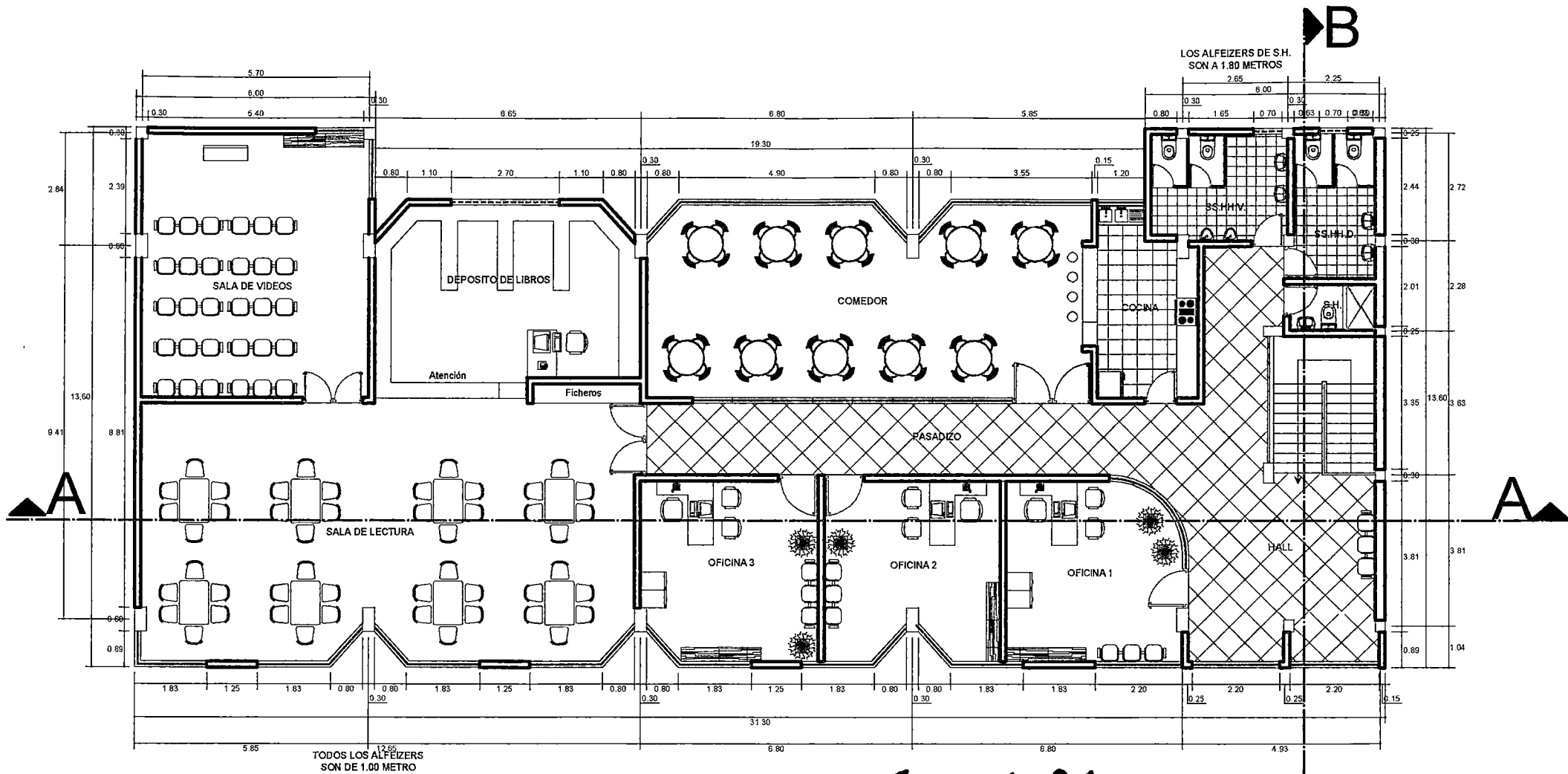
*Primera Planta*

ESCALA: 1/50



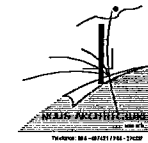
A.A. EDUARDO A. YAGUIN CALAS - CNP. 0223	
<b>"AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO"</b>	
PROYECTO:	ARQUITECTURA
CLIENTE:	ARQUITECTURA
FECHA:	ARQUITECTURA
PROYECTO:	ARQUITECTURA
FECHA:	ARQUITECTURA
PROYECTO:	ARQUITECTURA
FECHA:	ARQUITECTURA

A-01

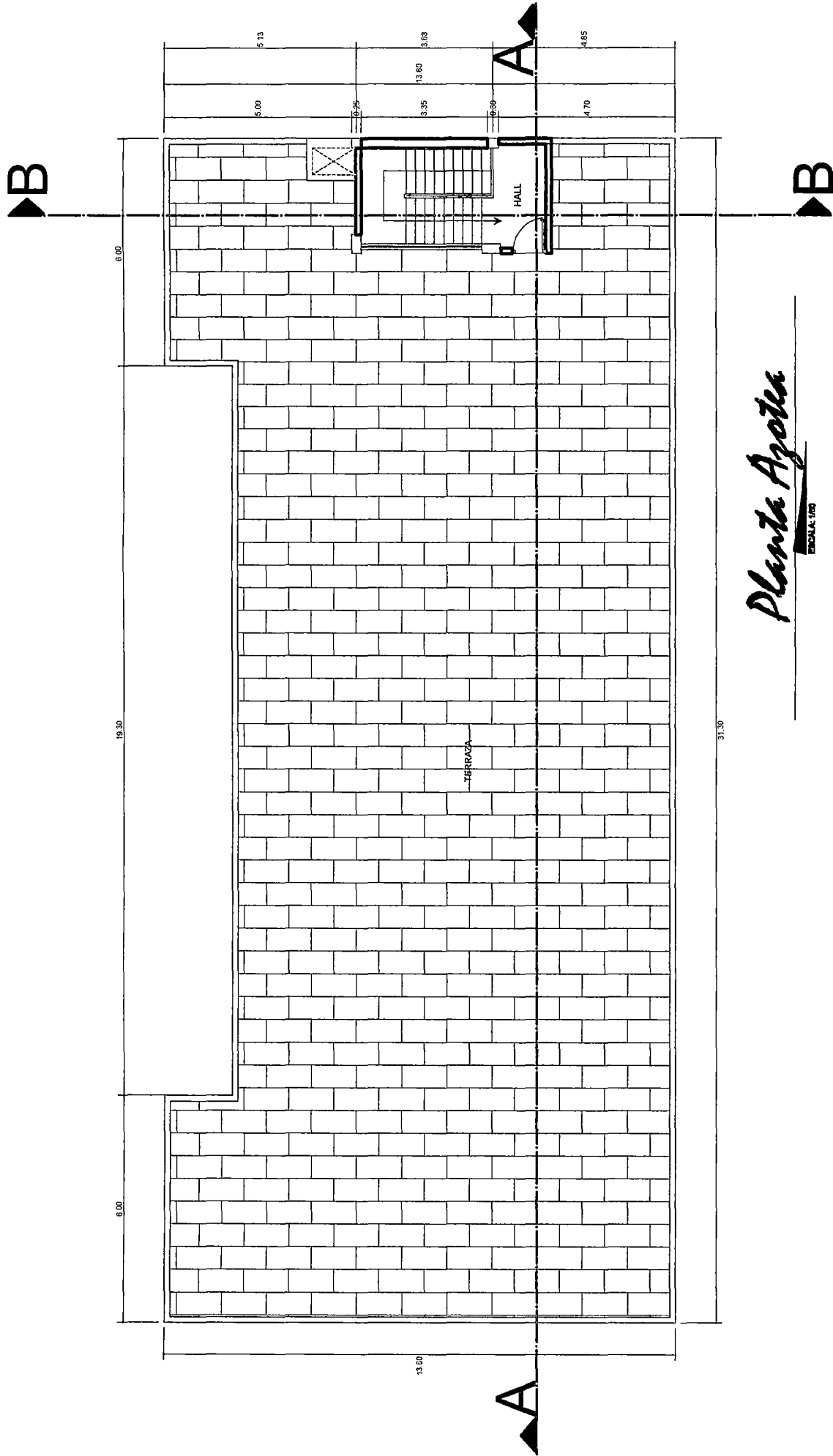


# Segunda Planta

ESCALA: 1/50



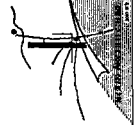
A-4 EDUARDO A. TAQUAN SALAS-OF 0209			
"AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO"			
PROYECTO	PLANO	ARQUITECTURA	A-02
INSTITUCION	PROYECTADO POR	FECHA	HOBBY 200
INSTITUCION	PROYECTADO POR	FECHA	HOBBY 200



# Planta Azotea

ESCALA: 1:50

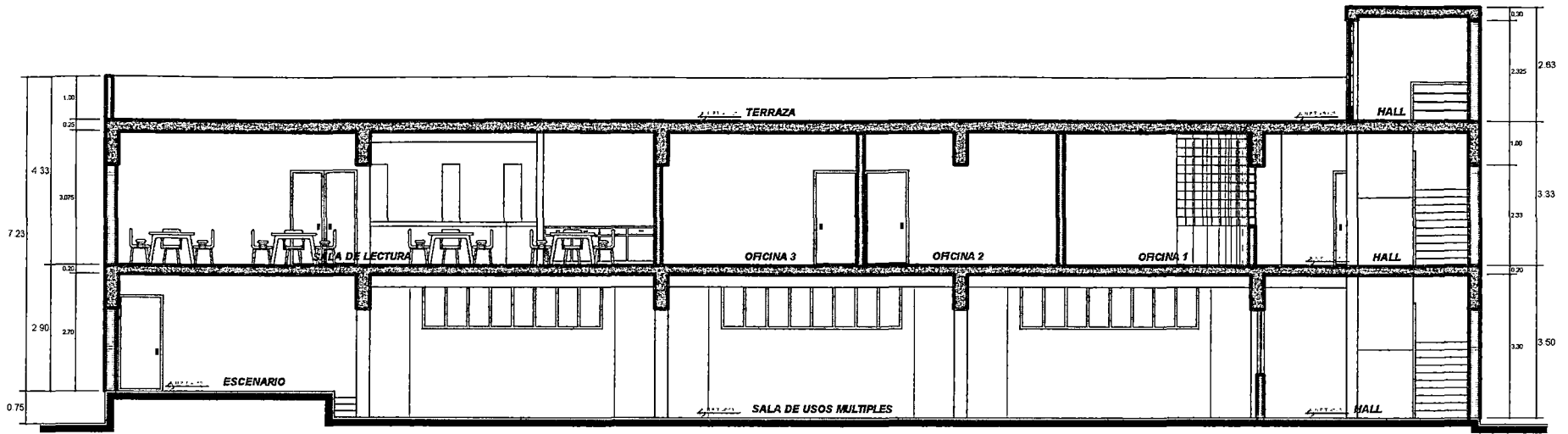
31.30



"AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO"

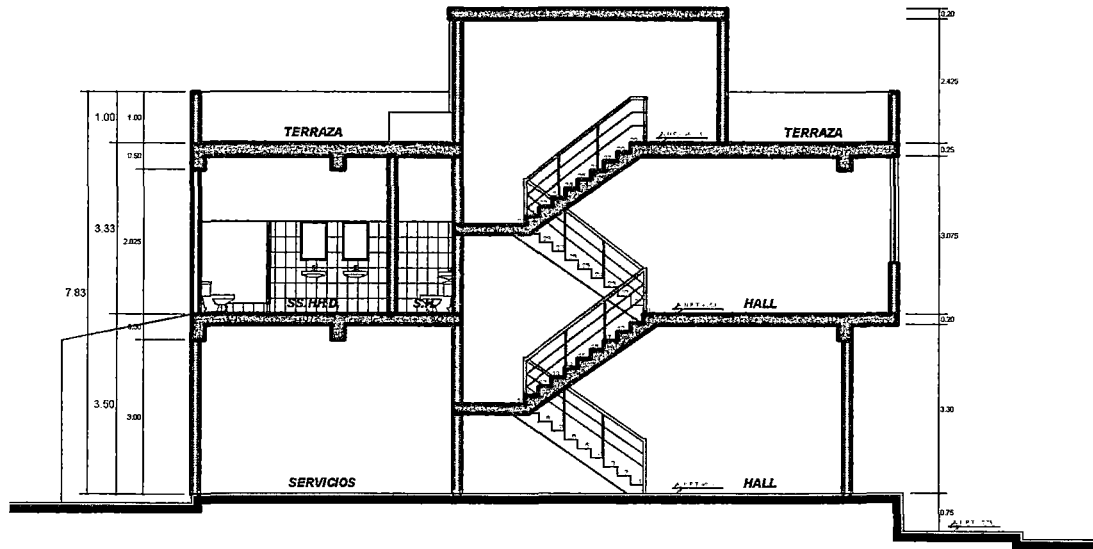
PROYECTO		LUGAR		FECHA	
RESERVA DE TIERRAS DEL MAESTRO		ARRETIQUIN		1950	
PROYECTADO POR	REVISADO POR	PROYECTADO POR	REVISADO POR	FECHA	
ALVARO DE LA CRUZ	ALVARO DE LA CRUZ	ALVARO DE LA CRUZ	ALVARO DE LA CRUZ	1950	

A-03



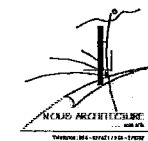
*Corte B - B*

ESCALA 1/50

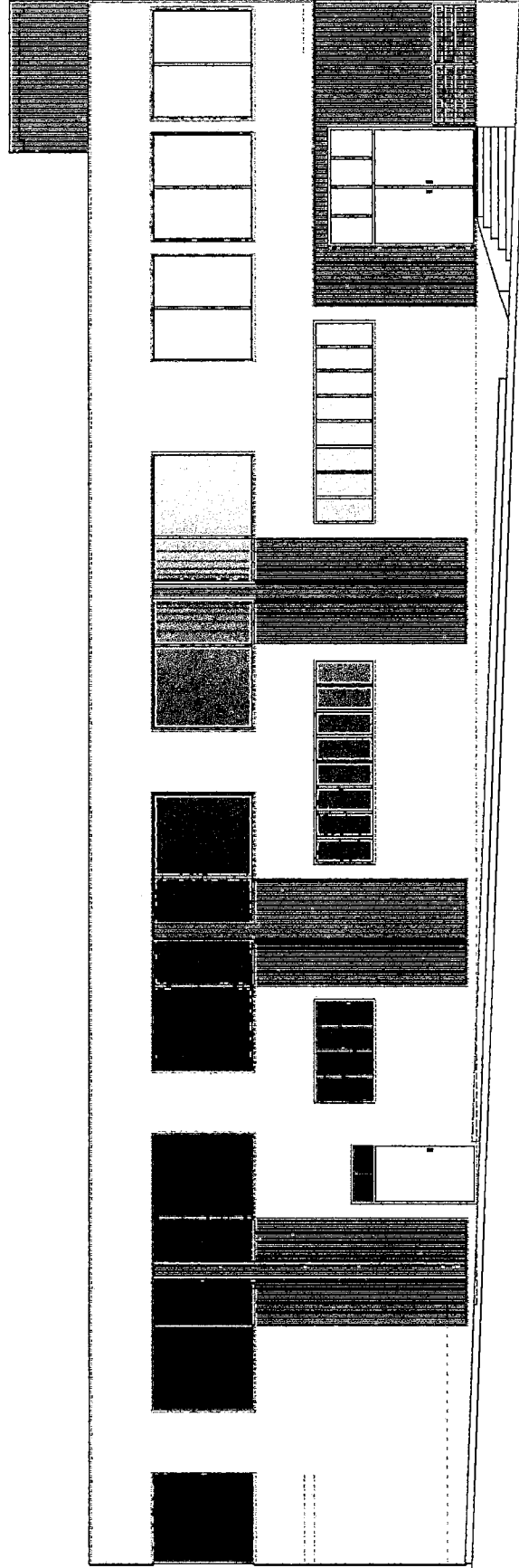


*Corte A - A*

ESCALA 1/50



ARQUITECTO: EDUARDO A. TAGUIAN CALAO-OF. 0523 <b>"AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO"</b>	
CLIENTE: INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES LINGÜÍSTICAS Y LINGÜÍSTICAS	FECHA: ABRIL 1980
DISEÑO: EDUARDO A. TAGUIAN CALAO	ESCALA: 1/50
TÍTULO: A-04	HOJA: 04 DE 04



*Elevación Principal*

ESCALA: 1:50

ING. EDUARDO TORRES SANS OF BCB

**"AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO"**

PROYECTO: AMPLIACION DE LA CASA DEL MAESTRO

PROYECTISTA: ARQUITECTURA A-05

PROYECTOS: BARRIO: UBICACION: DISEÑO: EJECUCION:

ESTUDIOS ARQUITECTONICOS S.A.S. (SOCIOS)

BOGOTA, COLOMBIA

TEL: 334 4000 / FAX: 334 4000