

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“INCREMENTO Y OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA DE LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS MEDIANTE TRES
SISTEMAS DE REFUERZO: I.E. PEDRO RUIZ GALLO,
LLOCHEGUA, HUANTA, AYACUCHO-2016”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

YOSSIMAR ALIPIO PALOMINO QUISPE

AYACUCHO- PERÚ

2016

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, quien supo guiarme por el buen camino y me dio las fuerzas para no fallecer en los momentos difíciles.

A mis padres por todo el sacrificio y el apoyo incondicional que me han dado en este largo camino de alegría y tristezas.

A mis hermanos y sobrinos por su apoyo y brindarme siempre un momento de alegría.

A mis familiares, amigos y compañeros por su incansable y sus sabios consejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle primeramente a Dios por bendecirnos y permitirnos llegar hasta este punto tan importante en nuestras vidas y poder cumplir el sueño anhela de llegar a ser un profesional.

A nuestras familias y seres queridos por su constante ánimo y apoyo de forma incondicional durante todo este largo camino

Al Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán, asesor temático del proyecto, quien nos guió y colaboró durante la ejecución del mismo, quien con sus conocimientos, experiencia, amabilidad y paciencia nos motivó a terminar con éxitos el presente documento.

A todos los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, quienes compartieron sus conocimientos, dentro y fuera de clases, haciendo posible que nuestra formación profesional se resuma en satisfacciones académicas.

A nuestros compañeros de estudio y demás personas de una u otra forma hicieron posible que alcanzáramos esta meta. Por darnos su apoyo, sus consejos, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de nuestras vidas. A todo muchas gracias y que Dios los bendiga eternamente.

1.3.2.1	Flexión	43
1.3.2.1.1	Comportamiento de una Viga de Concreto Armado Sometida a Flexión.	43
1.3.2.1.2	Hipótesis Básicas para el Estudio de elementos Sometidos a Flexión Según el Código del ACI.	47
1.3.2.2.3	Tipos de fallas de los elementos sometidas a flexión.....	48
1.3.2.2.4	Análisis de Elementos de una sección rectangular con refuerzo en tracción Sometidos a Flexión.	50
1.3.2.2.5	Determinación de la cuantía balanceada o cuantía básica.....	50
1.3.	DEFINICIÓN SOBRE REFORZAMIENTO EN ESTRUCTURA DE CONCRETO	55
1.3.1.	Reforzamiento en estructuras de concreto.	55
1.3.1.1	Comportamiento de elementos estructurales a flexión.	56
1.3.1.1.1.	Comportamiento a flexión.....	56
1.3.1.1.2.	Reconocimiento y Evaluación de daños en la Viga.....	59
1.3.1	REFORZAMIENTO POR FLEXIÓN.....	60
1.3.1.1	REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO.....	60
1.3.1.2	REFORZAMIENTO CON RECRECIDO DE CONCRETO	62
1.3.1.3	REFORZAMIENTO CON ELIMINACION DE CONCRETO Y AUMENTO DE CUANTIA DE ACERO	66
1.3.3	Metrado de Cargas Verticales.....	66
1.3.3.1	tipos de carga	67
II	MATERIAL Y METODOS	68
2.1	MATERIAL	68
2.1.1	Descripción de la Zona	68
2.1.2	Vías De Acceso	70
2.1.3	Planteamiento metodológico	70
2.1.3.1	<i>Formulación del problema</i>	70
2.1.3.2	<i>Objetivos</i>	71
a)	Objetivo general	71
b)	Objetivos específicos	71
2.1.3.3	Justificación e importancia.....	71
2.2	METODOS	74
2.2.2	Diseño estructural del modelo base a reforzar.....	82
2.2.3	DISEÑO BAJO LOS TRES SISTEMAS DE REFUERZO.....	88
2.2.3.1	Incremento de la Resistencia a Flexión en Vigas, Considerando el Sistema de Reforzamiento con Fibra de Carbono.	89

METODOLOGIA	89
2.2.3.2 Incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento de recrado del concreto armado.	93
2.2.3.3 Incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de la eliminación de la sección de concreto y aumento de la cuantía de acero. 101	
2.2.3.3.1 METODO DEL ANALISIS.....	101
2.2.3.3.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	102
2.2.3.4 <i>Determinar la optimización económica bajo los criterios de los tres sistemas de refuerzos en la resistencia a flexión en vigas.</i>	108
III. RESULTADOS	113
IV. DISCUSIÓN	114
V. CONCLUSIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS FOTOGRAFICOS.....	117

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1	Análisis granulométrico de agregado grueso.....	4
Figura N°2	Esfuerzos flexión.....	6
Figura N°3	Esfuerzos Torsión.....	7
Figura N°4	Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.....	17
Figura N°5	Varillas corrugadas.....	25
Figura N°6	Desempeño sísmico de una viga.....	29
Figura N°7	Relación viga-columna.....	30
Figura N°8	Sección longitudinal de una viga reforzada con platina CFRP A Flexión.....	37
Figura N°9	Modo de falla de vigas reforzadas a flexión con materiales compuestos.....	41
Figura N°10	Viga Simplemente apoyada sometidas a cargas concentradas...	43
Figura N°11	Variación de los esfuerzos y deformaciones con el incremento del momento aplicado.....	43
Figura N°12	Diagrama de Momentos resistentes-curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida.....	45
Figura N°13	Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga.....	47
Figura N°14	Distribución de deformaciones para los diversos tipos de fallas en flexión.....	48
Figura N°15	Esfuerzos en una sección Rectangular con refuerzo en tensión a flexión.....	49
Figura N°16	Esfuerzos y deformaciones en una sección rectangular con falla balanceada.....	52
Figura N°17	Comportamiento a flexión en una viga.....	56
Figura N°18	Aligerado Hiperestático.....	56
Figura N°19	Aligerado Isostático.....	57
Figura N°20	Aligerado Hiperestático.....	57
Figura N°21	Esquema de refuerzo a flexión.....	60
Figura N°22	Sistema de encofrado y vaciado en el sitio.....	64
Figura N°23	Transmisión de las cargas Verticales.....	65
Figura N°24	Geometría de la Estructura.....	74
Figura N°25	falla tipo “f”.....	75

Figura N°26	Modelo en tres dimensiones, lo que se diseñó inicialmente....	75
Figura N°27	construcción final. Lo que se construyó.....	77
Figura N°28	Pórticos, diseño inicial y diseño construido.....	77
Figura N°29	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "A".....	81
Figura N°30	Diagrama de fuerza cortantes; eje lateral "B".....	82
Figura N°31	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "C".....	82
Figura N°32	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "D".....	83
Figura N°33	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "E".....	83
Figura N°34	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "F".....	84
Figura N°35	Diagrama de fuerza cortante; eje lateral "G".....	84
Figura N°36	Diagrama de fuerza cortantes; eje lateral "H".....	85
Figura N°37	Diagrama de fuerza cortantes; eje lateral "3".....	85
Figura N°38	Viga del segundo piso del proyecto original.....	86
Figura N°39	Viga del segundo piso del proyecto original.....	92
Figura N°40	Viga del segundo piso del tal como se construyó.....	92
Figura N°41	Modelo analítico de la Estructura.....	94
Figura N°42	Carga viva en el 1er piso en kg/m ²	94
Figura N°43	Carga viva en el 2do piso en kg/m ²	94
Figura N°44	Diseño de Acero del Pórtico más crítico en cm ²	95
Figura N°45	Detalle del picado de la viga y acero adicional 2Ø3/4".....	95
Figura N°46	Detalle de los Aceros longitudinales positivos adicionales Ø3/4" de las vigas principales.....	96
Figura N°47	Detalle de los estribos adicional Ø3/8". En los extremos de la viga	
Figura N°48	Detalle de los estribos adicional Ø3/8". En la parte central de la viga.....	97
Figura N°49	Detalle de la grapa de acero Ø3/8".....	98
Figura N°50	Distribución de secciones de la estructura a reforzar.....	100
Figura N°51	Carga viva en el 1er piso en kg/m ²	102
Figura N°52	Carga viva en el 2do piso en kg/m ²	102
Figura N°53	Carga Muerta.....	104
Figura N°54	Carga Viva.....	105
Figura N°55	Desprendimiento y rotura de la viga principal V-201.....	108

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°1	Requisitos granulométricos del agregado fino.....	10
Cuadro N°2	Análisis granulométrico de agregado grueso.....	11
Cuadro N°3	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados.....	12
Cuadro N°4	Relación entre la resistencia de la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días.....	20
Cuadro N°5	Características resistentes de los aceros grado 40, 60 y 75.....	23
Cuadro N°6	Varillas corrugadas y sus características.....	24
Cuadro N°7	Cuadro comparativo platina metálica – platina CFRP.....	37
Cuadro N°8	Cuantía básica para concretos de diferentes calidades.....	50
Cuadro N°9	Vías de Acceso.....	69
Cuadro N°10	Cantidades para un reforzamiento con Fibras de Carbono.....	106
Cuadro N°11	Cantidades para un reforzamiento con recrecido en concreto armado.....	106
Cuadro N°12	Cantidades para un reforzamiento con eliminación de sección y aumento de cuantía de acero en concreto armado.....	107
Cuadro N°13	Resumen de Momentos Últimos resistentes de las vigas diseñadas.....	107
Cuadro N°14	Análisis de Costos en Recrecido de concreto.....	109
Cuadro N°15	Análisis de Costos en Eliminación de Sección y aumento de cuantía de Acero.....	109
Cuadro N°16	Análisis de Costos con fibra de Carbono.....	109
Cuadro N°17	Tiempos en horas en el proceso de rehabilitación por los tres sistemas de refuerzo.....	110

INDICE DE GRAFICAS.

Gráfica N°1	Resistencia del concreto.....	21
-------------	-------------------------------	----

Gráfica N°2	<i>Esfuerzo de compresión y Deformación.....</i>	<i>22</i>
Gráfica N°3	<i>Curva Esfuerzo-Deformación y módulo de elasticidad del acero.</i>	<i>26</i>
Gráfica N°4	<i>Idealización de la Curva esfuerzo-deformación del acero asumido por el código del ACI.....</i>	<i>26</i>
Gráfica N°5	<i>Propiedades Tópicas para el Diseño con Fibras de Carbono.....</i>	<i>33</i>
Gráfica N°6	<i>Capacidad por Flexión.....</i>	<i>34</i>
Gráfica N°7	<i>Distribución de deformaciones.....</i>	<i>35</i>
Gráfica N°8	<i>Comportamiento de la Fibra de Carbono.....</i>	<i>87</i>

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía N°1	<i>Refuerzo de refuerzo a flexión.....</i>	<i>60</i>
Fotografía N°2	<i>Muestra la falla de estructuración ejecutado anteriormente y que se realizara nueva prueba de diseño para la optimización de carga estructural.....</i>	<i>75</i>
Fotografía N°3	<i>Limpieza de las Superficies de reparación con chorros de agua a alta presión.....</i>	<i>63</i>
Fotografía N°4	<i>Preparación y limpieza de la superficie.....</i>	<i>89</i>
Fotografía N°5	<i>Instalación de Materiales Compuestos en elementos estructurales.....</i>	<i>90</i>
Fotografía N°6	<i>Corte de sección de viga dañada.....</i>	<i>99</i>

INDICE DE MAPAS

Mapa N°1	<i>Ubicación Distrital de Llochegua.....</i>	<i>68</i>
----------	--	-----------

RESUMEN

Las técnicas de reforzamiento en estructuras de concreto, mediante tres sistemas de refuerzos, y utilizando materiales compuestos como la Fibra de Carbono, han sido estudiadas y manejadas universalmente gracias a su fácil manejo (transporte), puesta en obra, resistencia a la corrosión y sus excelentes propiedades mecánicas. Sin embargo, el elevado costo unitario de estos materiales y la falta de conocimiento que existe al respecto han limitado su uso. Es muy común en nuestro país, el cambio de usos de las edificaciones, aumentando considerablemente las cargas y esforzando la estructura a estados para los cuales no fue diseñada, esto conlleva utilizar determinado sistemas de reforzamiento, que traducido, es un impacto negativo en los costos de la edificación, acompañado de traumatismos en la aplicación del sistema. El propósito de este trabajo es crear un enfoque diferente en el ámbito económico, respecto a los nuevos sistemas de reforzamiento que utilizan materiales de nuevas tecnologías. Una vez que se obtiene un conocimiento amplio en reparaciones de vigas se procede con la fabricación, reforzamiento y ensayos a flexión con carga en el centro de la luz, para así obtener los resultados necesarios que diferencian a una viga sin refuerzo de los tres tipos de sistema de refuerzo. Los resultados muestran que el uso del reforzamiento con fibra de carbono además de presentar un buen comportamiento mecánico en los elementos reforzados, ofrece la posibilidad de menores tiempos constructivos y traumatismos, lo cual se traduce en ahorro.

Una vez analizada la estructura, se incrementa a la misma los porcentajes con los que se benefician las vigas con reforzamiento de fibras de carbono, que se obtuvo anteriormente; y así chequear nuevamente sus elementos.

Sin lugar a duda los resultados obtenidos muestran que el uso de las fibras de carbono como materiales de reforzamiento o rehabilitación es un paso importante en la búsqueda de optimizar recursos sin dejar atrás el comportamiento estructural, el cual es el fundamento de esta investigación.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación es automatizar el diseño en un proyecto de reforzamiento estructural usando técnicas de optimización. Precizando lo anterior, la tesis se centra en estructuras existentes que no cumplen los requisitos mínimos del código actual de diseño sísmico resistente E.020, en las cuales se añadirán elementos estructurales de reforzamiento siguiendo un criterio de optimización

Las estructuras de concreto simple o reforzado, durante su vida útil o de servicio están expuestas a diversos agentes físico-químicos, mecánicos y ambientales que la deterioran o que ponen en peligro su integridad estructural.

El incremento de cargas (cambios en el uso de edificios, nuevos volúmenes de tráfico en puentes, instalación de maquinaria pesada, etc.) reforzamiento sísmico, daño de partes estructurales (corrosión, impacto de vehículos y fuego), cambio en el sistema estructural o defectos de diseño y construcción, son los principales agentes que obligan a implementar distintos sistemas de reparación y reforzamiento de los tres sistemas de refuerzo, donde cabe resaltar el uso de fibras de carbono, la cual se aplica exteriormente mediante la impregnación de una resina epóxica. "Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded Hybrid Carbon Fiber-Glass Fiber Sheets" (G. J. Xiong; J. Z. Yang, 2004) es una investigación en la cual se logró demostrar el aumento considerable de la capacidad de carga de elementos sometidos a flexión, además se realizó la comparación de los costos entre los distintos materiales compuestos utilizados.

Por tal razón esta investigación tiene como objetivo usar materiales compuestos que permitan aumentar la capacidad a flexión, mediante el estudio, análisis y diseño de vigas dispuestas a esta condición de falla y seguidamente realizar un análisis comparativo de costos entre el

reforzamiento convencional y el reforzamiento con los materiales estudiados en esta investigación.

Estos objetivos surgieron de cuestionar ¿Se justificaría la implementación del sistema de reforzamiento estructural con fibras de carbono, considerando el alto costo que tienen estos materiales compuestos?

El diseño de vigas que sean capaces de resistir fuerzas sísmicas, se ha introducido el concepto de durabilidad, definida como la resistencia que ofrece un material ante la acción del clima, ataques químicos, abrasión, entre otros. Es evidente que la utilización de materiales compuesto aventaja de una forma u otra los métodos constructivos que a su vez lo que buscan es un mejor rendimiento y de una u otra forma dar cumplimiento a lo reflejado en el reglamento.

Luego de conocer las propiedades mecánicas de los materiales compuestos es importante reflexionar y preguntarse qué tan viable económicamente pueden ser, su utilización como estos tres sistemas de refuerzo. Cabe resaltar que los métodos de reforzamiento que implementan materiales compuestos tienen un elevado precio, pero estos a su vez se ven restituidos por los cortos tiempos de ejecución.

Este trabajo de investigación consto con una etapa de diseño y construcción de vigas, a las cuales se les realizaron sus respectivas pruebas de carga. Las pruebas de cargas tienen como objetivo la comprobación teórica de la reproducción de tres sistemas de reforzamiento que responden de una misma manera a unas condiciones de servicio establecidas y que a su vez serian aplicables a la necesidad de reforzar una estructura determinada.

Una vez establecidas las comparaciones mecánicas de los tres sistemas de reforzamiento puestos en comparación, se procedió a realizar un análisis de costos, aplicados a un caso hipotético en los cuales una estructura demanda un reforzamiento originado por unas nuevas condiciones de servicio.

Es importante que la Universidad siga demostrando su espíritu colaborador para la búsqueda de nuevas investigaciones y que así los estudiantes del programa de Ingeniería puedan tomar como guía estos proyectos que se están desarrollando e incluso mejorar o continuar las investigaciones. Por ello este proyecto contribuye de manera muy positiva al desarrollo investigativo y a la búsqueda de nuevos sistemas de reforzamientos con los cuales se busca minimizar los tiempos y por ende los costos constructivos.

I. REVISION DE LITERATURA.

1.1. ANTECEDENTES.

Actualmente en Perú y algunos países latinoamericanos, hacen uso frecuente del refuerzo estructural en vigas con barras de fibra de carbono, se conoce y utiliza muy poco esta alternativa debido a que se tiene la creencia que es muy caro o complicado, en el Perú tenemos la estructura del tren eléctrico que esta soportada por fibra de carbono para una buena resistencia tanto en zapatas y columnas. Por lo tanto, se siguen utilizando métodos tradicionales por temor al fracaso y al cambio, ya que del refuerzo estructural depende la estabilidad de la estructura. Por esta razón, surge la motivación de hacer un estudio documentado y un análisis a través del ensayo a flexión que sirva de guía a quien lo consulte y le proporcione orientación acerca de lo que se puede lograr con este material, el procedimiento para colocarlo, los materiales accesibles en el medio, con los que se puede trabajar, así como una forma sencilla de calcularlo y cuantificarlo, para obtener un método de construcción nuevo y diferente a los métodos tradicionales.

1.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

1.2.1. MARCO TEÓRICO.

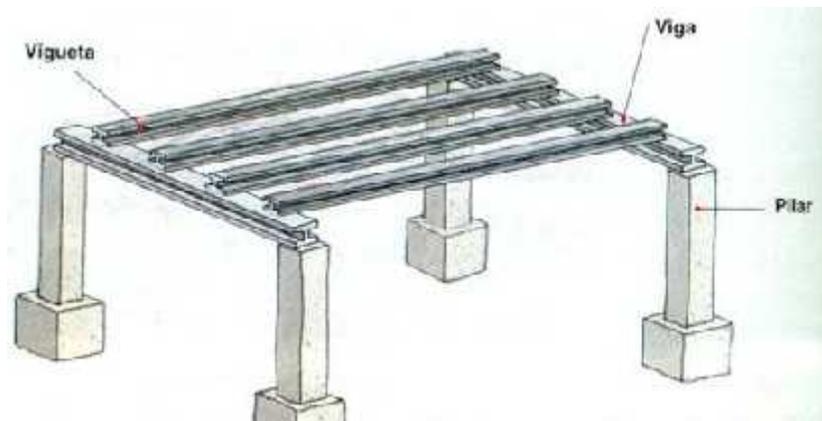
1.2.1.1. ESTRUCTURA.

¿Qué es una Estructura?

Una estructura es un conjunto de elementos unidos entre sí, con la misión de soportar las fuerzas que actúan sobre ellos."

Fíjate en la imagen siguiente donde puedes ver algunos de los elementos de una estructura:

Figura N°1: Análisis granulométrico de agregado grueso.



Fuente: NILSON, Arthur H.

Como vemos, las estructuras sirven para soportar fuerzas, por eso vamos a estudiar un poco las fuerzas.

Fuerza: es todo aquello capaz de deformar unos cuerpos (efecto estático) o de modificar su estado de reposo o movimiento (efecto dinámico). Las fuerzas que actúan sobre una estructura se llaman Cargas.

Las cargas que actúan sobre las estructuras pueden dividirse en tres grandes categorías: cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales.

Las cargas muertas: son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida de la estructura. Generalmente la mayor parte de la carga muerta es el peso propio de la estructura. Ésta puede calcularse con

buena aproximación a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material. Para edificios, los rellenos y los acabados de entrepisos, y el cielo raso pañetado se toman usualmente como cargas muertas incluyendo una consideración para cargas suspendidas tales como ductos, aparatos y accesorios de iluminación. Para puentes, las cargas muertas pueden incluir superficies de recubrimiento, andenes y barandas, y una consideración para ductos y otras cargas suspendidas. (NILSON, Arthur H., "Diseño de Estructuras de Concreto". Revisión técnica, PEDRO NEL QUIROGA S. Ingeniero civil, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, duodécima edición.)

Las cargas vivas: consisten principalmente en cargas de ocupación en edificios y cargas de tráfico en puentes. Éstas pueden estar total o parcialmente en su sitio o no estar presentes, y pueden cambiar de ubicación. Su magnitud y distribución son inciertas en un momento dado, y sus máximas intensidades a lo largo de la vida de la estructura no se conocen con precisión. Las cargas vivas mínimas para las cuales deben diseñarse los entrepisos y cubiertas de un edificio se especifican usualmente en el código de construcción que se aplica en el lugar de construcción.

(NILSON, Arthur H., "Diseño de Estructuras de Concreto". Revisión técnica, PEDRO NEL QUIROGA S. Ingeniero civil, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, duodécima edición.)

Tipos de Cargas en las Estructuras

Las cargas son las fuerzas que tienen que soportar.

- **Cargas Fijas:** las que no varían sobre la estructura. Siempre tienen el mismo valor. Por ejemplo el propio peso de la estructura y el de los cuerpos que siempre están en la estructura.

- **Cargas Variables:** las que pueden variar sobre la estructura con el paso del tiempo. Ejemplos: la fuerza del aire, el peso de la gente, la nieve, etc.

Esfuerzos en las Estructuras

¿Qué es un esfuerzo?

Un esfuerzo es la fuerza interna que experimentan los elementos de una estructura cuando son sometidos a fuerzas externas. Los elementos de una estructura deben soportar estos esfuerzos sin romperse ni deformarse.

A estas tensiones internas es a lo que se le llama esfuerzos.

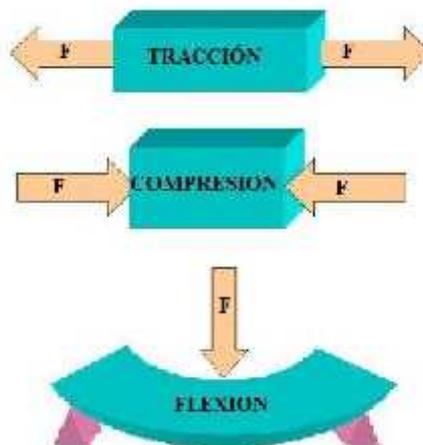
Hay 5 tipos de esfuerzos diferentes.

- **Esfuerzo de Tracción:** Un elemento está sometido a un esfuerzo de tracción, cuando las fuerzas que actúan sobre él, tienden a estirarlo. Un ejemplo sería el cable de una grúa. Ojo tiende a estirarlo, pero un una estructura no debe conseguirlo nunca, por lo menos de forma visual (que se vea a simple vista). Esto debe pasar para todos los esfuerzos explicados a continuación.

- **Esfuerzo de Compresión:** Un elemento está sometido a un esfuerzo de compresión, cuando las fuerzas que actúan sobre él, tienden a comprimirlo (juntarlo). Ejemplo las patas de una silla.

- **Esfuerzo de Flexión:** Un elemento está sometido a un esfuerzo de flexión, cuando las fuerzas que actúan sobre él, tienden a curvarlo. Un ejemplo es la tabla de una mesa.

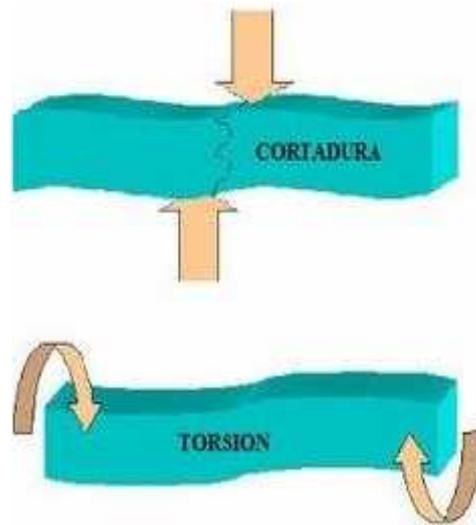
Figura N°2: Esfuerzos.



- **Esfuerzo de Torsión:** Un elemento está sometido a un esfuerzo de torsión, cuando las fuerzas que actúan sobre él, tienden a retorcerlo. Ejemplo: una llave abriendo una cerradura.

- **Esfuerzo de Cortadura:** Un elemento está sometido a un esfuerzo de cortadura, cuando las fuerzas que actúan sobre él, tienden a cortarlo o rasgarlo. Ejemplo: trampolín de una piscina en la parte de su unión con la torre.

Figura N°3: Esfuerzos.



1.2.1.2. CONCRETO.

1.2.1.2.1 EL CONCRETO Y SUS COMPONENTES

El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua.

El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. En teoría, el volumen de mortero sólo debería llenar el volumen entre partículas. En la práctica, este volumen es mayor por el uso de una mayor cantidad de mortero para asegurar que no se formen vacíos.

Para obtener un buen concreto no sólo basta contar con materiales de buena calidad mezclados en proporciones correctas. Es necesario también tener en

cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado.

- **Cemento**

El cemento se obtiene de la pulverización del clinker el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Está constituido por los siguientes componentes:

1. Silicato tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial y influye directamente en el calor de hidratación.
2. Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
3. Aluminato tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.
4. Aluminio-Ferrito Tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
5. Componentes menores: óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio.

Existen diversos tipos de cemento, los cuales están especificados en la norma ASTM-C- 150-99a.

Ellos son:

Tipo I, Que es de uso general y sin propiedades especiales.

2. Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de los sulfatos.

3. Tipo III, de resistencia temprana y elevado calor de hidratación.

4. Tipo IV, de bajo calor de hidratación.

5. Tipo V, de alta resistencia al ataque de sulfatos.

Los tres primeros tipos de cemento son susceptibles de adicionarles incorporadores de aire, en cuyo caso, se le agrega el sufijo A, por ejemplo, cemento tipo IIIA.

En la norma ASTM-C-595-00 se especifica las características de los cementos adicionados, los cuales contienen, además de los compuestos ya mencionados, escoria y puzolanas, que modifican el comportamiento del conjunto. Entre ellos se tiene:

1. Tipo IS, cemento al que se le ha añadido entre 2.7% y 70% en peso de escoria de alto horno.
2. Tipo ISM, cemento al que se ha añadido menos del 25% en peso de escoria de alto horno.
3. Tipo IP cemento al que se le ha añadido entre 15% y 40% en peso de puzolana.
4. Tipo PM, cemento al que se le ha añadido menos del 15% en peso de puzolana.

Las puzolanas son materiales que al reaccionar con los productos de la hidratación del cemento, como los hidróxidos de calcio, y el agua adquieren propiedades aglomerantes que no presentan individualmente. i

En la actualidad, en el Perú se fabrican los cementos Tipo 1, Tipo 11, Tipo V, Tipo IP y Tipo IPM (Ref. 30). También se usan cementos que reducen la contracción de fraguas como el CTS Tipo K que cumple la especificación ASTM-C-845-96.

- **Agregado fino o arena**

Tanto el agregado fino como el grueso, constituyen los elementos inertes del concreto, ya que no intervienen en las reacciones químicas entre cemento y agua. El agregado fino debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas. No debe tener más de 5% de arcilla o limos ni más de 1.5% de materias orgánicas. Sus partículas deben tener un tamaño menor a 1/4" y su gradación debe satisfacer los requisitos propuestos en la norma ASTM-C-33-99a, los cuales se muestran en la Cuadro N°1

Cuadro N°1: Requisitos granulométricos del agregado fino.

Requisitos granulométricos que deben ser satisfechos por el agregado fino	
Tamiz estándar	% en peso del material que pasa el tamiz
3/8"	100
#4	95 a 100
#8	80 a 100
#16	50 a 85
#30	25 a 60
#50	10 a 30
#100	2 a 10

Fuente: NILSON, Arthur H., "Diseño de Estructuras de Concreto"

- **Agregado grueso o piedra**

El agregado grueso está constituido por rocas graníticas, dioríticas y sieníticas. Puede usarse piedra partida en chancadora o grava zarandeada de los lechos de los ríos o vaciamientos naturales. Al igual que el agregado fino, no deben contener más de un 5% de arcillas y finos ni más de 1.5% de materias orgánicas, carbón, etc. Es conveniente que su tamaño máximo sea menor que 1/5 de la distancia entre las paredes del encofrado, 3/4 de la distancia libre entre armaduras y 1/3 del espesor de las losas (ACI-3.3.2). Para concreto ciclópeo se puede emplear piedra de hasta 15 y 20 cm. Se puede usar tamaños mayores si a criterio del ingeniero, no inducirán la formación de vacíos. Al igual que para la arena, la norma La norma ASTM-C-33-99a también establece una serie de condiciones para su gradación.

Cuadro N°2: Análisis granulométrico de agregado grueso.

Granulometría de Agregados Gruesos ICONTEC-77					
Abertura mm	Tamiz ASTM	Pes (g)	Retenido		Pasa (%)
			Parcial (%)	Acumulado (%)	
40	(1 1/2")	0,0	0	0	100
25	(1")	0,0	0	0	100
20	(3/4")	150,0	3	3	97
12,5	(1/2")	2888,3	54	57	43
10	(3/8")	1440,0	27	84	16
5	N° 4	850,1	16	99	1
2,5	(N°8)	14,5	0	100	0
1,25	(N°16)	0,0	0	100	0
0,63	(N°30)	0,0	0	100	0
0,315	(N°50)	0,0	0	100	0
0,16	(N°100)	0,0	0	100	0
Residuo-		13,8	0	100	0
Suma (U)=		5370,7	Hérdida		

Fuente: NILSON, Arthur H., "Diseño de Estructuras de Concreto"

- **Agua**

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites. Ácidos, álcalis. Sales y materias orgánicas. En general. El agua potable es adecuada para el concreto. Su función principal es hidratar el cemento. Pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Podrá emplearse agua no potable en la elaboración del concreto, siempre que se demuestre su idoneidad. Para ello se fabricarán cubos de mortero elaborados con ella y se ensayarán según la norma ASTM-C-1091109M-99. Si las resistencias obtenidas a los 7 y 28 días son por lo menos el 90% de las esperadas en morteros similares elaborados a base de agua potable el líquido es aceptable (ACI-3.4.3). Es conveniente verificar, adicionalmente, que no contenga agentes que puedan reaccionar negativamente con el refuerzo.

- **Aditivos**

Los aditivos son sustancias que, añadidas al concreto, alteran sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Por su naturaleza, se clasifican en aditivos químicos y aditivos minerales.

Entre los primeros, se tiene, principalmente, los plastificantes y superplastificantes. Los incorporadores de aire y los controladores de fragua. Las normas ASTM C-260-00 y C-10171

1017M-98 presentan especificaciones para estos aditivos. Los aditivos incorporadores de aire están estandarizados por la norma ASTM-C-260-00. La norma ASTM- 1017/1017M-98 incluye especificaciones para los aditivos químicos a ser utilizados en concretos bombeables. Entre los que se incluyen los plastificantes y retardadores. Entre los aditivos minerales se tiene, principalmente: los aditivos naturales, cenizas volantes o Flyash. microsílíce o sílica fume y escoria de la producción del acero. Las normas ASTM-C-618-99 y C-989-99 incluyen especificaciones en tomo a ellos. La primera se refiere flyash y a las puzolanas y la segunda a la escoria de la producción del acero. La norma ASTM C-124-00 se refiere al sílicaFume.

Cuadro N°3: Porcentaje que pasa por los tamices normalizados

Tamaño Nominal (mm)	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
	100 mm	30 mm	15 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	9 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	
90.0 ± 37.5 (3 1/2" a 1 1/2")	100	90-100		25-50		0-15		0-5						
63.0 ± 37.5 (2 1/2" a 1 1/2")			100	80-100	35-70	0-15		0-5						
50.0 ± 25.0 (2" a 1")				100	90-100	25-70	0-15		0-5					
50.0 ± 4.75 (2" a #4)				100	85-100		25-70		10-30		0-5			
37.5 ± 19.0 (1 1/2" a #4)					100	90-100	20-55	0-15		0-5				
37.5 ± 4.75 (1 1/2" a #4)					100	95-100		35-70		10-30	0-5			
25.0 ± 12.5 (1" a 1 1/2")						100	90-100	20-55	0-10	0-5				
25.0 ± 9.50 (1" a #3)						100	90-100	40-45	10-40	0-15	0-5			
25.0 ± 4.75 (1" a #4)						100	95-100		25-40		3-10	0-5		
19.0 ± 9.50 (3/4" a 2 1/2")							100	90-100	20-55	0-15	0-5			
19.0 ± 4.75 (3/4" a #4)							100	90-100		20-55	3-10	0-5		
12.5 ± 4.75 (1/2" a #4)								100	90-100	40-70	3-15	0-5		
9.50 ± 2.36 (3/8" a #5)									100	85-100	10-30	0-10	0-5	

Fuente: HARMSEN, Teodoro, "Diseño de Estructuras de Concreto Armado".

Los aditivos controladores de fragua pueden ser aceleradores o retardadores. Los primeros, como su nombre lo indica, incrementan la velocidad de fraguado. La resistencia del concreto se incrementa a un mayor ritmo y esto permite reducir el tiempo de utilización de los encofrados, el tiempo de curado y, en general, la duración del proceso constructivo.

Esto es particularmente útil en la producción, en planta, de piezas prefabricadas. Los aditivos retardadores, por el contrario, incrementan el tiempo de reacción del cemento.

Son usados en el vaciado de estructuras grandes en las cuales es preciso mantener el concreto trabajable por un periodo más o menos largo. También se utilizan para contrarrestar la fragua rápida que se presenta en climas cálidos. Algunos químicos usados con frecuencia como controladores de fragua son: cloruro de calcio, nitrato de calcio, carbonato de potasio, carbonato de sodio, sulfato de calcio, etc. El primero ya casi no se usa pues ataca las armaduras. Es

importante destacar que en algunos casos, las mismas sustancias actúan como aceleradores o retardadores de fragua dependiendo de las proporciones en las que se incluyen en la mezcla.

Los aditivos minerales son materiales silíceos muy finos que son adicionados al concreto en cantidades relativamente grandes. Su función es reaccionar con algunas sustancias producto de la hidratación del cemento que no contribuyen a mejorar la resistencia del concreto obteniendo otros compuestos que sí incrementan dicha propiedad. Son usados para:

1. Mejorar la trabajabilidad del concreto.
2. Reducir el agrietamiento por el calor de hidratación
3. Mejorar la durabilidad del concreto a los ataques químicos
4. Reducir su potencial de corrosión
5. Producir concretos de alta resistencia.

1.2.1.2.2 MEZCLADO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

El mezclado, transporte, colocación y curado del concreto son operaciones que influyen directamente en la calidad del material elaborado. Un control de calidad pobre puede ocasionar que, aun utilizando las proporciones adecuadas de piedra, arena, agua y cemento, no se obtenga el concreto deseado. En esta sección se pretende dar algunos criterios, muy generales, en torno a estos procesos.

- **Mezclado del concreto**

El proceso de mezclado del concreto consiste en recubrir el agregado con la pasta de cemento hasta conseguir una masa uniforme. Debe efectuarse a máquina y para ello se hace uso de mezcladoras. Entre ellas se tiene la de volteo, la inversa y la de artesa. El tamaño de la mezcladora se determina en función del volumen de concreto a batir.

La mezcladora de volteo tiene un tambor en forma cónica y espas en su interior. Se denomina así, pues el concreto es retirado inclinando el tambor después de su mezclado. Es recomendada para el batido de concretos poco trabajables ya que el retirado de la mezcla no presenta mayores dificultades. La mezcladora inversa es similar a la anterior pero el concreto es retirado girando el tambor en sentido contrario al mezclado. La velocidad de descarga es lenta y el concreto es susceptible de segregarse. La mezcladora de artesa no es móvil y tiene la forma de una batidora doméstica grande. Es eficiente cuando se trabaja con mezclas cohesivas, poco fluidas.

Los concretos premezclados son aquéllos cuya elaboración se efectúa en plantas especiales y son distribuidos a través de camiones concretos. Son de mejor calidad que los concretos mezclados a pie de obra pues el control de calidad del mezclado es más riguroso.

El tiempo mínimo de mezclado del concreto es función de la cantidad de mezcla a preparar y del número de revoluciones de la mezcladora. Se mide a partir del instante en que todos los ingredientes están en la máquina. Una especificación usual es la de un minuto por 0.7 m³ (=1 yarda³) de concreto más un cuarto de minuto por cada 0.7 m³ adicionales.

Sin embargo, el código del ACI requiere un tiempo mínimo de mezcla de un minuto y medio (ACI-5.8.3).

a) DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para permitir que:

- Se logre la trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.
- Se logre resistencia a las condiciones especiales de exposición a las que pueda estar sometido el concreto.
- Se cumpla con los requisitos de los ensayos de resistencia.

Cuando se empleen materiales diferentes para distintas partes de una misma obra, debe evaluarse cada una de las combinaciones de ellos.

- **Transporte del concreto**

El concreto debe transportarse de modo que se prevenga la segregación y pérdida de materiales.

Se emplean camiones concreteros, fajas transportadoras, canaletas metálicas, etc. Las fajas y canaletas deberán tener una pendiente que no favorezca la segregación o pérdida del concreto para lo cual deberán tener una inclinación que varíe entre 20" y 25". El concreto transportado por ellas deberá ser protegido contra el secado. Los camiones concreteros permiten trasladar el concreto a lugares alejados de la planta dosificadora, sin embargo, la mezcla no debe permanecer en él más de una hora y media, a menos que se tomen provisiones especiales.

- **Colocación del concreto**

La colocación debe efectuarse en forma continua mientras el concreto se encuentra en estado plástico, evitando la formación de juntas frías. Los elementos monolíticos se colocarán en capas horizontales que no excedan los 50 cm. de espesor y que sean capaces de ser unidas por vibración. El objetivo principal de este proceso es evitar la segregación para lo que se hace uso de mangueras, chutes, etc. En la figura 2.1 se muestran algunos métodos correctos e incorrectos de colocación y transporte del concreto.

El llenado sólo debe detenerse al llegar a una junta la cual se ubica de modo que el concreto vaciado en dos etapas no reduzca la resistencia del elemento. Estas juntas deben ser indicadas por el proyectista y no improvisadas en obra. El código del ACI (ACI-6.4) indica que para reiniciar el vaciado, debe limpiarse la superficie del concreto endurecido, humedecerla y retirar el agua en exceso. No se debe hacer uso de lechada de cemento. Para garantizar la transmisión de fuerzas cortantes se suele dejar rugosa la superficie de contacto. En losas y vigas, las juntas se suelen ubicar en el tercio central de la luz donde el momento de flexión es máximo y la fuerza cortante, mínima. Vigas, losas, paneles y capiteles deben ser vaciados simultáneamente, a menos que se especifique lo contrario y se tomen las previsiones del caso. Estos elementos horizontales no deben colarse hasta que el concreto de las columnas y muros que los soportan haya fraguado.

La compactación o vibrado del concreto consiste en eliminar el exceso de aire atrapado en la mezcla, logrando una masa uniforme que se distribuya adecuadamente en el encofrado y alrededor del refuerzo. Este proceso también es de suma importancia para conseguir un buen concreto. La compactación puede efectuarse manualmente mediante el chuceo o haciendo uso de vibradores. Los vibradores son de varios tipos: interno o de inmersión, externos y de superficie. Los primeros actúan sumergidos en el concreto y son los más efectivos por estar en contacto directo con el concreto fresco, transmitiéndole toda su energía. Los vibradores externos se fijan a la parte exterior del encofrado que está en contacto con el concreto. No son tan efectivos como los primeros pues parte de su energía es absorbida por el encofrado. Los vibradores de superficie se usan para compactar losas, pisos y pavimentos pues dejan de ser efectivos para profundidades mayores a 30 cm. Pueden ser planchas o reglas vibratoras. Las últimas se apoyan en los encofrados laterales y cuentan con vibradores, generalmente cada 60 ó 90 cm.

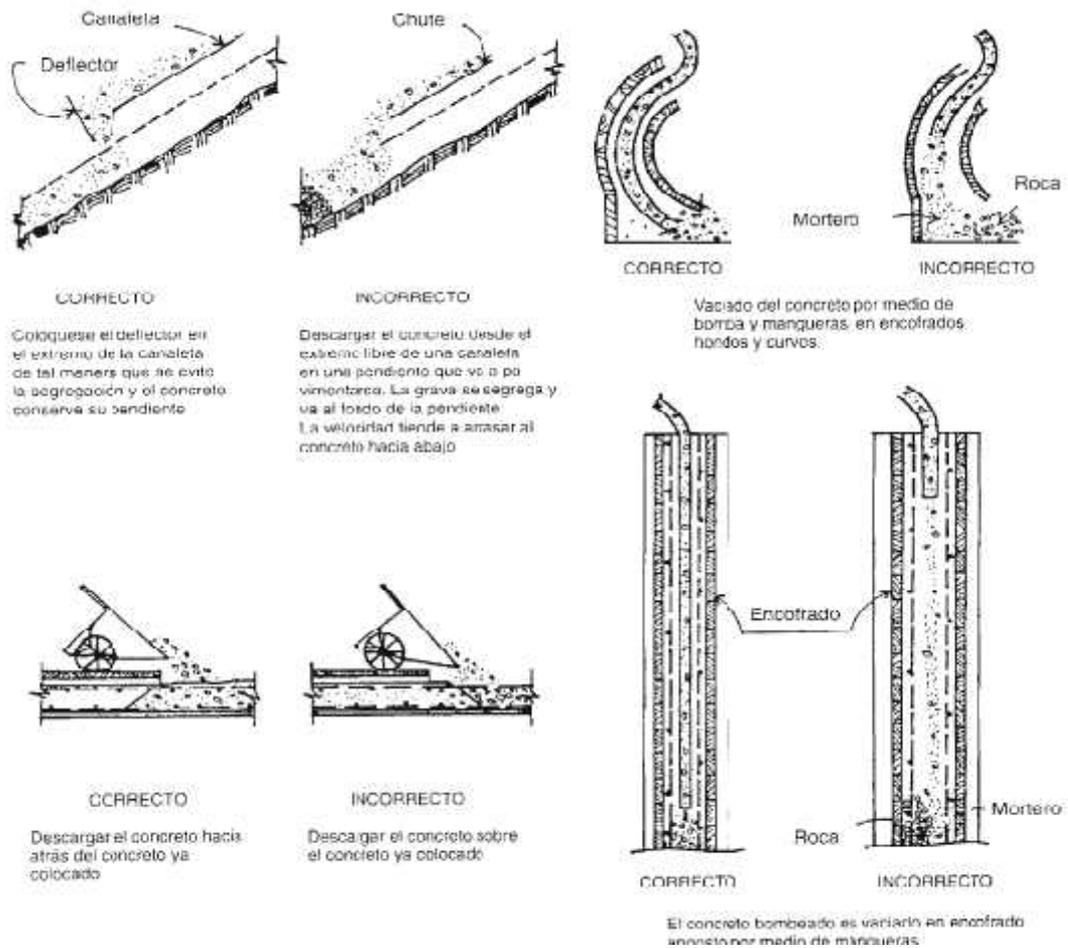
- **Curado del concreto**

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia fuera del concreto. Busca, también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos inducidos por ésta.

La falta de curado del concreto reduce drásticamente su resistencia como se muestra en la figura

En ella, también se puede apreciar que a mayor tiempo de curado, la resistencia alcanzada por el concreto es mayor. Como se puede apreciar, esta etapa del proceso constructivo es decisiva para la obtención de un buen concreto.

Figura N°4: Métodos correctos e incorrectos de colocación de concreto.



1.2.1.2.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO

- Resistencia del concreto ante solicitaciones uniaxiales

Resistencia del concreto a la compresión

Este parámetro es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm) de diámetro y 12" (30 cm) de altura. El espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo. El procedimiento estándar requiere que la probeta tenga 28 días de vida para ser ensayada, sin embargo este periodo puede alterarse si se especifica. Durante la prueba, el cilindro es cargado a un ritmo uniforme de 2.45 kg/cm²/s. La resistencia a la compresión (f'_c) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se describe en detalle en las normas ASTM-C-192M-95 y C-39-96.

Para concreto estructural $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, la resistencia teórica a la compresión es f'_c , sin embargo los cilindros de prueba no deben romperse a f'_c sino a una resistencia mayor llamada f'_{cr} , que depende de la desviación estándar del número de pruebas realizadas.

a) Cuando no hay información:

Sólo para concretos de $f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ $f_{cr} = f'_c + 85 \text{ Kg/cm}^2$

Para $f'_c > 350 \text{ Kg/cm}^2$ es obligatorio hacer pruebas

b) Cuando hay menos de 15 pruebas:

Para concretos de $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ $f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ Kg/cm}^2$

Para concretos $210 < f'_c < 350 \text{ Kg/cm}^2$ $f'_{cr} = f'_c + 85 \text{ Kg/cm}^2$

Para concretos de $f'_c > 350 \text{ Kg/cm}^2$ $f'_{cr} = 1.1f'_c + 50 \text{ Kg/cm}^2$

c) Cuando hay más de 15 pruebas pero menos de 30 el factor de la desviación estándar se modificará como sigue:

15 pruebas: se multiplica por 1.16

20 pruebas: se multiplica por 1.08

25 pruebas: se multiplica por 1.03

30 pruebas o más: se multiplica por 1.00

La desviación estándar se calcula por:

$$s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

Dónde: x_i = Resistencia individual de una prueba de 2 cilindros

-

\bar{X} = Promedio de n pruebas

n = número de pruebas consecutivas

d) Cuando hay más de 30 pruebas:

Para $f'_c \leq 350 \text{ Kg/m}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34S$ (5-1 ACI)
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33S - 35$ (5-2 ACI)
Para $f'_c > 350 \text{ Kg/m}^2$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34S$ (5-1 ACI)
	$f'_{cr} = 0.9f'_c + 2.35S$ (5-3 ACI)

Ninguna prueba debe estar menor de 35 kg/m² de f'_c para concreto de $f'_c \leq 350$ kg/m² ni menos de 0.1 f'_c para concretos de más de 350 kg/m².

En ocasiones un período de 28 días para determinar la resistencia del concreto puede resultar muy largo, por lo que se suele efectuar ensayos a los 7 días. La relación entre la resistencia obtenida a los 7 días y la resistencia a los 28 días, es aproximadamente:

$$f'_{c7} \approx 0.67f'_{c28}$$

Empíricamente se puede tomar

$$f'_{c28} = f'_{c7} + 8 \sqrt{f'_{c7}}$$

En la siguiente tabla se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días.

Cuadro N°4: Relación entre la resistencia de la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días.

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
$f'_{c(t)}/f'_{c28}$	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

- **Resistencia del concreto al esfuerzo cortante**

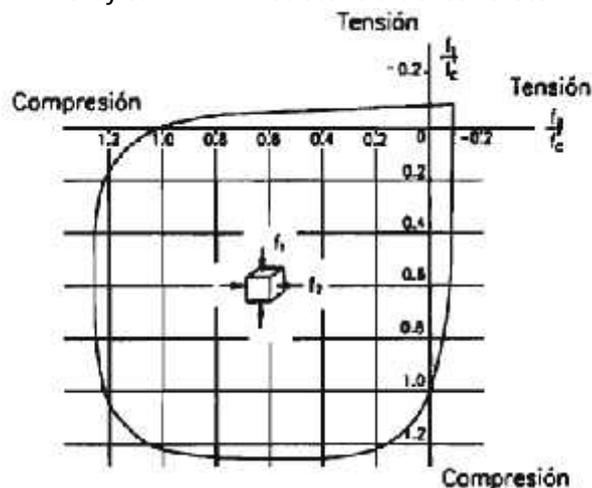
El esfuerzo cortante es una sollicitación que se presenta individualmente en casos muy excepcionales y la mayor de las veces actúa en combinación con esfuerzos normales. La resistencia al corte es difícil de evaluar pues no se puede aislar este esfuerzo de la tensión diagonal.

En el laboratorio, se han obtenido resistencias que varían de $0.2f'_c$ a $0.85f'_c$. Este rango tan amplio es explicable dada la dificultad que se tiene para aislar esta sollicitación de otras, en los ensayos utilizados para su determinación. En el diseño, los esfuerzos cortantes se limitan a valores bajos a fin de evitar fallas por tensión diagonal.

- **Resistencia del concreto ante sollicitaciones biaxiales y triaxiales**

Kupfer, Hilsdorf y Rüsck han efectuado ensayos en especímenes de concreto sometidos a esfuerzos en dos direcciones perpendiculares. Los resultados de estos experimentos se muestran en la figura 2.5. Como se puede apreciar la resistencia a la compresión biaxial puede ser hasta 27% mayor que la resistencia uniaxial. Además, si ambas cargas son de igual magnitud la resistencia se puede incrementar en aproximadamente 16%. La resistencia a la tracción biaxial prácticamente no difiere de la resistencia a la tracción uniaxial, sin embargo, cargas de tracción y compresión combinadas tienden a disminuir tanto la resistencia a la compresión como a la tracción.

Gráfica N°1: Resistencia del concreto



Fuente: Harmsen Teodoro E.

Aunque no existe en la actualidad una teoría que explique el comportamiento del concreto sometido a compresión triaxial, se han efectuado ensayos de probetas sumergidas en fluidos, los cuales ejercen presiones laterales sobre ellas. Richart, Brandtzaeg y Brown encontraron la siguiente relación empírica para la compresión axial del espécimen confinado:

$$f'_{cc} = f'_c + 4.1f_1$$

Dónde:

f'_{cc} : Resistencia a la compresión axial del espécimen confinado

f'_c : Resistencia a la compresión uniaxial del espécimen no confinado

f_1 : Presión de confinamiento lateral

1.2.1.2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO

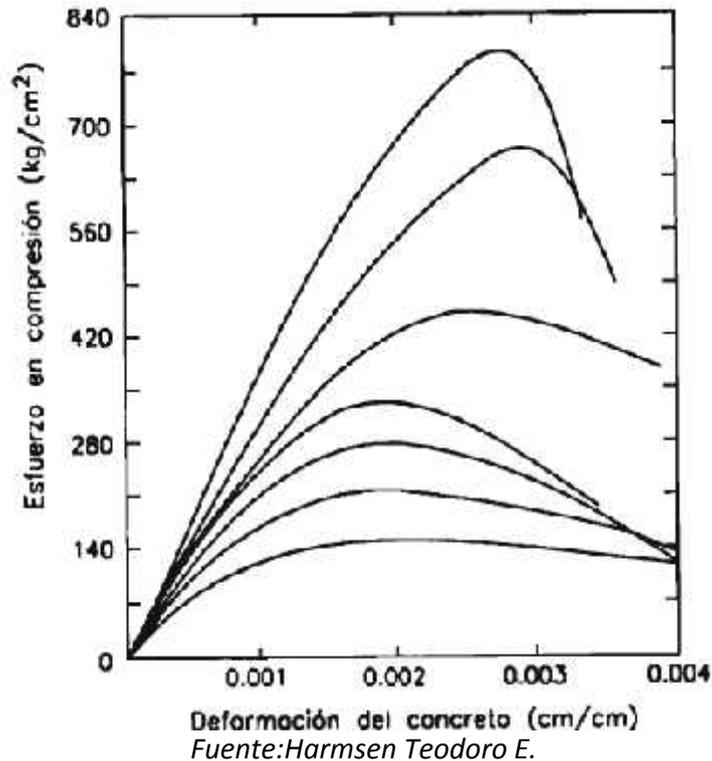
- **Relación esfuerzo-deformación del concreto a compresión**

Se muestran curvas esfuerzo-deformación para concretos normales de diversas resistencias a la compresión. Las gráficas tienen una rama ascendente casi lineal cuya pendiente varía de acuerdo a la resistencia y se extiende hasta aproximadamente 1/3 a 1/2 de f'_c .

Posteriormente adoptan la forma de una parábola invertida cuyo vértice corresponde al esfuerzo máximo en compresión. La deformación correspondiente a este punto es mayor para los concretos más resistentes. Sin embargo, para los de menor resistencia son casi constante e igual

0.002. La rama descendente de las gráficas tiene una longitud y pendiente que varía de acuerdo al tipo de concreto. Para concretos de resistencias bajas tiende a tener menor pendiente y mayor longitud que para concretos de resistencias mayores. De ello se deduce que los concretos menos resistentes son los más dúctiles. Hognestad y Todeschini han propuesto idealizaciones de la curva esfuerzo-deformación del concreto.

Gráfica N°2: Esfuerzo de compresión y Deformación



- **Módulo de Poisson**

El valor de este parámetro para el concreto oscila entre 0.15 y 0.20. Donde se muestra las deformaciones longitudinales, transversales y volumétricas de una probeta sometida a carga axial. Como se aprecia el volumen del espécimen disminuye durante casi toda la historia de carga. Solamente en la etapa final, aumenta dada las grandes deformaciones que experimenta.

1.2.1.2.5 EL ACERO DE REFUERZO

(HARMSSEN, Teodoro, "Diseño de Estructuras de Concreto Armado". Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 2005.)

En las secciones precedentes se han mostrado algunas de las características del concreto entre ellas su limitada resistencia a la tracción. Para que este material pueda ser utilizado eficientemente en la construcción de obras de ingeniería se requiere de elementos que le permitan salvar esta limitación. En el caso del concreto armado, el acero es el encargado de esta función.

El acero es una aleación de diversos elementos entre ellos: carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el más importante y el que determina sus propiedades mecánicas.

A mayor contenido de carbono, la dureza, la resistencia a la tracción y el límite elástico aumentan. Por el contrario, disminuye la ductilidad y la tenacidad. El manganeso es adicionado en forma de ferro-manganeso. Aumenta la forjabilidad del acero, su templabilidad y resistencia al impacto. Así mismo, disminuye su ductilidad. El silicio se adiciona en proporciones que varían de 0.05% a 0.50%. Se le incluye en la aleación para propósitos de desoxidación pues se combina con el oxígeno disuelto en la mezcla. El cromo incrementa la resistencia a la abrasión y la templabilidad; el níquel, por su parte, mejora la resistencia al impacto y la calidad superficial. Finalmente, el vanadio mejora la temperabilidad.

El acero para ser utilizado en concreto armado se fabrica bajo las normas ASTM-A-6151615M-00, y A-7061706M-00. En el Perú es producido a partir de la palanquilla pero en el extranjero también se suele conseguir el reciclaje de rieles de tren y ejes usados. Estos últimos son menos maleables, más duros y quebradizos.

El refuerzo del concreto se presenta en tres formas: varillas corrugadas, alambre y mallas electrosoldadas.

a) Varillas corrugadas y alambres

Las varillas corrugadas son de sección circular y, como su nombre lo indica, presentan corrugaciones en su superficie para favorecer la adherencia con el concreto. Estas corrugaciones deben satisfacer requisitos mínimos para ser tomadas en cuenta en el diseño. Existen tres calidades distintas de acero corrugado: grado 40, grado 60 y grado 75 aunque en nuestro medio sólo se usa el segundo. Las características de estos tres tipos de acero se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro N°4: Características resistentes de los aceros grado 40, 60 y 75

	f_y (kg/cm ²)	f_x (kg/cm ²)
Grado 40	2800	4900
Grado 60	4200	6300
Grado 75	5300	7000

Fuente: Harmsen Teodoro E.

Dónde:

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero.

fs: Resistencia mínima a la tracción a la rotura.

Las varillas se denominan por números y sus características geométricas se presentan en la Cuadro N°5.

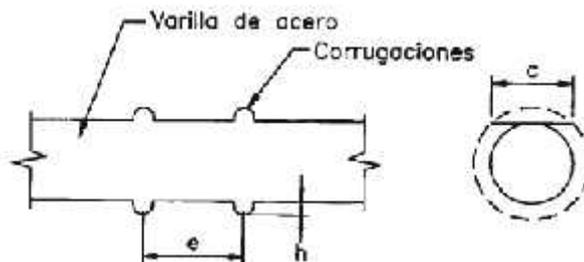
Cuadro N°5: Varillas corrugadas y sus características

#	d_n (in)	d_n (cm)	P(cm)	A_s (cm ²)	w(kg/m)	e(cm)	h(cm)	c(cm)	NEMP
2	1/4	0.635	2	0.32	0.250	-	-	-	
3	3/8	0.952	3	0.71	0.560	0.662	0.038	0.363	
4	1/2	1.270	4	1.29	0.994	0.888	0.051	0.485	
5	5/8	1.588	5	2.00	1.552	1.110	0.071	0.608	
6	3/4	1.905	6	2.84	2.235	1.335	0.096	0.728	
7	7/8	2.222	7	3.87	3.042	1.538	0.111	0.850	x
8	1	2.540	8	5.10	3.973	1.779	0.127	0.973	
9	1 1/8	2.865	9	6.45	5.060	2.010	0.142	1.100	x
10	1 1/4	3.226	10	8.19	6.403	2.250	0.162	1.240	x
11	1 3/8	3.580	11	10.06	7.906	2.500	0.180	1.370	
14	1 11/16	4.300	14	14.52	11.384	3.020	0.215	1.640	x
18	2 1/4	5.733	18	25.81	20.238	4.010	0.258	2.190	x

Fuente:Harmsen Teodoro E.

- donde:
- d_n : Diámetro nominal de la varilla.
 - P: Perímetro de la varilla.
 - A_s : Área de la sección transversal de la varilla.
 - w: Peso lineal de la varilla.
 - e: Máximo espaciamiento entre corrugaciones de la varilla.
 - h: Altura mínima de las corrugaciones de la varilla.
 - c: Cuerda de las corrugaciones de la varilla.
 - NEMP: No existe en el mercado peruano.

Figura N°5: Varillas corrugadas



Fuente:Harmsen Teodoro E.

Las varillas de la #3 a la #8 corresponden a un diámetro igual a su denominación en octavos de pulgada. Antiguamente las barras se hacían cuadradas y circulares. Las barras #9, #10, #11, #14 y #18 tienen una sección transversal

cuya área es igual a la de barras con sección cuadrada y lado de 1", 1 1/8", 1 1/4", 1 1/2" y 2". Sus diámetros se calcularon en función a esta característica.

La norma ASTM-A-615/615M-00 especifica aceros grado 40 y 60 en todas las denominaciones y acero grado 75 en varillas #11, #14 y #18. La norma ASTM-A-706/706M-00 especifica aceros de baja aleación soldables, grado 60. La norma ASTM-A-996/996M-00 permite el uso de acero proveniente de rieles y ejes.

En el Perú, las varillas #2 se comercializan en rollos y no presentan corrugaciones. Las varillas entre la #3 y #11 se expiden en largos de 30' o 9 m. pudiendo conseguirse en 6 m o 12 m bajo pedido.

El alambre de refuerzo puede ser liso o corrugado y es fabricado bajo las normas ASTM-A-82-97a y A-496-97a, respectivamente. Se usa, principalmente, como refuerzo transversal en columnas.

El código del ACI establece que para aceros con esfuerzo de fluencia mayor que 4200 kg/cm². Se considerará como esfuerzo de fluencia, el esfuerzo correspondiente a una deformación de 0.35%. Este esfuerzo no deberá ser superior a los 5600 kg/cm² (ACI-3.5.3.2, 9.4).

Actualmente, se están desarrollando nuevos tipos de corrugaciones que aumentan la adherencia entre acero y concreto.

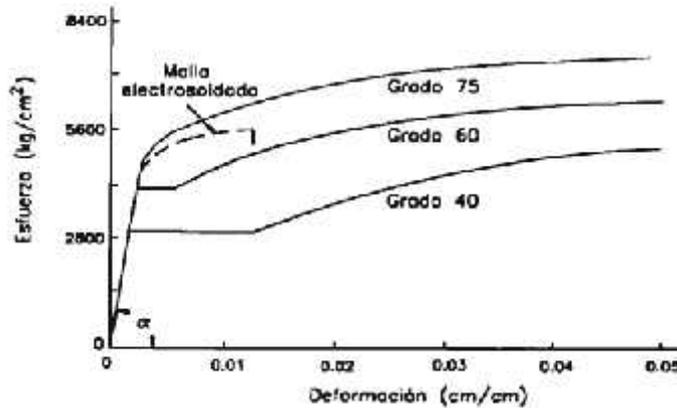
b) Propiedades mecánicas del Acero

- Relación esfuerzo-deformación del acero

En el gráfico N°3 se puede apreciar una porción de la curva esfuerzo-deformación para aceros de diversos grados. Como se observa, en la fase elástica, los aceros de distintas calidades tienen un comportamiento idéntico y las curvas se confunden. El módulo de elasticidad es definido como la tangente del ángulo α . Por lo tanto, este parámetro es independiente del grado del acero y se considera igual a:

Gráfico N°3: Curva Esfuerzo-Deformación y módulo de elasticidad del acero.

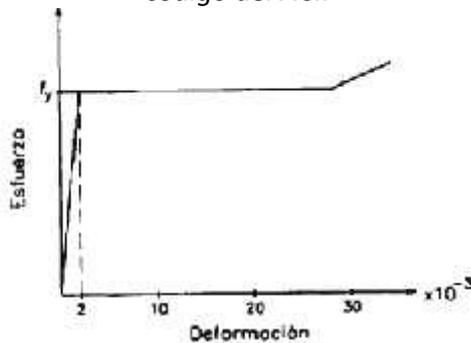
$$E_s = 2'039,000 \text{ kg/cm}^2$$



Fuente:Harmsen Teodoro E.

A diferencia del comportamiento inicial, la amplitud del escalón de fluencia varía con la calidad del acero. El acero grado 40 presenta una fluencia más pronunciada que los aceros grado 60 y 75.

Gráfico N°4: Idealización de la Curva esfuerzo-deformación del acero asumido por el código del ACI.



Fuente:Harmsen Teodoro E.

El código del ACI asume, para el diseño, que el acero tiene un comportamiento elastoplástico (ACI-10.2.4) para pequeñas deformaciones (ver figura 2.17).

El acero es un material que a diferencia del concreto tiene un comportamiento muy similar a tracción y a compresión. Por ello, se asume que la curva estudiada es válida para tracción y compresión.

- **Oxidación del acero**

El acero debe estar libre de óxido durante su colocación pues éste perjudica la adherencia con el concreto. Si las varillas lo presentan, deben limpiarse con escobilla de acero o con chorro de arena. El Óxido reduce la sección transversal

de las varillas afectando directamente su capacidad resistente. Durante el proceso constructivo debe verificarse que esta disminución no se acentúa.

El volumen del óxido es igual a siete veces el volumen del acero. Si el refuerzo se oxida dentro del concreto, aumentará de volumen y el recubrimiento se desprenderá. Con el ingreso del oxígeno la reacción se llevará a cabo más rápidamente y la armadura terminará por corroerse totalmente.

- **Fatiga del acero**

La fatiga en el acero se presenta si el material es sometido a ciclos de carga y descarga siempre que por lo menos uno de los límites de carga corresponda a una sollicitación de tracción. Existe un rango de variación de esfuerzos bajo el cual se puede someter indefinidamente al acero sin que pierda resistencia. Este es independiente de su esfuerzo de fluencia. Para barras rectas bajo la especificación ASTM A-615, es del orden de 1680 kg/cm². Si se presentan dobleces o soldaduras en los puntos de máximo esfuerzo este valor se reduce en un 50%.

- **Soldadura de acero**

En general, todos los aceros son soldables si se emplea el electrodo y la soldadura adecuada, que no recalienten el acero y lo hagan perder sus propiedades. Los puntos de soldadura deben indicarse en los planos, con sus detalles y debe especificarse el procedimiento de soldado, el cual será compatible con las características del acero por soldar. Es conveniente realizar análisis de la composición química del refuerzo para determinar la soldadura adecuada. Estas previsiones no son necesarias si se utiliza acero de la especificación ASTM-A-706/706M-00 pues su composición química está diseñada especialmente para hacerlo soldable. No se deben soldar estribos a la armadura principal.

- 1.2.1.3 *FIBRA DE CARBONO*
- 1.2.1.3.1 Antecedentes Investigativos

- La reparación y refuerzo de estructuras de concreto armado mediante fibras de carbono, se presenta como una alternativa interesante, debido fundamentalmente a las grandes prestaciones mecánicas (mayores relaciones resistencia/peso y rigidez/peso), a su buen comportamiento frente a la corrosión y a su rapidez y facilidad de puesta en obra sin la necesidad de mano de obra especializada.
 - Los trabajos previos de reparación superficial juegan un papel muy importante en la técnica de refuerzo.
 - Se deben usar anclajes en los extremos del refuerzo, así como anclajes locales para evitar un posible fallo frágil del sistema. Se debe prolongar la longitud de anclaje tanto como sea posible, y el extremo del refuerzo debe situarse próximo al apoyo de la viga.
 - Mediante esta técnica se produce un incremento significativo en la resistencia de las piezas sometidas a esfuerzos de flexión y a esfuerzos cortantes, y en las columnas reforzadas. (Autor: Pedro Galvín Barrera)
-
- La eficiencia de la técnica de refuerzo y/o reparación con polímeros reforzados con fibras de carbono depende de la configuración adoptada; ya que por ser el refuerzo un material ortótropo con valores mayores de resistencia en la dirección axial de las fibras que en la dirección transversal, si se elige una configuración inadecuada podría resultar en un perjuicio para la estructura. (Autor: V. Rougier)
-
- La fibra de carbono se utiliza de forma creciente en aquellas aplicaciones constructivas donde se requiere gran resistencia estructural y bajo peso, por tales ventajas es una cuestión de tiempo que este material se imponga sobre el resto de materiales estructurales debido a la moldeabilidad, resistencia y ligereza del material. (Autor: A. Miravete)

1.2.1.3.2 Fundamentación Filosófica

La presente investigación se basa en que ya es necesario hacer uso de los nuevos elementos que tienen propiedades físicas y mecánicas adecuadas, para

que estas sean utilizadas en un 100% en la reparación de vigas siempre y cuando su desempeño sísmico sea el ideal.

En la actualidad los ingenieros ya han comenzado a utilizar la fibra de carbono como refuerzo en elementos estructurales ya que el peso de la viga se disminuye en una cuarta parte comparada con las que son reforzadas con acero.

1.2.1.3.3 Categorías Fundamentales Supraordinación de las Variable

Variable Independiente

Figura N°6:Desempeño sísmico de una viga.



Variable Dependiente

Reparación con fibras de carbono.

Figura N°7:Relación viga-columna



1.2.1.3.4 Marco Conceptual

Fibra De Carbono

Enfoque

El presente estudio tuvo un enfoque cuantitativo y cualitativo, fundamentado en datos que se obtendrán del desempeño de fuerzas en una viga normal sometida a cargas máximas y de otra usando tres sistemas de refuerzo a flexión, reparada con fibras de carbono igualmente con la recrecido de concreto armado y finalmente con la eliminación de sección de viga y aumento de cuantía de acero sometidas a sus respectivas cargas que soporte. Y cualitativo ya que veremos la calidad, durabilidad y resistencia que tendrán las vigas reparadas con fibras de carbono a los 28 días.

Diseño de la Investigación

La metodología a implementar en este proyecto es de carácter experimental, debido a que se van a manipular materiales compuestos en fibras de carbono como reforzamiento en vigas armadas, asimismo se manipularán las variables independientes (Geometría, material y cargas) para estudiar así las variables dependientes (Deformaciones, resistencia y esfuerzos).

Hernández, Fernández y Baptista (2006; 161): "Un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen".

- **Reforzamiento Estructural**

- Cambio de Uso de la edificación
Ejm: Ambientes destinados a oficinas cambian a ser almacenes.
- Errores de Diseño / Construcción
- Problemas de Degradación y/o deterioro de algunos elementos.
(Oxidación, degradación del concreto, etc.)
- Evolución en los Códigos y-o Reglamentos.
- Otros.

- **Reforzamiento con Fibras de Carbono**

Para el diseño a flexión de la viga usando fibras de carbono, se utilizó la plantilla de cálculo de Sika, Versión 4.4 2003-2010 SI.

Las solicitaciones de carga, son los momentos (KN-m) sin mayorar originados por la carga muerta y carga viva. Cabe recordar que no se tienen en cuenta los parámetros sísmicos.
¿Por qué usar Compuestos?

- **Beneficios Estructurales**

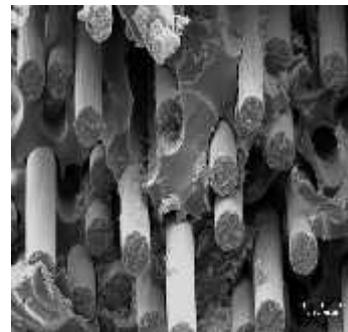
- Muy alta resistencia a la tensión.
- Ligero

- **Beneficios al Ciclo de Vida**

- Resistente a Corrosión
- Bajo espesor, no se nota

- **Beneficios Económicos**

- Bajo costo de instalación
- Rápida puesta en servicio



Fibra de Carbono:

Se presenta una visión general de las estructuras y formas del carbono en estado sólido, con el principal objetivo de elaborar criterios de clasificación que permitan situar a cada tipo determinado de sólido carbonoso en el conjunto global. Tras una breve descripción de las estructuras básicas (diamante, grafito hexagonal, carbinos), se examinan las formas del carbono con hibridación sp^2 predominante, que constituyen la mayor parte de los materiales de carbono de interés práctico. Se presenta una clasificación fenomenológica de estos materiales en grafiticos, grafitizables y no grafitizables. Finalmente, se

desarrolla el concepto de unidad estructural básica de los materiales de carbono y se destaca la importancia de los grados de apilamiento y de orientación de los constituyentes básicos como criterios de clasificación. Se ilustra con ejemplos la aplicación de la difracción de rayos X, espectroscopía Raman y diferentes técnicas microscópicas a la caracterización estructural de este amplio conjunto de materiales.

Palabras clave: Materiales de Carbono, Estructura, Grafito, Nanotubos de Carbono

1.2.1.3.5 Reforzamiento con fibras de carbono

Descripción del material y su presentación

a) El carbono

“El carbono no es un elemento abundante; constituye solo el 0.027 por ciento de la corteza terrestre. Aunque un poco de carbono 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 CaCO_3 . También hay carbono en la hulla, el petróleo y el gas natural. La importancia del elemento estriba en gran parte en su presencia en todos los organismos vivos: la vida como la conocemos se basa en compuestos de carbono.

b) La fibra de carbono

“Las propiedades del grafito son anisotrópicas, es decir, difieren en distintas direcciones a través del sólido. A lo largo de los planos de carbono, el grafito posee gran resistencia a causa del número y la fortaleza de los enlaces carbono-carbono en esta dirección. En cambio, hemos visto que los enlaces entre los planos son relativamente débiles, lo que hace que el grafito sea débil en esa dirección.

Se pueden preparar fibras de grafito en las cuales los planos de carbono están alineados paralelos al eje de la fibra en diversos grados. Estas fibras también son ligeras y muy poco reactivas químicamente. El proceso de “estiramiento” y “orientación” de dichas fibras a determinada temperatura, obtiene como producto carbono amorfo, comúnmente conocido como fibras de carbono.”

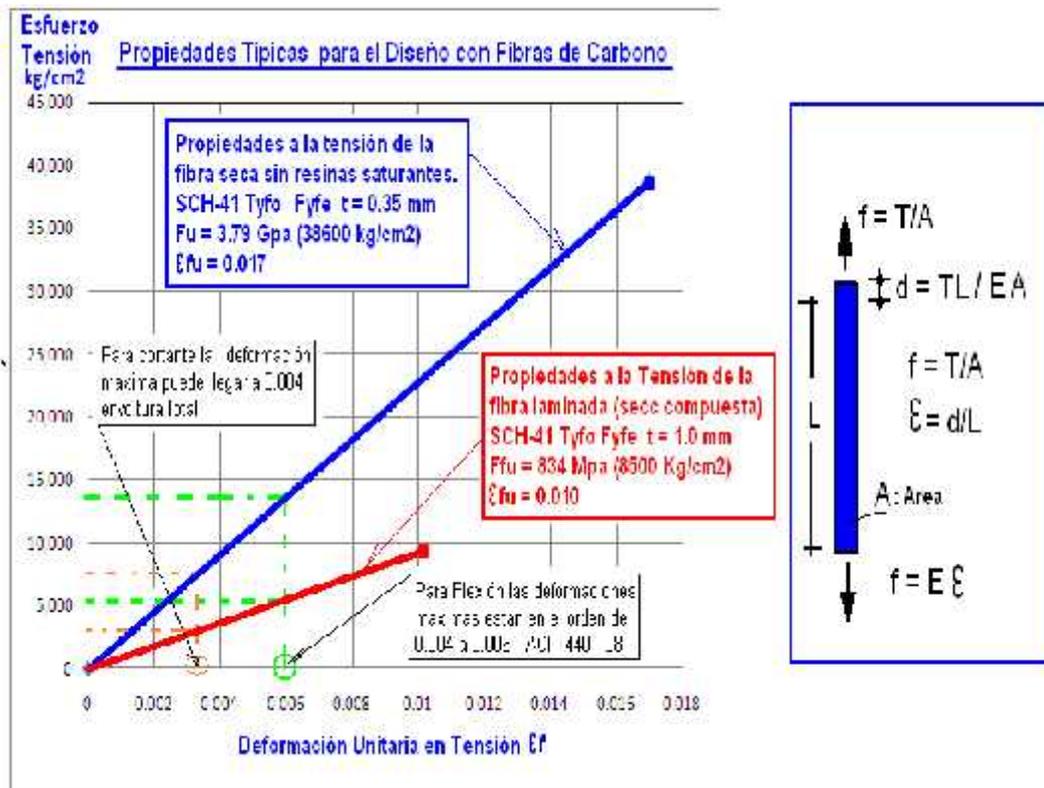
Gracias al gran desarrollo científico que se ha dado en el conocimiento y manejo del carbono, que años atrás se consideraba destinado a ser usado solamente con fines científicos más bien exóticos y reservados a grandes

laboratorios, hoy encontramos que en la industria de la construcción pueden desempeñar un papel muy útil y atractivo.(FERNÁNDEZ Mercedes F. APLICACIONES DE REFUERZOS DE ESTRUCTURAS EN BASE A FIBRAS DE CARBONO. Polímeros Reforzados con Fibras de Carbono)

“Se usan extensamente materiales compuestos (“composites”) que aprovechan la resistencia, estabilidad y baja densidad de las fibras de carbono. Los materiales compuestos son combinaciones de dos o más materiales que están presentes en fases separadas y se combinan para formar estructuras que aprovechan ciertas propiedades deseables de cada componente. En los materiales compuestos de carbono, las fibras de grafito se tejen para formar una tela que se incrusta en una matriz que aglutina las fibras para formar una estructura sólida.

Propiedades del Sistema de Refuerzo (FRP)

Gráfico N°5: Propiedades Tópicas para el Diseño con Fibras de Carbono



Fuente: FERNÁNDEZ Mercedes F.

Es importante distinguir las propiedades del sistema (FRP)

Hemos verificado muchos errores al respecto

Propiedades del Sistema FRP.

Para el diseño, las principales propiedades nominales de los materiales proporcionadas por los fabricantes y verificadas por ensayos, deben ser afectadas por el Coeficiente CE.

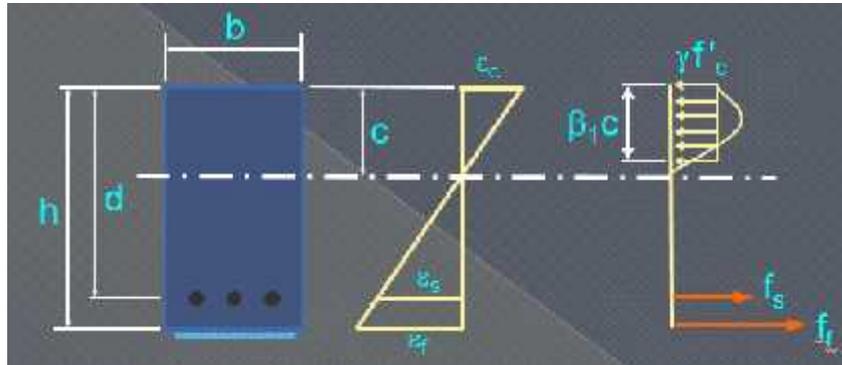
Propiedades del Sistema FRP para el diseño

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad \text{Esfuerzo de Rotura}$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^* \quad \text{Deformación de Rotura}$$

$$E_f = f_{fu} / \epsilon_{fu} \quad \text{Modulo de Elasticidad}$$

Gráfico N°6: Capacidad por Flexión



Fuente: FERNÁNDEZ Mercedes F.

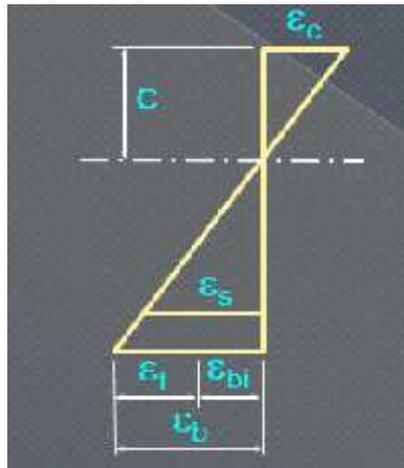
$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{S_1 c}{2} \right) + E_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{S_1 c}{2} \right)$$

ACI 08 - $f_e \ll f_u$ (Fallas delaminación)

CALCULO DE DEFORMACIONES

Gráfico N°7:
deformaciones

Distribución de



Fuente: FERNÁNDEZ Mercedes F.

- Asumir compatibilidad deformación
- Basado en modo de falla
- Calcula la deformación de cada material por triángulos similares

a.1) Platinas de fibras de carbono

Conformadas por una matriz de resina epóxica en combinación con fibras de carbono. Las fibras son el componente con capacidad portante y la matriz epóxica lo que las une entre sí, permite la transferencia de cargas y protege a las fibras del ambiente.

Es en dirección de las fibras que la platina tiene una alta resistencia y rigidez y una gran resistencia a la fatiga y a la fluencia plástica. Estas características junto a la baja densidad del material, son parte importante de su atractivo uso en la construcción.

Las fibras le confieren a las platinas una estructura unidireccional. Por esto deben ser colocadas longitudinalmente, en dirección de las solicitaciones. En esta dirección las características mecánicas de la platina se determinan por las características de la fibra de carbono que la compongan y la cantidad de las mismas, medido en volumen de fibras. En la dirección transversal, la resistencia a flexión y cortante es baja.

PRESENTACIÓN: Platinas de largo variable y en varios anchos, en varios tipos según módulo de elasticidad y resistencia. Existe en plaza un tipo de platina específica para madera. Es transportable en rollos.

a.2) Tejidos de fibra de carbono

Son tejidos de fibra de carbono unidireccionales, que en su colocación se satura con una resina epóxica y se coloca en capas. Existen tejidos de fibra de carbono (CFRP) y de fibra de vidrio (GFRP). Su conformación como tejido permite su uso en elementos irregulares, beneficio frente a las platinas cuya colocación es lineal y condicionada por su presentación.

Los tejidos reforzados con fibras de carbono siempre se pueden sustituir por los reforzados con fibras de vidrio, pero no siempre a la inversa.

PRESENTACIÓN: En rollos. Tejido de 30 cm de ancho y 50 m de largo.

Usos

Los CFRP, según su presentación y disposición sobre la estructura a reforzar, se pueden utilizar para el reforzamiento estructural de:

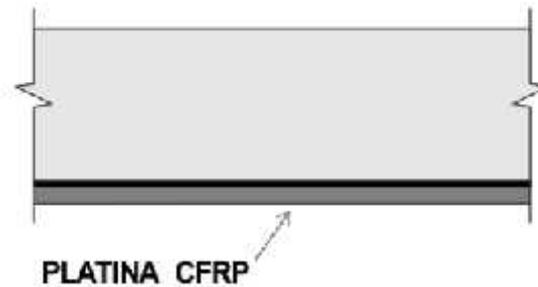
- vigas y losas de hormigón armado a flexión
- vigas de madera a flexión
- vigas y pilares de hormigón armado a cortante
- vigas de hormigón armado a momento torsor.
- reforzamiento de columnas a compresión, flexión y cortante
- incremento de ductilidad en columnas de hormigón armado
- muros de mampostería (no armados) a flexión y cortante
- placas de hormigón armado

1.2.1.3.6 Reforzamiento a flexión con Fibra de Carbono

a) Conceptos básicos y procedimiento

El reforzamiento a flexión de vigas tanto de hormigón armado como de madera se lleva a cabo adhiriendo externamente el CFRP (en platinas o tejido) a la superficie de la viga. Según el diseño y cálculo que se implemente, se utilizará una sola capa de material reforzante o varias, una sola tira o varias.

Figura N°9: Sección longitudinal de una viga reforzada con platina CFRP A Flexión.



CUADRO COMPARATIVO PLATINA METÁLICA – PLATINACFRP, extraída de la guía de diseño para sistemas FRP elaborada por Sika Colombia. Los conceptos manejados aquí aplican también para el refuerzo de losas y el de viguetas.

El reforzamiento con CFRP de vigas a flexión no contribuye en nada en la resistencia al cortante. Para reforzar también a cortante se deberán implementar soluciones adicionales y específicas para eso, citadas en **REFORZAMIENTO A CORTANTE EN VIGAS**. Es posible reforzar también con fibras de carbono estructuras pre o post-tensadas. (FERNÁNDEZ Mercedes F. (APLICACIONES DE REFUERZOS DE ESTRUCTURAS EN BASE A FIBRAS DE CARBONO))

Cuadro N°6: Cuadro comparativo platina metálica – platina CFRP

	Platina metálica	Platina CFRP
Peso propio	Alto	Bajo
Resistencia a la tensión	Alta	Muy alta
Espesor general	Bajo	Muy bajo
Corrosión	Sí	Ninguna
Longitud de las platinas	Limitada	Cualquiera
Manejo	Difícil, rígido	Flexible, fácil
Capacidad de carga	En cualquier dirección	En dirección longitudinal
Cruces	Complejo	Fácil
Comportamiento a la fatiga	Adecuado	Sobresaliente
Costo de materiales	Bajo	Alto
Costo de instalación	Alto	Bajo
Aplicación	Con equipo de elevación y elementos de fijación	Sin herramientas

Fuente: Según la cartilla de construcción Sika.

En conclusión: Las estructuras básicas de diamante y grafito hexagonal están complementadas con otras (carbinos) que, a pesar de ser poco frecuentes e incluso discutidas en cuanto a su existencia real, ayudan a explicar las tendencias estructurales en el conjunto de sólidos carbonosos en función del tipo de enlace químico presente.

Las formas del carbono con hibridación sp^2 mayoritaria se pueden clasificar de modo sencillo en grafitizables y no grafitizables, aunque el criterio de diferenciación establecido es excesivamente empírico y existen importantes excepciones a esta regla (caso de los materiales derivados de las poliimidias).

Los criterios de tipo estructural proporcionados por técnicas tales como la difracción de rayos X, la espectroscopía Raman y diferentes tipos de microscopías, permiten establecer una clasificación racional del amplio conjunto de los materiales de carbono. Los grados de grafitización y de orientación de los constituyentes básicos permiten justificar algunas propiedades de materiales de carbono muy diferentes.

1.2.1.3 TIPOS DE FALLAS MÁS COMUNES

Las vigas de hormigón armado fallan generalmente por flexión, compresión y por fuerzas externas producidas por eventos sísmicos, siendo la más común la falla por flexión pues es más dúctil y ello permite una redistribución de tensiones.

1.2.1.3.1 FISURAS POR FLEXIÓN

i. Fisuras por flexión pura

Suelen ser perpendiculares a la dirección del refuerzo longitudinal dispuesto en la dirección de la tracción principal. La existencia de armadura transversal (estribos) puede hacer que las fisuras se alineen con ella e incluso favorezcan el inicio o la propagación de las mismas fisuras. Estos planos de falla por flexión son de dos tipos: Grietas de flexión que originalmente son fisuras de tracción. Grietas por tracción que emergen como una manifestación del aumento de la deformación. Se localizan entre las grietas de flexión y se extienden por encima de las barras de refuerzo.

ii. Fisuras por tracción pura

Se forman a lo largo de la dirección de las barras de refuerzo principal. Son fisuras provocadas por el exceso de tracción longitudinal. Se forman planos de falla (fisuras y grietas) transversales a lo largo de la sección. Los incrementos de la tracción actuante en la sección provocan de manera súbita una grieta que afecta la unión entre el hormigón y la barra de refuerzo en una determinada zona (distancia de deslizamiento). Como consecuencia de ello, se interrumpe la transferencia de los esfuerzos actuantes por pérdida de la adherencia mecánica entre el acero y el hormigón.

iii. Fisuras por adherencia (longitudinales)

Son aquellas que se forman a lo largo de la dirección de las barras longitudinales. Se pueden inducir como consecuencia de los fenómenos de retracción o asentamiento plástico. También pueden formarse grietas longitudinales por falta de adherencia entre el hormigón y el acero de refuerzo. Esta situación es poco común en estructuras bien calculadas y construidas. Ocasionalmente, se presenta la falta de adherencia porque durante la construcción las varillas de acero se impregnan de aceites, bentonita o tienen óxido suelto.

iv. Fisuras por cortante

Los esfuerzos cortantes y de tracción provocan fisuras oblicuas que también son transversales a la dirección del acero longitudinal principal. Aparecen inclinadas en zonas cercanas a los apoyos (cortante máxima) o bajo cargas puntuales elevadas. El ángulo entre las grietas de cortante inclinadas y el eje de la viga es de aproximadamente 45° . Las grietas de cortante siempre atraviesan todo el espesor de la viga y su anchura depende de la sección de la viga.

v. Fisuras por torsión

Las fisuras por torsión también son oblicuas pero continuas y en espiral. Atraviesan completamente la sección de los miembros afectados.

vi. Fisuras por rigidez del apoyo

Ocurre cuando la conexión entre el elemento que se apoya y el elemento de apoyo no tiene una transición adecuada mediante el uso de amortiguamiento como un cojín de neopreno. La fractura ocurre como consecuencia de los movimientos y esfuerzos horizontales que experimenta la zona de apoyo por los ciclos de dilatación y contracción térmica; y/o por la rotación que experimenta el elemento apoyado induciendo un sobre-esfuerzo local de compresión.

vii. Fisuras por falta de refuerzo en el borde

Ocurre cuando el borde del extremo de una viga que se apoya sufre esfuerzos de compresión y/o tracción locales y no se ha reforzado suficientemente. Cuando el refuerzo principal está compuesto por varillas de gran diámetro que al ser dobladas requieren de un amplio radio de doblado que no se cumple.

viii. Fisuras activas

Tienen un tamaño variable, son función de los ciclos de carga y de los ciclos de temperatura. Se reparan utilizando un material de llenado flexible que permita el movimiento y evite la ruptura del elemento en otro lugar. Hay dos tipos de fisuras activas: las aisladas y las fisuras en red. Las fisuras en red no se deben, en general, a un exceso de esfuerzos. Sería entonces inútil, reforzar el elemento. Cuando la fisura es aislada y activa, reestablecer la resistencia en tracción de la parte fisurada conduce a desplazar el problema y hacer fisurar otra parte diferente del elemento. Como consecuencia de esto, se debería estudiar la distribución de esfuerzos, reforzar e instalar juntas a proximidad de la fisura.

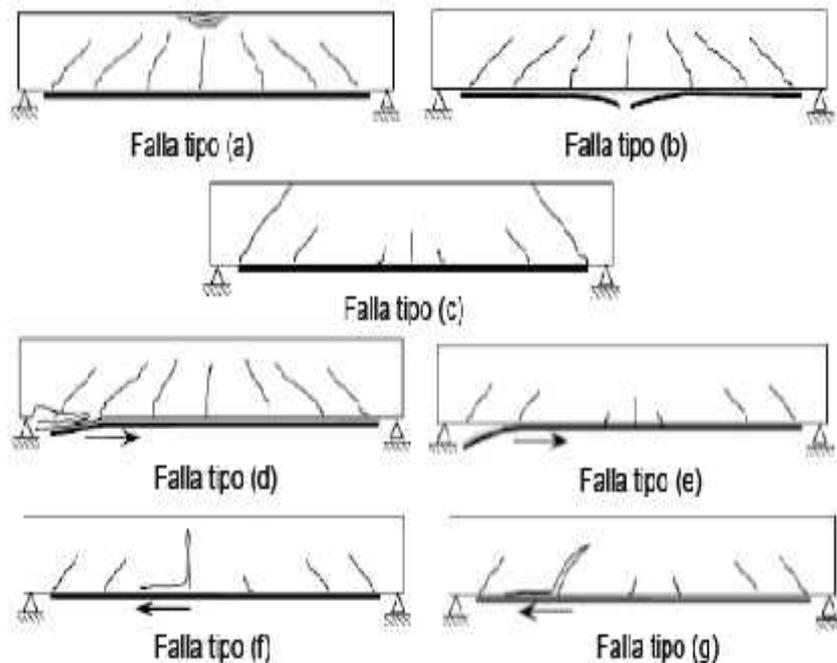
ix. Fisuras evolutivas

- Tienen un tamaño que aumenta si los fenómenos que las producen no son eliminados.
- Movimientos del suelo.
- Corrosión del acero de refuerzo.
- Una fisura evolutiva no se puede reparar sin antes eliminar el fenómeno que la produce.

1.2.1.3.2 Patología de fallas en estructuras de concreto a flexión

El refuerzo a flexión de una viga de concreto armado con materiales compuestos (Fibra de carbono) se realiza adhiriendo el material a la parte inferior de la viga, el cual es el lugar donde se generan los esfuerzos a tracción. Por tal razón es importante que la zona a reforzar este libre de polvos, grasas e irregularidades. Por lo general las vigas reforzadas con materiales compuestos tienen fallas frágiles y repentinas, lo cual reduce la posibilidad de alcanzar su resistencia última de flexión. De acuerdo a lo expuesto en el artículo “Vigas de hormigón armado reforzadas y/o reparadas con materiales compuestos” (S. Echazu Lamas, 2010), los modos de falla de una viga reforzada a flexión con materiales compuestos se clasifican en siete categorías.

Figura N°8: Modo de falla de vigas reforzadas a flexión con materiales compuestos.



Fuente: Refuerzo y rehabilitación de estructuras. Cinpar 2010.

- Falla tipo (a). Esta falla se produce por la rotura del hormigón en la zona de compresión.
- Falla tipo (b). Esta falla se da por la rotura del material compuesto.

- Falla tipo (c). Falla por corte.
- Falla tipo (d). Esta falla se produce por el desprendimiento del recubrimiento de hormigón.
- Falla tipo (e). Esta se produce por el desprendimiento del extremo final de la fibra.
- Falla tipo (f). Se produce por el despegue del refuerzo de material compuesto inducido por fisura de flexión.
- Falla tipo (g). Despegue del refuerzo de material compuesto inducido por fisura de corte.

1.3.2 FLEXIÓN PURA

1.3.2.1 Flexión

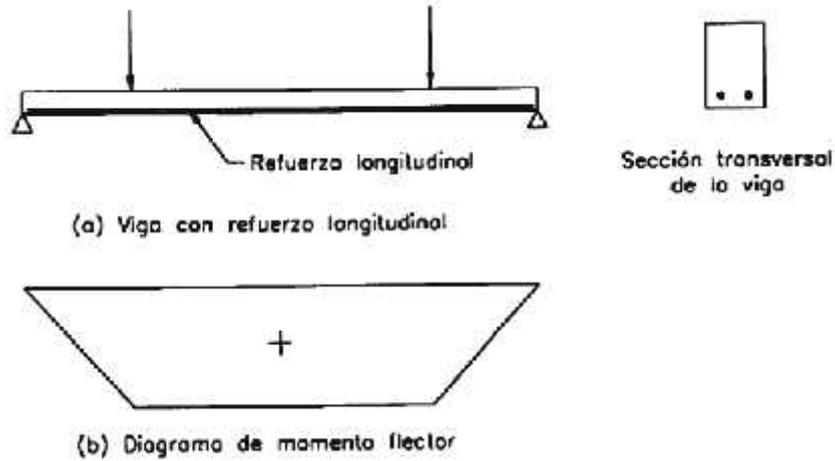
(HARMSSEN, Teodoro, "Diseño de Estructuras de Concreto Armado". Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 2005.)

Se desarrollarán los principios básicos del comportamiento de los elementos de concreto armado sometidos a flexión. Es imprescindible comprender claramente este fenómeno para luego deducir las expresiones a usar tanto en el análisis como en el diseño. El análisis implica fundamentalmente la determinación del momento resistente de una sección completamente definida. El diseño es el proceso contrario: dimensionar una sección capaz de resistir el momento aplicado. Si bien es ciertos ambos usan los mismos criterios, los procedimientos a seguir son diferentes y serán expuestos por separado.

1.3.2.1.1 Comportamiento de una Viga de Concreto Armado Sometida a Flexión.

La viga mostrada en la figura N°14 es de sección rectangular, simplemente apoyada y cuenta con refuerzo en la zona inferior. Está sometida a la acción de dos cargas concentradas iguales las cuales generan el diagrama de momento flector presentado en la figura 15. A lo largo de todo el elemento, la fibra superior está comprimida y la inferior, fraccionada.

Figura N°14: Viga Simplemente apoyada sometidas a cargas concentradas

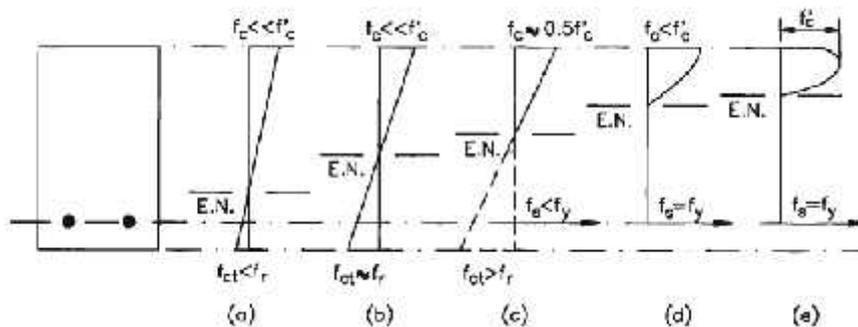


Fuente: HARMSEN, Teodoro

- Si las cargas se incrementan hasta la falla por flexión, la sección central de la viga, donde la fuerza cortante es nula, atraviesa por las siguientes etapas:

1ra etapa: La carga externa es pequeña. Los esfuerzos de compresión y tracción en la sección no superan la resistencia del concreto, por lo que no se presentan rajaduras. La distribución de esfuerzos en la sección es la mostrada en la Figura N°15.

Figura N°15: Variación de los esfuerzos y deformaciones con el incremento del momento aplicado.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

2da etapa: La tensión en el concreto casi alcanza su resistencia a la tracción. Antes que se presente la primera rajadura toda la sección de concreto es efectiva y el refuerzo absorbe el esfuerzo ocasionado por su deformación. Puesto que acero y concreto se deforman igual por la adherencia que existe entre ellos, los esfuerzos en ambos materiales están relacionados a través de la relación modular, n , definida en el capítulo precedente.

$$f_s = n f_c$$

- dónde:

f_s : Esfuerzo en el acero.

f_c : Esfuerzo en el concreto

La viga experimenta un comportamiento elástico y la distribución de esfuerzos es la mostrada en la figura 15.

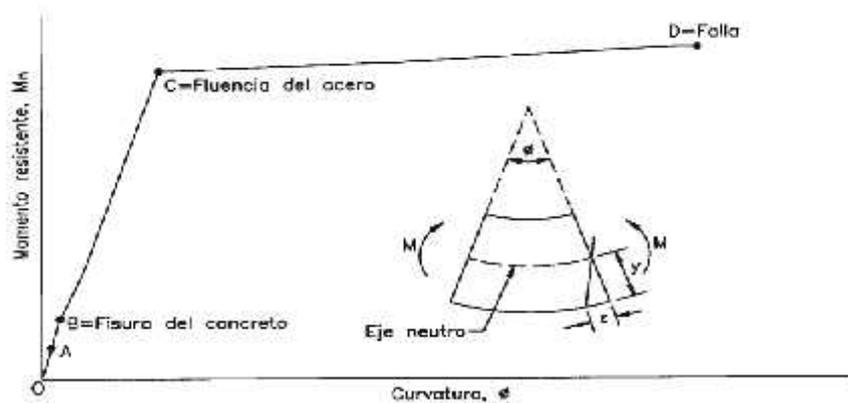
3ra Etapa: Se alcanza el denominado momento crítico, M_{cr} , bajo el cual se desarrollan las primeras rajaduras en la zona central de la viga. El eje neutro asciende conforme la carga aumenta como se aprecia en la figura 16. El concreto, al agrietarse, no resiste el esfuerzo de tracción y éste es absorbido íntegramente por el refuerzo. La sección es menos rígida pues su momento de inercia disminuye. Esto ocasiona que las deflexiones sean progresivamente mayores. En esta etapa, el concreto tiene una distribución de esfuerzos casi lineal. Los esfuerzos en el concreto llegan hasta $0.5f_c$. Conforme aumenta la carga, las rajaduras se van ensanchando y se dirigen hacia el eje neutro. Si se retira la carga repentinamente, las rajaduras se cerrarán pero si el elemento se recarga ésta reaparecerán rápidamente. El comportamiento observado en las dos primeras etapas no se repetirá. La magnitud de las cargas en esta fase corresponde a las propias de las condiciones de servicio.

4ta etapa: El refuerzo alcanza el esfuerzo de fluencia aunque el concreto no llega a su resistencia máxima. Los esfuerzos en el concreto adoptan una distribución aproximadamente parabólica. La deflexión se incrementa rápidamente y las rajaduras se ensanchan. Conforme se incrementa la carga,

el acero entra a la fase de endurecimiento por deformación y finalmente el concreto falla por aplastamiento.

Las cuatro fases descritas son claramente diferenciadas en el diagrama momento resistente versus curvatura mostrado en la figura 16.

Figura N°16 Diagrama de Momentos resistentes-curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

Se define curvatura como:

$$\phi = \frac{\epsilon}{y}$$

Dónde: ϵ : Deformación unitaria de la sección analizada a una distancia y del eje neutro de la misma.

Dado que se asume una distribución lineal de las deformaciones, ϵ e y son directamente proporcionales y en consecuencia el valor ϕ es constante para cada momento resistente.

Los tramos OA y AB del diagrama momento versus curvatura corresponden a las dos primeras etapas analizadas. La pendiente de la curva es constante y corresponde a la rigidez de la sección bruta de la viga. El concreto aún no se ha rajado y toda la sección trabaja eficientemente. En el tramo BC la pendiente de la curva disminuye lo cual es coherente con la pérdida de rigidez que se observa en la tercera etapa. El tramo CD corresponde al comportamiento de la viga antes del colapso. El acero ha entrado en fluencia y se puede apreciar que la pendiente de la gráfica es mínima. Se observan grandes deformaciones para escasos incrementos de momento.

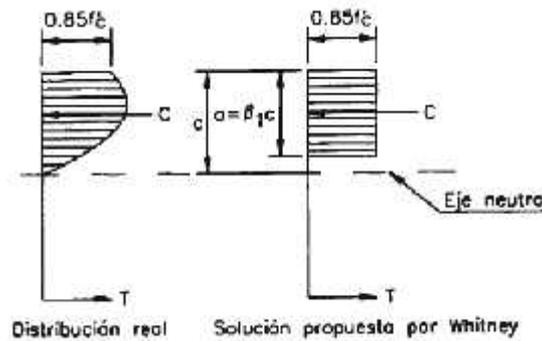
Si la viga no contara con refuerzo, la falla se presentaría inmediatamente después que el concreto pierde su capacidad para resistir esfuerzos de tensión, es decir, al fisurarse. La presencia de acero en la viga de concreto incrementa apreciablemente su resistencia y ductilidad.

1.3.2.1.2 Hipótesis Básicas para el Estudio de elementos Sometidos a Flexión Según el Código del ACI.

Las hipótesis básicas para el análisis y diseño de elementos sometidos a flexión se presentan en la sección 10.2 del código y son las siguientes:

1. Las deformaciones en concreto y refuerzo son directamente proporcionales a su distancia al eje neutro de la sección excepto para vigas de gran peralte para las cuales se asumirá una distribución no lineal de deformaciones. Esta suposición ha sido confirmada experimentalmente y es fundamental para la determinación de los esfuerzos en el refuerzo, tanto a tensión como a compresión.
2. El concreto falla al alcanzar una deformación unitaria última de 0.003. En laboratorio, se ha obtenido deformaciones superiores a 0.008 bajo condiciones especiales. Sin embargo para concretos normales éstas varían entre 0.003 y 0.004.
3. El esfuerzo en el acero antes de alcanzar la fluencia es igual al producto de su módulo de elasticidad por su deformación unitaria. Para deformaciones mayores a la de fluencia, el esfuerzo en el refuerzo será independiente de la deformación e igual a f_y . Esta hipótesis refleja el modelo elasto-plástico de la curva esfuerzo-deformación del acero que asume el código del ACI.
4. La resistencia a la tensión del concreto es despreciada.
5. La distribución de los esfuerzos de compresión en la sección de concreto será asumida de modo que sea coherente con los resultados obtenidos en los ensayos. Esta hipótesis reconoce la naturaleza inelástica del comportamiento del concreto.
6. Los requerimientos del punto anterior son satisfechos por la distribución rectangular de esfuerzos, propuesta por Whitney, cuyas características se muestran en la figura 17. El valor de P , es 0.85 si la resistencia del concreto es menor que 280 kg/cm². Si no es el caso, p , disminuirá en 0.05 por cada incremento de 70 kg/cm² en la resistencia del concreto.

Figura N°17: Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

1.3.2.2.3 Tipos de fallas de los elementos sometidas a flexión

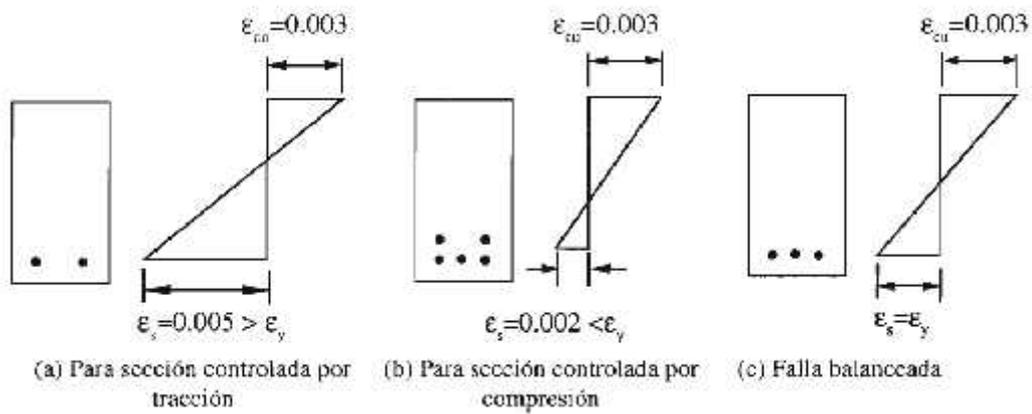
Los elementos sometidos a flexión casi siempre fallan por compresión del concreto, sin embargo el concreto puede fallar antes o después que el acero fluya. La naturaleza de la falla es determinada por la cuantía de refuerzo y es de tres tipos:

1. **Falla por tensión:** Es la correspondiente a la viga analizada en la sección V-201, El acero fluye y el elemento exhibe una falla dúctil. Se aprecian grandes deflexiones y rajaduras antes del colapso lo cual alerta a los usuarios acerca del peligro inminente. Estas secciones son llamadas también sub-reforzadas.
2. **Falla por compresión:** El acero no tiene oportunidad de fluir y el concreto falla repentinamente. Estas secciones son llamadas sobre-reforzadas. La resistencia de una sección sobre-reforzada es mayor que la de otra sub-reforzada de dimensiones similares. Sin embargo, la primera no tiene comportamiento dúctil y el tipo de colapso no es conveniente. En el diseño se evita este tipo de falla.

3. **Falla balanceada:** Se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria Última de 0.003 simultáneamente al inicio de la fluencia del acero (ACI-10.3.2). La falla es frágil y no deseada.

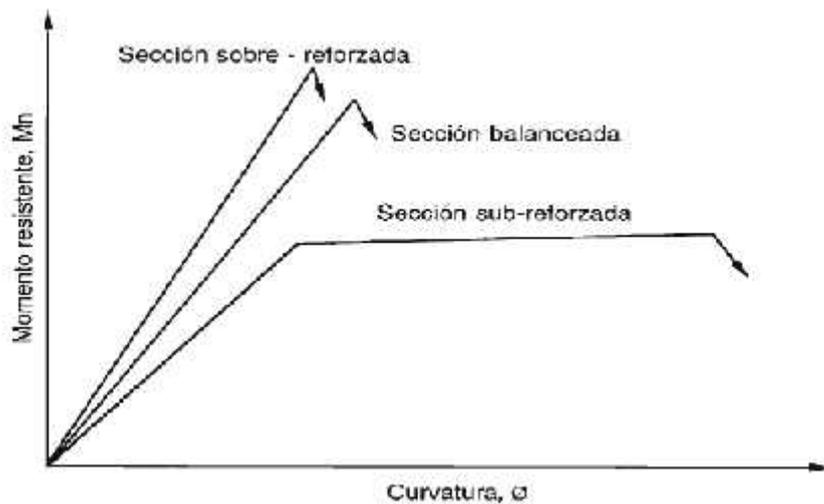
En la figura 18. Se muestra la distribución de deformaciones para cada uno de los tres tipos de falla y en la figura 16, el diagrama momento versus curvatura para cada caso. En este último se puede apreciar la ductilidad que desarrollan las secciones sub-reforzadas y la mayor capacidad resistente de las secciones sobre-reforzadas.

Figura N°18: Distribución de deformaciones para los diversos tipos de fallas en flexión.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

Gráfica N°8 Diagrama de momentos-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

1.3.2.2.4 Análisis de Elementos de una sección rectangular con refuerzo en tracción Sometidos a Flexión.

Para la determinación del momento resistente de una sección rectangular es preciso verificar, inicialmente, si el refuerzo alcanza o no el esfuerzo de fluencia. Dependiendo de la situación que se presente, se siguen procedimientos diferentes. La formulación usada en ambos casos es la misma. La única diferencia entre ellos es que en el primero el esfuerzo en el acero se conoce y es igual a F_y , mientras que en el segundo es una incógnita.

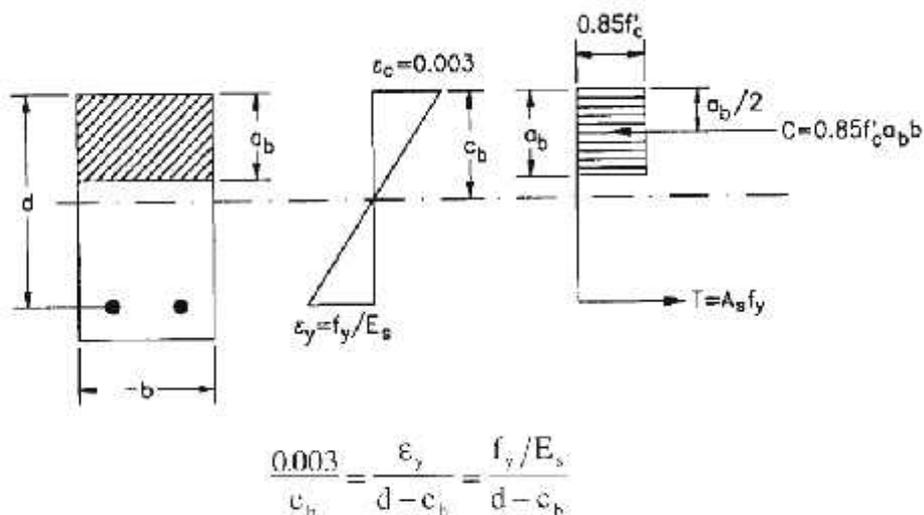
Los elementos sometidos a flexión se diseñan para fallar por tensión pues es el tipo de colapso más conveniente dada la ductilidad que desarrolla. Por ello que el procedimiento de análisis que se presenta es el que corresponde a este caso.

1.3.2.2.5 Determinación de la cuantía balanceada o cuantía básica

Las expresiones deducidas en la sección anterior son válidas siempre que el esfuerzo en el acero sea igual a su esfuerzo de fluencia. Ello se verifica siempre que la cuantía de la sección sea menor o igual que la cuantía básica.

En la ilustración N°18 se muestra las características de una sección balanceada en la rotura. En el diagrama de deformaciones, por semejanza de triángulos, se puede plantear la siguiente relación:

Figura N°19: Esfuerzos y deformaciones en una sección rectangular con falla balanceada.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

Dónde:

Ch: Distancia del eje neutro a la fibra extrema en compresión en una sección con cuantía balanceada. En adelante, los parámetros que tengan el subíndice **b** estarán referidos a la condición particular de cuantía balanceada.

Fy: Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo de fluencia del acero.

Despejando **c**, se obtiene:

$$c_b = \frac{0.003dE_s}{f_y + 0.003E_s}$$

Reemplazando el valor de E_s :

$$c_b = \frac{6117d}{f_y + 6117}$$

Sabiendo que $a_s = \beta_1 c_b$ y haciendo uso de (5-6) y (5-4):

$$a_s = \beta_1 c_b = \frac{w_b d}{0.85} = \frac{\bar{\rho}_s f_y d}{0.85 f_c}$$

conde: $\bar{\rho}_s$: Cuantía balanceada o básica.

Finalmente:

$$\bar{\rho}_s = \frac{0.85 f_c \beta_1 c_b}{f_y d} = \frac{0.85 f_c \beta_1}{f_y} \left(\frac{6117}{f_y + 6117} \right) \quad (5-9)$$

Por razones de seguridad el código del ACI limita la cuantía de acero ρ a $0.75\bar{\rho}_s$.

En la práctica, una sección con este refuerzo es antieconómica, por lo que normalmente se procura usar cuantías menores a $0.5\bar{\rho}_s$. En la Tabla 5.1 se muestran los valores de $\bar{\rho}_s$, $0.75\bar{\rho}_s$, y $0.5\bar{\rho}_s$ para diferentes calidades de concreto.

Cuadro N°7: Cuantía básica para concretos de diferentes calidades.

f'_c (kg/cm ²)	210	280	350	420
β_1	0.85	0.85	0.80	0.75
$\bar{\rho}_s$	0.0214	0.0285	0.0335	0.0377
$0.75\bar{\rho}_s$	0.0160	0.0214	0.0252	0.0283
$0.5\bar{\rho}_s$	0.0107	0.0143	0.0167	0.0189

Fuente: HARMSEN, Teodoro

- **Cuantía mínima de refuerzo**

En la mayoría de los casos, el momento crítico que ocasiona el agrietamiento de una sección es mucho menor que su momento resistente. El acero, antes de la formación de grietas, presenta esfuerzos muy bajos pues su deformación, compatible con la del concreto, también lo es. Después del fisuramiento debe resistir, además del esfuerzo inicial, la tensión que el concreto no es capaz de asumir. Generalmente, ambos efectos no ocasionan la fluencia del refuerzo.

En algunas ocasiones, ya sea por razones arquitectónicas o funcionales, se emplea elementos cuyas secciones tienen dimensiones mayores que las requeridas para resistir las cargas que les son aplicadas. Las cuantías de refuerzo disminuyen propiciando que el momento crítico sea superior a la resistencia nominal de la sección. En estos casos, la falla se presenta al superar el momento crítico y es súbita y frágil. Para evitarla, es conveniente definir una cuantía mínima de acero que garantice que el momento crítico de la sección sea superior a su momento resistente.

Para determinar la cantidad mínima de acero requerida, es necesario analizar la sección antes

Y después del agrietamiento. Las distribuciones de esfuerzos, corresponden a ambas situaciones. De la primera se puede plantear:

$$M_{cr} = \frac{2}{3} I_x h = \frac{2}{3} \frac{f_r h b}{4} h$$

donde: h: Peralte de la sección.

f_r : Módulo de ruptura del concreto.

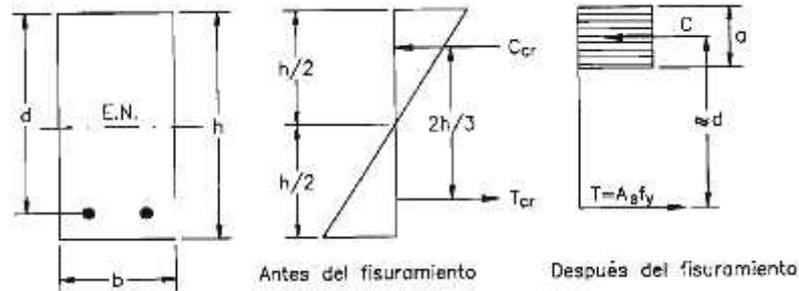
En las secciones de mayor peralte, como las analizadas, se puede asumir que $h=d$. de este modo, el momento crítico se puede aproximar a:

Dónde: h: Peralte de la sección.

fr: Módulo de ruptura del concreto.

En las secciones de mayor peralte, como las analizadas, se puede asumir que $h=d$. De este modo, el momento crítico se puede aproximar a:

Figura N°20: esfuerzos en una sección sometida a flexión antes y después del agrietamiento del concreto.



Fuente: HARMSEN, Teodoro

Por otro lado, de la distribución de esfuerzos en la sección después del agrietamiento, se deduce:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Puesto que la cantidad de refuerzo es reducida, el área de concreto comprimido también lo es.

Por ello se puede asumir que a es muy pequeño y por lo tanto

$$M_n \approx A_s f_y d$$

Al producirse el agrietamiento, las expresiones (5-10) y (5-11) son iguales, luego:

$$\frac{2}{3} \frac{f_c db}{4} d = A_s f_y d$$

Simplificando y asumiendo que $f_r = 2\sqrt{f'_c}$ (ACI-Ec(9-9)),

$$A_s = \frac{0.33\sqrt{f'_c} bd}{f_y}$$

Considerando un factor de seguridad de 2.5 se obtiene:

$$A_s = 0.83 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

Esta expresión es aproximadamente igual a la propuesta por el código del ACI.

...

El código del ACI (ACI 10.5.1) recomienda un refuerzo mínimo igual a:

$$A_{\min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (5-12)$$

(ACI-Ec(10-3))

pero no deberá ser menor que:

$$A_{\min} \geq \frac{14.1}{f_y} b_w d \quad (5-13)$$

donde: b_w : Ancho del alma de la viga. Para vigas de sección rectangular corresponde al ancho de la sección.

El término b_w se define para generalizar la expresión propuesta para la determinación de refuerzo mínimo y hacerla extensiva a secciones no rectangulares. En la sección V-201 se desarrollará con mayor detalle los requerimientos mínimos de acero para elementos de sección reforzada.

En voladizos u otros elementos estáticamente determinados donde no hay posibilidad de redistribución de momentos se debe usar valores mayores para el refuerzo mínimo.

Si el refuerzo provisto en una sección cualquiera, es un tercio mayor que el requerido por análisis entonces no es necesario verificar que el área de acero sea mayor que el mínimo definido por el código (ACI- 10.5.3).

1.3. DEFINICIÓN SOBRE REFORZAMIENTO EN ESTRUCTURA DE CONCRETO

1.3.1. Reforzamiento en estructuras de concreto.

La intervención o rehabilitación son etapas para en el mejoramiento del desempeño que posee una estructura vulnerable. Esta rehabilitación consiste en realizar un reforzamiento o reparación de edificaciones con el fin de:

- Soportar el aumento de cargas por el cambio de uso de una estructura.
- Mitigar los efectos que dejan los sismos.
- Corregir los daños producidos por la corrosión, un ataque químico, Incendios, impactos, entre otras.

En el momento de hacer una rehabilitación estructural se debe tener como aspecto importante la conexión entre elementos nuevos y antiguos por medio de fijaciones, adhesivos, refuerzo activo, es decir que el refuerzo se movilice al instante de su colocación o pasivo, que el refuerzo se movilice durante el incremento de la carga, y otro aspecto a tener en cuenta debe ser el comportamiento de esta conexión.

El reforzamiento básicamente consiste en incrementar la resistencia o la rigidez en elementos de una construcción. A nivel comercial se encuentran distintas técnicas de reforzamiento estructural que se encargan de corregir las deficiencias y lograr el objetivo mencionado anteriormente. (Según la cartilla de construcción Sika).

(Reforzamiento de estructuras de concreto) entre ellas actualmente encontramos:

- Encamisado con fibra de carbono y concreto reforzado.
- Adición o recrecido de concreto en vigas existente.
- Engrosamiento o ensanchamiento de elementos (vigas).
- Resta de material de concreto y aumento de la cuantía de acero para el reforzamiento de fuerzas.

Aunque todas las técnicas mencionadas contribuyen eficientemente en el refuerzo de estructuras, la primera es una de las más utilizadas, ya que consiste en el uso de materiales compuestos en fibras de carbono, el cual garantiza gran

resistencia y mejoramiento de los elementos estructurales, con una cualidad importante que no aumentan notablemente el peso de las estructuras. Lo importante en esta técnica es entender cómo es el comportamiento particular del uso de materiales compuestos en FRP (FiberReinforcedPolymer) y así mismo qué hace tan especial el uso de estas fibras.

1.3.1.1 Comportamiento de elementos estructurales a flexión.

Cuando los elementos de una estructura están sometidos a cualquier tipo de carga (Muertas, Vivas, Ambientales y de Sismo), estos tienden a reflejarse y a cortarse por la acción de dichas cargas. El cálculo estructural se fundamenta en diseñar los diferentes elementos estructurales para que resistan hasta una condición crítica y su desgaste sea a largo plazo.

El tema central de nuestro estudio es el comportamiento de vigas armadas y reforzadas con fibras de carbono, por ello consideramos importante definir el comportamiento a flexión en vigas.

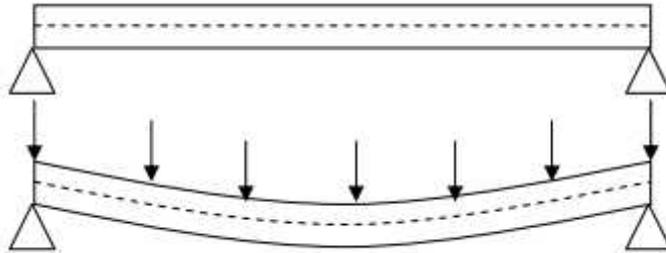
1.3.1.1.1. Comportamiento a flexión.

La flexión se refiere al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Un claro ejemplo son las vigas, las cuales están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión.

Lo más destacado de un objeto sometido a flexión es que presenta una superficie de puntos llamado eje neutro tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en este no varía con respecto al valor antes de la deformación.

Una de las características más importantes es el comportamiento en las fibras perpendiculares a la carga, ya que sufren esfuerzos a tensión y a compresión de acuerdo a la dirección de la carga, como lo muestra la siguiente figura:

Figura N°10: Comportamiento a flexión en una viga.



Fuente: Elaborado por Rafael Contreras.

En vigas en concreto la flexión se manifiesta con una fisura en la fibra sometida a tensión.

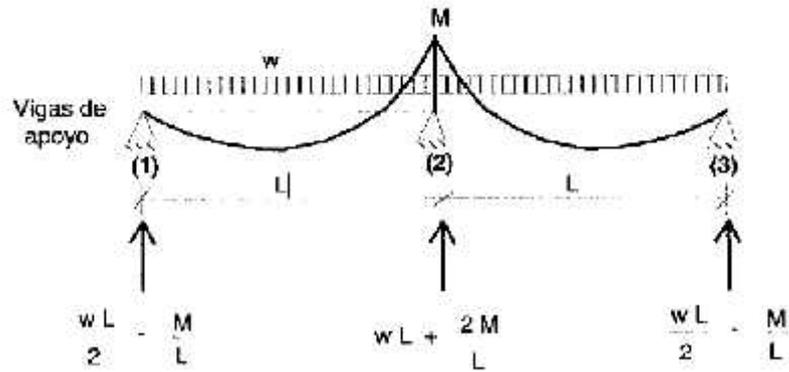
A. VIGAS

Las vigas son los elementos de apoyo de la losa (aligerada o maciza) y se encuentran sujetas a las cargas que le transmiten la losa, así como a las cargas que directamente actúan sobre ella, tales como su peso propio, peso de tabiques, parapetos.

Para obtener las cargas que provienen de la losa, puede seguirse tres procedimientos:

- a. Considerar el efecto hiperestático de los momentos flectores que se desarrollan en la losa (M en la Ilustración N°9). Para lo cual, habría que resolver previamente al aligerado.

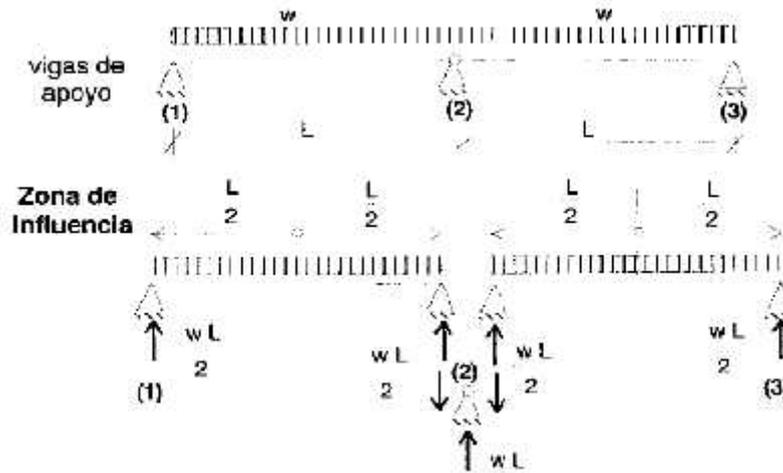
Figura N°11: Aligerado Hiperestático



Fuente: Elaborado por Rafael Contreras.

- b. Despreciar el efecto hiperestático, suponiendo que cada tramo del aligerado se encuentra biarticulado, lo que también equivale a subdividir el tramo en zonas de influencia.

Figura N°12: Aligerado Isostático



Fuente: Elaborado por Rafael Contreras.

- c. Estimar la zona de influencia para contemplar en forma aproximada el efecto hiperestático del momento flector. Se proporciona en forma exacta las longitudes de influencia para el caso del aligerado V-201 (empotrado en un extremo y simplemente apoyado en el otro) correspondiente al colegio en estudio.

CAUSAS

Las causas para producir el daño pueden ser:

- Daños por sismo.
- **Debido al mal diseño:** Por la falla o insuficiencia de estudios preliminares, errores de dimensionamiento, falta de detalles y especificaciones insuficientes.
- **Falla en la ejecución:** Por defectos de los materiales utilizados o mal procedimiento al ejecutar la obra.
- **Mal uso:** Se debe a sobrecargas, deformaciones, medio ambiente, ataque químico, desgaste, etc.

1.3.1 REFORZAMIENTO POR FLEXIÓN

1.3.1.1 REFORZAMIENTO CON FIBRA DE CARBONO

El refuerzo a flexión de una viga de hormigón armado con PRFs se hace simplemente adhiriendo la placa o lámina de material compuesto a la parte inferior de la viga, donde se supone se producirán los esfuerzos de tracción.

Para ello la superficie del hormigón a reforzar debe estar convenientemente preparada, esto es libre de polvos y grasas e irregularidades. El refuerzo puede hacerse con placas prefabricadas o puede ser preparado in situ mediante el proceso denominado húmedo. En el primer caso las placas se cortan de acuerdo al tamaño requerido y se pegan a la parte inferior de la viga. El proceso húmedo es quizás el más utilizado y proporciona mayor flexibilidad. La resina se aplica a la superficie del hormigón mientras se impregnan las capas de tejido que luego son adheridas al elemento de hormigón mediante rodillos.

Se pueden ver los dos esquemas de refuerzo mencionados precedentemente.

Las placas o planchuelas prefabricadas pueden ser pretensadas y adheridas a la viga de hormigón. La principal ventaja de este sistema es que contribuye a la capacidad de carga de la estructura antes de que se apliquen a la misma las cargas adicionales. El pretensado también contribuye a reducir el ancho de las fisuras y lleva a un uso más eficiente de los PRFs, pues es muy probable que la

placa pretensada de PRF alcance su resistencia última en la falla. Sin embargo el pretensado, es una tarea laboriosa y el sistema de anclaje requiere un diseño y construcción muy cuidadoso.

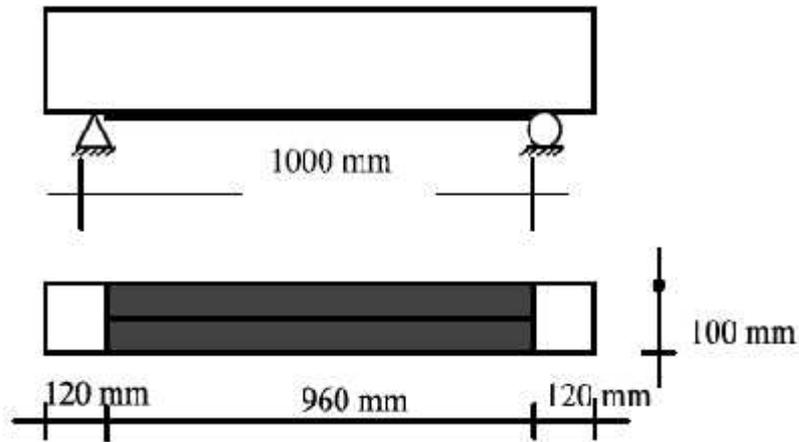
Figura N°21: Esquema de refuerzo a flexión: a) placas prefabricadas



Refuerzo a Flexión

El refuerzo y reparación a flexión de las vigas del grupo G1 consistió en la colocación de dos láminas de PRFC de 50 mm de ancho y 1.2 mm de espesor en la cara fraccionada y de modo de cubrir todo el ancho de los especímenes. La viga reparada, identificada en la Tabla 1 como V1f-reparada, se preparó a partir de la viga de referencia (V1f-referencia) la cual se llevó hasta su estado último, luego se retiró la carga y se reparó según el mismo esquema de refuerzo.

Figura N°21: Esquema de refuerzo a flexión



1.3.1.2 REFORZAMIENTO CON RECRECIDO DE CONCRETO

Campo de aplicación

Cualquier refuerzo estructural que precise aumentar la sección de hormigón en una estructura de hormigón armado o en parte de ella.

Objetivo

Este PLIEGO DE CONDICIONES tiene por objeto exponer las condiciones idóneas de utilización y características de una serie de productos como materiales básicos para la ejecución de recrecidos en estructuras o elementos estructurales de hormigón armado.

Análisis previos – descripciones generales

Definiciones

Refuerzo:

Refuerzo es la modificación de una estructura o elemento(s) de ella, con el fin de aumentar su capacidad resistente o su estabilidad.

Para la realización de un refuerzo no es necesario que la estructura o elemento estructural estén dañados. Otros tipos de reforma son objeto de otros pliegos.

Recrecido:

Recrecido es el refuerzo consistente en aumentar la sección de elementos de hormigón armado (generalmente pilares y vigas) con el fin de poder soportar cargas superiores a las previstas en el proyecto original.

Tipos de recrecidos

Con hormigón armado:

Consiste en colocar, en espesor superior a 7 cm, un hormigón convencional de adecuada resistencia y armaduras de cuantía similar a las existentes.

Para aumentar su trabajabilidad y por tanto facilitar la puesta en obra, este hormigón deberá llevar incorporado uno de los dos aditivos súperfluidificantes. Tener las características de fluidez y consistencia adecuadas.

Con micro hormigón de cemento polimérico (mortero hidráulico polimérico de alta resistencia).

Consiste en colocar, en espesor comprendido entre 3 cm y 7 cm, un microhormigón confeccionado a partir del mortero polimérico y una mezcla de áridos de granulometría entre 3 mm y 10 mm. Este microhormigón podrá ir armado o no.

Con mortero de cemento polímero (mortero hidráulico polimérico de alta resistencia)

Consiste en colocar, en espesor comprendido entre 1 cm y 3 cm, mortero polimérico de dos componentes. Este recrecido no suele ir armado.

PROCESO DE REHABILITACION DE LA MANERA TRADICIONAL

La calidad de la rehabilitación, depende en gran parte de la preparación y limpieza de la zona, por lo que se debe realizar con mayor cuidado, utilizando materiales apropiados y la mejor técnica constructiva para cada caso. Es indispensable conocer cada uno de los procesos que se tienen que dar en este tipo de rehabilitación para que la estructura pueda continuar siendo funcional y para poder cumplir con todo lo expuesto en el reglamento de construcción. Es importante tener en cuenta que para asegurar una buena rehabilitación la interface que se forma entre el hormigón existente y el nuevo debe poseer suficiente capacidad para desarrollar las propiedades mecánicas bajo las cuales se fundamenta el análisis estructural. Y además se debe asegurar que el acero de refuerzo, desarrollar los esfuerzos propios derivados de las condiciones de diseño. Para esto es necesario tener en cuenta que el personal que realice la

rehabilitación debe estar debidamente calificado y preparado para este tipo de actividad.(Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección, 2003)

- **Revisión y preparación de los elementos estructurales**

Esta parte consiste en todos los procedimientos que se debe realizar a los elementos estructurales antes de la limpieza de la superficie y de la colocación del nuevo concreto. Este proceso consiste en la delimitación de la zona a reparar, seguido de la escarificación dejando totalmente expuesto el acero más superficial.

- **Limpiezas de las superficies.**

Este procedimiento consiste en todo el conjunto de tareas que se deben realizar a los elementos estructurales antes de la aplicación de los materiales de la reparación. Entre los métodos de limpieza más utilizados se tiene, chorro de agua fría a alta presión. Este método se utiliza cuando se necesita hacer limpieza a grande y pequeñas áreas, de igual forma existen equipos de chorros de agua a baja presión, chorros de aire de alta y baja presión, solventes volátiles entre otros. Es indispensable que esta paso se realice a la perfección para que la adherencia entre el material de reparación y el existente se pueda de la mejor manera.

Fotografía N°4: Limpieza de las Superficies de reparación con chorros de agua a alta presión.



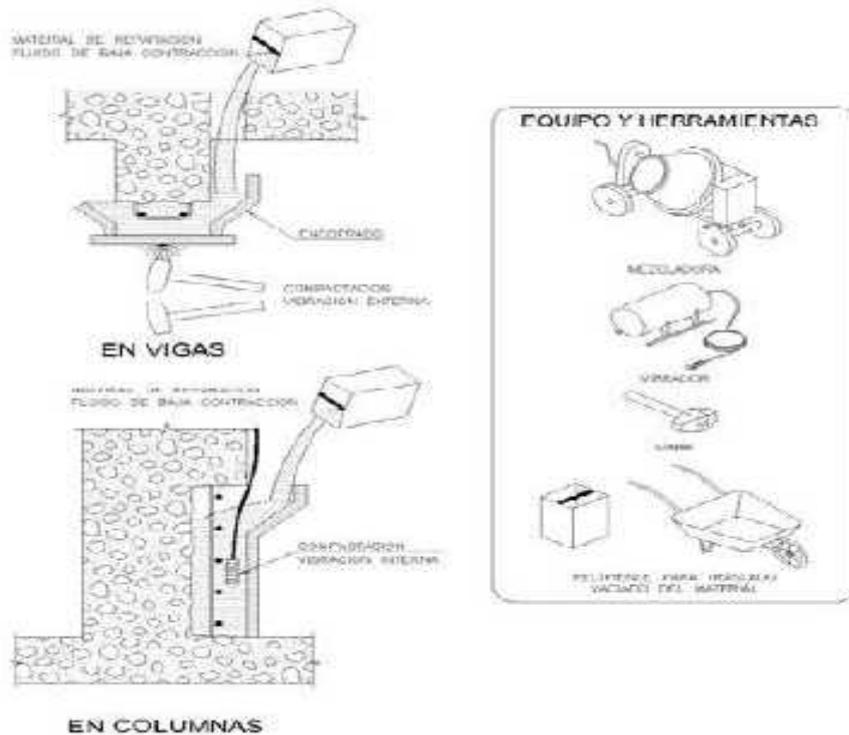
Fuente: Paulo Helene, Fernanda Pereira. "Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón".

- **Procedimiento de colocación del material de reparación**

Este proceso es uno de los últimos y más importantes, consiste en el vaciado del material de reparación dentro del volumen o cavidad preparada. Existen muchos métodos para este proceso pero sin lugar a duda generan muchos traumatismos, pérdida de tiempo y mucha mano de obra. Es importante verificar mucho antes del proceso de colocación del material de reparación, que las barras de acero no se encuentran muy deterioradas debido a estar expuestas por mucho tiempo. De ser así se le deben unos tratamientos a las barras para luego si continuar con la colocación del material.

Existen otros métodos como el DryPacking, empaquetamiento seco, el cual consiste en la colocación del material de reparación en forma manual, mediante el apisonamiento de capas sucesivas dentro del volumen o cavidad preparada. De igual forma existen otros métodos como Concreto Lanzado vía seca, Agregado precolocado y grouting, Encofrado y bombeo, y Concreto lanzado vía húmeda.

Figura N°36: Sistema de encofrado y vaciado en el sitio.



Fuente: Paulo Helene, Fernanda Pereira. "Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón".

1.3.1.3 REFORZAMIENTO CON ELIMINACION DE CONCRETO Y AUMENTO DE CUANTIA DE ACERO

La edificación se idealiza como un ensamblaje de vigas. La integración de las fuerzas internas del elemento finito en cuanto a fuerzas y momentos, está completamente automatizados, de tal manera que produce el equilibrio completo para las fuerzas aplicadas a las estructuras.

Las formulaciones de vigas, columnas y muros influyen efectos de flexión, carga axial y deformaciones por flexión.

De tal manera se tendrá q hacer el análisis, preparación y eliminación respectiva de la viga a reforzar ya que el diseño de cargas no cumplen el refuerzo establecido en el diseño de cargas.

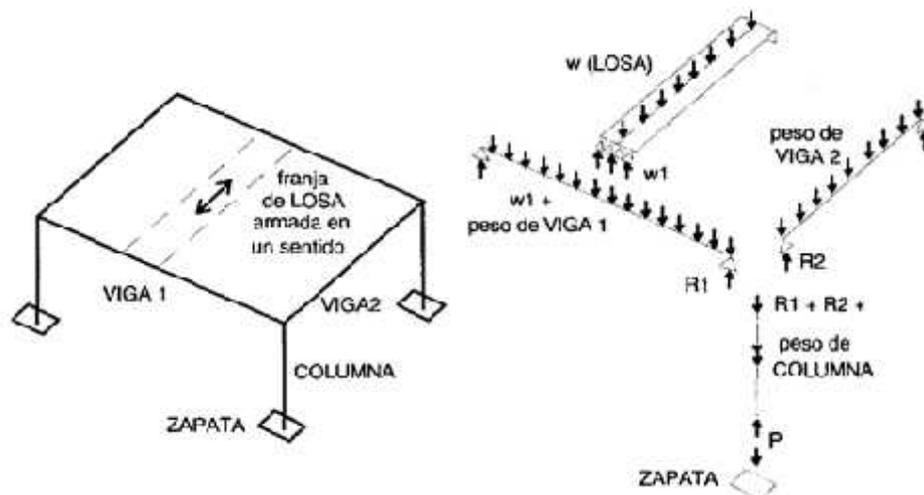
1.3.3 **Metrado de Cargas Verticales**

(SAN BARTOLOME, Ángel, "Análisis de Edificios". Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 1998)

El metrado de cargas es una técnica con la cual se estiman las cargas actuantes sobre los distintos elementos estructurales que componen al edificio. Este proceso es aproximado ya que por lo general se desprecian los efectos hiperestáticos producidos por los momentos flectores, salvo que estos sean muy importantes.

Como regla general, al metrar cargas debe pensarse en la manera como se apoya un elemento sobre otro; por ejemplo (ver la Fig. 1.1), las cargas existentes en un nivel se transmiten a través de la losa del techo hacia las vigas (o muros) que la soportan, luego, estas vigas al apoyar sobre las columnas, le transfieren su carga; posteriormente, las columnas transmiten la carga hacia sus elementos de apoyo que son las zapatas; finalmente, las cargas pasan a actuar sobre el suelo de cimentación.

Figura N°21: Transmisión de las cargas Verticales



Fuente: HARMSEN, Teodoro

1.3.3.1 tipos de carga

En general, las cargas (o solicitaciones) que pueden actuar en un edificio clasifican en los siguientes tipos: Cargas Estáticas, Cargas Dinámicas y Otras Solicitaciones. Estas cargas se definen de la siguiente manera:

i. **Cargas Estáticas.-** Son aquellas que se aplican lentamente sobre la estructura, lo cual hace que se originen esfuerzos y deformaciones que alcanzan sus valores máximos en conjunto con la carga máxima. Prácticamente, estas solicitaciones no producen vibraciones en la estructura, ya su vez clasifican en:

a. **Cargas Permanentes o Muertas.** Son cargas gravitacionales que actúan durante la vida útil de la estructura, como por ejemplo: el peso propio de la estructura y el peso de los elementos añadidos a la estructura (acabados, tabiques, maquinarias para ascensores y cualquier otro dispositivo de servicio que quede fijo en la estructura).

b. **Carga Viva o Sobrecarga.** Son cargas gravitacionales de carácter movable, que podrían actuar en forma esporádica sobre los ambientes del edificio. Entre estas solicitaciones se tiene: al peso de los ocupantes, muebles, nieve, agua, equipos removibles, puente grúa, etc. Las magnitudes de estas cargas dependen del uso al cual se destinen los ambientes.

ii. **Cargas Dinámicas.**

Son aquellas cuya magnitud, dirección y sentido varían rápidamente con el tiempo, por lo que los esfuerzos y desplazamientos que originan sobre la estructura, también cambian con el tiempo; cabe indicar que el instante en que ocurre la máxima respuesta estructural, no necesariamente coincide con el de la máxima solicitación.

II MATERIAL Y METODOS

2.1 MATERIAL

2.1.1 Descripción de la Zona

- **Ubicación política:**

Región : Ayacucho
Departamento : Ayacucho
Provincia : Huanta
Distrito : Llochegua
Localidad : Llochegua

- **Ubicación geográfica**

Llochegua es uno de los distritos más extensos de la provincia de Huanta; su superficie es de 780 km²; tiene 10 Centros Poblados y 56 anexos.

La capital del distrito de Llochegua está ubicada a 420 m.s.n.m., su altitud varía desde 360 m.s.n.m en la parte más baja (boca Mantaro) hasta 2,500 m.s.n.m. registrada en las alturas de Vizcatán, tiene variados pisos ecológicos, con características geográficas de sierra y selva.

El clima es cálido, húmedo y lluvioso, su humedad relativa varía entre 71% y 90%.

Localidad	Coor. Norte	Coor. Este	Cota
Llochegua:	8627800.00	619000.00	1621.00

Mapa N°1: Distrital de Llochegua



2.1.2 Vías De Acceso

Desde la Ciudad de Ayacucho:

El distrito de Llochegua tiene dos vías de acceso, uno de Ayacucho y Huanta, y la otra, vía fluvial a través del caudaloso río Apurímac, que sirve a la población del VRAE como medio de comunicación y transporte de productos y pasajeros. Para llegar al distrito de Llochegua desde la ciudad de Lima se puede optar por: Vía aérea, desde el aeropuerto Internacional Jorge Chávez hasta el aeropuerto Alfredo Mendivil Duarte de la ciudad de Huamanga, capital de la región Ayacucho, con un tiempo aproximado de viaje de 45 minutos; también se puede llegar por vía terrestre a través de la carretera Panamericana Sur y la carretera los Libertadores, totalmente asfaltada, en un tiempo promedio de ocho horas.

Cuadro N°8: Vías de Acceso

✓ San Francisco	Ayacucho – San Francisco – Pichari – Llochegua	09	Regular	268	35.00
✓ Río Apurímac					
✓ San Agustín	Huanta – Sivia – Llochegua	08	Malo	245	41.00
✓ La Esmeralda					
✓ Selva de Oro					
✓ Inansel	Ayacucho – Sivia – Llochegua	09	Regular	260	35.00
✓ Río Ene.					
✓ Otros					

2.1.3 Planteamiento metodológico

Ante la necesidad de añadir a las vigas de una estructura mayor resistencia a flexión, del módulo de elasticidad con elementos livianos pero resistentes, fáciles de maniobrar pero eficientes; se busca analizar el diseño a flexión para que a través de los resultados que se obtendrán, se puedan determinar diferencias que reflejen el uso y beneficios estructurales obtenidos con la aplicación mediante los tres sistemas de refuerzo.

2.1.3.1 Formulación del problema

a. Problema principal

¿De qué manera se incrementa y optimiza económicamente la resistencia a flexión en vigas, considerando los tres sistemas de refuerzo?

b. Problemas específicos

- ¿De qué manera se incrementa la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento con fibra de carbono?

- ¿De qué manera se incrementa la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento de recrecido del concreto armado?
- ¿De qué manera se incrementa la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de la eliminación de la sección de concreto y aumento de la cuantía de acero?
- ¿Cuál es la optimización económica bajo los criterios de los tres sistemas de refuerzos en la resistencia a flexión en vigas?

2.1.3.2 Objetivos

a) Objetivo general

Determinar el incremento y optimización económica de la resistencia a flexión en vigas, considerando los tres sistemas de refuerzo.

b) Objetivos específicos

- Determinar el incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento con fibra de carbono.
- Determinar el incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento de recrecido del concreto armado.
- Determinar el incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de la eliminación de la sección de concreto y aumento de la cuantía de acero.
- Determinar la optimización económica bajo los criterios de los tres sistemas de refuerzos en la resistencia a flexión en vigas.

2.1.3.3 Justificación e importancia

i. Justificación

El objeto del estudio es lograr entender el comportamiento de vigas reforzadas con los tres sistemas de refuerzo, en especial analizar el método de láminas o fibra de carbono ya que es un método de reforzamiento actualmente utilizado en estructuras que ya no cumplen su servicio, y así lograr entender un criterio patrón para diseñar a corte.

Con base en lo mencionado y en los estudios ya realizados, se desea experimentar y enfocar en el tema de refuerzo al corte, y tomar como punto de partida teorías para el diseño a corte y propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras de carbono.

De igual manera se pretende simular y llevar más allá los estudios realizados anteriormente; aportando nuevas conclusiones mediante los tres sistemas de refuerzo que sirvan como criterio de estudio en la utilización de estos materiales.

La participación positiva del investigador, supondrá una contribución activa para la realización y diseño del elemento estructural a reforzar y fallar para dejarlo como complemento de todos los estudiantes de Ingeniería.

En el caso de vigas, se ha demostrado experimentalmente que el refuerzo con fibras de carbono confina las fisuras producidas por la expansión de los productos resultantes de la corrosión, manteniendo la integridad estructural y mejorando la resistencia última a flexión.

Sin embargo para enriquecer el conocimiento existe sobre este tema es necesario contar con un número mayor de resultados experimentales donde además se evalué la influencia de las fibras de carbono en el desempeño sísmico de las vigas con respecto al resto de la estructura.

ii. Importancia

La importancia y propósito de este proyecto de investigación es presentar algunas técnicas de rehabilitación y reforzamiento de fuerzas a flexión en vigas, que se utilizan para reparar estructuras de concreto, enfocándose sobre todo a la técnica de encamisado de vigas utilizando la fibra de carbono y otras técnicas como el recrecido de concreto armado y la eliminación de sección de viga y aumento de cuanta de acero, así analizar las ventajas y desventajas que presentan y comparar algunos estudios de diseño y sobre todo la optimización económica sobre los tres sistemas de refuerzos sobre todo el encamisados de vigas de la fibra de carbono que se han realizado.

La importancia y mecanismos del estudio realizado, trae a mencionar factores estructurales como:

Reforzar: Es el proceso de incrementar la capacidad de la estructura, aumentando elementos o añadiendo nuevos. En el refuerzo de una estructura (con o sin daño) se mejoran las características estructurales sobre las originales. Es toda operación para incrementar el desempeño estructural del elemento por encima de su desempeño original.

Rehabilitar: Significa hacer un cambio a la estructura para que cumpla con sus funciones nuevamente. No sólo se refiere al aspecto estructural, sino también a las funciones sociales y económicas para las que fue construida. Es el proceso de reparación o modificación de una estructura a una condición útil deseada. Es una expresión general utilizada para reparar, reforzar o restaurar.

Reestructurar: Implica un cambio en el sistema estructural, ya sea de una manera parcial o total. La estructura puede o no estar dañada.

Preservar: Es el proceso de mantenimiento de la estructura en sus condiciones actuales y para contrarrestar un deterioro adicional.

Restaurar: Es el proceso de restablecer el aspecto, la forma, y los materiales de una estructura a lo que anteriormente tenía.

2.2 METODOS

2.2.1 Metodología

La metodología desarrollada en esta investigación se clasificó como mixta, ya que se tuvo en cuenta la naturaleza experimental, documental y de diseño, es decir trabajar con datos cuantitativos y cualitativos en un mismo proyecto. Para llevar a cabo el objetivo de esta investigación, se realizaron las siguientes actividades:

- **Información Bibliográfica**

Para el efectivo desarrollo de este trabajo de grado Se utilizó el Reglamento Nacional de Edificaciones (“Edición 2015 – Incorporación y Modificación de las Normas Técnicas”), como principales bases teóricas en el proceso del montaje experimental.

De igual forma se utilizaron de algunos manuales de rehabilitación de estructuras, diseño de mezclas de hormigón, análisis de precios unitarios y cantidades de obra, etc.

- **Diseño de la Mezcla de Concreto**

Se diseñó una mezcla de concreto para fundir tres tipos de vigas patrón con sus respectivos refuerzos variables, teniendo en cuenta que no se presentarán ningún tipo de condiciones severas que afecten y comprometan la durabilidad y la apariencia de la estructura. La especificación estructural corresponde a un $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

- **Diseño de las Vigas Modelo**

Para las tres secciones modelo, se utilizó concreto y acero de las siguientes especificaciones:

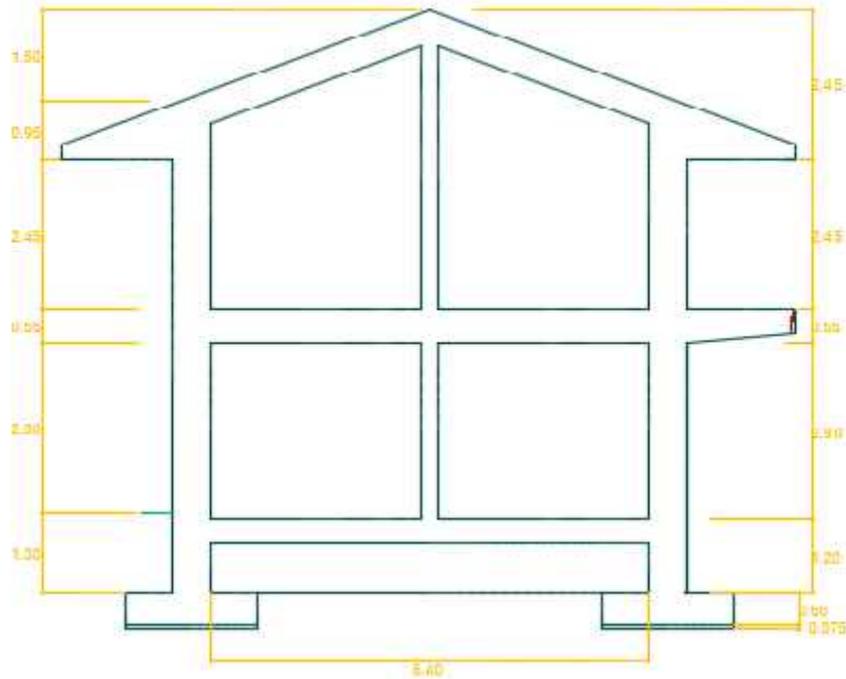
Concreto $f'c$: 210 kg/cm^2

Acero f_y : 4200 kg/cm^2

- **Geometría de la Estructura**

La geometría de la estructura se define mediante las ejes X; Y y Z tal como se muestra

Figura N°22: Geometría de la Estructura



Fuente: elaboración propia (ETABS 2015)

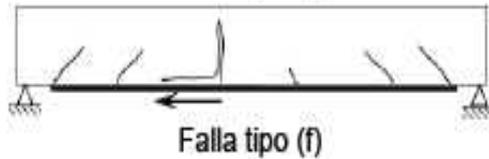
- **Diseño para prueba de Carga**

El objetivo principal es la comparación de tres sistemas de reforzamiento. Se realizaron cálculos de diseños en este caso en la Institución Educativa Pedro Ruiz Gallo en el Distrito de Llochegua. Sin embargo la principal limitante del modelo, fueron las condiciones de diseño establecido anteriormente, ya que no presenta un diseño q garantiza la estabilidad de la estructura diseñada.

Tipo de falla encontrado en la viga.

El tipo de Falla encontrado es de tipo (f) ver figura N°8. Se produce por el despegue del refuerzo de material compuesto inducido por fisura de flexión.

Figura N°22: falla tipo "f"



Fuente: Refuerzo y rehabilitación de estructuras.

En caso del tipo de falla f, Fig. 22, el despegue puede iniciarse por una fisura de flexión o una mixta de flexión y corte y luego propagarse hacia uno de los extremos de la placa. El despegue generalmente ocurre en la capa de hormigón adyacente a la interfaz hormigón-adhesivo. Este tipo de falla raramente se ha observado en trabajos de concreto armado. Probablemente ocurre en vigas de poca altura y es más dúctil que el modo de rotura por corte o tipo.

Con el incremento de la carga aplicada, las tensiones de tracción en el refuerzo y las tensiones interfaciales entre el hormigón y aquél en las cercanías de la fisura también aumentan. Cuando estas tensiones alcanzan valores críticos, se inicia el despegue del refuerzo en la fisura y se propaga hacia uno de los extremos del mismo.

La Fotografía 1. Muestra la falla de estructuración ejecutado anteriormente y que se realizara nueva prueba de diseño para la optimización de carga estructural.



Procedimiento:

El diseño se modeló con el Programa ETABS 2015, en el cual se realiza un análisis estructural para las condiciones en las que estaría expuesto, donde los datos obtenidos se encuentran teóricamente establecido.

Este diseño debe ser lo suficientemente precisado para garantizar que no se presentaran ningún tipo de problemas para un buen reforzamiento que se va realizar.

- **Análisis De Costos**

Este es uno de los elementos más importantes a determinar en este proceso comparativo, ya que se está poniendo en cuestión tres métodos de reforzamiento que serían aplicables en un proyecto de repotenciación de estructuras.

Este análisis se hará de manera tradicional en el cual se involucran las variables de Costos Directos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) y costos indirectos (gastos generales, utilidad), valorizando ciertas cualidades de los sistemas como tiempos de ejecución y traumatismos causados.

- **Estructura a reforzar**

Para realizar una comparación de los costos de reforzamiento se optó por considerar un caso de una Institución Educativa de dos plantas diseñada y aplicando el Reglamento Nacional de Edificaciones- Edición 2015.

Figura 23: Modelo en tres dimensiones, lo que se diseñó inicialmente.

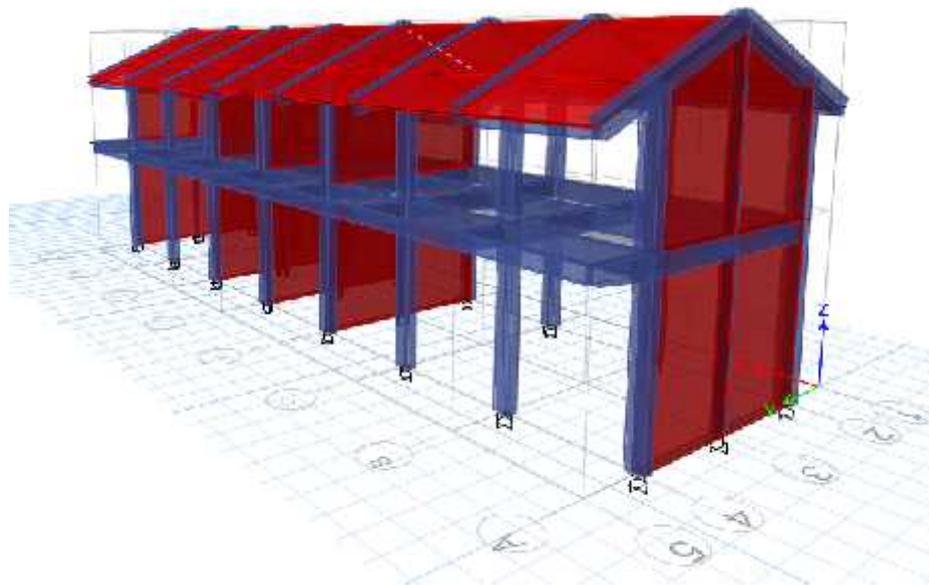
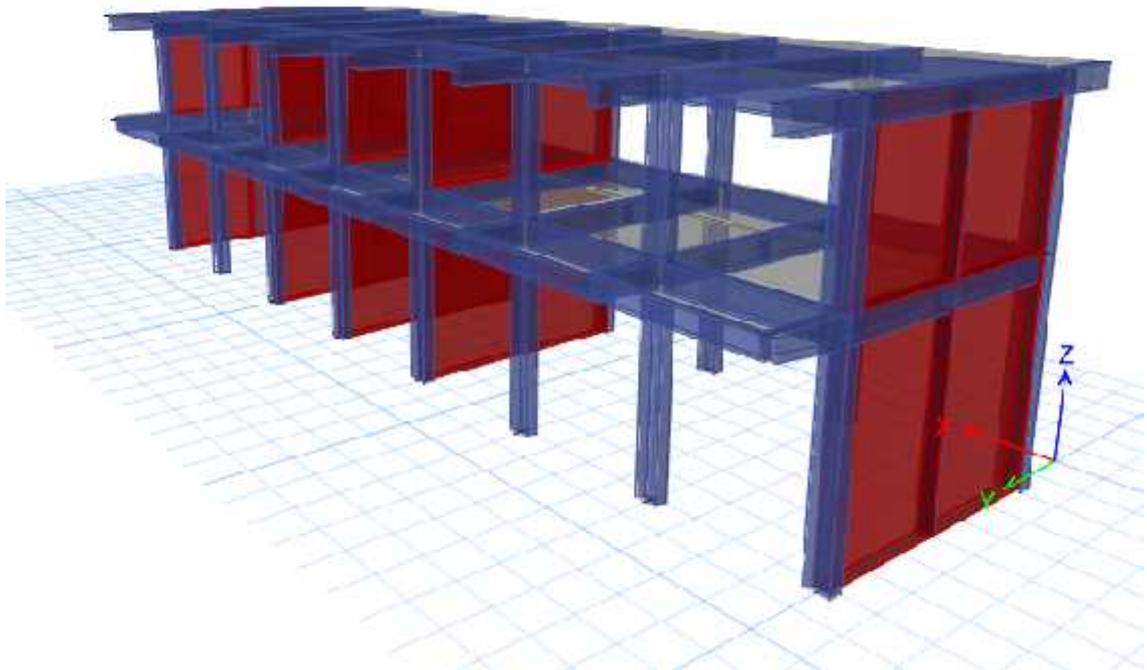
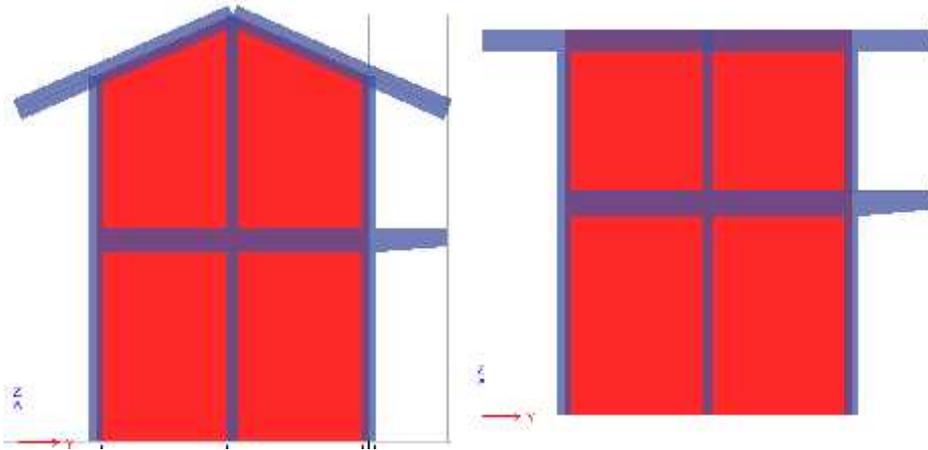


Figura 24: construcción final. Lo que se construyó.



Fuente: ETABS 2015

Figura 25: Pórticos, diseño inicial y diseño construido.



Fuente: ETABS 2015

- **Inspección Evaluación y Diagnostico**

De acuerdo a la investigación preliminar busca acopiar información inicial acerca de las condiciones de una estructura, el tipo y seriedad de los problemas que las afecta, la factibilidad de llevar a cabo una rehabilitación prevista, y la información necesaria para una posible investigación detallada.

- **Selección de recursos para la investigación**

En la medida en que se valla cumpliendo la fase de antecedentes, debe identificarse el personal que debe intervenir en la inspección; así como seleccionar, los elementos y equipos más apropiados para adelantar la inspección.

- **Inspección visual**

Es recomendable que la inspección visual de la estructura se lleve a cabo una vez se hallan cumplido las fases de antecedentes y revisión del proyecto original, pues la visita de inspección a la estructura debe basarse en la información recogida.

En este recorrido, se puede identificar y registrar daños como los siguientes:

- Desplomes

- Planos de fallos y fisuras por acciones físicas
- Fisuras estructurales
- Deflexiones y movimientos
- Fracturas y aplastamientos
- Descascaramiento
- Hinchamientos y reventones
- Cultivos biológicos
- Eflorescencias
- Lixiviación
- Expansión
- Corrección del acero de refuerzo
- Otros

- **Exploración de la estructura**

Durante la inspección preliminar, es probable que también se requiera alguna exploración de la estructura, mediante la remoción de algunas porciones superficiales del concreto, de trozos de descascaramiento o desmoronamientos, partículas de polvo, capas de cultivos biológicos, productos de lixiviación, cristalización, reacciones deletéreas o corrosión.

- **Informe preliminar**

Con base en la información recogida, en la revisión de la capacidad estructural, en las observaciones adelantadas y en los resultados de los eventuales ensayos, se elabora un informe cuya estructura básica puede ser la siguiente:

- Objetivos
- Especificaciones de diseños y construcción
- Resultados de la inspección y ensayos
- Conclusiones
- Recomendaciones

- **Verificación profunda o detallada**

Teniendo presente que la verificación profunda, sugiere que los hallazgos de la investigación detallada influyen de manera directa: el resultado final del proceso de evaluación; la selección de los métodos de rehabilitación que se consideren; el costo estimando de cada alternativa de rehabilitación; y por último,

la selección del método apropiado de rehabilitación. Por lo tanto, se debe poner especial cuidado en la planeación y ejecución detallada. En general, es recomendable que una investigación detallada contemple los siguientes aspectos:

a) Documentación del proyecto

Es conveniente obtener y revisar todos los documentos adicionales que estén relacionados con la estructura. Esta información incluye:

- Información del diseño estructural
- Información de materiales
- Información de la etapa de construcción
- Historial de la estructura

b) Examen de la estructura

Es recomendable que el examen de la estructura se lleve a cabo una vez se hallan estudiados toda la documentación del proyecto, ya que la metodología y las estrategias que se adopten durante el examen de la estructura debe basarse en información recogida.

De otra parte, debido a que seguramente la información obtenida en la inspección visual, es de carácter superficial, es conveniente adelantar un examen detallada de la estructura no solamente en su superficie, sino también al interior de sus miembros. Para llevar a cabo este examen deben contemplarse los siguientes aspectos:

- Verificación de la estructura en campo
- Valoración de la condición actual
- Condiciones de seguridad
- Riesgo potencial

c) Evaluación estructural

La evaluación estructural se adelanta con el objeto de determinar la capacidad real que tiene la estructura para tolerar cargas. Esta labor es mejor adelantarla después de que se haya realizado el diseño de la estructura, se hayan determinado las dimensiones y geometrías de los elementos; así como, los ensayos a la estructura y los materiales. Cuando hay sospechas de que la estabilidad estructural pueda estar comprometida, se hace indispensable

adelantar una evaluación estructural. Esta se puede llevar a cabo mediante los siguientes métodos:

- Métodos empíricos
- Pruebas de cargas

d) Informe final

Tomando en consideración el informe preliminar y toda la información recogida en la investigación detallada, se elabora un informe cuya estructura básica puede ser la siguiente:

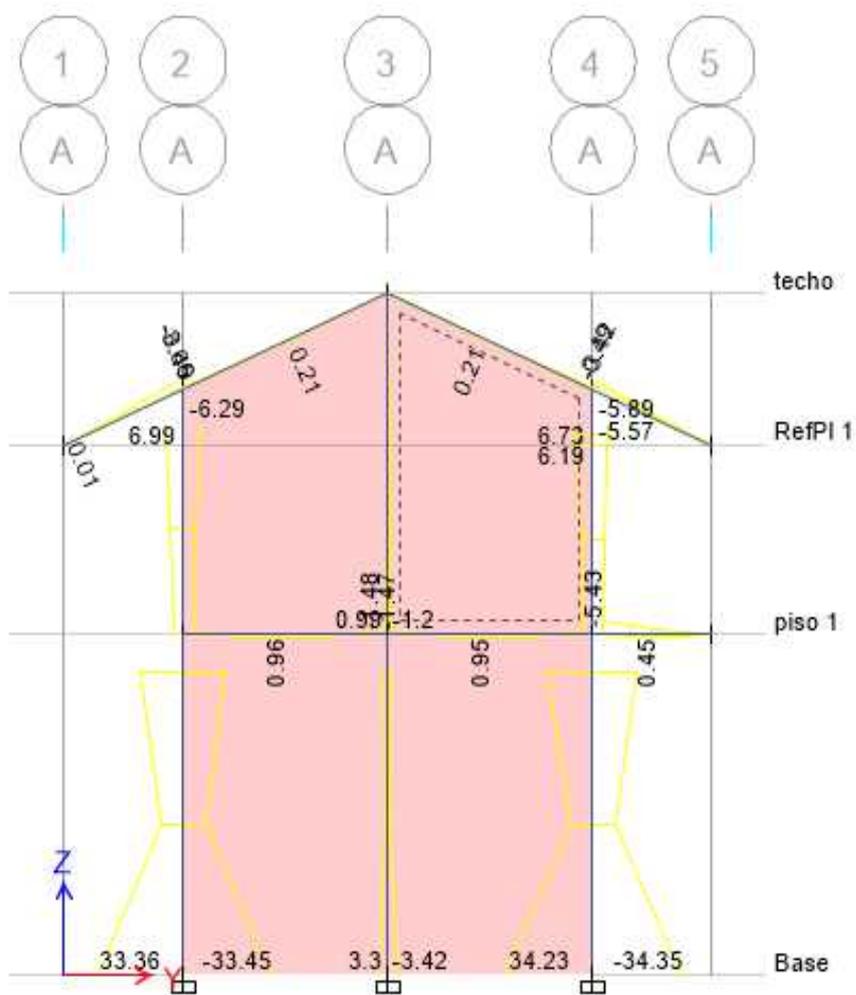
- Presentación
- Descripción de la estructura
- Levantamientos de daños
- Resultados de los diseños
- Análisis y evaluación de los diseños
- Evaluación estructural
- Diagnóstico de los daños
- Pronostico sobre el comportamiento de las estructura
- Costos de los análisis de diseño
- Precauciones de seguridad

2.2.2 Diseño estructural del modelo base a reforzar

El tipo de diseño que se planteo fue aplicando el programa ETABS 2015, se obtuvo los resultados de la siguiente manera:

**Diagramas de fuerzas cortantes
EJE LATERAL "A"**

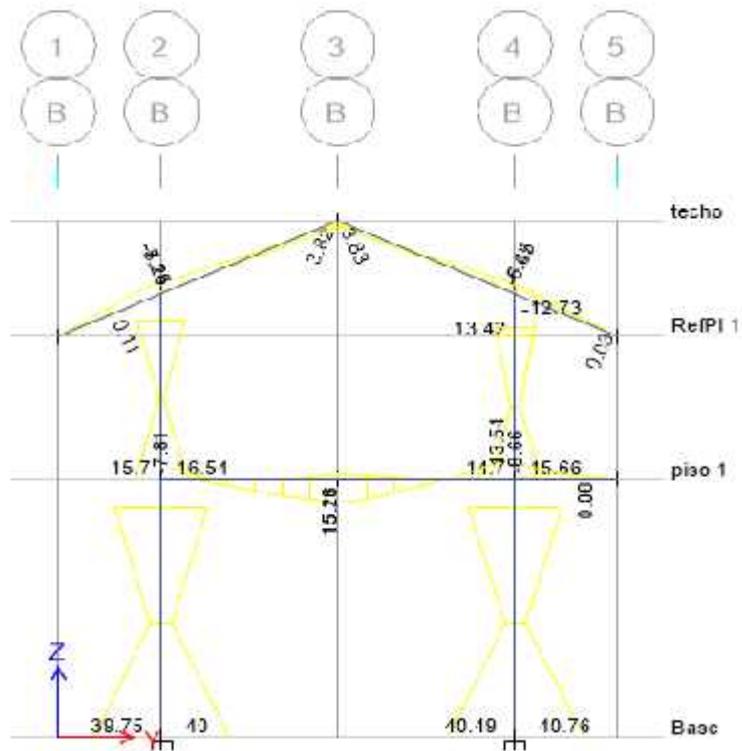
Figura: 26 Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "B"

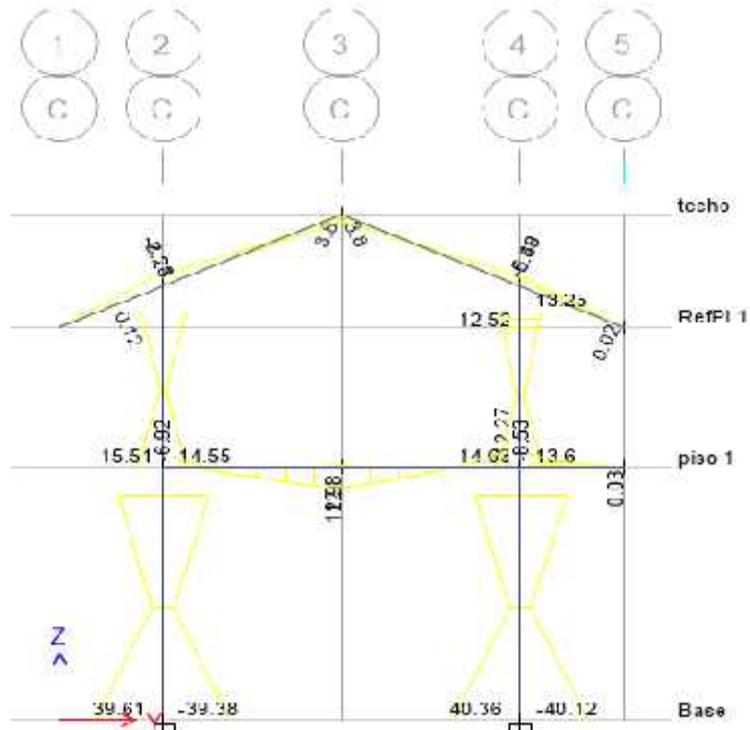
Figura 27: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "C"

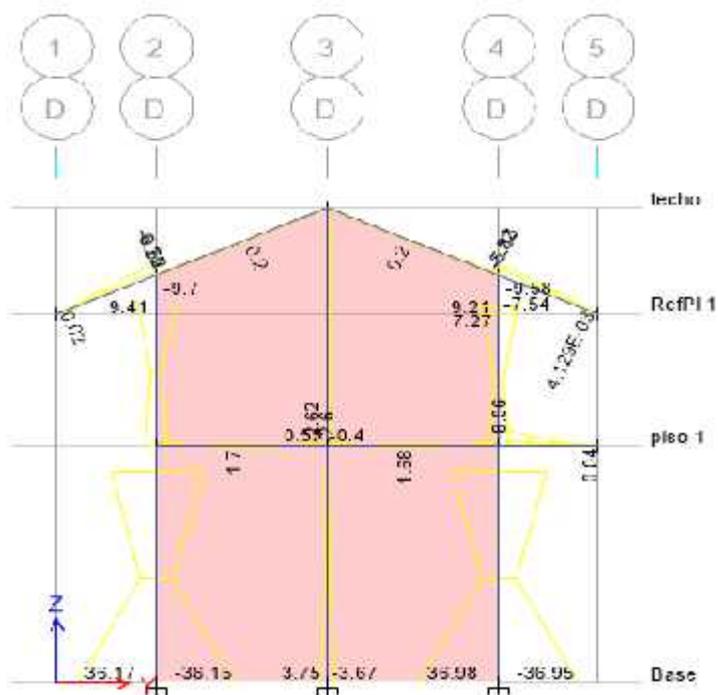
Figura 28: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "D"

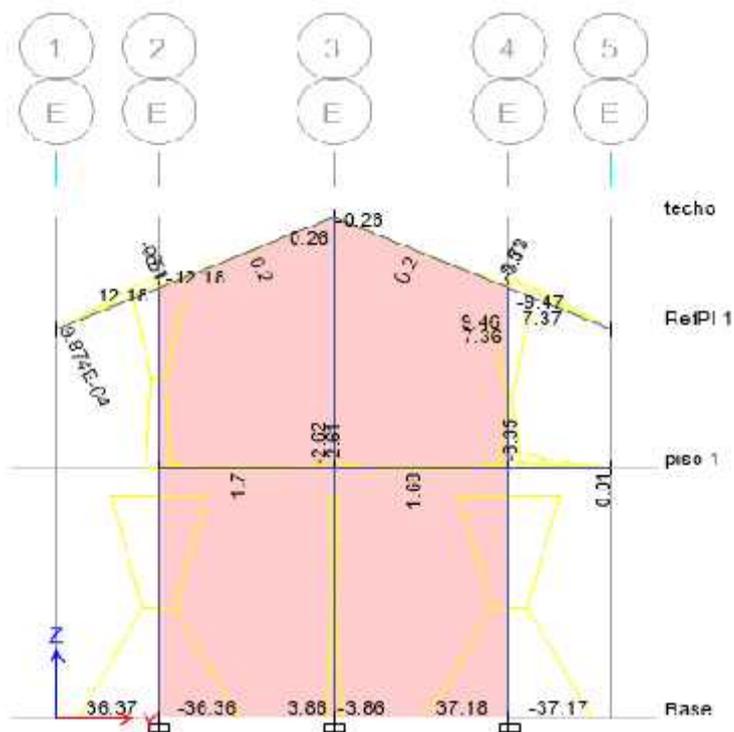
Figura 29: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "E"

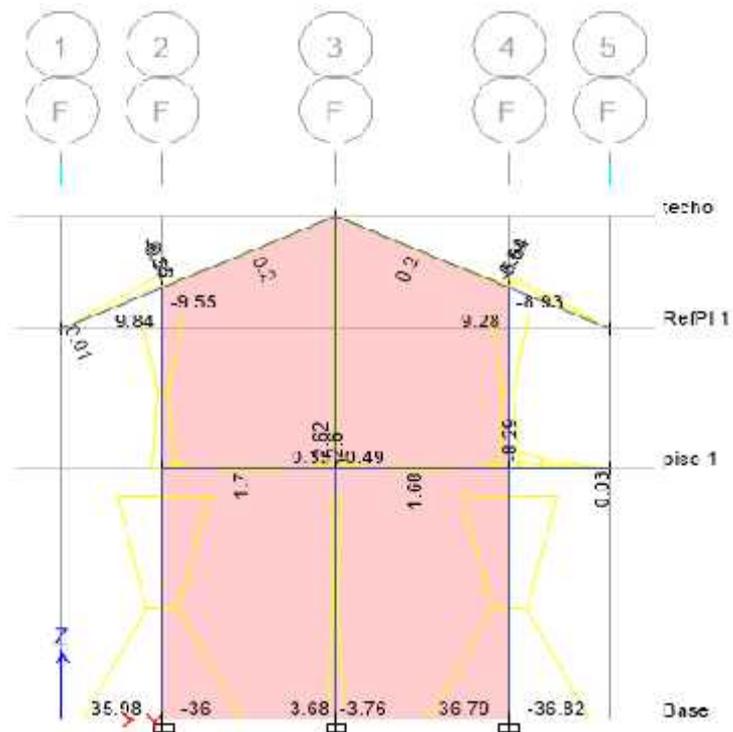
Figura30: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "F"

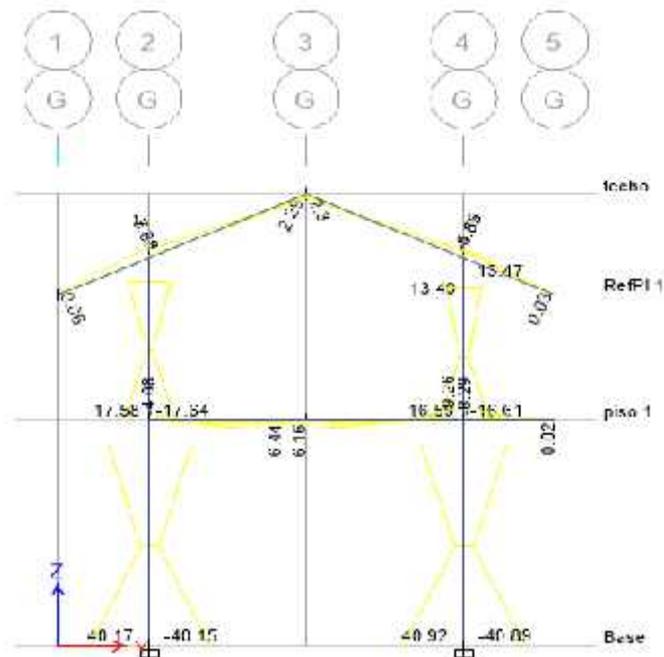
Figura31: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "G"

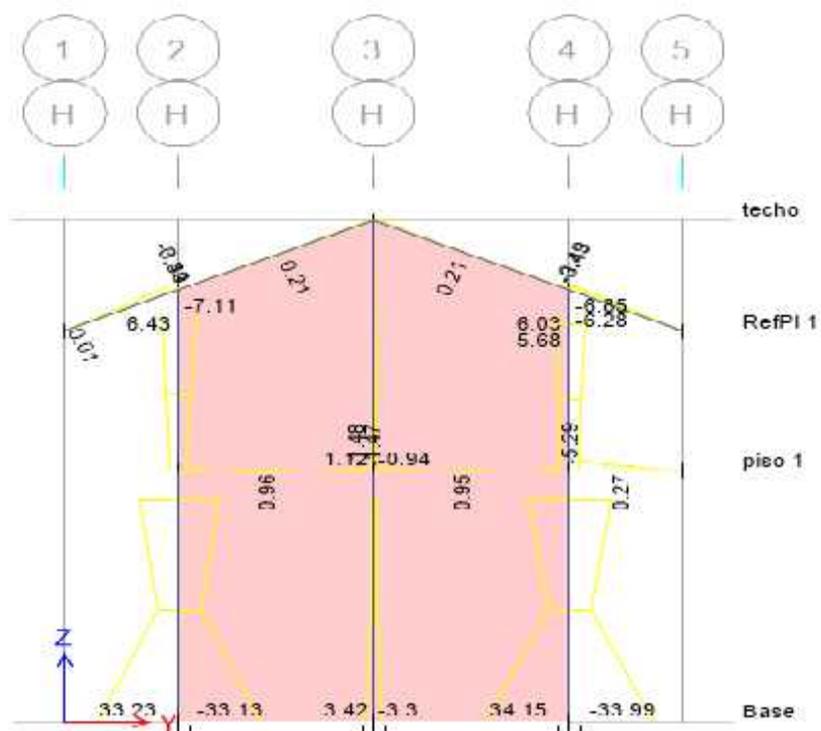
Figura32: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "H"

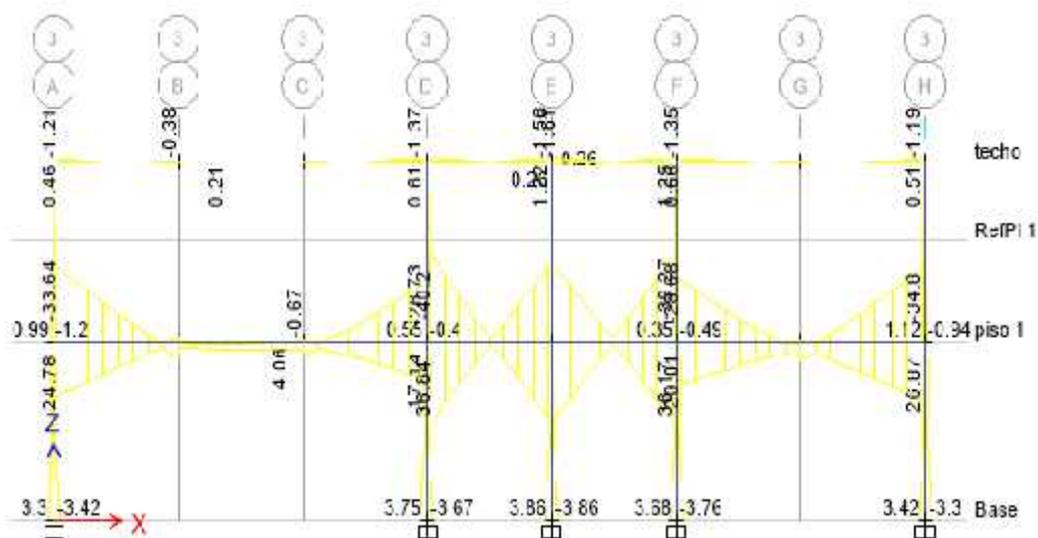
figura33: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

EJE LATERAL "3"

Figura 34: Diagrama de fuerza cortantes



Fuente: Etabs 2015

La sección de la columna pre dimensionada fue suficiente para que el programa asigne a los aceros mínimos, y según norma la cuantíamínimo,

2.2.3.1 Incremento de la Resistencia a Flexión en Vigas, Considerando el Sistema de Reforzamiento con Fibra de Carbono.

METODOLOGIA

Propiedades del material

- **Módulo de Elasticidad**

$$E = (700, a 2'300,) \text{ Kg/cm}^2$$

- **Esfuerzo de Rotura-Tensión**

$$f_u = (15, a 40,) \text{ Kg/cm}^2$$

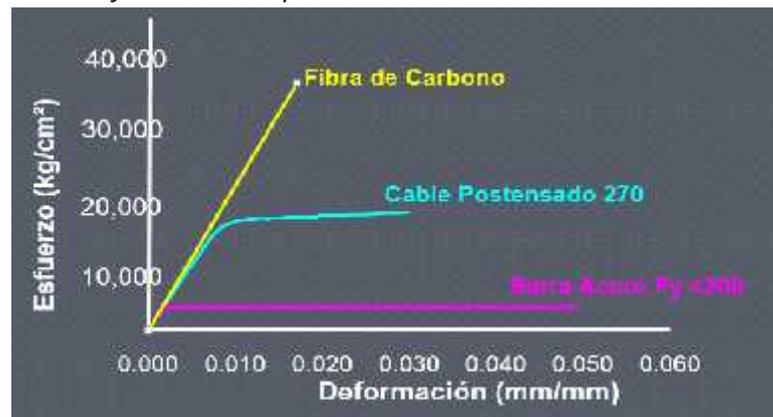
(10 veces el acero de f_y 4200)

- **Deformación unitaria de Falla.**

Fibras: E_f 230 Gpa

$$u = 0.016 \text{ mm/mm}$$

Gráfico N°4: Comportamiento de la Fibra de Carbono



Aspectos Fundamentales para El Diseño – ACI – 440 2R-08

- Toda estructura que necesite ser reforzada con el sistema de Fibras de Carbono (FRP) debe tener una resistencia mínima, de manera que en caso de vandalismo, incendio y las fibras se quiten de la estructura, esta no debe colapsar (ACI – 440)
- $(\phi R_n)_{exist} \geq (1.1C_m + 0.75C_v) \text{Cargas Diseño}$

PROCEDIMIENTO DE REHABILITACION CON MATERIALES COMPUESTOS

Si bien la rehabilitación de las estructuras es necesaria y cada día adquiere mayor importancia por numerosas razones sociales, técnicas y económicas, hay aún mucha incertidumbre con relación a la confiabilidad en la efectividad de los trabajos que comúnmente son puestos en la práctica. El éxito de la rehabilitación de estructuras de concreto que han sido deterioradas depende fundamentalmente del diagnóstico, la evaluación estructural y de una acertada manera de rehabilitación con personal preparado y calificado para esta tarea. Por tal razón es indispensable conocer cada uno de los pasos necesarios para que este proceso de rehabilitación se concluya de manera exitosa y para que los resultados a largo plazo sean los esperados.

a) Preparación de la superficie

Según la ficha técnica de 01/2012 de Sika, La superficie debe estar limpia y sana. Puede estar seca o húmeda, pero libre de agua empozada o hielo. Remover polvo, lechada, grasa, compuestos curadores, impregnaciones, grasas, partículas extraña, material suelto o cualquier otro elemento que impida la adherencia. Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación adecuado. La resistencia en adherencia del concreto debe ser verificada, después de la preparación de superficie por un ensayo aleatorio de resistencia de adherencia a tensión a criterio del ingeniero. La mínima resistencia a tensión debe ser de 15 kg/cm² con falla del concreto.

b) Método de limpieza

Para la preparación de la superficie de concreto se recomienda utilizar chorro de arena o cualquier otro procedimiento de limpieza mecánica aprobado, que provea textura rugosa a la superficie.

Fotografía N° 2: Preparación y limpieza de la superficie.



Fuente: Reporte de construcción Reconstrucciones S.A.S. Aplicador autorizado de productos Sika. 2012.

c) Mezclado del epóxico

Para información sobre características y mezclado del Sikadur 301 referirse a la hoja técnica de los productos. El consumo de la resina epóxica Sikadur 301, depende de la rugosidad de la superficie y la práctica que se tenga en el procedimiento de impregnación del tejido, sin embargo el consumo teórico aproximado es de 350 g/m² de producto para la imprimación de la superficie del sustrato y 730 g/m² para la saturación o impregnación del tejido.

d) Corte del tejido

El tejido puede ser cortado a la longitud apropiada usando tijeras de tipo industrial o para trabajo pesado. Debe evitarse el uso de cualquier elemento de corte sin filo que pueda debilitar o deshilar la fibra.

e) Aplicación

Antes de la colocación del tejido, la superficie de concreto debe ser imprimada y sellada usando el epóxico Sikadur 301. En cualquier caso, la instalación debe ser realizada por un aplicador autorizado o personal calificado.

Fotografía N°3: Instalación de Materiales Compuestos en elementos estructurales.



Fuente: Reporte de construcción Reconstrucciones s.a.s. Aplicador autorizado de productos Sika. 2012.

DISEÑO CON CFRP

El reforzamiento de los CFRP (fibra de carbono) se empleará para la viga V-201 para mejorar su capacidad de carga. Para el diseño a flexión de la viga usando fibras de carbono, se utilizó la plantilla de cálculo de Sika, Versión 4.4 2003-2010 SI. Los datos de entrada, son los correspondientes de las secciones patrón (V-201).

2.2.3.2 Incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de reforzamiento de recocado del concreto armado.

2.2.3.2.1 Reforzamiento de recocado de concreto armado o encamisado de acero.

(INFORME N° 016-2010 – CONSULTOR / Ing. Ruben A. YACHAPA CONDEÑA)

ASUNTO: Evaluación Estructural y proyecto de Reforzamiento de la obra “Construcción, Mejoramiento e implementación de la Infraestructura de la I. E. N° 38356/Mx-P Pedro Ruiz Gallo.

Existen fisuras en todas las vigas principales de 30x50 cm² del segundo piso. Estas fisuras verticales en la parte central de la viga son llamadas fisuras por flexión debido a la fluencia del acero positivo de las vigas. Para comprobar esta hipótesis se ha picado el tarrajeo de la viga de una de las fisuras pronunciadas u se ha comprobado que las fisuras pasa toda la sección de la viga y que aumentando de tamaño a medida que transcurre el tiempo. Esta fisura es muy peligroso ya que posteriormente podría colapsar la viga y ocasionar accidentes fatales con pérdidas humanas.

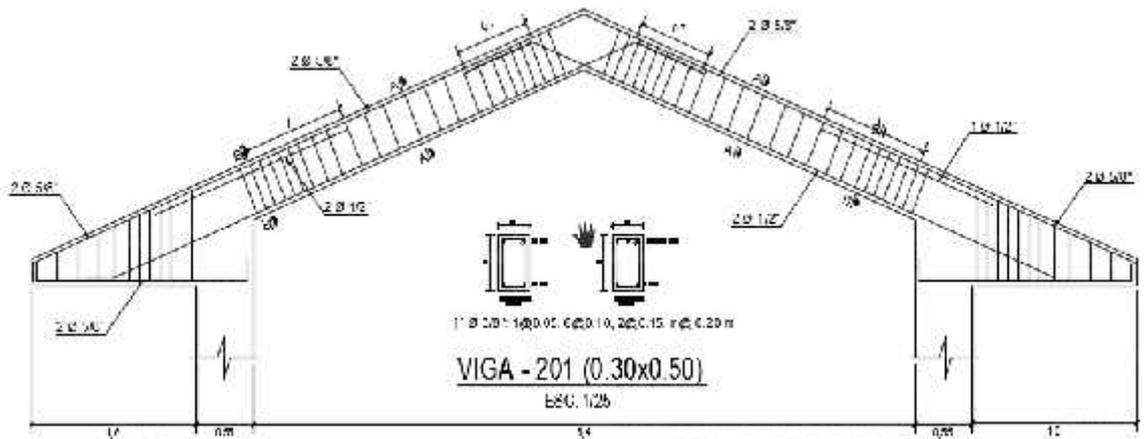
Así mismo para comprobar la fluencia de acero se ha picado hasta descubrir el acero positivo en la parte inferior de la viga de la fisura pronunciada. Por lo que se ha comprobado que solo existen 2 varillas de Ø5/8 equivalentes a 2x1.98cm² = 3.96cm², con un recubrimiento de 7cm.

El acero mínimo según la ACI es $A_{smin} = 0.8 \cdot b_w \cdot d \cdot f'c / 0.5 \cdot f_y = 0.8 \cdot 30 \cdot 44 \cdot 2100.5 / 4200 = 3.64 \text{cm}^2$, pero no deberá ser menor que $A_{smin} = 14.10 \cdot b_w \cdot d / f_y = 14.10 \cdot 30 \cdot 44 / 4200 = 4.43 \text{cm}^2$, por lo tanto $A_{smin} = 4.43 \text{cm}^2$.

Como se puede apreciar, el área de acero positivo de la viga principal está por debajo de acero mínimo, $A_s = 3.96 \text{cm}^2$ $A_{smin} = 4.463 \text{cm}^2$. Por esta razón existen fisuras en la parte central de todas las vigas principales del segundo piso, es decir muy poco acero positivo en las vigas.

De la investigación hecha en campo y en gabinete se aprecia que en el proyecto original las vigas principales del segundo piso eran de dos aguas como se indica en la figura 37.

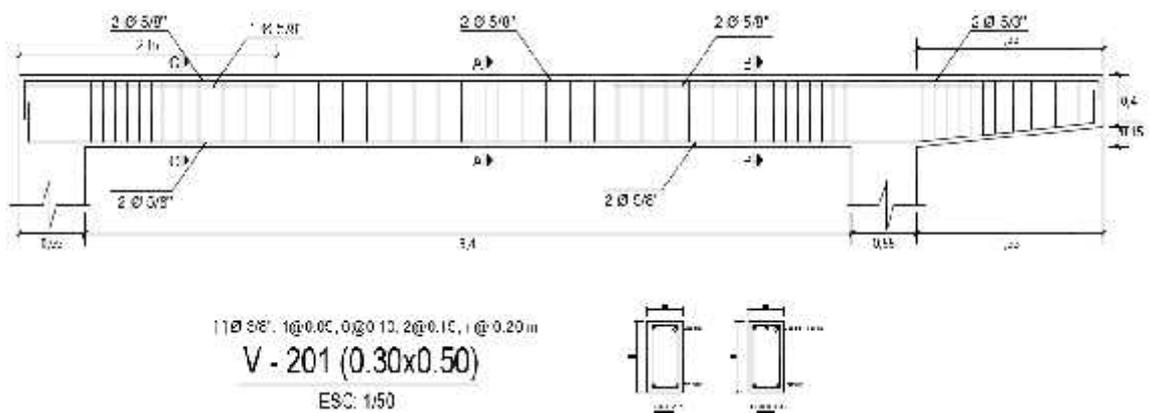
Figura 37: Viga del segundo piso del proyecto original.



Fuente: Elaboración Ing. Ruben A. Yachapa.

Por alguna razón se cambió de una viga de dos aguas a una viga horizontal como se indica en la figura 38.

Figura 38: Viga del segundo piso del tal como se construyó.



Fuente: Elaboración Ing. Ruben A. Yachapa.

Para el cambio de viga, el ingeniero Residente debió pedir formalmente vía cuaderno de obra al ingeniero supervisor para su aprobación con el sustento y memoria de cálculo del rediseño correspondiente, o en el mejor de los caso el ingeniero Residente debió pedir al proyectista el rediseño de la estructura con cambio de las vigas. Ni el uno ni el otro se hizo y no existe anotación alguna en el cuaderno de obra sobre el cambio de viga de dos aguas a una viga horizontal.

Antes del vaciado de techo aligerado del segundo piso, el ingeniero supervisor, en la verificación de los aceros debió advertir el cambio de las vigas y previa conformidad del armado de los aceros debió aprobar el vaciado del techo aligerado. Lastimosamente el supervisor no verifico ni aprobó el vaciado y que no estuvo presente en el momento del vaciado. El Residente a criterio personal ordeno el vaciado del techo aligerado. Por lo tanto el ingeniero Residente y Supervisor son los directamente responsables de la falla de las vigas principales.

Para resolver el problema de las fisuras de las vigas principales por la fluencia del acero positivo debido a que el área de acero provisto es menor al acero minimo, se ha modelado la estructura en ETABS con las siguientes características:

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

Viga principal primer piso 30x55 cm²

Viga principal segundo piso 30x50 cm²

Viga secundaria del primer y segundo piso 30x55 cm²

Viga de borde 15x45 cm²

Columnas C1: 30x55 cm²

Columnas C2: 25x25 cm²

ESPECTRO DE ACCELERACIONES SEGÚN NORMA E 030

Z= 0.30 Zona 2

U= 1.50 estructuras importantes

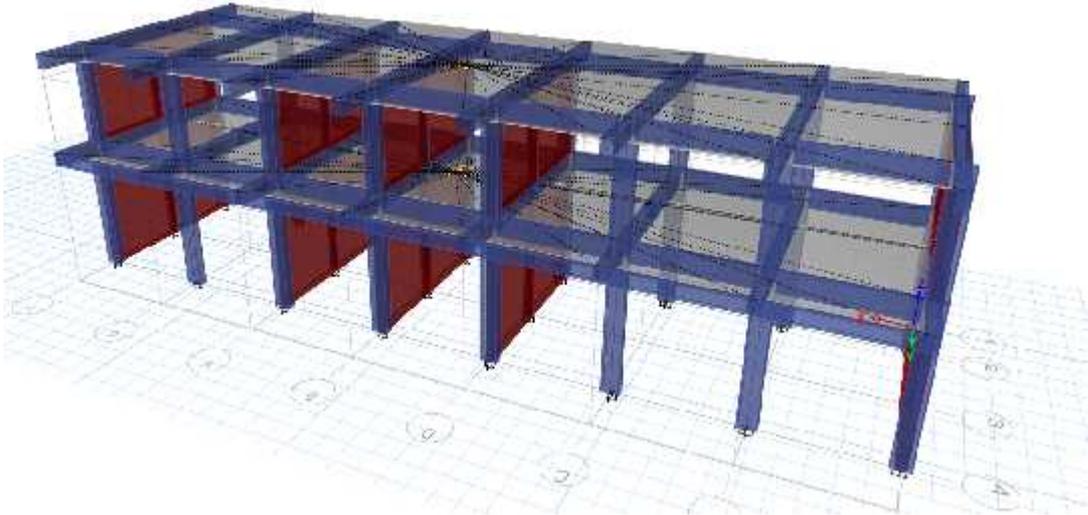
S= 1.40 Suelo tipo 3

Tp= 0.90 Suelo tipo 3

R= 8.00 Concreto Armado Pórticos

ZUS/R = 0.07875

Figura N°38: Modelo analítico de la Estructura.



Fuente: Etabs 2016

Las cargas son como se indican en la figura 39.

Figura 39: Carga viva en el 1er piso en kg/m2.

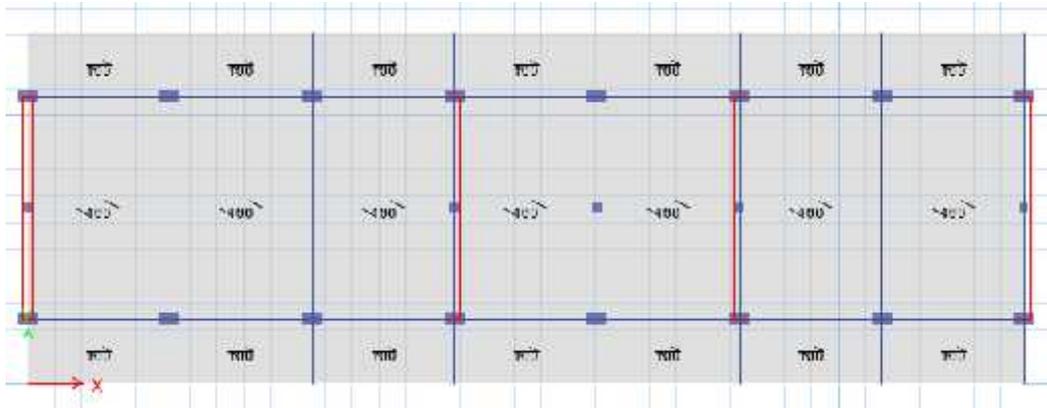


Figura 40: Carga viva en el 2do piso en kg/m2.

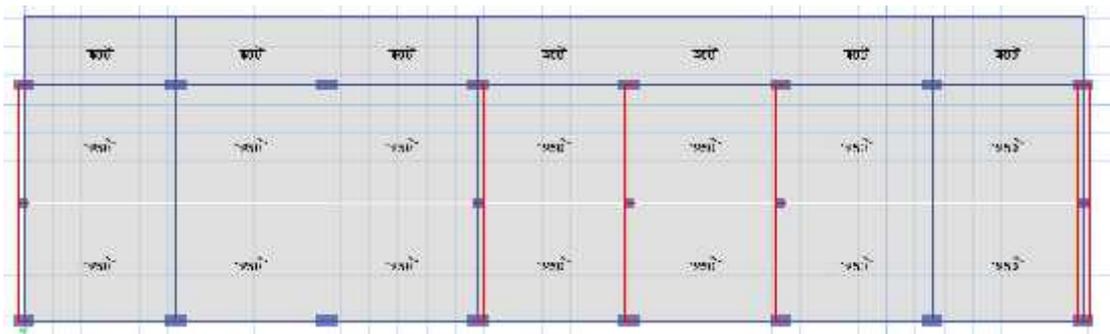
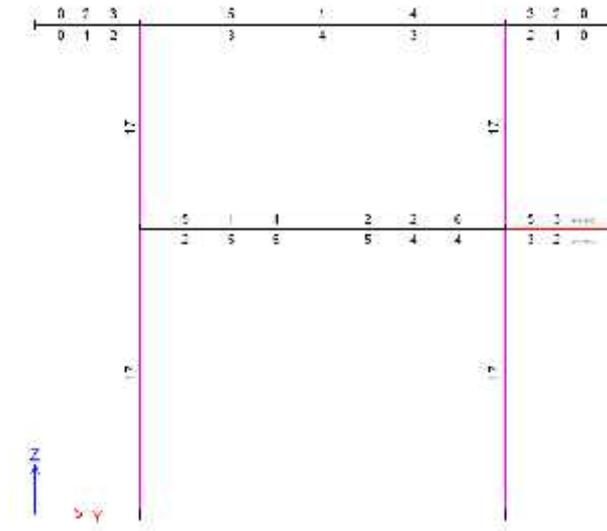


Figura N°41: Diseño de Acero del Pórtico más crítico en cm²



Fuente: Etabs 2016

Como se puede observar en la figura 6, el área de acero positivo de la viga del segundo piso en $A_s = 5.65 \text{ cm}^2$ equivalente a $2\text{Ø}3/4$, pero está construido con solo $2\text{Ø}5/8$ equivale a $A_s = 3.98 \text{ cm}^2$, por esta razón la falla por flexión.

El proyecto de reforzamiento consistirá en añadir aceros en la parte inferior de la viga con el siguiente detalle constructivo.

- Colocar pies derechos paralela a la viga principal a cada lado de la viga para sostener la losa aligerada, 0.50m medido de la cara de la viga.
- Se picara todo el recubrimiento en la parte inferior de la viga, es decir desde el cielo raso, hasta los fierros de los estribos como se indica en la figura 6.

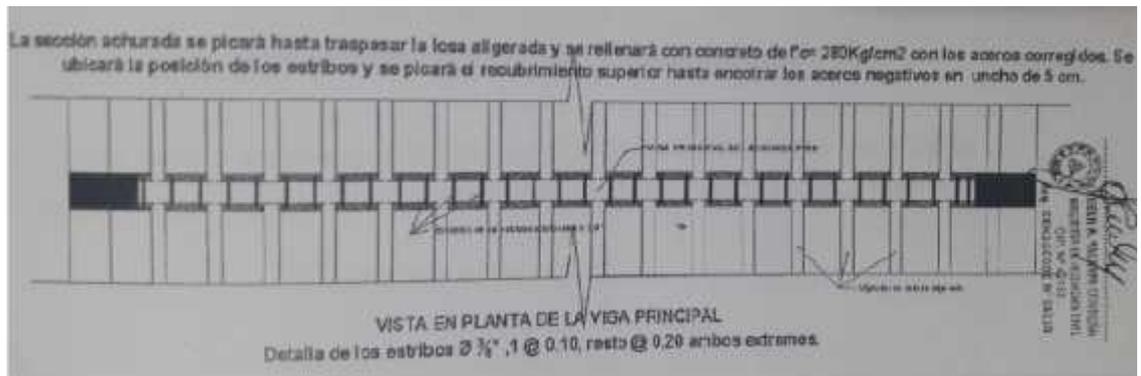
Figura 42: Detalle del picado de la viga y acero adicional $2\text{Ø}3/4$ "



Fuente: Elaboración Ing. Ruben A. Yachapa.

- c. En la losa aligerada del segundo piso se picara el recubrimiento lateral de las vigas solamente la parte donde están los ladrillos de hecho hasta traspasarlo y las viguetas de la losa aligerada se dejaran intactas como se indica en la figura 43.

Figura 43: Detalla de los Aceros longitudinales positivos adicionales $\varnothing 3/4"$ de las vigas principales.



El picado de las vigas en la parte superior y estribos adicional $\varnothing 3/8"$ y detalle del acero longitudinal de $2\varnothing 3/4"$.

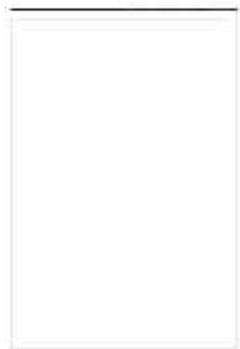
- d. Se fijaran la posición de los estribos adicionales como se indica en la figura 8, líneas rojas, y se picaran la parte superior de la viga en esta posición, hasta encontrar los aceros negativos en un ancho aproximado de 5cm. En estos lugares se insertara los estrubos adicionales de $\varnothing 3/8"$ que tendrá la forma que indica la figura 9. Los ganchos de 90° se ubicara en la parte inferior de la viga hasta una longitud de 2.15m contando desde la cara de la columna. Se hará lo mismo en cada columna.

Fig. 44. Detalle de los estribos adicional $\text{Ø}3/8''$. En los extremos de la viga



En la parte central de la viga principal se insertara estribos cuyos ganchos de 90° se ubicara en la parte superior de la viga hasta una longitud de 2.10m.

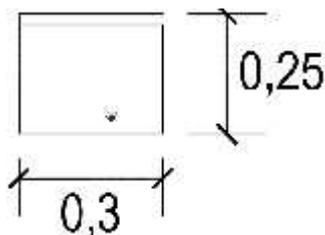
Fig. 45. Detalle de los estribos adicional $\text{Ø}3/8''$. En la parte central de la viga



- e. Hacer dos perforaciones en las columnas con el diámetro de $\text{Ø}3/4''$, en la posición de los aceros positivos, para insertar dos aceros de $\text{Ø}3/4''$.
 - f. Insertar los aceros longitudinales en las perforaciones hechas en las columnas. Cada fierro terminara con un gancho de 20cm como indica la figura 8, que se ocultara en el recubrimiento de las columnas. Luego insertar los estribos en posiciones indicadas en la figura 8, y hacer los amarres con los aceros positivos.
 - g. Encofrar la viga con la misma sección que ha sido construido.
 - h. Realizar el llenado de las vigas utilizando aditivos para unir concretos de diferente edad, desde la parte superior, techo, con concreto de $f_c=280\text{kg/cm}^2$ cuyo agregado grueso será de $3/8''$ como máximo.
2. Existen fisuras verticales en las paredes de la cabeza debido al aplastamiento ocasionado por la fluencia del acero positivo en las vigas principales. Para solucionar este problema se picara el tarrajeo de las

paredes donde están las fisuras en ancho de 0.50m ambos lados a fin de colocar grapas de acero de $\varnothing 3/8$ cada 25cm, es decir hacer un cocido de pared, las grapas tendrán un ancho de 30cm. Luego de cocer se volverá a tarrajear nuevamente la pared.

Figura N° 46: Detalle de la grapa de acero $\varnothing 3/8$ "



Conclusiones:

1. Las fisuras en la pared central de las vigas principales es por fluencia del acero positivo, falla por flexión. El área de acero positivo de la viga principal está por debajo del acero mínimo, $A_s = 3.96 \text{ cm}^2$ $A_{s \text{ min}} = 4.436 \text{ cm}^2$. por esta razón existe fisuras en la parte central de todas las vigas principales del segundo piso, es decir muy poco acero positivo en las vigas.
2. Las fisuras verticales en las paredes de cabeza, es debido al aplastamiento ocasionado por la sobrecarga del acero positivo de las vigas principales.
3. Tanto el ingeniero residente y Supervisor son los directos responsables, por haber cambiado la viga principal, en el segundo piso, de dos aguas a una viga horizontal sin la revisión del rediseño y la aprobación y la población correspondiente.

Recomendaciones:

1. Los ingenieros residentes y supervisión se harán cargo en corregir los aceros positivos de la viga principal, colocando los aceros adicionales longitudinales y estribos correspondientes.
2. Hacer la corrección de los aceros positivos de las vigas principales del segundo piso de acuerdo al detalle indicado en los párrafos anteriores.
3. Cocer las fisuras de las paredes del segundo piso con grapas de acero de $\varnothing 3/8$ " de acuerdo al detalle indicado en los párrafos anteriores.

4. En las vigas principales encima de las paredes de cabeza no es necesario corregir el acero positivo.

2.2.3.3 Incremento de la resistencia a flexión en vigas, considerando el sistema de la eliminación de la sección de concreto y aumento de la cuantía de acero.

Fotografía N°5. Corte de sección de viga dañada.

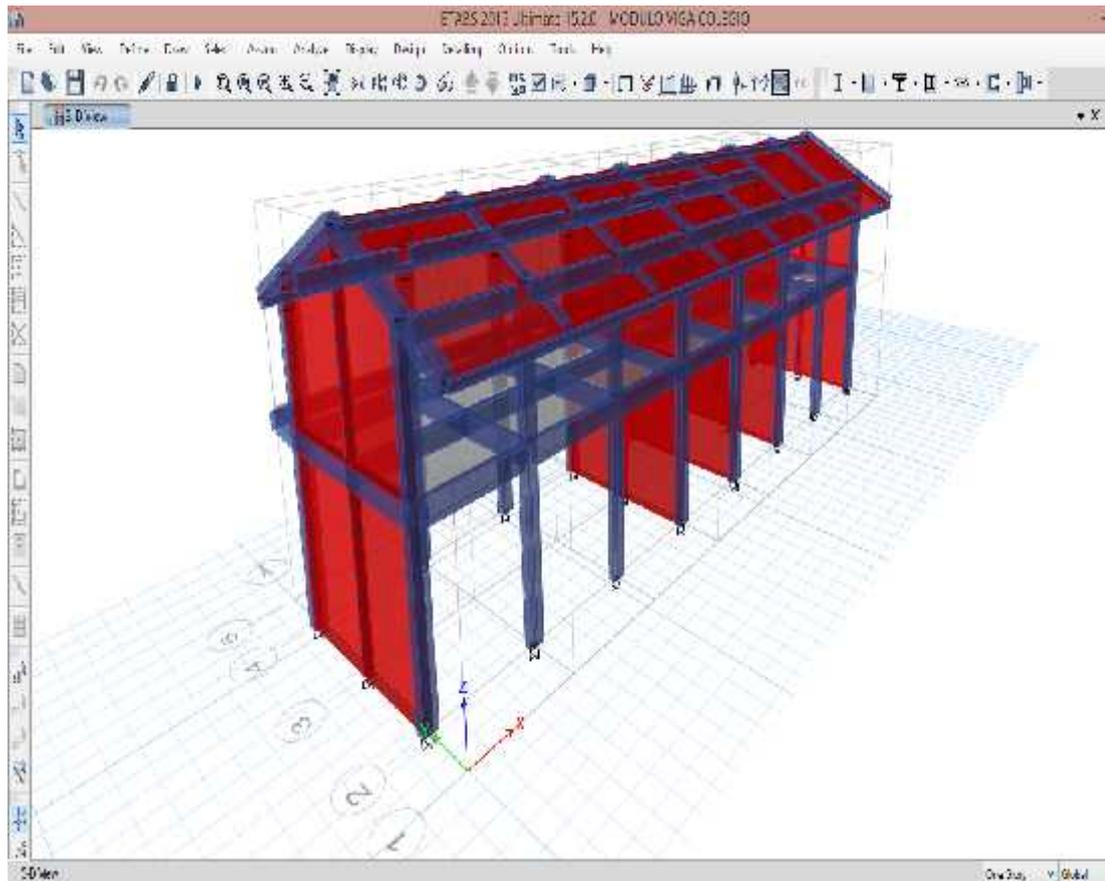


2.2.3.3.1 METODO DEL ANALISIS

La edificación se idealiza como un ensamblaje de vigas, columnas con techos rígidos. La integración de las fuerzas internas del elemento finito en cuanto a fuerzas y momentos, está completamente automatizada, de tal manera que produce el equilibrio completo para las fuerzas aplicadas a las estructuras.

Las formulaciones de vigas, columnas y muros influyen en efectos de flexión, carga axial y deformaciones por corte.

Figura N°47: Distribución de secciones de la estructura a reforzar.



Fuente: ETABS 2016

2.2.3.3.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Módulo de elasticidad del concreto

Según T. Harmsen, para concretos normales con peso de aproximadamente 2,300 kg/m³ se puede usar la siguiente expresión.

$$E_c = 15100 \cdot (F'c)^{1/2} = 218820 \quad \text{para } F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Dimensionamiento de vigas

Vigas principales

$$h = L/16 = 7.0/16 = 0.44 \quad \text{NORMA E-60}$$

Asumimos: $b = 0.30\text{m}$

$$h = 0.55\text{m}$$

Vigas Secundarias

$$h = L/16 = 7.0/16 = 0.44 \quad \text{NORMA E-60}$$

Asumimos: $b = 0.30\text{m}$

$$h = 0.50\text{m}$$

Según la Norma E-60 capítulo 11.3.2 la relación ancho a peralte no deberá ser menor q 0.3, y el ancho de la viga no deberá ser menor que 25cm.

Vigas: $b/h = 30/55 = 0.55 > 0.30$

Concreto: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

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

Definición de secciones:

Se ha definido las secciones de columnas y vigas de acuerdo a lo predimensionado de la siguiente manera.

- Vigas principales primer piso: 0.30 x 0.55m
- Vigas secundarias primer piso: 0.30 x 0.55m (por arquitectura)
- Vigas principales segundo piso: 0.30 x 0.50m
- Vigas secundarias segundo piso: 0.30 x 0.55m (por arquitectura)

2.2.3.3.3 DEFINICION Y ASIGNACION DE CARGAS

a) Cargas actuantes

Las cargas a emplear para el presente diseño será:

- Carga muerta (D)

- Carga viva (L)
- Carga de sismo (E)

Combinación de cargas:

En cuanto a la combinación de cargas se utilizara el propuesto por nuestra norma NTE-E.030.

1. Carga Muerta (D), Carga viva (L) y sismo (E)

- $U= 1.50D + 1.80L$
- $U= 1.25D + 1.25 L + 1.25E$
- $U= 1.25D + 1.25 L - 1.25E$
- $U= 0.9D + 1.25E$
- $U= 0.9D - 1.25E$

Para lo cual se generó los siguientes combos

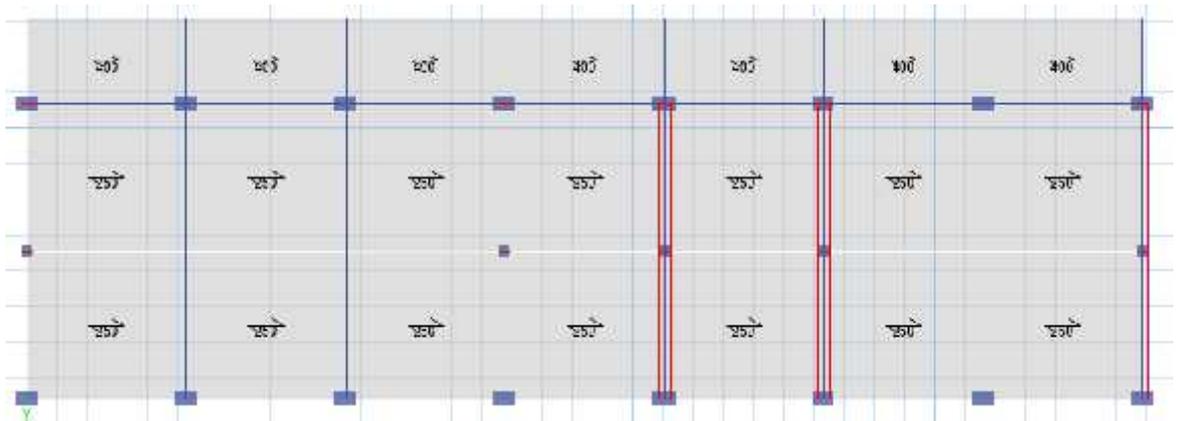
- Combo 01: $1.5CM + 1.8 CV$
- COMBO 02: $1.25CM + 1.25CV + 1.25 ESPECTROX$
- COMBO 03: $1.25CM + 1.25CV -1.25 ESPECTROX$
- COMBO 04: $1.25CM + 1.25CV + 1.25 ESPECTROY$
- COMBO 05: $1.25CM + 1.25CV -1.25 ESPECTROY$
- COMBO 06: $0.90CM + 1.25 EXPECTROX$
- COMBO 07: $0.90CM - 1.25 EXPECTROX$
- COMBO 08: $0.90CM + 1.25 EXPECTROY$
- COMBO 09: $0.90CM - 1.25 EXPECTROY$

COMBO 10: (COMBO 01, COMBO 02,.....COMBO 09) Esto es el envolvente de todos los combos.

Metrado de cargas

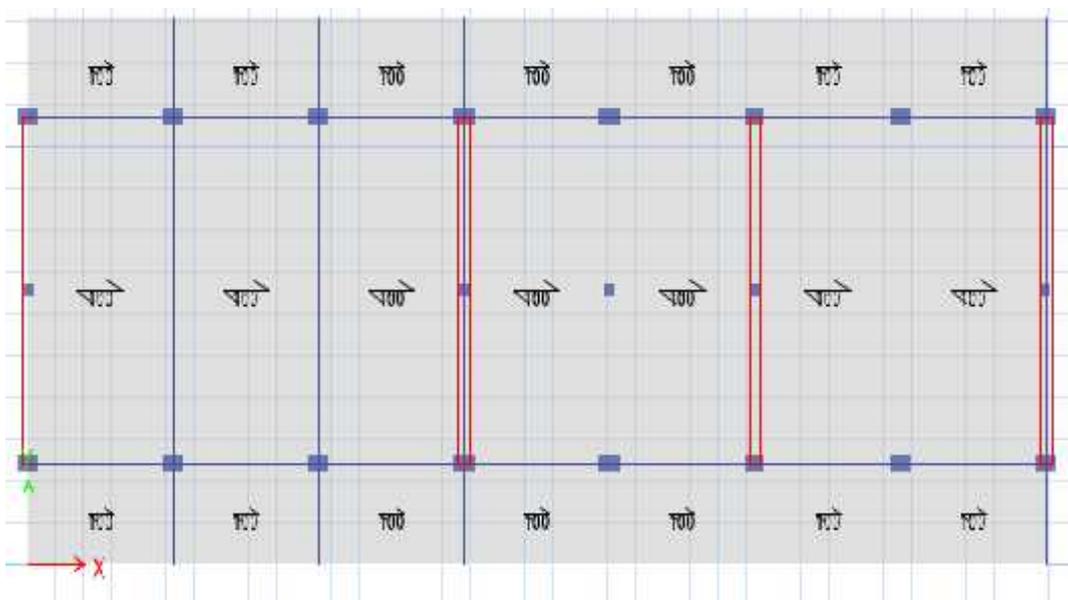
Se usara el programa computacional ETABS 2015 para el modelamiento de la estructura, por tal razón solo se calcularan las cargas:

Figura N°48: Carga viva en el 1er piso en kg/m2.



Fuente: ETABS 2016

Figura N°49: Carga viva en el 2do piso en kg/m2.



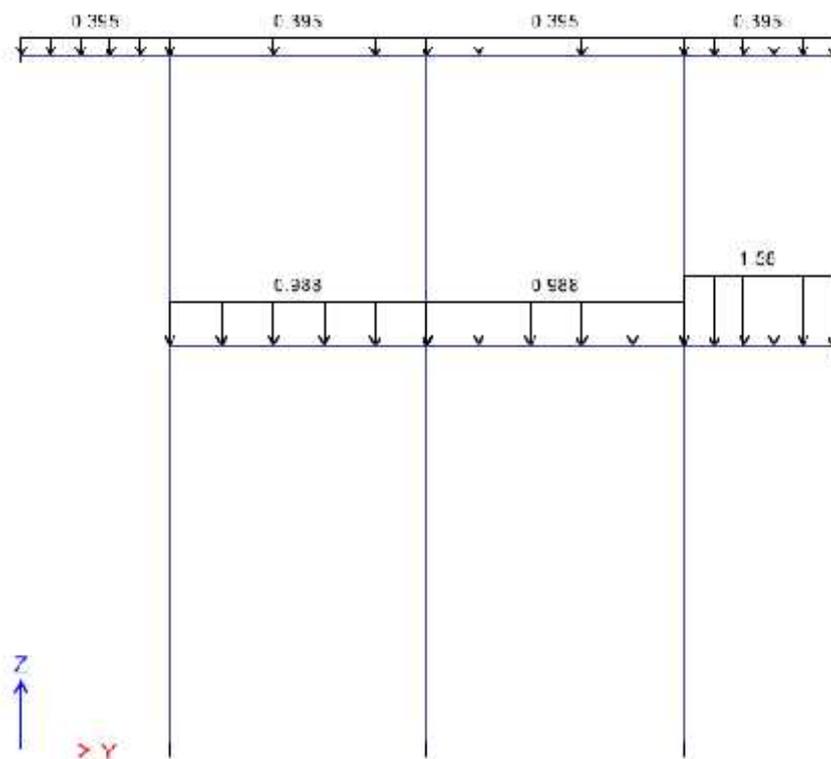
Fuente: ETABS 2016

El metrado de cargas es un proceso mediante el cual se estiman las cargas actuantes sobre los distintos elementos estructurales. El metrado

de cargas es un proceso simplificado ya que por lo general se desprecian los efectos hiperestáticos producidos por los momentos flectores, salvo que sean estos muy importantes. Los tipos de carga que se usarán en el metrado son las siguientes:

Carga Muerta: Son cargas de gravedad que actúan durante la vida útil de la estructura, como: el peso propio de la estructura, el peso de los elementos que complementan la estructura como acabados, tabiques, maquinarias.

FIGURA N°50 CARGA MUERTA



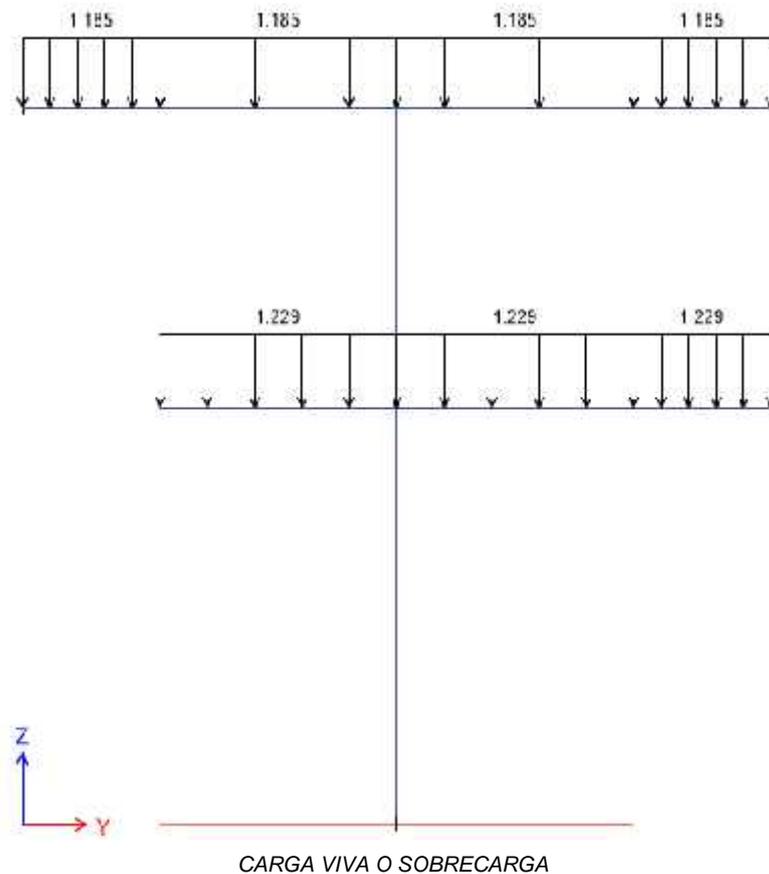
Fuente: ETABS 2016

Carga Viva o Sobrecarga: son cargas gravitacionales de carácter movable, que actúan en forma esporádica. Entre éstas se tienen: el peso de los ocupantes, muebles, nieve, agua, equipos removibles.

- Las cargas unitarias que usaremos son las siguientes:
- Densidad del concreto: 2400 kg/m³
- Densidad del agua: 1000 kg/m³
- Aligerado (h =25 cms.): 350 kg/m²
- Acabados: 100 kg/m²
- Tabiquería fija (pandereta): 210 kg/m² (1350 kg/m³ x 2.7)
- Tabiquería móvil (drywall): * 60 kg/m² (38 kg/m² x 2.7)
- Oficinas y baños : 250 kg/m²
- Hall y escalera : 400 kg/m²
- Azotea: 100 kg/m²
- Cuarto de máquinas: 1000 kg/m²

La Norma E-020 en su acápite 2.3 señala que para una carga de tabique de 103 kg/m se supondrá una carga equivalente repartida de 60 kg/m² (carga muerta).

Figura N° 51: Carga Viva



2.2.3.4 Determinar la optimización económica bajo los criterios de los tres sistemas de refuerzos en la resistencia a flexión en vigas.

Una vez establecidos los tres diseños se procedió a calcular las cantidades de obra, según las actividades definidas por los diseños de refuerzo.

- **Reforzamiento con fibra de carbono**

Cuadro N°8: Cantidades para un reforzamiento con Fibras de Carbono.

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON FIBRA DE CARBONO		
<i>Reforzamiento Estructural a todo costo</i>		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Preparación de superficie base	Ml x b=10cm	6.4
Regularización de superficie base	Ml x b=10cm	6.4
Suministro e Instalación de Sikawrap Hex103C	Ml x b=10cm	6.4

Fuente: Elaboración Propia

- **Reforzamiento con recrecido en concreto armado**

Cuadro N°9: Cantidades para un reforzamiento con recrecido en concreto armado.

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL RECRECIDO EN CONCRETO ARMADO		
Descripción	Unidad	Cantidad
Picado parcial de concreto	M3	0.29
Encofrado y desencofrado	M2	3.20
Acero de Refuerzo nuevo FY=4200 kg/cm ²	Kg	61.31
Concreto de reparación en vigas y losa fc=270 kg/cm ²	M3	0.29
Tarrajeo de Vigas y/o columnas	M2	3.20
Pintura látex en Vigas	M2	3.20

Fuente: Elaboración Propia

- **Reforzamiento con eliminación de sección y aumento de Cuantía de Acero.**

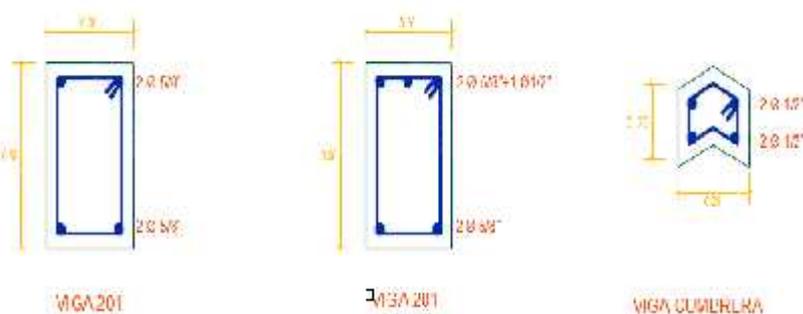
Cuadro N°10: Cantidades para un reforzamiento con eliminación de sección y aumento de cuantía de acero en concreto armado.

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL CON ELIMINACIÓN Y AUMENTO DE CUANTIA DE ACERO		
Descripción	Unidad	Cantidad
Demolición parcial del concreto	M3	0.96
Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	78.76
Encofrado y desencofrado en vida demolida	M2	5.76
Concreto armado en vigas	M3	0.96
Tarrajeo de vigas y/o columnas	M2	5.76
Pintura Látex en vigas	M2	5.76

Fuente: Elaboración Propia

RESULTADOS

Cuadro N°11: Resumen de Momentos Últimos resistentes de las vigas diseñadas



MOMENTO ULTIMO			
VIGA PATRON	0.21	0.62	0.17
REFORZADA CON FRP	0.73	0.81	-----
REFORZADO AUMENTO CUANTIA DE ACERO	0.44	0.55	-----

Fuente: elaboración propia

Según el cuadro N°11: las vigas V-201, que son representativas en su resistencia teórica, presentan una discrepancia del 18,63% en la resistencia al momento flector, y el valor experimental respecto al teórico es 2 a 3 veces mayores.

Las vigas V-201 reforzadas con barras de acero son representativas a las vigas V-201 reforzadas con fibras de carbono, presentan una diferencia entre

Muteórico y Muexperimental del 27,75% y para las vigas esta diferencia es del 17,06 %.

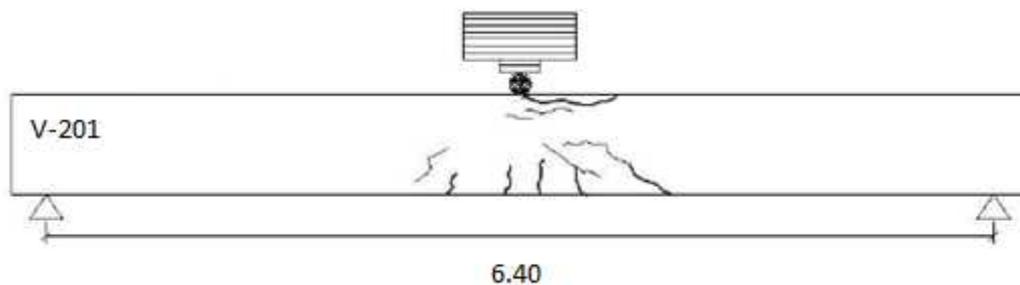
Los valores experimentales de las vigas puestas en comparación como alternativas de reforzamiento presenta una diferencia del 3,69 % en el promedio de sus valores, esto indica que la base teórica que pretendía reproducir tres métodos de reforzamiento (recrecido con barras de acero vs Fibras de Carbono vs aumento de cuantía de acero) tuvo un grado aceptable de veracidad. Además de realizarse la comparación teórica del comportamiento de los tres sistemas de reforzamiento, las vigas V-201 permitieron establecer que la resistencia, aumentó su capacidad en un 65,45 % al ser instaladas las fibras, ya que paso de $\mu=0,73\text{Ton.m}$ a $\mu= 0.81\text{Ton.m}$ (promedio). De igual forma la viga 201 en aumento de cuantia de acero, aumento en un 20 % al pasar con un $\mu=0,44\text{Ton.m}$ a un $\mu= 0.55\text{Ton.m}$ (promedio de las vigas 201).

Mientras que para la viga en mención, la cual tiene una sección con las mismas características, pero adicionándole fibras de carbono en la zona de tracción, no hubo un aumento significativo de su resistencia, ya que solo presento un aumento del 7,07%. Sin embargo su valor teórico con el experimental presento un error del 3,87%.

ANALISIS DE GRIETAS

En todos los casos de las vigas ensayadas sin fibras la falla se presentó por agrietamientos en la zona de tracción, seguida por fluencia del acero y finalmente rompimiento del concreto en la zona de compresión, sin embargo, las fallas en los elementos reforzados con fibras de carbono se presentaron por desprendimiento del extremo final del refuerzo para las vigas V-201 y desprendimiento del recubrimiento de hormigón para las vigas.

Figura N°52: Desprendimiento y rotura de la viga principal V-201



ANÁLISIS DE COSTOS

Análisis de costos con Reforzamiento con Recrecido en concreto armado.

Cuadro N°12: Análisis de Costos en Recrecido de concreto.

Reforzamiento estructural a todo costo				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal
Picado parcial de concreto	M3	0.29	292.16	84.73
Encofrado y desencofrado	M2	3.20	36.97	118.30
Acero de refuerzo nuevo	kg	61.31	6.29	3.85.64
Concreto de reparación para vigas	M3	0.29	360.20	104.46
Tarrajeo de Vigas	M2	3.20	21.19	67.81
Pintura Látex en vigas	M2	3.20	6.53	20.90
Costo directo				781.84

Fuente: elaboración propia.

Análisis de costos con eliminación de Sección y Aumento de cuantía de acero.

Cuadro N°13: Análisis de Costos en Eliminación de Sección y aumento de cuantía de Acero.

Reforzamiento estructural a todo costo				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal
Demolición parcial de concreto	M3	0.96	292.16	280.48
Encofrado y desencofrado	M2	5.96	36.71	218.80
Acero de refuerzo nuevo	kg	78.76	6.27	493.82
Concreto de reparación en vigas	M3	0.96	360.20	345.80
Tarrajeo de vigas	M2	5.76	20.35	117.22
Pintura Látex en vigas	M2	5.76	6.53	37.61
Costo directo				1493.73

Fuente: elaboración propia

Análisis de costos con Reforzamiento con Fibra de Carbono

Cuadro N°14: Análisis de Costos con fibra de Carbono

Reforzamiento estructural a todo costo				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Subtotal
Kick de Analisis de la estructura dañada	Global	1	700.00	700.00
Regularización de la superficie base	Ml x b=10cm	6.4	50.00	320.00
Suministro de pegamento sikadur 301.	Galón x 7m	1	90	90.00

Instalación de fibra de carbono	MI x b=10cm	6.4	127	508.00
Costo directo				1618.00

Fuente: elaboración propia

Si bien es claro, que el precio unitario de los materiales CFRP (fibra de carbono) es elevado comparado con los materiales convencionales, el costo de la ejecución de un reforzamiento estructural con fibras de carbono, para este caso particular solo presenta una diferencia de un 8,9 % mayor, al reforzamiento convencional. Sin embargo puede considerarse que este sistema de reforzamiento es muy competitivo si se tienen en cuenta los tiempos de ejecución (ver cuadro N°8), su fácil manipulación en obra sin la necesidad de equipos de izaje y montacargas, versatilidad para ser aplicado a todo tipo de geometrías de elementos estructurales, los incrementos despreciables en peso evita que la cimentación de la estructura requiera modificaciones, la alta resistencia a la corrosión ,el bajo impacto estético y la habilitación de la estructura para ejecutar los acabados y su ocupación ,una vez finalizado el reforzamiento, hacen parte de sus más importantes ventajas, que de forma directa o indirecta afectan positivamente el costo de la intervención.

Cuadro N°8: Tiempos en horas en el proceso de rehabilitación por los tres sistemas de refuerzo.

ALTERNATIVA	LIMPIEZA	USO DE EQUIPO (TALADRO, MARTILLOS)	USO DE EQUIPOS PESADO(MEZCLADORA, EQUIPO DE IZAJE, ETC)	REPARACION	FRAGUADO	TOTAL
Reforzamiento con Fibra de Carbono	2	2	----	2	7	13
Refor. Recrecido de concreto	2	3	3	4	48	60
Refor. Eliminación de sección y Aumento de Cuantía de acero.	2	5	4	8	48	67

III. RESULTADOS

Los resultados de esta intervención fueron totalmente satisfactorios en el caso del reforzamiento de la fibra de carbono. Donde el ingeniero proyectista y sus colaboradores destacan las ventajas de estos sistemas, principalmente la posibilidad de estar trabajando en varias zonas al mismo tiempo sin mayor dificultad, la velocidad con la que puede entrar en servicio la estructura y la poca infraestructura que requiere su puesta en obra, en comparación principalmente con los refuerzos con perfiles de acero, que pueden llegar a demandar hasta la instalación de una grúa para su izamiento.

- Se pudo establecer un grado aceptable de veracidad de la base teórica que reproduce tres sistemas de reforzamiento (encamisado o recrecido en concreto reforzado vs Fibras de Carbono y eliminación de sección y aumento de cuantía de acero) como alternativas aplicables a un caso particular, ya que los valores de resistencia de carga última de estas, presentaron una diferencia del 3,69% en el promedio de sus valores. Esto garantiza, que el análisis de costos tuviera la misma exactitud al momento de cuantificar las cantidades de obra en las actividades de las dos alternativas que se aplicarían a un mismo caso de una estructura que demanda un reforzamiento debido a nuevas solicitaciones de carga.
- Además de realizarse la comparación teórica y experimental del comportamiento de los tres sistemas de reforzamiento ante una carga vertical aplicada en centro de la luz, se estableció que la resistencia de la viga V-201, aumentó su capacidad en un 65,45 % al ser instaladas las fibras, ya que paso de $M_u=0,524 \text{ Ton.m}$ a $M_u= 0.867 \text{ Ton.m}$

IV. DISCUSIÓN

Para el reforzamiento de cualquier elemento estructural y obtener resultados óptimos, los elementos de hormigón debe ser muy bien preparados y tratados basándose en el reglamento Nacional de Edificaciones.

- Para el cálculo de la viga con refuerzo de fibra de carbono se analizó minuciosamente cumpliendo lo recomendado por el ACI 440.2R-02, por lo que se necesita un conocimiento completo de la Norma.

- Para la colocación del refuerzo de recrecido de concreto armado y aumento de cuantía de acero, se generó disconformidad ya que el traslado de elementos de construcción, dependerá mucho de la técnica adoptada, ya que son materiales de alto costo y muy difícil de trasladar.

- Al reforzar las vigas en una edificación se comprobó que se pierde totalmente uno de los criterios a cumplir en cualquier proyecto, por lo que se recomienda que al reforzar una estructura con fibra de carbono no solo se analice la viga como elemento dañado sino toda la estructura (Vigas y Columnas); y así, que toda la estructura trabaje de forma monolítica

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de carga, realizadas a las vigas utilizando fibras de carbono (SikaWrap Hex103C) y adheridas en una matriz epóxica (Sikadur 301), reforzamiento con recrecido de concreto armado(encamisado en concreto reforzado),y la eliminación de sección y aumento de cuantía de acero y el análisis de costos en la implementación de estos sistemas aplicados a un caso particular, se puede concluir lo siguiente:

- A modo de resumen se destaca el sistema como extremadamente útil, que no busca suplantar las estructuras existentes sino que trabajar con ellas, acompañando, controlando y limitando las deformaciones, que puede resultar atacado por algunos ambientes pero que en líneas generales puede ser usado en gran número de casos, y cuyas ventajas en cuanto a dimensiones y colocación en obra inclinan la balanza fuertemente a su favor frente a otro métodos de reforzamiento conocidos.
- El análisis de costos proporciona un nuevo enfoque de ver el reforzamiento con materiales compuesto como una alternativa viable ,ya que su precio es muy competitivo considerando que estas brindan múltiples beneficios como reducción en los tiempos de ejecución debido a la fácil instalación y ausencia de equipos de izaje y montacargas, no impactan negativamente la estética de los elementos estructurales, no generan cargas considerables sobre la cimentación, son resistente a la corrosión entre otras.
- Este estudio abre las puertas a los técnicos y profesionales en el área de la construcción, a tener en consideración la implementación de materiales de nuevas tecnologías en los distintos sistemas de reforzamiento; y a su vez, ir mitigando los paradigmas que se han fijado respecto a estos materiales.

- La fibra de carbono destaca enormemente en su puesta en obra ya que es un material muy ligero, de gran maniobrabilidad, capaz de adaptarse a cualquier geometría y su formato de comercialización permite su colocación sin juntas y así se evita puntos débiles en el refuerzo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HARMSSEN, Teodoro, “Diseño de Estructuras de Concreto Armado”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 2005.
- SAN BARTOLOME, Ángel, “Análisis de Edificios”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 1998.
- NILSON, Arthur H., “Diseño de Estructuras de Concreto”. Revisión técnica, PEDRO NEL QUIROGA S. Ingeniero civil, profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, duodécima edición.
- GALVÍN, Pedro B “ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADAS CON FIBRAS DE CARBONO”
- V. Rougier. “REFUERZO Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS”
- A. Miravete. **“MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**
- Fernandez, Mercedes F. APLICACIONES DE REFUERZOS DE ESTRUCTURAS EN BASE A FIBRAS DE CARBONO. Facultad de Arquitectura – Udelar) Mayo 2012Tutor: Arq. Jorge Schinca).
- (Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigon. Reparacion, Refuerzo y Proteccion, 2003).
- S. Echazu Lamas.“Vigas de hormigón armado reforzadas y/o reparadas con materiales compuestos”, 2010.

ANEXOS FOTOGRAFICOS



I.E.P. Pedro Ruiz Gallo de Llochegua



Corte de sección de viga



Inspección y análisis de la estructura del centro educativo



Perforación y corte de la sección de viga del centro educativo



Perforación interna de la sección de viga



Componentes Sikadur 301



Medición y corte del tejido

Presupuesto

Presupuesto 0102004 CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"
 DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (CORTE DE SECCION)
 Subpresupuesto 001 I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO"
 Cliente MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLOCHEGUA Costo al 07/06/2016
 Lugar AYACUCHO - HUANTA - LLOCHEGUA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	VIGAS				1,486.37
01.01	DEMOLICION PARCIAL DE CONCRETO	m3	0.96	292.16	280.47
01.02	ACERO DE REFUERZO fy=4,200 kg/cm2	kg	78.76	6.27	493.83
01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS	m2	5.76	36.71	211.45
01.04	CONCRETO EN VIGAS Fc=210 kg/cm2	m3	0.96	360.20	345.79
01.05	TARRAJEO DE VIGAS Y/O COLUMNAS	m2	5.76	20.35	117.22
01.06	PINTURA LATEX EN VIGAS	m2	5.76	6.53	37.61
	COSTO DIRECTO				1,486.37

SON : UN MIL CUATROCIENTOS OCHENTISEIS Y 37/100 NUEVOS SOLES

Presupuesto

Presupuesto 0102005 CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"
 DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (RECRECIDO)
 Subpresupuesto 001 I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO"
 Cliente MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLOCHEGUA Costo al 07/06/2016
 Lugar AYACUCHO - HUANTA - LLOCHEGUA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	VIGAS				781.84
01.01	PICADO PARCIAL DE CONCRETO	m3	0.29	292.16	84.73
01.02	ACERO DE REFUERZO $f_y=4,200$ kg/cm ²	kg	61.31	6.29	385.64
01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS	m2	3.20	36.97	118.30
01.04	CONCRETO EN VIGAS $f_c=210$ kg/cm ²	m3	0.29	360.20	104.46
01.05	TARRAJEO DE VIGAS Y/O COLUMNAS	m2	3.20	21.19	67.81
01.06	PINTURA LATEX EN VIGAS	m2	3.20	6.53	20.90
	COSTO DIRECTO				781.84

SON : SETECIENTOS OCHENTIUNO Y 84/100 NUEVOS SOLES

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0102004	CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"						
		DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (CORTE DE SECCION)						
Subpresupuesto	001	I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO"					Fecha presupuesto	07/06/2016
Partida	01.01	DEMOLICION PARCIAL DE CONCRETO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 3.0000	EQ. 3.0000	Costo unitario directo por : m3			292.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	2.6667	6.25	16.67		
0101010005	PEON	hh	0.5000	1.3333	5.71	7.61		
						24.28		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	24.28	1.21		
03011400010003	TALADRO CINCELADOR TE 805/905	hm	1.0000	2.6667	100.00	266.67		
						267.88		
Partida	01.02	ACERO DE REFUERZO fy=4,200 kg/cm2						
Rendimiento	kg/DIA	MO. 100.0000	EQ. 100.0000	Costo unitario directo por : kg			6.27	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0800	6.90	0.55		
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0800	5.71	0.46		
						1.01		
	Materiales							
02040100010002	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 16	kg		0.0600	5.56	0.33		
0204030001	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		1.0500	4.50	4.73		
0276010011	HOJA DE SIERRA	und		0.0330	5.00	0.17		
						5.23		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	1.01	0.03		
						0.03		
Partida	01.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m2			36.71	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	6.90	5.52		
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.8000	6.25	5.00		
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.4000	5.71	2.28		
						12.80		
	Materiales							
02040100010001	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8	kg		0.4500	5.56	2.50		
02041200010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.2000	5.60	1.12		
02041200010007	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 4"	kg		0.1000	5.60	0.56		
0231010003	MADERA NACIONAL P/ ENCOFRADO	p2		4.8300	3.80	18.35		
						22.53		
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	12.80	0.38		
03013400010009	ANDAMIO METALICO	hm	0.2500	0.2000	5.00	1.00		
						1.38		
Partida	01.04	CONCRETO EN VIGAS f'c=210 kg/cm2						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 10.0000	EQ. 10.0000	Costo unitario directo por : m3			360.20	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	6.90	11.04		
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	6.25	10.00		
0101010005	PEON	hh	12.0000	9.6000	5.71	54.82		
						75.86		

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102004 CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"
DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (CORTE DE SECCION)

Subpresupuesto 001 I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO" Fecha presupuesto 07/06/2016

Materiales						
0201030001	GASOLINA	gal		0.3440	12.50	4.30
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.7500	50.00	37.50
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.6500	35.00	22.75
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.50	206.40
						270.95
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	75.86	3.79
03012900030004	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	1.0000	0.8000	12.00	9.60
						13.39

Partida 01.05 TARRAJEO DE VIGAS Y/O COLUMNAS

Rendimiento m2/DIA MO. 6.0000 EQ. 6.0000 Costo unitario directo por : m2 **20.35**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	1.3333	6.90	9.20
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.6667	5.71	3.81
						13.01
	Materiales					
0207020001	ARENA	m3		0.0280	70.00	1.96
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1750	21.50	3.76
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.1300	3.80	0.49
						6.21
	Equipos					
03010600020001	REGLA DE ALUMINIO 1" X 4" X 8"	und		0.0020	150.00	0.30
0301340001	ANDAMIO METALICO	día	1.0000	0.1667	5.00	0.83
						1.13

Partida 01.06 PINTURA LATEX EN VIGAS

Rendimiento m2/DIA MO. 33.0000 EQ. 33.0000 Costo unitario directo por : m2 **6.53**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.2424	6.90	1.67
						1.67
	Materiales					
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.0250	3.80	0.10
0238010004	LIJA PARA PARED	plg		0.2500	3.00	0.75
0240010011	PINTURA LATEX LAVABLE	gal		0.0833	40.00	3.33
0240150001	IMPRIMANTE	gal		0.0400	15.00	0.60
						4.78
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.67	0.08
						0.08

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102005 CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"
DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (RECRECIDO)

Subpresupuesto 001 I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO"

Fecha presupuesto 07/06/2016

Partida 01.01 PICADO PARCIAL DE CONCRETO

Rendimiento m3/DIA MO. 3.0000 EQ. 3.0000 Costo unitario directo por : m3 **292.16**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	2.6667	6.25	16.67
0101010005	PEON	hh	0.5000	1.3333	5.71	7.61
						24.28
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	24.28	1.21
03011400010003	TALADRO CINCELADOR TE 805/905	hm	1.0000	2.6667	100.00	266.67
						267.88

Partida 01.02 ACERO DE REFUERZO fy=4,200 kg/cm2

Rendimiento kg/DIA MO. 100.0000 EQ. 100.0000 Costo unitario directo por : kg **6.29**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0800	6.90	0.55
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0800	5.71	0.46
						1.01
	Materiales					
02040100010002	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 16	kg		0.0600	5.56	0.33
0204030001	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		1.0500	4.50	4.73
0276010011	HOJA DE SIERRA	und		0.0330	5.00	0.17
						5.23
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.01	0.05
						0.05

Partida 01.03 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS

Rendimiento m2/DIA MO. 10.0000 EQ. 10.0000 Costo unitario directo por : m2 **36.97**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	6.90	5.52
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.8000	6.25	5.00
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.4000	5.71	2.28
						12.80
	Materiales					
02040100010001	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO N° 8	kg		0.4500	5.56	2.50
02041200010005	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.2000	5.60	1.12
02041200010007	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 4"	kg		0.1000	5.60	0.56
0231010003	MADERA NACIONAL P/ ENCOFRADO	p2		4.8300	3.80	18.35
						22.53
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	12.80	0.64
03013400010009	ANDAMIO METALICO	hm	0.2500	0.2000	5.00	1.00
						1.64

Partida 01.04 CONCRETO EN VIGAS f'c=210 kg/cm2

Rendimiento m3/DIA MO. 10.0000 EQ. 10.0000 Costo unitario directo por : m3 **360.20**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	6.90	11.04
0101010004	OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	6.25	10.00
0101010005	PEON	hh	12.0000	9.6000	5.71	54.82
						75.86

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102005 CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE LA I.E.P. PEDRO RUIZ GALLO"
DISTRITO DE LLOCHEGUA HUANTA AYACUCHO (RECRECIDO)

Subpresupuesto 001 I.E. N° 38356 MX "PEDRO RUIZ GALLO" Fecha presupuesto 07/06/2016

Materiales						
0201030001	GASOLINA	gal		0.3440	12.50	4.30
02070100010002	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.7500	50.00	37.50
02070200010002	ARENA GRUESA	m3		0.6500	35.00	22.75
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.6000	21.50	206.40
						270.95
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	75.86	3.79
03012900030004	MEZCLADORA CONCRETO TAMBOR 18HP 11P3	hm	1.0000	0.8000	12.00	9.60
						13.39

Partida 01.05 TARRAJEO DE VIGAS Y/O COLUMNAS

Rendimiento m2/DIA MO. 6.0000 EQ. 6.0000 Costo unitario directo por : m2 **21.19**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	1.3333	6.90	9.20
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.6667	5.71	3.81
						13.01
	Materiales					
0207020001	ARENA	m3		0.0280	70.00	1.96
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		0.1750	21.50	3.76
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.1300	3.80	0.49
						6.21
	Equipos					
03010600020001	REGLA DE ALUMINIO 1" X 4" X 8"	und		0.0020	150.00	0.30
03013400010009	ANDAMIO METALICO	hm	0.2500	0.3333	5.00	1.67
						1.97

Partida 01.06 PINTURA LATEX EN VIGAS

Rendimiento m2/DIA MO. 33.0000 EQ. 33.0000 Costo unitario directo por : m2 **6.53**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.2424	6.90	1.67
						1.67
	Materiales					
0231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.0250	3.80	0.10
0238010004	LIJA PARA PARED	plg		0.2500	3.00	0.75
0240010011	PINTURA LATEX LAVABLE	gal		0.0833	40.00	3.33
0240150001	IMPRIMANTE	gal		0.0400	15.00	0.60
						4.78
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.67	0.08
						0.08

HOJA TÉCNICA

SikaWrap®-600C

Tejido de Fibra de Carbono para Reforzamiento Estructural

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un tejido unidireccional de fibra de carbono. El material es laminado en campo usando Sikadur®-301 o Sikadur® Hex -300/306 (adhesivos epóxicos) para conformar el polímero reforzado con fibras (CFRP), el cual es empleado para el reforzamiento de elementos estructurales.

USOS

Para refuerzo a flexión, cortante, confinamiento de elementos estructurales tales como vigas, columnas, losas y muros por las siguientes causas.

- Incremento de cargas
- Incremento de carga viva
- Incremento de volumen de tráfico en puentes
- Instalación de maquinaria pesada en edificios industriales
- Estructuras con vibración
- Cambios en el uso de edificios
- Refuerzo sísmico
- Envoltura de columnas (confinamiento)
- Paredes de mampostería no reforzada
- Daño de partes estructurales
- Envejecimiento de materiales de construcción (corrosión)
- Impacto de vehículos
- Fuego
- Cambio en el sistema estructural
- Supresión de muros o columnas
- Remoción de secciones de losa y muros con aperturas
- Defectos de diseño o construcción
- Refuerzo insuficiente
- Altura insuficiente de los elementos
- Reforzamiento temporal

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Es flexible, puede colocarse envolviendo elementos de forma compleja
- Alta resistencia

- Bajo peso
- No se corroe
- Resistente a sustancias ácidas y a álcalis.
- Bajo impacto estético
- Económico
- Puede ser aplicado en húmedo o en seco.

DATOS BÁSICOS

FORMA	ASPECTO
	Tejido
	COLORES
	Negro oscuro
	PRESENTACIÓN
	Rollo de 25.00 m ² (50 cm x 50.00 m)
	Orientación de la Fibra: 0° (unidireccional)

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL
	Se debe proteger el material de posibles ataques mecánicos o contaminación por tal razón se debe almacenar en su empaque bien cerrado. Transportar con las precauciones normales para productos delicados.

DATOS TECNICOS	PROPIEDADES DE LA LÁMINA CURADA	
	Resistencia a la tensión	139,000 psi (960 N/mm ²)
	Módulo de elasticidad	10.6 10 ⁶ psi (73,100 N/mm ²)
	Elongación a la rotura	1.33%
	Espesor	1.0 mm (0.039 pulgadas)
	Dirección de la fibra	0° (unidireccional)
	Peso por metro cuadrado	610 g
	PROPIEDADES DE LA FIBRA	
	Resistencia a la tensión	620,000 psi (4,300 N/mm ²)
	Módulo de elasticidad	34.9 10 ⁶ psi (240,000 N/mm ²)
	Elongación	1.55%
	Densidad	1.81 g/cc
	Espesor	0.337 mm (0.0133 pulgadas)

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

MÉTODO DE APLICACIÓN

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia y sana. Puede estar seca o húmeda, pero libre de agua empozada o hielo. Remover polvo, lechada, grasa, compuestos curadores, impregnaciones, grasas, partículas extrañas, material suelto o cualquier otro elemento que impida la adherencia.

Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación adecuado. La resistencia en adherencia del concreto debe ser verificada, después de la preparación de superficie por un ensayo aleatorio de resistencia de adherencia a la tensión (ACI 503R) a criterio del ingeniero.

La mínima resistencia a la tensión debe ser de 15 kg/cm² con falla del concreto.

MÉTODO DE LIMPIEZA

Para la preparación de la superficie de concreto se recomienda utilizar chorro de arena o cualquier otro procedimiento de limpieza mecánica (escarificado con amoladora) que provea textura rugosa a la superficie.

RECOMENDACIONES PREVIAS PARA LA APLICACIÓN DE SIKAWRAP 600C

- Temperatura del sustrato: ± 8°C
- Máxima humedad relativa: 4%
- Contenido máximo de humedad menos 3°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 N/mm²

Para pequeñas aplicaciones: 4 mínimas

Para grandes aplicaciones: 1 cada 10 m

- Para nivelar la superficie puede aplicar el Sikagrout®-212 o Sikadur®-31

MÉTODO DE APLICACIÓN EN

HÚMEDO

Para información sobre mezclado del Sikadur®-301 referirse a la hoja técnica del producto.

El consumo de la resina epóxica Sikadur®-301, depende de la rugosidad de la superficie y la práctica que se tengan en el procedimiento de impregnación del tejido. Sin embargo, el consumo teórico aproximado es de 1.5 kg/m² a 1.6 kg/m² de producto para la imprimación de la superficie del sustrato y para la saturación o impregnación del tejido.

Aplicación

Antes de la colocación del tejido la superficie de concreto debe ser imprimada y sellada usando el epóxico Sikadur®301, el producto puede ser aplicado por brocha o rodillo. El SikaWrap®- 600C debe ser saturado o impregnado en forma manual o mecánica.

Mezclado del epóxico

En cualquier caso, la instalación de los epóxicos de adherencia (Sikadur®301) debe ser realizada por un aplicador autorizado o personal calificado.

Corte del tejido

El tejido puede ser cortado a la longitud apropiada usando tijeras de tipo industrial o para trabajo pesado. Debe evitarse el uso de cualquier elemento de corte sin filo que pueda debilitar o deshilar la fibra.

MÉTODO DE APLICACIÓN EN SECO

Aplicar la mezcla de resina epóxica Sikadur®-301 directamente sobre el sustrato en una proporción de 1.2 – 1.5 kg/m², dependiendo de la rugosidad de la superficie.

Colocar cuidadosamente el tejido sobre la resina con guantes de goma y alisar las irregularidades o bolsas de aire usando un rodillo de plástico. Permitir que la resina pase a través de los hilos del tejido. Si se necesita más de una capa de tejido aplicar una capa adicional de Sikadur®-301 a una lata de 0.5 kg/m² y repetir el proceso anterior. Aplicar una capa final de Sikadur®-301 sobre la superficie expuesta a una lata de 0.2 kg/m².

MÉTODO DE APLICACIÓN EN HÚMEDO

Aplicar la mezcla de resina epóxica Sikadur®-301 directamente sobre el sustrato, dependiendo de la rugosidad de la superficie, en una proporción 1.5 – 1.6 kg/m², incluyendo la saturación de la fibra.

Colocar cuidadosamente el tejido sobre la resina con guantes de goma y alisar las irregularidades o bolsas de aire usando un rodillo de plástico.

Permitir que la resina pase a través de los hilos del tejido. Si se necesita más de una capa de tejido aplicar una capa adicional de Sikadur®-301 a una lata de 0.5 kg/m² y repetir el proceso anterior. Aplicar una capa final de Sikadur®-301 sobre la superficie expuesta a una lata de 0.2 kg/m².

IMPORTANTE

Los cálculos de diseño deben ser realizados por un ingeniero independiente, debidamente acreditado.

El sistema es barrera de vapor. No se debe encapsular elementos de concreto en zonas donde se presente ciclo de hielo – deshielo.

Para mayor detalle sobre la instalación y requerimiento de control de calidad referirse a las Especificaciones Generales para la Instalación del Sistema Sika Wrap de Sika. Consultar al Departamento Técnico.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

RESTRICCIONES LOCALES

La información, regulaciones y normas pueden variar de país a país, por eso para mayor información de cada país, consulte la última versión de la Hoja Técnica del producto de cada país.

INFORMACIÓN DE HIGIENE Y SEGURIDAD

Para mayor información sobre el manejo, almacenamiento y disposición de los residuos, consulte la versión más reciente de la Hoja de Seguridad que contiene los datos de las propiedades físicas, ecológicas, toxicidad y otros datos de seguridad pertinentes.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

“La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 2

la misma que deberá ser destruida”

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE SikaWrap®-600C :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Refurbishment
Centro industrial "Las Praderas
de Lurín" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,
Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
SikaWrap®-600C
02.12.14, Edición 3

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
NA, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com

