

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL USO DE ADHESIVO EPOXICO COLMAFIX 32 COMO
PUENTE ADHERENTE EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJETAS A
FLEXION PARA LA RECUPERACION DE SU MONOLITISMO”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AREA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS

AUTORES: Br. PAREDES LOPEZ CINTHIA STEFANI
Br. REYES COSSIO CARLOS EDMUNDO

ASESOR : Ing. URTEAGA GARCIA JUAN MANUEL

TRUJILLO – PERÚ

2015

**TESIS: “INFLUENCIA DEL USO DE ADHESIVO EPOXICO COLMAFIX 32
COMO PUENTE ADHERENTE EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO
SUJETAS A FLEXION PARA LA RECUPERACION DE SU MONOLITISMO”**

ELABORADO POR:

Br. PAREDES LOPEZ CINTHIA STEFANI

Br. REYES COSSIO CARLOS EDMUNDO

JURADO EVALUADOR

**Ing. Rolando Ochoa Zevallos
PRESIDENTE**

**Ing. Victor Morán Guerrero
SECRETARIO**

**Ing. William Galicia Guarniz
VOCAL**

ASESOR:

**Ing. Juan Urteaga García
ASESOR**



PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: **“Influencia del uso de adhesivo epóxico ColmaFix 32 como puente adherente en vigas de concreto armado sujetas a flexión para la recuperación de su monolitismo.”**, con el propósito de obtener el título profesional de ingeniero civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería. Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra universidad.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado considerando las normas establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, normas técnicas según la línea de investigación, aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del asesor.

Br. Paredes López Cinthia

Br. Reyes Cossío Carlos



DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por no dejar que cada problema que se presentaba logre vencerme y darme fuerzas para seguir adelante.

A mi madre, por ser mi ejemplo de vida, por ser la persona que me ha apoyado en todo momento y a quien nunca terminaré de agradecer por todos sus sacrificios y eterna abnegación; por apoyarme en momentos difíciles y brindarme siempre su amor infinito, por ser mi motivación diaria y darme la fuerza necesaria para seguir adelante y continuar superándome; pero sobre todo por ser una madre incondicional y la mejor de todas. Ten por seguro que esto es solo el comienzo de todo lo bueno que nos espera en nuestra vida.

A mi padre, quien siempre me ha apoyado, ha creído en mí y me ha ayudado a superar dificultades que se me han presentado a lo largo de mi vida. Me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio. Aún faltan cumplir muchas metas, pero ten por seguro que juntos, en familia, las lograremos alcanzar.

A mi hermano, porque a pesar de nuestras pequeñas discusiones, siempre estaremos unidos y apoyándonos en todo momento, sin importar la situación. Eres y serás siempre un ejemplo para mí y sabes que podrás contar conmigo para lo que sea.

A mis padrinos, por ser quienes siempre me dan el aliento necesario para seguir adelante y poder ser mejor cada día. Gracias por brindarme su cariño y amor, como unos segundos padres.

Finalmente, a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento, palabras de aliento y superación.

Br. Cinthia Paredes López



DEDICATORIA

A Dios por guiar e iluminar mi camino en todo momento, durante mi vida universitaria como fuera de ella, dándome la oportunidad de estar aquí y seguir creciendo profesional y espiritualmente,

A mi Padre Elpidio Edmundo Reyes Rojas, quien con su carácter, ejemplo de superación y perseverancia me enseña cada día que el aprendizaje nunca termina. A Él, gracias papá por apoyarme durante toda mi carrera profesional y brindarme todo lo que necesité para culminarla.

A mi Madre Carmen Victoria Cossío Casimiro, ejemplo de mujer abnegada y trabajadora, quien me enseñó que Dios y la familia es lo primero en nuestra vida y les debemos todo, gracias mamá por siempre estar pendiente de tu Cholito.

A mi Hermana Sara Jackeline Reyes Cossío, mi consejera y ejemplo a seguir profesionalmente, por estar ahí en cada momento de mi vida, gracias Sarita por enseñar, apoyar y aguantar a tu nanito.

A mi Hermana Magaly Victoria Reyes Cossío, quien estuvo a mi lado siempre que la necesité y de quién aprendo mucho del esfuerzo y perseverancia. gracias Magy por toda la enseñanza que le brindaste a tu Cholo.

A mi Hermano José Eduardo Cristóbal Ángeles, una persona a la cual le agradezco su apoyo en todo momento, gracias mi brother.

A mi Chanel, quien me brindó momentos muy agradables cuando estuvo a mi lado, gracias por haberme acompañado.

Gracias a Dios y a toda mi familia pues lo que soy y seré se los debo a Ellos, los Amo con todo mi corazón.

Br. Carlos Reyes Cossío



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera y por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad.

A nuestros padres y hermanos, quienes con su sacrificio, dedicación y paciencia nos han permitido lograr cada una de nuestras metas, por habernos apoyado en todo momento, por los valores que nos han inculcado y por ser nuestra motivación para seguir creciendo personal y profesionalmente.

A Helen y Cristhian, por ser parte importante en el desarrollo de nuestro proyecto, por habernos apoyado en todo momento y sobre todo por demostrarnos su amor incondicional.

A nuestro asesor, Ing Juan Manuel Urteaga, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos y experiencias ha permitido que culminemos con éxito el presente proyecto.

Agradecemos también a nuestros docentes, quienes a lo largo de nuestra vida profesional, han logrado formarnos; en especial a los Ing. William Galicia, Ing. Juan Paul Ulloa e Ing. Gerardo Arteaga.

A nuestros amigos Tyfanny y Jaime, por su apoyo en la realización de los ensayos de laboratorio, y por brindarnos su amistad desinteresada.



INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA:	15
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	16
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	19
1.4 HIPÓTESIS:	19
1.5 OBJETIVOS DE ESTUDIO:	19
1.5.1 Objetivo General:	19
1.5.2 Objetivos Especificos:	19
1.6. JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO:	20

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ADHESIVOS:	21
2.1.1. ANTECEDENTES:	21
2.1.2. DEFINICION:	22
2.1.3. FUNCIONALIDAD DE ADHESIVOS EN UNIÓN DE CONCRETO NUEVO CON CONCRETO VIEJO:	24
2.1.3.1. Consecuencias	30
2.1.3.2. Ventajas y desventajas	31
2.1.4. ADHESIVO EPOXICO	32
2.1.4.1. Definición	32
2.1.4.2. Usos de Adhesivo Epóxico	33
2.2. CONCRETO ARMADO:	35
2.2.1. INTRODUCCION:	35
2.2.2. DEFINICIÓN:	35
2.2.3. ANTECEDENTES:	35
2.2.4. DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO ARMADO:	37
2.2.5. TIPOS DE CONCRETO ARMADO:	37
2.2.6. COMPONENTES DEL CONCRETO ARMADO:	38
2.2.6.1. EL CEMENTO	38
2.2.6.2. AGREGADOS	43
2.2.6.3. ACERO DE REFUERZO	47
2.2.6.4. AGUA:	47
2.3. FLEXION	48
2.3.1. INTRODUCCION:	48
2.3.2. TIPOS DE FLEXION:	49
2.3.2.1. Flexión Simple	49



2.3.2.2. Flexión pura	49
2.3.2.3. Flexión Compuesta	55
2.4. RESISTENCIA A FLEXIÓN SIMPLE DEL CONCRETO ARMADO	55
2.5. COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SOMETIDA A FLEXION	61
2.6. HIPOTESIS BASICAS PARA EL ESTUDIO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION SEGUN EL CODIGO DEL ACI	64
2.7. TIPOS DE FALLA DE LOS ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION	65
2.8. FALLAS EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXION	68
2.9. FALLAS EN VIGAS SOMETIDAS A CORTE	70
2.10. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DEFINIDOS EN LOS CODIGOS DE DISEÑO:	72
2.11. DEFLEXIÓN INSTANTÁNEA:	76
CAPITULO III: MATERIALES Y EQUIPOS	
3.1.MATERIALES	78
3.1.1. Cemento	78
3.1.2. Gravilla	78
3.1.3. Agregado Grueso	78
3.1.4. Agua	79
3.1.5. Acero	79
3.2.6. Adhesivo	79
3.2.EQUIPOS	83
3.2.1. Deformímetros,	83
3.2.2.Maquina universal de carga	83
CAPITULO IV: DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ENSAYO DE LABORATORIO	
4.1.INTRODUCCION.	84
4.2.GEOMETRIA DE LAS VIGAS DE ENSAYO.	84
4.3.CARACTERISTICAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.	85
4.4.DOSIFICACION DE MEZCLA.	86
4.5.ELABORACION DE LAS VIGAS DE ENSAYO.	87
4.6.ENSAYO DE LABORATORIO.	90



CAPITULO V: RESULTADOS

5.1. INTRODUCCION:	97
5.2. PRUEBAS DE CARGA:	97
5.3. MAPA DE FISURAS Y GRIETAS.	98
5.4. DEFLEXIONES:	100

CAPITULO VI: DISCUSIÓN Y COMPARACION DE DE RESULTADOS

6.1. INTRODUCCION	103
6.2. CARGA VS DEFLEXION:	103
6.3. ESFUERZO AL NIVEL DEL ADHESIVO VS DESPLAZAMIENTO	106
6.4. MOMENTO VS DESPLAZAMIENTO:	116
6.5. MOMENTO VS CURVATURA:	120
6.6 DEFLEXIONES INSTANTANEAS Y DEFLEXIONES OBTENIDAS EN ENSAYO	123

CAPITULO VII; CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES	127
7.2. RECOMENDACIONES	128

CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CAPITULO IX: ANEXOS	130
----------------------------	-----



INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1.- Adhesión entre sustratos	22
Figura 2.2.- Curva de envejecimiento a la temperatura de un adhesivo anaeróbico.....	26
Figura 2.3.- Esquema básico de la unión adhesiva.....	34
Figura 2.4.- Diagrama de cortante y momento flector.....	50
Figura 2.5.- Secciones de viga.....	51
Figura 2.6.- Eje neutro de viga.....	51
Figura 2.7.- Alargamiento unitario de una viga.....	52
Figura 2.8.- Diagrama de ϵ de una viga	53
Figura 2.9.- Diagrama de esfuerzo triangular	53
Figura 2.10.- Deformación positiva y negativa de una viga.....	54
Figura 2.11.- Especimen típico para estudio de flexión simple.....	55
Figura 2.12.- Grafica carga-deflexión de un elemento, con un porcentaje usual de acero de tensión	56
Figura 2.13.- Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión.....	58
Figura 2.14.- Grafica carga – deflexión de elementos con porcentajes variables de acero (sección $f'c$ y f_y constantes) sujetos a flexión simple.....	58
Figura 2.15.- Viga simplemente apoyada sometida a cargas concentradas.....	61
Figura 2.16.- Variación de los esfuerzos y deformaciones con el incremento del momento aplicado.....	61
Figura 2.17.- Diagrama momento resistente – curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida	63
Figura 2.18.- Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga.....	65
Figura 2.19.- Distribución de deformaciones para los diversos tipos de falla en flexión....	67
Figura 2.20.- Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión.....	67
Figura 2.21.- Modos de falla de una viga Sometida a flexión	70
Figura 2.22.- Falla por Compresión	71
Figura 2.23.- Esfuerzos y refuerzo en viga.....	71
Figura 2.24.- Modos de falla por corte de una viga.....	71
Figura 2.25.- Diagrama esfuerzo deformación de concreto armado.....	72
Figura 2.26.- Viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida y diagrama de momentos flectores	73
Figura 2.27.- Diagrama de deformaciones unitarias y de esfuerzos bajo cargas últimas	73
Figura 2.28.- Diagrama de deformaciones unitarias y de esfuerzos bajo cargas últimas en vigas con armadura de tracción importante	74



Figura 2.29.- Diagrama de deformaciones unitarias y de esfuerzos bajo cargas ultimas en vigas con armadura de tracción pequeña.....	75
Figura 3.1.- Materiales utilizados para ensayo.....	82
Figura 3.2.- Deformimetro.....	83
Figura 3.3.- Máquina universal de carga.....	83
Figura 4.1.- Viga de concreto armado.....	85
Figura 4.2.- Viga de concreto armado – Sección transversal.....	86
Figura 4.3.- Modelo de encofrado.....	87
Figura 4.4.- Primera etapa de vaciado.....	88
Figura 4.5.- Aplicación de adhesivo epóxico.....	89
Figura 4.6.- Segunda etapa de vaciado.....	89
Figura 4.7.- Chuqueo del concreto.....	89
Figura 4.8.- Desencofrado de vigas.....	90
Figura 4.9.- Traslado de vigas hacia laboratorio.....	91
Figura 4.10.- Ubicación de vigas en el laboratorio.....	91
Figura 4.11.- Colocación de bloque aplicador de carga.....	92
Figura 4.12.- Colocación de deformímetros.....	92
Figura 4.13.- Fijación de tacos de madera en cada viga.....	93
Figura 4.14.- Posicionamiento de viga para ensayo.....	93
Figura 4.15.- Alineamiento de viga a ensayar.....	94
Figura 4.16.- Nivelación de ángulo.....	94
Figura 4.17.- Inicio de prueba – viga monolítica.....	95
Figura 4.18.- Fin de prueba – viga monolítica.....	95
Figura 4.19.- Inicio de prueba – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	95
Figura 4.20.- Fin de prueba – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	95
Figura 4.21.- Inicio de prueba – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	96
Figura 4.22.- Fin de prueba – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	96
Figura 5.1.- Falla por tracción.....	99
Figura 5.2.- Falla por tensión diagonal.....	99
Figura 5.3.- Falla balanceada.....	100
Figura 6.1.- Ubicación de eje neutro.....	107
Figura 6.2.- Distancia del adhesivo al eje neutro.....	108



TABLAS

Tabla 2.1.- Límites máximos de sustancias dañinas en agregado grueso.....	45
Tabla 2.2.- Límites máximos de concentración de sustancias de agua.....	48
Tabla 4.1.- Cantidades por m ³	87
Tabla 5.1.- Resultados obtenidos en las pruebas de carga.....	98
Tabla 5.2.- Deformaciones de viga monolítica.....	101
Tabla 5.3.- Deformaciones de viga con adhesivo bajo el eje neutro.....	101
Tabla 5.4.- Deformaciones de viga con adhesivo sobre el eje neutro.....	102
Tabla 6.1.- Carga – deflexión (viga monolítica).....	103
Tabla 6.2.- Carga – deflexión (viga con adhesivo bajo eje neutro).....	104
Tabla 6.3.- Carga – deflexión (viga con adhesivo sobre eje neutro).....	104
Tabla 6.4.- Variación de eje neutro “c” – viga monolítica.....	108
Tabla 6.5.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga monolítica.....	109
Tabla 6.6.- Esfuerzo en tracción vs deformación – viga monolítica.....	109
Tabla 6.7.- Variación de eje neutro “c” – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	110
Tabla 6.8.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	110
Tabla 6.9.- Esfuerzo en tracción vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	111
Tabla 6.10.- Variación de eje neutro “c” – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	111
Tabla 6.11.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	112
Tabla 6.12.- Esfuerzo en tracción vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	112
Tabla 6.13.- Momentos actuantes vs deformación – viga sin adhesivo.....	116
Tabla 6.14.- Momentos actuantes vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	116
Tabla 6.15.- Momentos actuantes vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	117
Tabla 6.16.- Momentos vs curvatura – viga sin adhesivo.....	120
Tabla 6.17.- Momentos vs curvatura – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	120
Tabla 6.18.- Momentos vs curvatura – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	121
Tabla 6.19.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga sin adhesivo.....	125
Tabla 6.20.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga con adhesivo bajo eje neutro.....	125
Tabla 6.21.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga con adhesivo sobre eje neutro.....	126



RESUMEN

El presente proyecto de investigación, titulado: **“INFLUENCIA DEL ADHESIVO EPOXICO COLMA FIX 32 COMO PUENTE ADHERENTE EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJETAS A FLEXION PARA LA RECUPERACION DE SU MONOLITISMO”**, cuyo objetivo principal es brindar importante información acerca de la influencia que tiene un adhesivo epóxico en específico aplicado como puente adherente entre concretos de diferentes edades, realizando una prueba en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO. Esta prueba se caracteriza por el uso de una maquina universal de carga artesanal no reglamentada, el empleo de tres deformímetros para obtener las medidas necesarias y realizar el procesamiento de datos, también la construcción de tres vigas de concreto armado (una viga sin adhesivo, una con adhesivo sobre el eje neutro, y otra bajo el eje neutro) cuya característica es la altura a la que se ubica el Puente adherente. Dichas vigas se someterán a la aplicación de una carga, repartida en dos cargas puntuales, teniendo como resultado una zona de flexión pura.

Los datos obtenidos nos brindan resultados comparativos entre la viga patrón (monolítica – sin adhesivo) y las dos restantes con adhesivo. Finalmente se brindara las conclusiones obtenidas de dicho ensayo de laboratorio, determinando cual es la influencia del adhesivo ColmaFix 32, al someter al elemento estructural a fuerzas externas.



ABSTRACT

The present research “INFLUENCIA DEL ADHESIVO EPOXICO COLMA FIX 32 COMO PUENTE ADHERENTE EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJETAS A FLEXION PARA LA RECUPERACION DE SU MONOLITISMO”, has the principal objective to provide an important information about the influence that has an specific epoxy adhesive applied as an adhesive bridge between concrete of different ages, doing a test on the Laboratory of Strenght Materials of the UPAO university. This test is characterized by the use of a universal loading machine unregulated and artisanal, the use of gages to obtain measures and perform the data processing, also the buiding of three beams of reinforced concrete (a beam without adhesive, a beam with adhesive on the neutral axis, and another under the neutral axis) which characteristic is the height to which the bonding bridge is located. These beams are subject to the application of a load distribute over two points charges, resulting in a zone of pure flexion.

The obtained data give us comparative results between the beam pattern (monolithic – no adhesive) and the two remaining with adhesive. Finally we offer the conclusions obtained from the laboratory test, determining which is the influence of the adhesive ColmaFix 32, submitting the structural element to external forces.



CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA:

En el Perú, desde la década de los años 90, el material que se viene empleando para realizar el reforzamiento de elementos estructurales sometidos a momento flector y fuerzas cortantes, es la fibra de carbono, que trabaja adherida a los elementos estructurales. Esta técnica permite mejorar o recuperar las propiedades mecánicas sin tomar en cuenta la rigidez del elemento como parámetro de recuperación de las propiedades mecánicas. Sin embargo hay casos de vigas y losas que, por defectos constructivos, cambios de uso, sobrecargas no prescritas, corrosión, rehabilitación sísmica, requieren reforzar para aumentar o recuperar sus propiedades mecánicas, aumentando su rigidez (peralte).

Para recuperar o aumentar el momento flector de la viga o losa aumentando el peralte, es lógico que se requiere de la adición de un determinado espesor de concreto en la que la variable involucrada es el deslizamiento de la inter-fase de concreto antiguo con concreto nuevo. Una manera de lograr el comportamiento mecánico del conjunto es con el uso de conectores de corte. Pero también hay la posibilidad de utilizar productos químicos que son conocidos como epóxicos, para lo cual es necesario determinar su influencia en el comportamiento monolítico de la viga.



1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Para la elaboración de nuestro proyecto de investigación se ha tomado como referencia los siguientes.

- **EVALUACIÓN SOBRE ADHERENCIA ENTRE CONCRETO ANTIGUO Y CONCRETO NUEVO CON DOS TIPOS DE EPÓXICOS.** Tesis presentada de la facultad de ingeniería civil, Universidad San Carlos de Guatemala..

Autor: Gustavo Adolfo Archila Ortiz

País:

Guatemala

Año:

2007

RESUMEN

El presente trabajo de graduación evalúa dos tipos de epóxicos que se utilizan en el mercado para la unión de concreto nuevo con concreto viejo. Se han utilizado de base, las normas que nos proporcionan las especificaciones en las cuales debemos basar la elaboración de las probetas, y las diferentes condicionantes que debemos tomar en cuenta.

Se están tratando de evaluar las propiedades mecánicas de la unión misma entre concretos, la primera norma tomada en consideración es la ASTM C-1059, (Especificaciones estándares para agentes Látex para unir concreto viejo con concreto nuevo), se refiere a la utilización de agentes látex y cabe mencionar, que esta norma no rige el ensayo para adherencia del tipo estructural que es lo que se pretende evaluar en este trabajo, de modo que, para ello debemos avocarnos a la norma ASTM C-881, (Especificaciones para sistemas de adherencia para concreto a base de resinas epóxicas), que es la que se refiere al



método que cubre la determinación del sistema a base de resinas epóxicas, su manipulación, aplicación y el cuidado que se debe tener al manejarlas.

Para la elaboración de la probeta se debe referir a la norma ASTM C-882, (Método estándar de la prueba para la fuerza de adherencia en los sistemas epóxicos a base de resina usados con concreto.), esta norma proporciona datos específicos de las dimensiones que debe guardar el espécimen.

El procedimiento que se siguió comienza con la elaboración de las probetas utilizando tubos de P.V.C. de tres pulgadas de diámetro, tomando en consideración las dimensiones que exige la norma para la forma y tamaño del espécimen. Se fundió la primera parte de los cilindros con la forma ya mencionada, cabe mencionar que la prueba se realizó con un concreto viejo de 28 días de edad al que se le aplicó el epóxico y luego se colocó concreto fresco para completar el cilindro.

Este procedimiento fue realizado para tres tipos de concreto como lo son el concreto de baja resistencia 140 kg/cm^2 (2000 psi), concreto estructural 210 kg/cm^2 (3000 psi) y de alta resistencia 352 kg/cm^2 (5000 psi), los cuales fueron ensayados a 7, 14 y 28 días para tener un registro de la evolución del concreto. Los resultados son comparados con cilindros patrón, los cuales nos proporcionan una referencia directa del comportamiento que se espera que los especímenes mantengan



- **Diseño del Sistema de Adherencia en el Reforzamiento a Flexión de Vigas de Concreto, con Platinas de Acero A-36, Fijadas Externamente con una Resina Epóxica y Anclajes Metálicos**

Tesis presentada por la Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola Bogotá D.C., de la Universidad Nacional de Colombia.

Autor: Oscar Eduardo Pinzón Vargas

País:

Perú

Año:

2011

Resumen

El éxito del reforzamiento de vigas con platinas metálicas radica en la adherencia entre los componentes. Si el diseño del sistema se basa en la transmisión de esfuerzos debidos a la fuerza cortante, las solicitaciones resultan bastante reducidas, dado que el refuerzo externo se instala en la zona de mayores momentos flectores y por tanto cortantes mínimos. Es necesario plantear otro origen para las fuerzas de desprendimiento. Analizando los esfuerzos en una viga compuesta no adherida, y comparándolos con los de una viga perfectamente adherida, se obtiene la fuerza necesaria para transmitir los esfuerzos entre secciones en función del momento flector, y llevando el análisis hasta la fluencia del acero, se puede determinar que el sistema de adherencia necesita resistir una fuerza igual al límite elástico de la platina. De igual manera, analizando la tendencia al desprendimiento que tiene la platina debido a su rigidez, se plantean ecuaciones para determinar la fuerza necesaria que debe resistir el sistema de adherencia en el sentido perpendicular a la viga.



1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

¿El uso del adhesivo epóxico ColmaFix 32, influirá positivamente para lograr recuperar el monolitismo de una viga sometida a flexión que ha sido adherida en dos partes paralelo a su eje longitudinal?

1.4 HIPÓTESIS:

Si la influencia del uso del adhesivo epoxico Colmafix 32 ayuda a recuperar el monolitismo de una viga sometida a flexión, entonces la respuesta al momento flector será igual a de una viga monolítica.

1.5 OBJETIVOS DE ESTUDIO:

1.5.1 Objetivo General:

Evaluar la influencia y en qué medida varia el monolitismo de un elemento estructural en particular sometido a flexión (viga), habiendo empleado el adhesivo epoxico Colmafix32 como puente adherente.

1.5.2 Objetivos Especificos:

- ✓ Habilitar materiales y equipos necesarios para las pruebas de laboratorio.
- ✓ Elaborar 3 vigas de concreto armado.
- ✓ Elaborar los testigos para determinar el f'_c , de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C-39
- ✓ Someter a las vigas a la prueba de flexión tomando como referencia la norma ASTM C-78.
- ✓ Recopilar y procesar los datos de la prueba, para posteriormente verificar la validez de la hipótesis



- ✓ Analizar por medio de gráficos el comportamiento estructural de las vigas con adhesivo epóxico y monolíticas.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO:

Con el objetivo de contribuir en el estudio del comportamiento estructural de elementos de concreto armado usando productos químicos, nuestra tesis **“INFLUENCIA DEL USO DE ADHESIVO EPOXICO COLMAX 32 COMO PUENTE ADHERENTE EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJETAS A FLEXION PARA LA RECUPERACION DE SU MONOLITISMO.”**, enfoca su estudio en un adhesivo en particular (**COLMAX32**) cuya función es la adherencia entre concretos de diferente edad.

Con este estudio podremos dar una herramienta valedera tanto a diseñadores, constructores como a profesionales que empleen este producto en vigas de concreto armado, para poder conocer con más detalle el comportamiento de una sección compuesta por concreto antiguo adherido a concreto nuevo.



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ADHESIVOS:

2.1.1. ANTECEDENTES:

Los adhesivos han sido utilizados por la humanidad desde tiempos remotos, dada la necesidad de juntar o unir diferentes tipos de materiales. La historia testifica que se usaron los adhesivos desde los tiempos de los antiguos egipcios y asirios. Los egipcios usaron los adhesivos para pegar el papiro, y se han encontrado muebles recubiertos con una película de madera en las tumbas de algunos de los faraones. Estos adhesivos eran indudablemente de origen animal. Los asirios no solo construyeron con el tabique de barro, el material moldeado de construcción más antiguo que se conoce, sino que en muchos casos pegaron sus adobes con un mortero cementante, a base de arcilla. Los mismos asirios descubrieron mantos bituminosos cerca del río Éufrates, y usaron la brea como material cementante. Los griegos fueron los pioneros de la construcción revestida y martilenada. Construyeron algunas estructuras de caliza que luego formaron un mármol de granito fino, el mármol fue colocado con un mortero. Los primeros romanos también revestían construcciones con productos similares al concreto. Los chinos usaron morteros en sus obras estructurales y pegamentos animales en sus obras decorativas de construcción.

Sin embargo, el uso masivo de los adhesivos no comienza hasta finales del siglo XIX, con la primera emisión de sellos de correos, en 1840. Poco después, Charles Goodyear en 1839 descubre que mediante los



procesos de vulcanización se logra la adhesión directa de caucho sobre metal. Los adhesivos en base a látex aparecen en 1987.

2.1.2. DEFINICION:

Definimos el adhesivo como un material no-metálico el cual es capaz de unir 2 sustratos mediante los mecanismos de adhesión (desarrollados entre el adhesivo y el sustrato) y los mecanismos de cohesión (desarrollados en el interior del propio adhesivo).

Tal y como expone la definición anterior, un adhesivo es un material no metálico, generalmente nos referimos a los adhesivos a materiales compuestos por polímeros orgánicos que se encuentran en un estado líquido cuando se aplican y se transforman en un estado sólido tras su posterior curado o endurecimiento.

Continuando con la definición de adhesivo en cualquier unión adhesivada nos encontramos con el siguiente esquema:

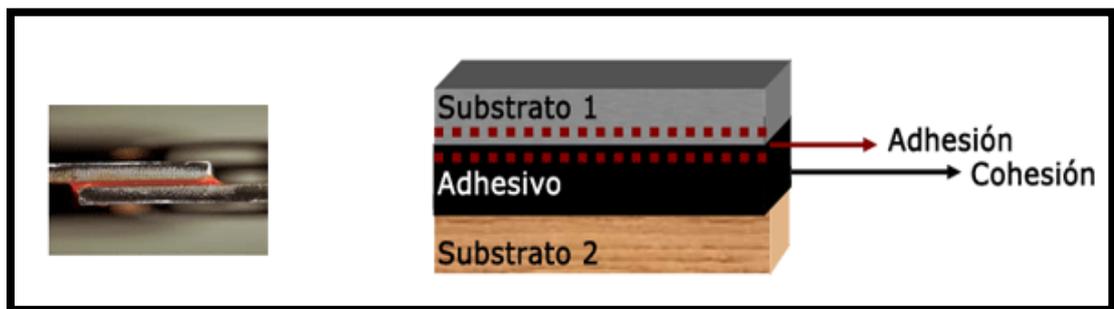


Fig 2.1. Adhesión entre sustratos

Atendiendo a la figura anterior y a la definición de adhesivo, necesitamos definir 3 conceptos importantes:

- **Sustrato o adherente:** Corresponde al material que pretendemos adhesivar o unir.
- **Adhesión:** Corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el adhesivo con cada sustrato, el término de



adhesión hace referencia al conjunto de los mecanismos y fuerzas situadas en una fina capa (capa límite) existente entre el sustrato y el propio adhesivo.

- **Cohesión:** Corresponde a todas las fuerzas o mecanismos que mantiene unido el propio adhesivo.

Tanto en la definición de adhesión y cohesión se hace referencia a las fuerzas que permiten mantener unidas el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión), dichas fuerzas corresponden a:

- Los enlaces químicos.
- Las fuerzas intermoleculares.

Los enlaces químicos covalentes se desarrollan entre los átomos permitiendo la creación de moléculas y polímeros, así mismo los enlaces químicos permiten unir diferentes cadenas poliméricas creando estructuras compactas y altamente reticuladas (materiales termoestables).

Las fuerzas intermoleculares ocurren entre moléculas permitiendo crear estructuras amorfas con una excelente elasticidad y deformabilidad.

Tanto los enlaces químicos como las fuerzas intermoleculares son los elementos de anclaje que mantienen unido el adhesivo con el sustrato (adhesión) y el propio adhesivo (cohesión).

Las uniones adhesivas presentan las siguientes ventajas con respecto a otros métodos de ensamblaje de materiales:

- Distribución uniforme de tensiones
- Rigidización de las uniones
- No se produce distorsión del sustrato
- Permiten la unión económica de distintos materiales



- Uniones selladas
- Aislamiento
- Reducción del número de componentes
- Mejora del aspecto del producto
- Compatibilidad del producto
- Uniones híbridas

2.1.3. FUNCIONALIDAD DE ADHESIVOS EN UNIÓN DE CONCRETO NUEVO CON CONCRETO VIEJO:

Existe una funcionalidad entre la unión de los concretos debido a que pueden provocarse fisuras, filtraciones o de falla parcial de la estructura, esto se debe a que actúan como elementos independientes con movimiento propio y no como estructura monolítica.

➤ Rendimiento de la junta adhesiva frente a agentes externos

Una vez que el adhesivo ha curado completamente y por tanto adquirido sus características físico-químicas definitivas, se verá sometida a una serie de agentes externos que pueden modificar sus propiedades. El medio puede debilitar la junta adhesiva y provocar el fallo frente a esfuerzos mecánicos más débiles que los previstos.

Por ello, es necesario caracterizar las propiedades físico-químicas de cada adhesivo y su variación frente a los agentes externos a los que pueda verse sometida. Esto es lo que se conoce como "durabilidad del adhesivo". Los valores de resistencia ambiental se dan siempre en relación a la resistencia definitiva que se logra en la junta adhesiva. Normalmente se emplean ensayos normalizados (a tracción, desgarro, etc.) y se observa la pérdida de la resistencia inicial en porcentaje, tras exponer la



probeta al agente concreto durante un número determinado de horas. Las gráficas resultantes nos dan una idea de la degradación de la unión adhesiva bajo tales condiciones.

Los factores que pueden afectar la unión adhesiva pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

1. Temperatura.
2. Humedad.
3. Fluidos: aceites, combustibles, disolventes orgánicos y clorados, agentes químicos agresivos, gases refrigerantes, etc.

Los efectos de la **temperatura** sobre la unión adhesiva son muy diversos, y dependen del modo en que la junta es sometida a los extremos de temperatura. Así, podemos diferenciar entre:

1. Efecto de las temperaturas bajas.
2. Resistencia al calor.
3. Envejecimiento a temperatura.

Los adhesivos son polímeros. El comportamiento de las adhesiones a **bajas temperaturas** viene condicionado por las características mecánicas del adhesivo a tales temperaturas. Tanto los termoplásticos como los termoestables se vuelven rígidos y frágiles a bajas temperaturas debido a que aumenta la rigidez de las cadenas que los constituyen. Esfuerzos débiles pueden provocar la rotura de la unión adhesiva. Los elastómeros pierden sus características visco elásticas por debajo de su temperatura de transición vítrea, la cual suele estar varias decenas de grados bajo cero. A tales temperaturas se vuelven rígidos, pasando a tener un comportamiento vítreo, con módulos elásticos mucho mayores y elongaciones a la rotura muy inferiores. En



condiciones de frío extremo las juntas elásticas podrán sufrir roturas por efecto de los esfuerzos producidos por las piezas que están sellando sobre la propia junta elástica, dando lugar a las fugas.

Se entiende por **resistencia al calor** la resistencia que presenta el adhesivo frente a altas temperaturas puntuales. El efecto de tales temperaturas es la disminución de la viscosidad del material polimérico durante un cierto tiempo. Los materiales termoplásticos se reblandecen enormemente por encima de su temperatura de transición vítrea, llegando a un estado fluido por encima de la temperatura de reblandecimiento. El efecto del calor sobre estos materiales es muy drástico, aunque puede ser reversible, por debajo de la temperatura de descomposición. A altas temperaturas presentan un porcentaje muy bajo de su poder adhesivo inicial.

Los materiales termoestables, por el contrario, presentan sólo ligeras modificaciones de su reología por encima de la temperatura de transición vítrea, no llegando en ningún momento a un estado fluido. A temperaturas excesivamente altas pueden descomponerse de forma irreversible. Los materiales elastómeros presentan un comportamiento similar, aunque conservando sus propiedades elásticas cerca de la temperatura de descomposición.

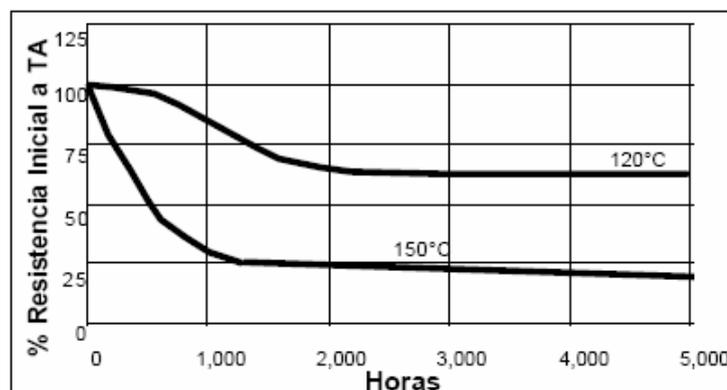


Figura 2.2. Curva de envejecimiento a la temperatura de un adhesivo anaeróbico



El efecto que tiene un agente externo sobre la junta adhesiva no siempre es consecuencia de su interacción con la masa de adhesivo. De hecho, la resistencia de una unión adhesiva sometida a condiciones de **humedad** no depende del efecto que ésta tenga sobre el propio material polimérico, sino sobre la zona de adhesión.

Cuando el agua entra en contacto con la interfase adhesiva, ésta compite con el adhesivo curado mediante la absorción, ya que el agua puede desplazar al adhesivo e incluso combinarse con el sustrato. El agua tiende a desplazar la resina curada donde existan enlaces secundarios produciendo tensiones sobre los menos numerosos enlaces químicos de la interfase y dando lugar a fenómenos de absorción.

Este fenómeno de desplazamiento ha sido ampliamente estudiado en conexión con los plásticos reforzados con vidrio (GRP). Norman, Stone y Wake estudiaron la adhesión en la interfase vidrio-resina en presencia de agua. El desplazamiento físico de la resina de la interfase es característico de sistemas adhesivos en los que sólo aparecen fuerzas secundarias de Van der Waals y, puesto que la superficie de un sustrato no cambia irreversiblemente por efecto de la adsorción de agua, tal desplazamiento es reversible.

Hay dos procesos involucrados en el deterioramiento de las juntas adhesivas por efecto de la humedad:

- 1) La absorción de agua por el adhesivo.
- 2) La adsorción de agua en la interfase por desplazamiento del adhesivo.



En el caso de uniones metal-metal, la única posibilidad de acceso de la humedad es a través del adhesivo. Sin embargo, los metales son materiales de alta energía superficial y tienden a combinarse con el agua, desplazando la junta adhesiva. En los materiales compuestos la humedad puede ser absorbida por la resina superficial y ser difundida hacia la interfase. La absorción por parte del adhesivo no causa el deterioro de la junta adhesiva por pérdida de la resistencia del material polímero, sino porque es capaz de aportar a la interfase una mayor concentración de agua. Por este motivo, los adhesivos que presentan mejores durabilidades frente a ambientes húmedos son aquellos en los cuáles el agua es virtualmente insoluble.

Existen multitud de fluidos (gases y líquidos) que tienen también un efecto negativo sobre la junta adhesiva. La mayoría de ellos basan su influencia en la modificación de las propiedades del propio material adhesivo. Como en el caso de otros agentes externos, el efecto de los fluidos sobre la durabilidad de una adhesión se mide en relación con la resistencia máxima del adhesivo. Los ensayos se realizan también a lo largo del tiempo. De un modo general podemos hablar de dos tipos de efectos:

- 1. Efectos físicos:** debidos a modificaciones de las propiedades físicas del adhesivo, sin que se produzca ninguna variación en su composición química.
- 2. Efectos químicos:** por ataque o degradación paulatina del material adhesivo.

Los efectos físicos se deben normalmente a la penetración de la molécula en la propia estructura polimérica. Los fluidos, dependiendo del tamaño molecular, la presión, la temperatura, etc. pueden introducirse en la red del polímero, modificando su



temperatura de transición vítrea o su resistencia frente a requerimientos externos. Los materiales termoestables presentan una red molecular tridimensional y son insolubles en disolventes.

Cuando su grado de reticulación es muy elevado pueden sellar incluso el paso de moléculas muy pequeñas como es el caso de los fluidos refrigerantes o del vapor de agua. De hecho, comúnmente se emplean adhesivos anaeróbicos muy reticulados para el sellado de conducciones frigoríficas o de vapor.

El efecto de los fluidos sobre estos materiales, a no ser que exista un ataque químico, es en general inapreciable por lo que su durabilidad es elevada en contacto con combustibles, aceites y otros fluidos industriales.

Los materiales elastómeros son también insolubles pero por su bajo grado de reticulación admiten el paso de moléculas. No son buenos selladores para gases, sobre todo aquéllos constituidos por moléculas pequeñas, por lo que no se recomiendan para su sellado. Son buenos selladores de líquidos, excepto en el caso de aquellos líquidos que por afinidad química tienden a acumularse en el interior del retículo e hincharlo. Es el caso de muchos disolventes orgánicos. Concretamente, las siliconas, excepto en el caso de formulaciones especiales, se hinchan en presencia de aceites y combustibles.

Los materiales termoplásticos son solubles en disolventes afines. Por este motivo debe cuidarse el contacto de estos adhesivos con muchos agentes disolventes. Por otro lado, su carácter sellador es pobre en general no siendo materiales recomendados para sellados de un cierto rendimiento.

En cuanto a los efectos químicos, la durabilidad de un adhesivo se puede ver seriamente afectada cuando entra en contacto con un



agente químico con el que sea susceptible de reaccionar. En tal caso se produce una auténtica degradación química e irreversible del adhesivo. Aunque depende de la química de cada familia adhesiva se puede afirmar de una forma general que los duroplásticos presentan una mayor durabilidad frente a agentes químicos que los elastómeros, y éstos mayor a su vez que los termoplásticos, porque tienen una estructura molecular más cerrada en la que el ataque químico progresa de una forma más lenta. Todos ellos son atacables por agentes oxidantes, ya que producen la degradación de los compuestos orgánicos.

2.1.3.1. Consecuencias

Las consecuencias debidas a una mala adherencia entre concretos pueden ser perjudiciales en gran medida y ello pondría en peligro la funcionalidad de la estructura.

2.1.3.1.1. Filtraciones

Las filtraciones en el concreto podrían aparecer debido a que no existe una adecuada adherencia en el concreto, esto puede verse aumentado si el adhesivo que se esté utilizando no funciona correctamente como un sellante, esto perjudicaría al elemento estructural al que se le aplique.

2.1.3.1.2. Baja resistencia

Una consecuencia notable sería que al no haber una adecuada adherencia puede perderse en ese punto la resistencia a la que se ha diseñado, ello puede llevar al colapso a una estructura.



2.1.3.2. Ventajas y desventajas

2.1.3.2.1. Ventajas

Muy alta resistencia a corte, tracción y compresión, debido a la fuerza cohesiva que causa el adhesivo, se puede mencionar una resistencia a temperaturas de hasta 180° C (hasta 250° C en algunas formulaciones). Este tipo de sistema adhiere la mayoría de los sustratos expuestos entre sí formando un solo elemento, se puede hacer referencia a una buena resistencia química debida al intemperismo, hidratación y exposición al fuego, por su misma consistencia se puede decir que posee una gran capacidad de relleno esto es beneficioso al momento de aplicarlo, estos adhesivos son muy rígidos, poseen una gran resistencia a pelado y a impacto en formulaciones flexibles (epoxi- nitrilo). Aunque es dieléctrico y aislante térmico, puede ser modificado ser conductor de la electricidad y del calor. Además se pueden adicionar cargas para mejorar las características mecánicas (como fibra de vidrio) o para disminuir la densidad (como micro esferas neumáticas).

2.1.3.2.2. Desventajas

La desventaja más grande que tiene la unión por adhesivos es la incertidumbre. No se conoce por el momento de ningún método adecuado no destructivo para probar una unión hecha con adhesivo. En las aplicaciones plenamente estructurales, esto puede significar que el componente en particular no se pruebe nunca en condiciones de plena carga de servicio, sino hasta que se coloque la estructura, que puede ser ya demasiado tarde. Las propiedades de la línea real de pegamento son un tanto difíciles de determinar.



El módulo de elasticidad de la capa de unión debería aproximarse al valor del módulo del concreto. Presentan problemas de absorción y difusión de la humedad en su seno. Consta de una serie de sistemas de alto rendimiento hechos con bicomponentes y con necesidad de calor, al menos en la etapa de post-curado existen problemas de tiempos a la hora del curado, la vida de la mezcla y la necesidad de alta temperatura para conseguir un alto grado de reticulación.

Los epoxis se emplean en varias aplicaciones:

- Aditivos para hormigones y elementos de construcción
- Adhesivos estructurales para la industria aeronáutica
- Fabricación de materiales compuestos
- Recubrimientos superficiales

2.1.4. ADHESIVO EPOXICO

2.1.4.1. Definición

Los epoxis son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre las piezas a unir y mantener los sustratos en posición hasta alcanzada la resistencia requerida.

Los productos Epóxicos se presentan en dos o más elementos. Las resinas y el endurecedor forman el sistema básico del material, mientras que el resto de los componentes son adiciones inertes para características determinadas Y específicas. La resina es el adhesivo en sí, mientras que el endurecedor permite la reactividad y reticulación de las



moléculas para formar la malla de pegado en el producto. Se emplean, por ejemplo, en mezclado de cemento, colocación de anclajes y conectores en fundiciones, y en elementos de concreto armado en construcción de puentes. Lo que mejor define a esta clase de productos es la capacidad de adherir casi todos los materiales de construcción, independiente de las resistencias mecánicas, por eso son muy usados en refuerzos estructurales. Los epóxicos tienen más de cincuenta años, pero el avance tecnológico en este campo es constante; actualmente se trabaja en productos que tengan características determinadas como la aplicación bajo agua o resistencia a bajas temperaturas y en especial la rapidez en el pegado.

2.1.4.2. Usos de Adhesivo Epóxico

- Anclajes y reparaciones

Esta es una de las aplicaciones más frecuentes en las que se utilizan los adhesivos epoxicos, se observan en anclajes y reparaciones industriales por ejemplo en las estructuras dañadas por sismos. Sus usos van desde la inyección de grietas, la unión entre concretos hasta rellenos en general.

Este tipo de aditivo se observan en anclajes y reparaciones industriales por ejemplo en las estructuras dañadas por sismos.

Son utilizados también en el campo de pilotes para la vinculación de micropilotes con estructuras, cabezales y zapatas. Aquí lo importante es la alta resistencia, facilidad de preparación y colocación.

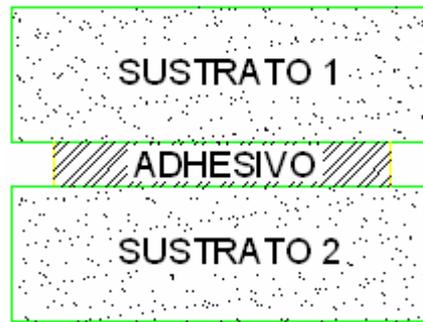


Figura 2.3 Esquema básico de la unión adhesiva

Cuando se diseña una unión adhesiva se pretende que la rotura no sea en ningún caso adhesivo, es decir, que la separación nunca se produzca en la interfase sustrato-adhesivo. Los modos de rotura adhesiva no son nunca predecibles, puesto que la magnitud de la fuerza de adhesión, como se verá en posteriores temas, depende de un gran número de factores rara vez controlables en su totalidad. Por el contrario, sí se pueden conocer las características mecánicas del adhesivo y, por tanto, se pueden predecir las cargas a la rotura en modo cohesivo bajo diferentes tipos de esfuerzos. Una de las clasificaciones más empleadas se basa en el mecanismo de formación de la junta adhesiva. Así, se pueden distinguir dos grandes grupos de adhesivos.

- **Puentes de adherencia**

Dentro de estos podemos encontrar los Epóxicos llamados puentes de adherencia, esta es una de las líneas más importantes en las que se puede encontrar el adhesivo Epóxico. El principio del producto consiste en darle continuidad al proceso de fundición de una obra en construcción, porque este no se puede hacer de una forma constante y con este producto se puede dar continuidad monolítica.



2.2. CONCRETO ARMADO:

2.2.1. INTRODUCCION:

La técnica constructiva del **concreto armado** consiste en la utilización de concreto reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armadura. También se puede armar con fibras, tales como fibras plásticas, fibra de vidrio, fibras de acero o combinaciones de barras de acero con fibras dependiendo de los requerimientos a los que estará sometido. El concreto armado se utiliza en edificios de todo tipo, caminos, puentes, presas, túneles y obras industriales. La utilización de fibras es muy común en la aplicación de concreto proyectado o *shotcrete*, especialmente en túneles y obras civiles en general.

2.2.2. DEFINICIÓN:

Se le da este nombre al concreto simple + acero de refuerzo, básicamente cuando tenemos un elemento estructural que trabajará a compresión y tensión; ningún esfuerzo de tensión será soportado por el concreto simple es por ello que se debe incluir un área de acero que soporte la tensión generada y se traducirá en el número varillas y su diámetro así como su colocación.

2.2.3. ANTECEDENTES:

La invención del concreto armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para «la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego». En el 1855 Joseph-Louis Lambot publicó el libro «Les bétons agglomérés appliqués á l'art de construire» (Aplicaciones del concreto al arte de construir), en donde patentó su sistema de construcción, expuesto en la exposición mundial



en París, el año 1854, el cual consistía en una lancha de remos fabricada de concreto armado con alambres. François Coignet en 1861 ideó la aplicación en estructuras como techos, paredes, bóvedas y tubos. A su vez el francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860. Muchas de estas patentes fueron obtenidas por G.A. Wayss en 1866 de las empresas Freytag und Heidschuch y Martenstein, fundando una empresa de concreto armado, en donde se realizaban pruebas para ver el comportamiento resistente del concreto, asistiendo el arquitecto prusiano Matthias Koenen en estas pruebas, efectuando cálculos que fueron publicados en un folleto llamado «El sistema Monier, armazones de hierro cubiertos en cemento». Que fue complementado en 1894 por Edmond Coignet y De Tédesco, método publicado en Francia agregando el comportamiento de elasticidad del concreto como factor en los ensayos, estos cálculos fueron confirmados por otros ensayos realizados por Eberhard G. Neumann en 1890. Bauschinger y Bach comprobaron las propiedades del elemento frente al fuego y su resistencia logrando ocasionar un gran auge, por la seguridad del producto en Alemania. Fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de concreto armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895.

En España, el concreto armado penetra en Cataluña de la mano del ingeniero Francesc Macià con la patente del francés Joseph Monier. Pero la expansión de la nueva técnica se producirá por el empuje comercial de François Hennebique por medio de su concesionario en San Sebastián Miguel Salaverría y del ingeniero José Eugenio Ribera, entonces destinado en Asturias, que en 1898 construirá los forjados de la cárcel de Oviedo, el tablero del puente de Ciaño y el depósito de aguas de Llanes.

El primer edificio de entidad construido con concreto armado es la fábrica de harinas La Ceres en Bilbao, de 1899-1900 (aún hoy en pie y rehabilitada como viviendas) y el primer puente importante, con arcos de



35 metros de luz, el levantado sobre el Nervión-Ibaizabal en La Peña, para el paso del tranvía de Arratia entre Bilbao y Arrigorriaga (desaparecido en las riadas del año 1983). Ninguna de las dos obras fue dirigida por Ribera, quien pronto se independizó de la tutela del empresario francés, sino por los jóvenes ingenieros Ramón Grotta y Gabriel Rebollo de la oficina madrileña de François Hennebique.

2.2.4. DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DEL CONCRETO ARMADO:

Existen varias características responsables del éxito del concreto armado:

- El coeficiente de dilatación del concreto es similar al del acero, siendo despreciables las tensiones internas por cambios de temperatura.
- Cuando el concreto fragua se contrae y presiona fuertemente las barras de acero, creando además fuerte adherencia química.
- Las barras, o fibras, suelen tener resaltes en su superficie llamadas corrugas o trefilado, que favorecen la adherencia física con el concreto.
- Por último, el pH alcalino del cemento produce la pasivación del acero, fenómeno que ayuda a protegerlo de la corrosión.
- El concreto que rodea a las barras de acero genera un fenómeno de confinamiento que impide su pandeo, optimizando su empleo estructural.

2.2.5. TIPOS DE CONCRETO ARMADO:

Según se sabe, los primeros compuesto de concreto de la historia se creaban utilizando agua, arena, cal, yeso, piedras trituradas, tejas o ladrillos. Actualmente y gracias a los avances tecnológicos, existen varios tipos de concreto según para que esté destinado. Para citar algunos:



- **Concreto armado:** Está reforzado interiormente con armaduras metálicas para mejorar su resistencia a los esfuerzos de tracción.
- **Concreto pretensado:** Contiene acero sometido a fuerte tracción previa y permanente.
- **Concreto postensado:** Contiene acero que se somete a tracción una vez que el concreto adquiere su dureza.

2.2.6. COMPONENTES DEL CONCRETO ARMADO:

- Cemento
- Agregados
- Acero de refuerzo
- Agua

2.2.6.1. EL CEMENTO

2.2.6.1.1. DEFINICION

A. DEFINICION NATURAL:

Es cualquier material aglomerante, aglutinante capaz de unir fragmentos de propiedades físicas diferentes. Entre estos tenemos a las calizas naturales calcinadas.

B. DEFINICION DE INGENIERIA:

El cemento se conoce como cemento portland. Es una mezcla de calizas y arcillas pulverizadas a grandes temperaturas, con adición de yeso que al entrar en contacto con el agua, desarrolla la capacidad de unir fragmentos de grava y arena, para formar un sólido único o piedra artificial, conocida con el nombre de concreto hidráulico.



2.2.6.1.2. TIPOS DE CEMENTO

A. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Los Cementos Portland por lo general, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones ASTM de normas para Cemento Portland (c 150). Los tipos se distinguen según los requisitos tanto físicos como químicos.

✓ PORTLAND TIPO I:

Es un cemento normal, se produce por la adición de clinker más yeso. De uso general en todas las obras de ingeniería donde no se requiera miembros especiales. De 1 a 28 días realiza 1 al 100% de su resistencia relativa.

✓ PORTLAND TIPO II:

Cemento modificado para usos generales. Resiste moderadamente la acción de los sulfatos, se emplea también cuando se requiere un calor moderado de hidratación. El cemento Tipo II adquiere resistencia más lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. Las características de este Tipo de cemento se logran al imponer modificaciones en el contenido de Aluminato Tricalcico (C3A) y el Silicato Tricalcico (C3S) del cemento. Se utiliza en alcantarillados, tubos, zonas industriales

✓ PORTLAND TIPO III:

Cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho



con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II ; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C3S y C3A en el cemento, al molerlo más fino; las especificaciones no exigen un mínimo de finura pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas que una cantidad muy pequeña de humedad prehidratada el cemento durante el almacenamiento manejo. Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C3A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C3A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

✓ PORTLAND TIPO IV:

Cemento de bajo calor de hidratación se ha perfeccionado para usarse en concretos masivos. El bajo calor de hidratación de Tipo IV se logra limitándolos compuestos que más influye en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud. El calor de hidratación del cemento Tipo IV suele ser de más o menos el 80% del Tipo II, el 65% del Tipo I y 55% del Tipo III durante la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un



poco mayores después de más o menos un año. Es utilizado en grandes obras, moles de concreto, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

✓ PORTLAND TIPO V:

Cemento con alta resistencia a la acción de los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento Tipo V se logra minimizando el contenido de C3A, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por el sulfato. Realiza su resistencia relativa del 65 al 85 %.

B. TIPOS DE CEMENTOS ESPECIALES CEMENTO PORTLAND BLANCO

Es el mismo Portland regular, lo que difiere es el color, esto se obtiene por medio del color de la manufactura, obteniendo el menor número de materias primas que llevan hierro y óxido de magnesio, que son los que le dan la coloración gris al cemento. Este cemento se usa específicamente para acabados arquitectónicos tales como estuco, pisos y concretos decorativos.

✓ CEMENTO PORTLAND DE ESCORIA DE ALTO HORNO:

Es obtenido por la pulverización conjunta del clinker portland y escoria granulada finamente molida con adición de sulfato de calcio. El contenido de la escoria



granulada de alto horno debe estar comprendido entre el 15% y el 85% de la masa total.

✓ **CEMENTO SIDERÚRGICO SUPERSULFATADO:**

Obtenido mediante la pulverización de escoria granulada de alto horno, con pequeñas cantidades apreciables de sulfato de calcio.

✓ **CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO:**

Se obtiene con la molienda del clinker con la puzolana. Tiene resistencia parecida al cemento normal y resistente ataques al agua de mar, lo que lo hace aconsejable para construcciones costeras. Para que el cemento sea puzolánico debe contener entre el 15% y el 50% de la masa total. El cemento puzolánico se utiliza en construcciones que están en contactos directos con el agua, dada su resistencia tan alta en medios húmedos.

✓ **CEMENTO PORTLAND ADICIONADO:**

Obtenido de la pulverización del clinker portland conjuntamente con materiales arcillosos o calcareos-silicos-aluminosos.

✓ **CEMENTO ALUMINOSO:**

Es el formado por el clinker aluminoso pulverizado el cual le da propiedad de tener alta resistencia inicial. Es también resistente a la acción de los sulfatos así como a las altas temperaturas



2.2.6.2. AGREGADOS

2.2.6.2.1. DEFINICIÓN

Se define a los agregados como materiales inertes, granulares y debidamente graduados, que son aglomerados por la pasta del cemento para formar la estructura resistente del concreto. Pueden ser arena, grava o piedra triturada, ocupando siempre la mayor parte del volumen del concreto.

Como los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua.

A los agregados suele denominárseles inertes porque no participan en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, sin embargo, debido al volumen con el que participan en la preparación del concreto (aproximadamente ocupan las tres cuartas partes del volumen del mismo), la calidad de los mismos es de suma importancia.

La presencia de los agregados en el concreto obedece a dos razones fundamentales: la economía, ya que casi siempre estos materiales son más económicos que el cemento.



2.2.6.2.2. TIPOS DE AGREGADOS:

- Grava

Los depósitos de grava se producen por la acción del proceso natural de erosión y la acción de la intemperie. Este producto se puede utilizar para caminos, para manufacturar concreto o para efectos de decoración.

▪ Composición:

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

▪ Calidad:

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (El uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país). Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado



grueso, en el momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los siguientes límites:

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	máx. 12

Tabla 2.1. Límites máximos de sustancias dañinas en agregado grueso

- **Arena Gruesa**

• **DEFINICIÓN**

Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal de 5 mm y es retenido en el de 0,08 mm (Nº 200), agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material inerte que interviene en la composición del hormigón, sometido a tratamiento de trituración, dosificación por tamaños y/o lavado en operaciones mecanizadas. En la fragmentación artificial, las rocas son chancadas o trituradas en lugares llamados plantas de áridos. Las rocas utilizadas para la arena gruesa son normalmente de caliza, granito, basalto, dolomita y cuarzo, entre otras.



▪ **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Material inerte
- Material que constituye el mayor peso en el hormigón
- Material fino, resistente y limpio
- Diseñado para cumplir norma (NCh 163-Of 79).
- Banda Granulométrica (NCh 165-Of 77)

▪ **RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN**

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales. Además la arena producida artificialmente deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

▪ **APLICACIONES:**

- Como componente clave en la construcción y mantenimiento de carreteras, aceras, caminos, estacionamientos, pistas de aterrizaje y vías de ferrocarril.
- Para drenaje, filtración de agua, purificación y control de la erosión.
- Como material de relleno.
- Para trampas de arena en campos de golf, playas, canchas deportivas, hipódromos y aplicaciones relacionadas.



- Para la construcción de puentes, viviendas y escuelas.

2.2.6.3. ACERO DE REFUERZO

Debido a la baja resistencia del concreto a la tensión, se ahoga acero en él, para resistir los esfuerzos de tensión. Ahora bien, el acero también se utiliza para recibir la compresión en vigas y columnas y permitir el uso de elementos más pequeños; así mismo sirve para otros fines. Controla las deformaciones debidas a la temperatura y a la contracción y distribuye la carga al concreto y al resto del acero de refuerzo. Puede utilizarse para presforzar el concreto y sirve para amarrar entre sí a otros refuerzos para facilitar el colado o resistir esfuerzos laterales.

La mayoría de los refuerzos son en forma de varillas o de alambres. Sus superficies pueden ser lisas o corrugadas. Este último tipo es de empleo más general, porque produce mejor adherencia con el concreto debido a las rugosidades y salientes de la varilla. Los diámetros de las varillas son de $\frac{1}{4}$ a $2 \frac{1}{4}$ pulg. Los tamaños se designan con números equivalentes a unas ocho veces los diámetros nominales. El uso de varillas con límite de fluencia mayor de 60 000 psi, para refuerzo de flexión es limitado, pues se requieren dimensiones especiales para controlar el agrietamiento y la deflexión. (Frederick, 1992)

2.2.6.4. AGUA:

El agua, considerada como materia prima para la confección y el curado del concreto debe cumplir con determinadas normas de calidad. Las normas para la calidad del agua son variables de país a país, y también pueden tener alguna variación según el tipo de cemento que se quiera mezclar. Las normas que se detallan a continuación son por lo tanto generales. Esta deberá ser limpia y



fresca hasta donde sea posible y no deberá contener residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos) sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará asimismo exenta de arcilla, lodo y algas.

Los límites máximos permisibles de concentración de sustancias en el agua son los siguientes:

SUSTANCIAS Y PH	LÍMITE MÁXIMO
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	200 ppm
Sales de magnesio	125 ppm
Sales solubles	300 ppm
Sólidos en suspensión	10 ppm
Materia orgánica expresada en oxígeno consumido	0.001 ppm
Ph	6 < pH < 8

Tabla 2.2. Límites máximos de concentración de sustancias de agua

2.3. FLEXION

2.3.1. INTRODUCCION:

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término “alargado” se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o laminas. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.



El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector.

2.3.2. TIPOS DE FLEXION:

2.3.2.1. Flexión Simple

Se dice que la Flexión es Simple cuando la deformada del eje de la barra es una curva contenida en el plano de las solicitaciones.

Si el plano de las solicitaciones pasa por uno de los ejes principales de inercia de la sección transversal, entonces la Flexión se denomina Simple o Plana.

2.3.2.2. Flexión pura

2.3.2.2.1. Introducción.

Sea la viga de la figura, los diagramas de solicitaciones son los que se muestran a continuación:

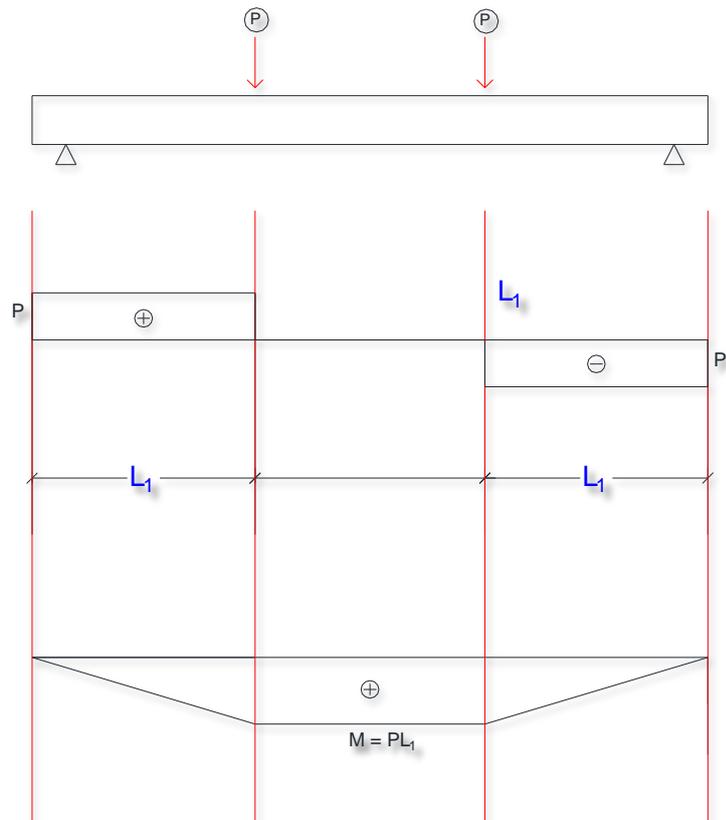


Figura 2.4 Diagrama de cortante y momento flector

Un trozo de viga se dice que trabaja a **flexión pura** cuando en cualquier sección de ese trozo solo existe momento flector.

Un trozo de viga se dice que trabaja a **flexión simple** cuando en cualquier sección de ese trozo existe momento flector y esfuerzo cortante.

Un trozo de viga se dice que trabaja a **flexión compuesta** cuando en cualquier sección de ese trozo existe momento flector, esfuerzo cortante y esfuerzo normal.



2.3.2.2.2. Hipótesis de NAVIER o de SECCIONES PLANAS.

Para el estudio de la flexión pura, vamos a plantear la siguiente hipótesis de Navier: “Las secciones planas y perpendiculares al eje de la viga antes de la deformación, siguen siendo planas y perpendiculares al eje de la viga después de la deformación”.

Planteadas esta hipótesis, vamos a ver como se deforma el trozo de viga comprendido entre las secciones 1-1 y 2-2.



Figura 2.5 Secciones de viga

Se observa que hay fibras tales como las de arriba que se acortan y otras tales como las de abajo que se alargan.

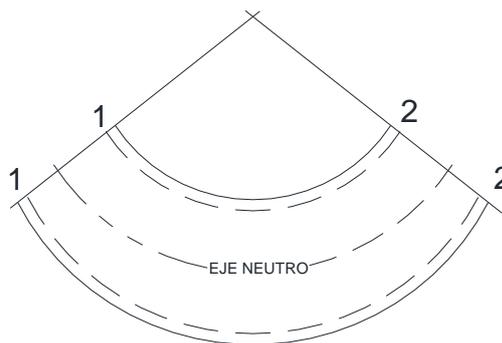


Figura 2.6. Eje neutro de viga

También existen un conjunto de fibras que ni se acortan ni se alargan. A éstas se las llama fibras neutras. Todas las fibras neutras forman la superficie neutra de la viga.



Se llama línea neutra de una sección, a la intersección de esa sección con la superficie neutra. Se puede demostrar que la línea neutra pasa por el c.d.g. de la sección.

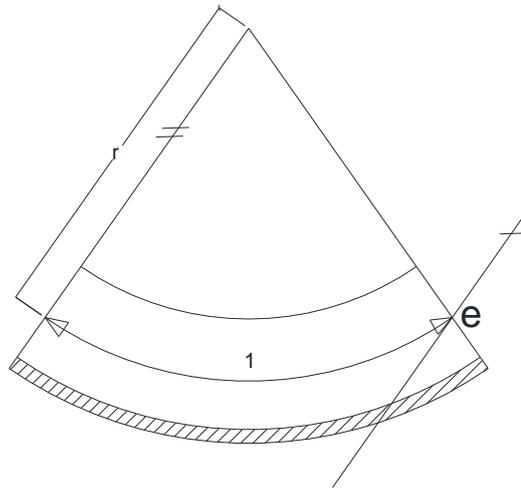


Figura 2.7. Alargamiento unitario de viga

Tomemos un trozo de viga que antes de deformarse mida la unidad. Después de la deformación solo la fibra neutra continuará midiendo la unidad.

Una fibra situada a una distancia y , por debajo de la fibra neutra, medirá más de la unidad, puesto que está traccionada, y su alargamiento será el alargamiento unitario ϵ .

En la figura:

$$\frac{r}{y} = \frac{1}{\epsilon} \quad \text{de donde:} \quad \epsilon = \frac{y}{r}$$

Para un radio de curvatura dado, el alargamiento de una fibra es proporcional a la distancia de una fibra a la fibra neutra.

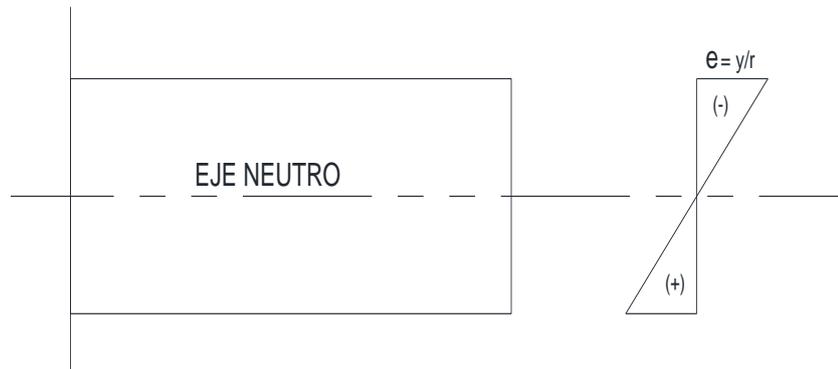


Figura 2.8.- Diagrama de ϵ de una viga

2.3.2.2.3. Diagrama de ϵ y σ para una sección de la viga.

El diagrama de ϵ es triangular siempre que se cumplan las hipótesis de secciones planas. Si se cumple la ley de Hooke, el diagrama de σ será triangular como el de ϵ , dado a que se obtiene a partir del diagrama de ϵ , ya que $\epsilon = \sigma / E$.

2.3.2.2.4. Fórmula de NAVIER.

Supongamos que el material sigue las hipótesis de Navier y la ley de Hooke. Entonces el diagrama de σ es triangular.

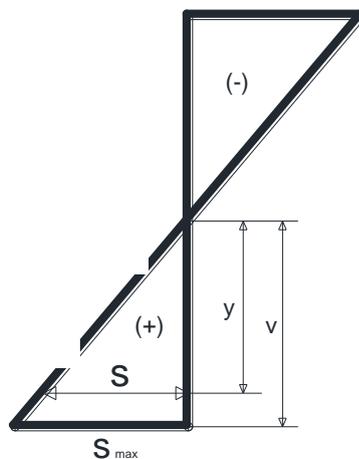


Figura 2.9. Diagrama de esfuerzo triangular



Apartir de esta figura, podemos obtener:

$$\frac{\sigma_{\text{fibril}}}{v} = \frac{\sigma}{y}$$

de donde:

$$\sigma = \sigma_{\text{fibril}} \frac{y}{v}$$

Si M es el momento flector que actúa en una sección de la viga e ILN es el momento de inercia de esa sección

respecto a la línea neutra, se cumple: $\sigma_{\text{fibril}} = \frac{M \cdot y}{I_{LN}}$; por tanto:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_{LN}}$$

En la fórmula se ve que el signo de σ depende del de M e y, ya que ILN no tiene signo. El signo de M ya hemos visto en temas anteriores cuándo es positivo (+) o negativo (-).

Respecto al signo de y, tenemos que: y es positivo para puntos situados por debajo de la línea neutra, y es negativo para puntos situados encima de la línea neutra.

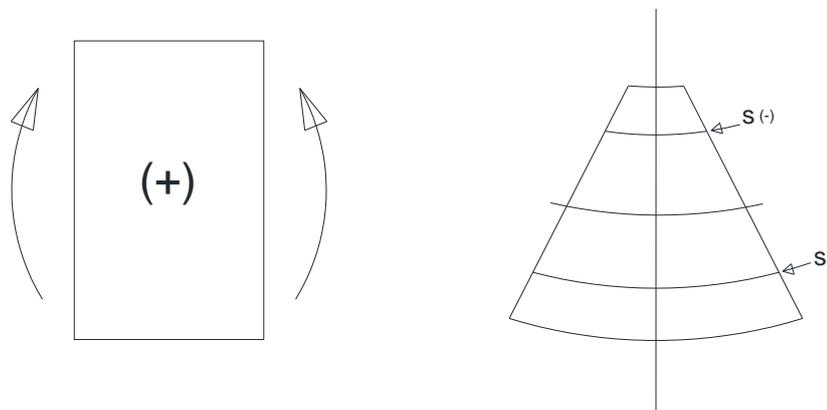


Figura 2.10.- Deformación positiva y negativa de una viga



2.3.2.3. Flexión Compuesta

Se dice que una pieza está sometida a flexión compuesta cuando está sometida, simultáneamente, a flexión y a tracción o a compresión. Si todas las fuerzas exteriores aplicadas a la pieza están situadas en uno de los planos principales de flexión, se dice que la pieza está sometida, aparte de un posible esfuerzo cortante, a “flexión compuesta plana”.

2.4. RESISTENCIA A FLEXIÓN SIMPLE DEL CONCRETO ARMADO

Se ha llevado a cabo gran número de ensayos en flexión utilizando vigas simplemente apoyadas, sometidas a dos cargas concentradas de modo simétrico, en las que existe una zona sujeta sólo a momento flexionante

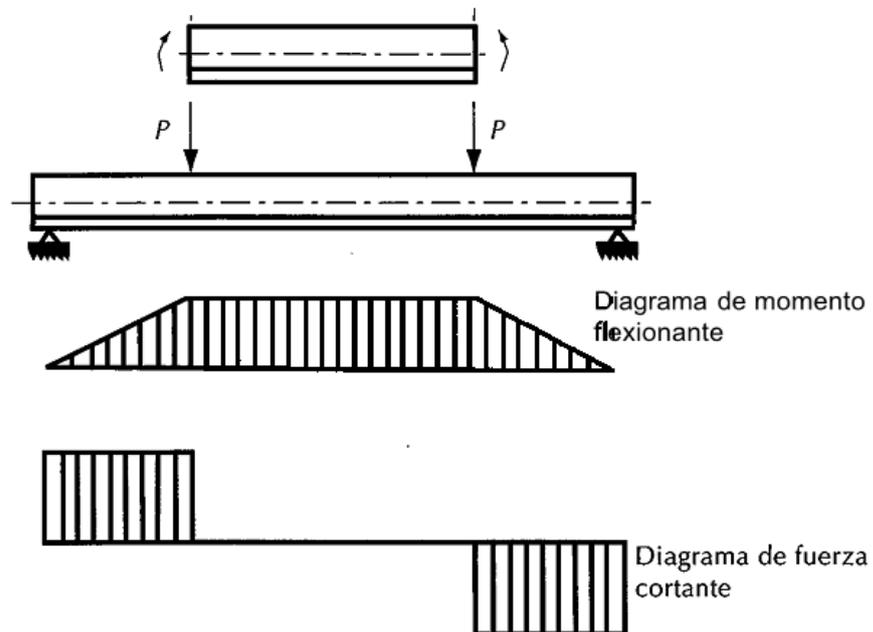


Figura 2.11. Espécimen típico para estudio de flexión simple

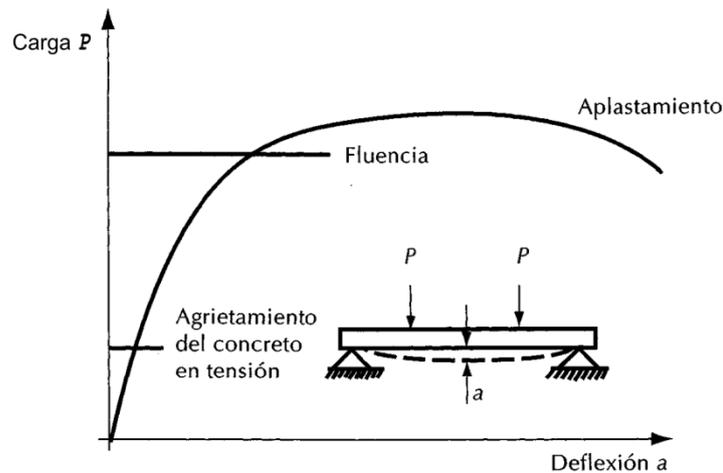


Figura 2.12 Gráfica carga-deflexión de un elemento, con un porcentaje usual de acero de tensión

La figura 2.12 muestra la gráfica carga deflexión de un elemento con un porcentaje de acero usual en la práctica. Al empezar a cargar, el comportamiento de la pieza es esencialmente elástico y toda la sección contribuye a resistir el momento exterior. Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto a la tensión, empiezan a aparecer grietas. A medida que se incrementa la carga, estas grietas aumentan en número, en longitud y en abertura. Se puede observar muy claramente la zona de la pieza sujeta a tensión, en la que se presentan las grietas, y la zona sujeta a compresión.

A partir de la aparición de las primeras grietas, el comportamiento del espécimen ya no es elástico y las deflexiones no son proporcionales a las cargas. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde el momento en que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga. Esto es, la resistencia del elemento es sólo ligeramente mayor que la carga que produce la fluencia del acero. Los primeros síntomas de la fluencia del acero son un incremento notable en la abertura y longitud de las grietas y un quiebre marcado en la curva carga- deflexión. A medida que aumenta la



longitud de las grietas, la zona de compresión se va reduciendo, hasta que el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta.

El primer indicio del aplastamiento es el desprendimiento de escamas en la zona de compresión. Cuando esto ocurre, la carga disminuye con mayor o menor rapidez, dependiendo de la rigidez del sistema de aplicación de la carga, hasta que se produce el colapso final.

Según la cantidad de acero longitudinal con que está reforzada la pieza, éste puede fluir o no antes de que se alcance la carga máxima. Cuando el acero fluye, el comportamiento del miembro es dúctil; es decir, se producen deflexiones considerables antes del colapso final, como se muestra en la figura 5.2. En este caso se dice que el elemento es subreforzado.

Por otra parte, si la cantidad de acero longitudinal de tensión es grande, éste no fluye antes del aplastamiento y se dice entonces que el elemento es sobre reforzado. Puede suceder que el elemento alcance su resistencia precisamente cuando el acero empieza a fluir. En este caso se dice que el elemento es balanceado

Los términos sobre reforzado y sobre reforzado, aplicados al caso de elementos con acero sin un límite de fluencia bien marcado, no tienen más sentido que el de indicar el grado de ductilidad. En este caso la condición balanceada no está claramente definida.

En la figura 2.13 se presentan los esquemas de agrietamiento correspondientes a vigas con diferentes porcentajes de acero. En el caso de un elemento sobre reforzado, la zona de aplastamiento del concreto es mayor que en el caso de otro sub reforzado, y, a la falla, las grietas del primero son de longitud y abertura menores.

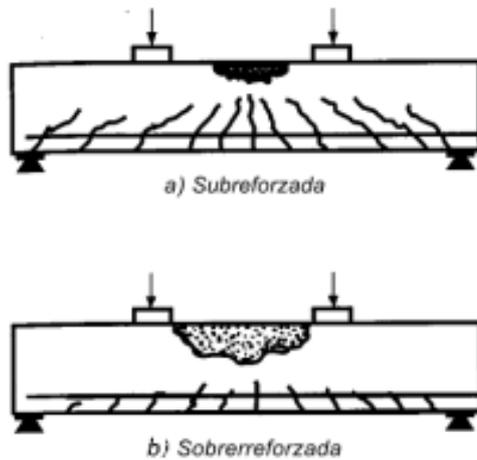


Figura 2.13 Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión

La figura 2.14 muestra la variación en el comportamiento de elementos que tienen distintos porcentajes de acero. Cada curva de trazo lleno representa la gráfica carga-deflexión de un elemento reforzado con una cantidad diferente de acero de tensión, desde una viga de concreto simple hasta otra con porcentaje muy alto de acero, del orden del 7 por ciento. Se puede observar de inmediato el efecto de la cantidad y distribución del acero longitudinal.

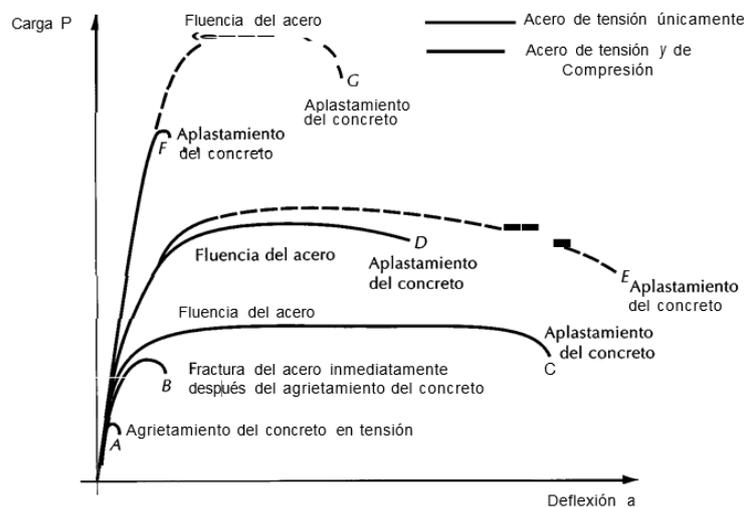


Figura 2.14 Grafica carga – deflexión de elementos con porcentajes variables de acero (sección $f'c$ y f_y constantes) sujetos a flexión simple

Un elemento de concreto simple (curva A) alcanza su resistencia y falla al agrietarse el concreto en la fibra más tensada, con una deflexión muy pequeña. La falla es repentina, de tipo frágil.



Adicionar refuerzo longitudinal en cantidades muy pequeñas, hace que la capacidad del miembro aumente al mismo tiempo que su deflexión en la falla (Curva B). En las primeras etapas de carga, el comportamiento es muy parecido al de un elemento de concreto simple. Una vez agrietado el concreto, la tensión en el acero se incrementa rápidamente al aumentar la carga, hasta que el refuerzo se fractura. Este tipo de falla ocurre en elementos con porcentajes muy pequeños de acero, del orden de 0.1 por ciento o menos. La falla es frágil y se produce a una deflexión pequeña.

Las curvas C y D son típicas de elementos con porcentajes usuales de acero de tensión (de 0.5 a 2 por ciento). Se puede observar que la resistencia y la deflexión son sustancialmente mayores que en las curvas A y B

Si se aumenta apreciablemente el porcentaje de acero, el elemento se convierte en sobre reforzado, como muestra la curva F. La resistencia aumenta, pero la deflexión a la falla disminuye.

Si además de acero de tensión, existe acero longitudinal en la zona de compresión, su efecto en las gráficas carga – deflexión del elemento se muestra en la figura 5.4 con líneas de trazo interrumpido para dos casos.

El efecto principal del acero de compresión es aumentar notablemente la ductilidad; la adición de acero de compresión en cantidad suficiente a un elemento sobre reforzado puede hacer que este se convierta en subreforzado, aumentando su ductilidad y resistencia, al lograr que el acero de tensión desarrolle su esfuerzo de fluencia. Este efecto se muestra cualitativamente en las curvas F y G de la figura 2.14.

La adición de refuerzo de compresión a un elemento sub reforzado aumenta su ductilidad, pero su resistencia permanece prácticamente constante, ya que está regida por la tensión en el acero (curvas D y E)

Es importante recalcar que la ductilidad que se pueda lograr con la adición de acero de compresión, no se obtiene si este no está adecuadamente restringido



por medio de refuerzo transversal, ya que de otro modo, para compresiones muy altas y cuando hay poco recubrimiento, el acero de compresión puede pandearse, lo que causaría un colapso súbito.

En la figura 2.14 se ha presentado de un modo cualitativo la variación de las características carga – deflexión de elementos sujetos a deflexión pura, en función del porcentaje de acero, suponiendo que los índices de resistencia de materiales, f'_c y f_y permanecen constantes. Las características carga – deflexión son también función de las propiedades mecánicas de los materiales, expresadas por sus índices de resistencia.

Un incremento en el valor del esfuerzo de fluencia, o en el valor del porcentaje de acero de tensión, tiende a aumentar la capacidad en tensión del elemento.

Por otra parte, un incremento en el valor de f'_c , aumenta la capacidad en compresión. El comportamiento de un elemento depende de la relación entre su capacidad en tensión y su capacidad en compresión. Esta relación puede medirse por medio del parámetro $\omega = \rho f_y / f'_c$ según la notación ACI 318-04, el cual suele llamarse índice de refuerzo (Según las NTC – 04, el parámetro equivalente es $q = \rho f_y / f'_c$)

Se pueden definir, entonces elementos subreforzados y sobreforzados para valores bajos y altos de ω , respectivamente tal y como se hizo para valores bajos y altos del porcentaje de acero.

Para elementos con refuerzo longitudinal de tensión y de compresión, el índice de refuerzo es $\omega = (\rho - \rho') f_y / f'_c$, donde ρ' representa el porcentaje de acero longitudinal en compresión.

2.5. COMPORTAMIENTO DE UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SOMETIDA A FLEXION

La viga mostrada en la figura 5.1.a. es de sección rectangular, simplemente apoyada y cuenta con refuerzo en la zona interior. Está sometida a la acción de dos cargas concentradas iguales las cuales generan el diagrama de momento flector presentado en la figura 5.1.b. A lo largo de todo el elemento, la fibra superior esta comprimida y la inferior traccionada.

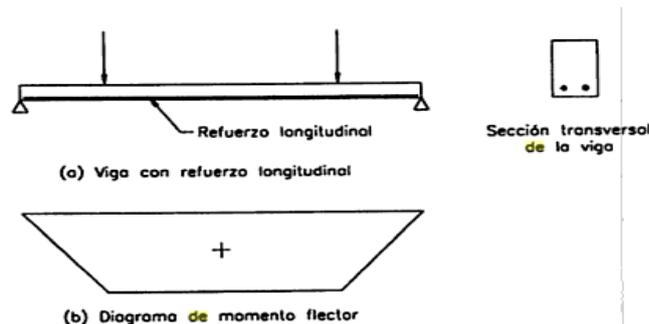


Figura 2.15. Viga simplemente apoyada sometida a cargas concentradas

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

1° 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 2.16.

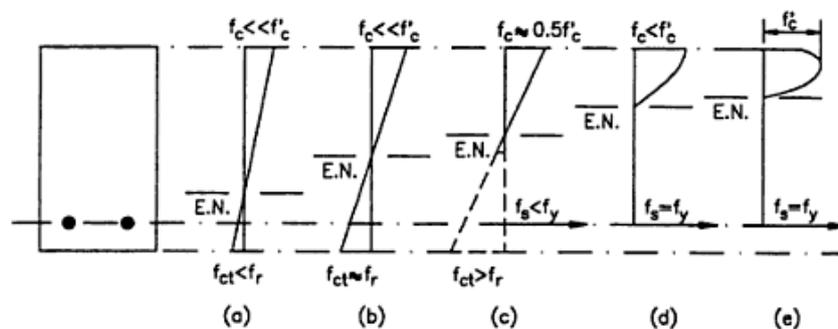


Figura 2.16. Variación de los esfuerzos y deformaciones con el incremento del momento aplicado



2° 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 efectivo 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:

$$F_s = n f_t$$

Donde:

f_s = Esfuerzo en el acero

f_t = Esfuerzo en el concreto

La viga experimenta un comportamiento elástico y la distribución de esfuerzos es la mostrada en la figura 2.16.b.

3° 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 2.16.c. El concreto, al agrietarse, no resiste el esfuerzo de tracción y este 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 recargara estas 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.

4° 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 (figura 2.16.d) 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 (figura 2.16.c)

Las cuatro fases descritas son claramente diferencias en el diagrama momento resistente versus curvatura mostrado en la figura 2.17.

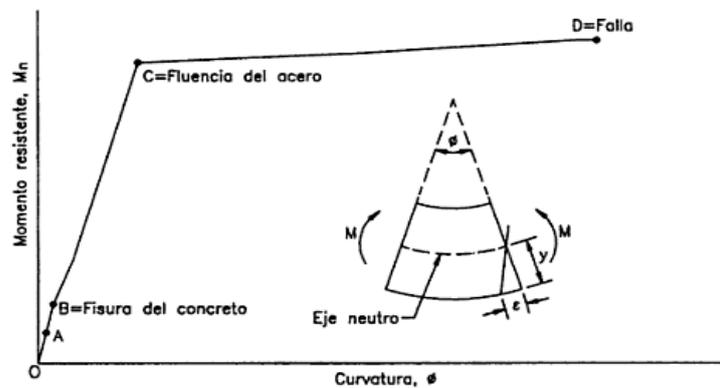


Figura 2.17. Diagrama momento resistente – curvatura de una sección de la viga sometida a carga uniformemente distribuida

Se define curvatura como:

$$\Phi = \epsilon/y$$

Dónde:

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

Dado que se asumen una distribución lineal de las deformaciones, ϵ e y son directamente proporcionales y en consecuencia el valor de Φ es constante para el 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

2.6. HIPOTESIS BASICAS PARA EL ESTUDIO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION SEGUN EL CODIGO 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 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 la de ésta 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 5.4. El valor de β_1 disminuirá en 0.05 por cada incremento de 70 kg/cm² en la resistencia del concreto. En ningún caso β_1 , será menor que 0.65. pues los ensayos han demostrado que para concretos de alta resistencia una reducción excesiva de β_1 , conlleva a diseños poco conservadores. La resultante de la distribución rectangular de esfuerzos propuesta por Whitney coincide con la resultante de la distribución no lineal de esfuerzos.

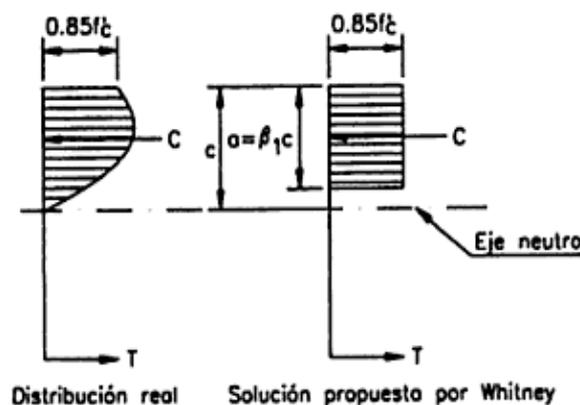


Figura 2.18. Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga



2.7. TIPOS DE FALLA DE LOS ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION

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 5.1. 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. 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.

Para cada sección existe una cuantía única de acero que ocasiona una falla balanceada la que se denomina cuantía balanceada o básica (ρ_b). Si la sección contiene mayor cantidad de refuerzo fallara por compresión y si contiene menor cantidad la falla será por tracción. Por seguridad, el código del ACI recomienda que todas las secciones se diseñen para fallar por tracción y por ello limita la cuantía del refuerzo a $0.75 \rho_b$.

En la figura 2.19 se muestra la distribución de deformaciones para cada uno de los tres tipos de falla y en la figura 5.6, 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

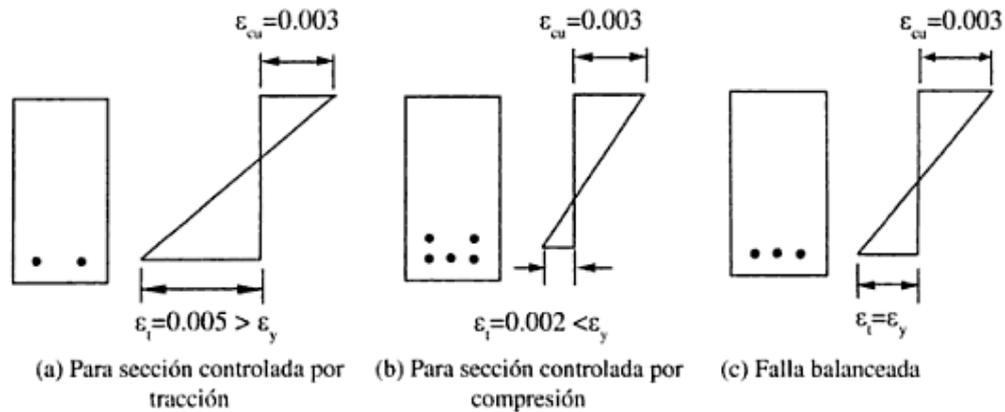


Figura 2.19 Distribución de deformación para los diversos tipos de falla en flexión

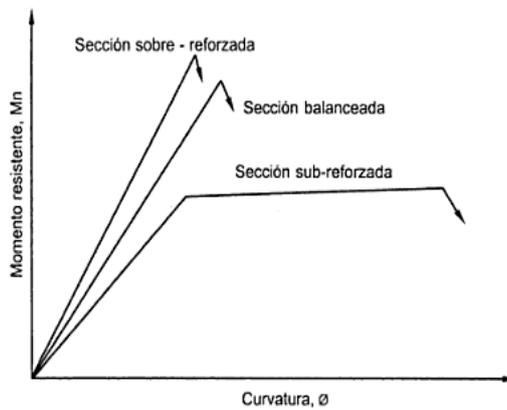


Figura 2.20. Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión.



2.8. FALLAS EN VIGAS SOMETIDAS A FLEXION

La falla a flexión puede ocurrir en las vigas debido a una o varias causas, de las cuales se ofrece una lista a continuación. Aunque estos modos de falla se exponen primariamente con referencia a las vigas de materia dúctil, en sus aspectos generales son aplicables a cualquier material.

1. La viga puede fallar por ruptura de las fibras extremas cuando el punto de cadencia es alcanzado en las fibras extremas, la deflexión de la viga aumenta más rápidamente con respecto a un incremento de carga y si la viga tiene sección gruesa y fuerte o está firmemente empotrada de tal modo que no pueda torcerse, la falla se verifica como un pandeo gradual que finalmente se torna tan grande que la utilidad de la viga como miembro sustentable queda destruida
2. En una viga, las fibras en compresión actúan de manera similar a aquellos en compresión de una columna y la falla puede tener lugar por pandeo. El pandeo, el cual generalmente ocurre en dirección lateral puede deberse ya sea a la causa primaria o secundaria de la falla
3. La falla de los mientras de alma delgada como una vigueta, puede ocurrir debido a los esfuerzos cortantes excesivos en el alma o por pandeo del alma bajo los esfuerzos compresivos diagonales que siempre acompañan a los esfuerzos cortantes
4. En aquellas partes de vigas adyacentes a los lados de apoyo que transmiten las cargas concentradas o las reacciones a las vigas, pueden establecerse esfuerzos compresivos altos, y en las vigas I o canales el esfuerzo local en aquella parte del alma más cercana a un dado de apoyo puede tomarse excesivo. Si este esfuerzo local excede la resistencia contra el punto de cadencia del material en la



unión del alma y el patín la viga puede fallar primariamente debido a la cadencia de la parte sobre fatigada.

La falla de las vigas de hormigón armada puede ser resuelto de (1) la así llamada falla del acero debido a los esfuerzos sobre el punto de cadencia resultante en grietas verticales sobre el lado en tensión e la viga, (2) la falla del hormigón en compresión en las fibras en compresión más alejadas, (3) la falla del hormigón por la tensión diagonal primariamente debido a los esfuerzos cortantes excesivos, que resultan en la formación de grietas que descienden diagonalmente hacia las reacciones tomándose frecuentemente horizontales justamente arriba del armado principal en las vigas de luz simple.

Generalmente estas fallas se producen bajo cargas, donde las grietas por flexión se manifiestan en principio en la zona de momento máximo, extendiéndose posteriormente a los apoyos.

Las grietas se presentan en gran cantidad, muy próximas unas de otras produciéndose un espaciamiento mayor, si la cuantía es menor, la resistencia de hormigón es baja, el diámetro de las armaduras es mayor y si la adherencia entre el hormigón y el acero es baja

La forma de la falla dependerá de las resistencias del hormigón y del acero. A todo hormigón, del cual se conoce la resistencia, le corresponde una cuantía determinada, donde la resistencia del acero y del hormigón se agota simultáneamente. Si existe una cuantía menor a la balanceada, la rotura se inicia por deformación plástica del acero (falla dúctil), si la cuantía es mayor a la balanceada, se generaran fallas por aplastamiento en el hormigón (falla frágil)

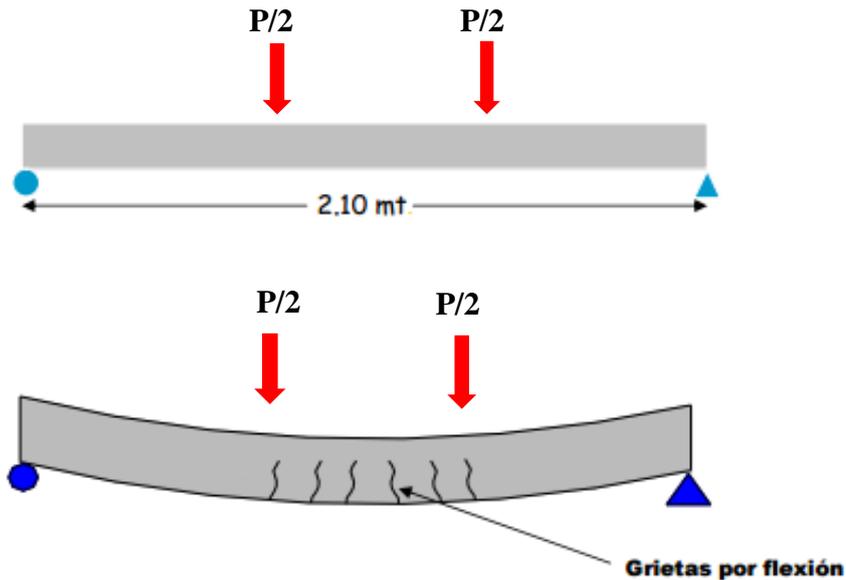


Fig.2.21.- Modos de falla de una viga sometida a flexión

2.9. FALLAS EN VIGAS SOMETIDAS A CORTE

Lo importante del refuerzo a cortante es que puede ser considerado más crítico aún que el refuerzo a flexión, dado que los fallos por cortante ocurren sin advertir de antemano (súbitamente) y es más catastrófica comparada con las fallas por flexión, las cuales son generalmente más progresivas y proporcionan un amplio periodo de tiempo que avisa antes de la falla. Las deficiencias en el cortante pueden ser debidas a un refuerzo insuficiente, el uso de códigos anticuados, una reducción en el área de acero, debido a la corrosión, o un aumento en la carga de servicio debido al cambio del tipo de servicio de la estructura (Landa).

El mecanismo de falla, más típico, debido a esfuerzos de corte se muestra en la figura 2.22, este mecanismo se denomina “Falla por Mecanismo de Arco” o “Falla por Compresión” según sea la zona donde ocurre el aplastamiento. En ambos casos se produce un predominio de las trayectorias de esfuerzos de compresión entre los apoyos y las cargas por sobre otras trayectorias o mecanismos menos eficientes.

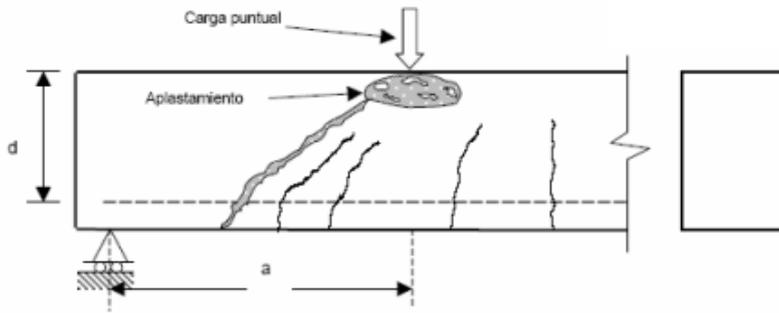


Figura 2.22. - Falla por Compresión

De las trayectorias de las grietas, se desprende que los esfuerzos por cortante se producen por esfuerzos de compresión y esfuerzos de tracción diagonal, como se ilustra en la siguiente figura (Landa)

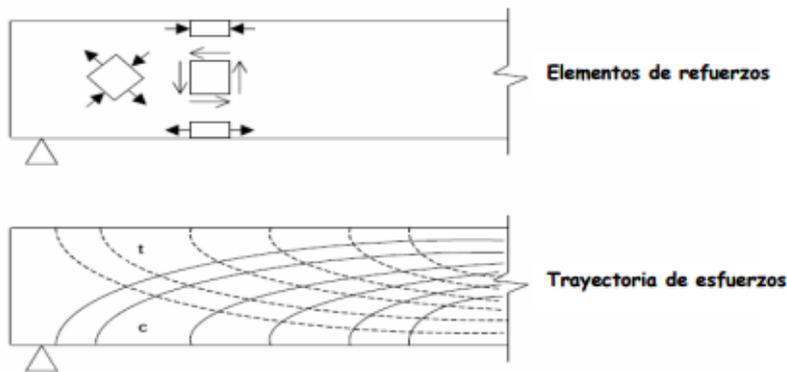


Figura 2.23.- Esfuerzos y refuerzo en viga

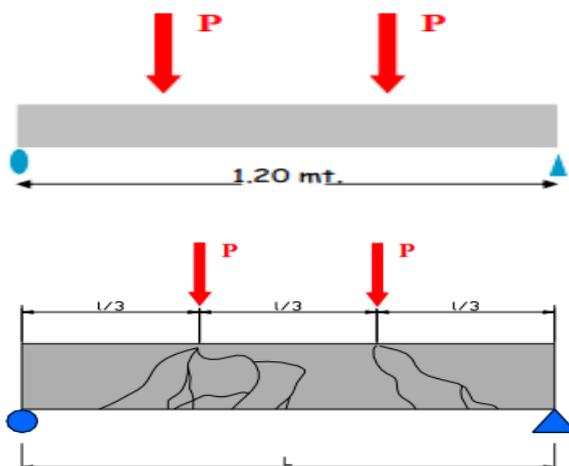


Fig.2.24.- Modos de falla por corte de una viga



2.10. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DEFINIDOS EN LOS CODIGOS DE DISEÑO:

Las curvas de descripción del hormigón armado sometido a compresión han sido objeto de estudios por parte de numerosos investigadores. Es frecuente representarlas por un tramo recto (rango de comportamiento elástico) añadido a un tramo aproximadamente parabólico (rango de comportamiento inelástico), o por tres tramos rectilíneos.

Lamentablemente el manejo automático de esas representaciones simplificadas del comportamiento del hormigón se vuelve algo enredado para fines prácticos

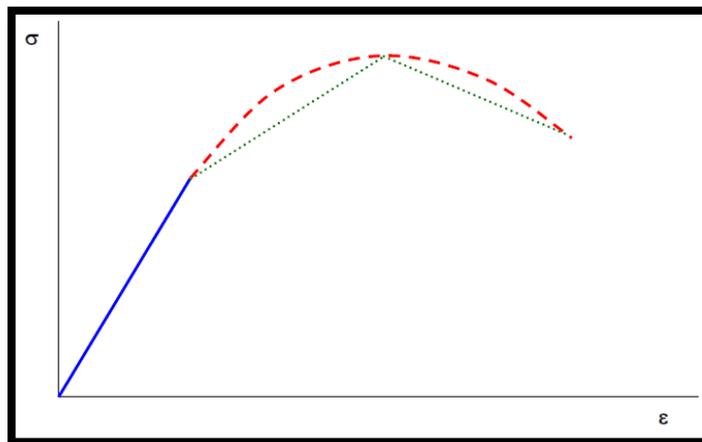


Figura 2.25 Diagrama esfuerzo – deformación del concreto armado

Si se tuviera una viga de hormigón armado de sección rectangular, sometida a flexión y se quisiera analizar el comportamiento de una sección transversal específica (por ejemplo la sección más solicitada de la viga), una parte de esa sección transversal estará sometida a esfuerzos y deformaciones de compresión de variable, mientras que otra parte de la viga estará sometida a solicitaciones de tracción. La resistencia del hormigón a tracción puede considerarse nula pues luego de su figuración esas tensiones desaparecen y son reemplazadas por tracciones en el acero de refuerzo.

Los códigos de diseño ACI y CEC establecen que cuando un elemento trabaja a flexión, el hormigón en la zona de compresión no debe sobrepasar de una

deformación máxima unitaria(ϵ) de 0.003, lo que representa una posición conservadora para hormigones de hasta 420 kg/cm² de resistencia característica(estos hormigones tienen deformaciones unitarias de rotura superiores a 0.003 según los ensayos de laboratorio) y una posición ajustada a los resultados experimentales para hormigones entre 420 kg/cm² y 560 kg/cm² de mayor resistencia (en estos hormigones la deformación máxima es del orden de 0.003). Esa deformación máxima podría estar en exceso para hormigones de mayor resistencia, por lo que la especificación de debe ser reformulada, mediante una base experimental y matemática, para estos hormigones.

Simultáneamente los códigos fijan en sus especificaciones que debe cumplirse que todo el hacer de tracción debe superar el esfuerzo de fluencia (ϵ_y), en proporciones que dependen de que la estructura se ubique en zonas sísmicas o zonas no sísmicas.

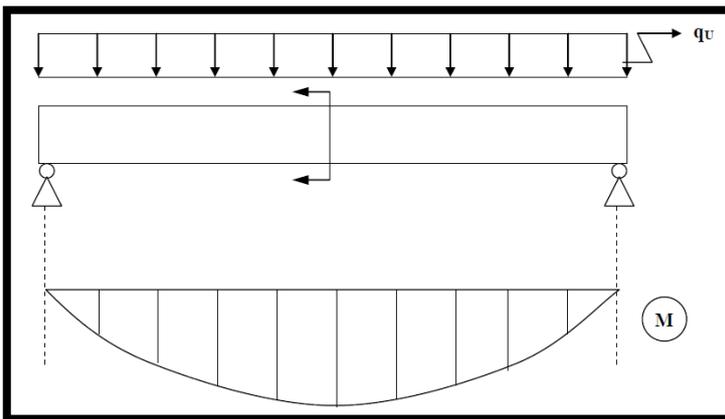
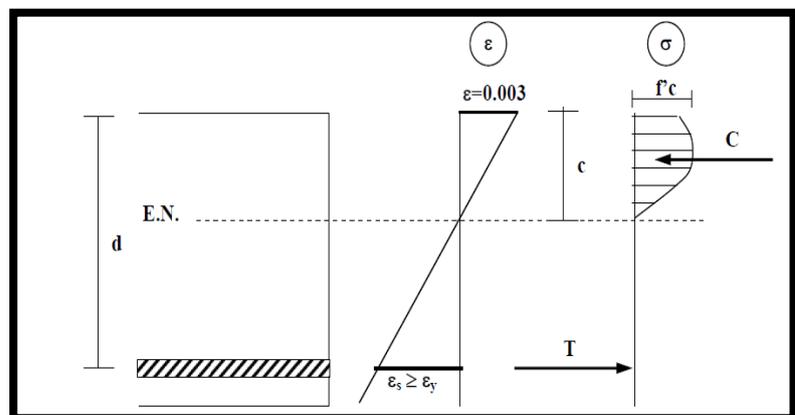


Figura 2.26.- Viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida y diagrama de momentos

Figura 2.27.- Diagrama de deformaciones unitarias y de esfuerzos bajo cargas ultimas



Debido a que las deformaciones unitarias(ϵ) son proporcionales a la distancia respecto al eje neutro (E.N), el diagrama de compresiones por flexión tiene la misma geometría que el diagrama esfuerzo-deformación del hormigón a compresión.

En la zona de tracción se supone que el hormigón se ha fisurado totalmente y que no colabora en la capacidad resistente, por lo que solamente el acero trabaja a tracción.

La fuerza de tracción (T), dado que el acero debe encontrarse en fluencia, se calcula rápidamente mediante la siguiente expresión:

$$T = A_s, F_y$$

Por equilibrio de fuerzas horizontales la magnitud de la fuerza de compresión debe ser igual a la magnitud de la fuerza de tracción.

$$C = T$$

Claramente se puede observar que si la viga tiene una armadura importante de tracción, el bloque de compresión será también grande y el eje neutro tenderá a descender.

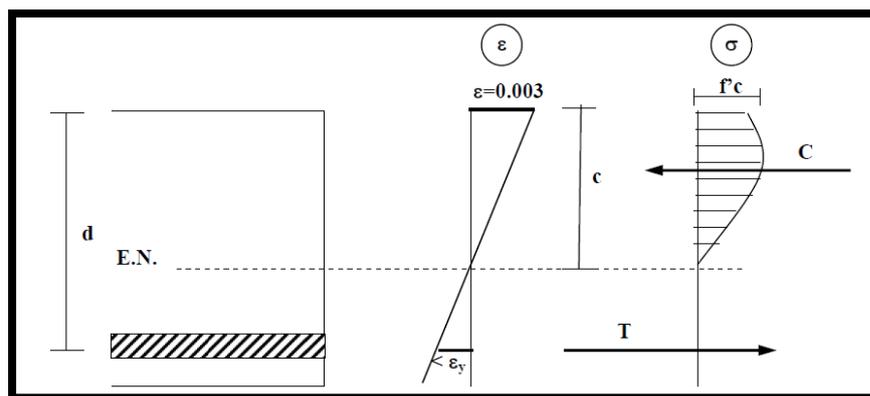


Figura 2.28.-Diagrama de deformaciones unitarias y de esfuerzos bajo cargas últimas en vigas con armadura de tracción importante

El descenso del eje neutro puede conducir en caso extremo a que la deformación unitaria en el hacer sea pequeña y el acero no alcance el esfuerzo



de fluencia, lo que lleva a un comportamiento frágil de la sección transversal, en contraposición con las especificaciones de los códigos de diseño.

Así mismo, si la cantidad de acero es pequeña, el bloque de compresión será pequeño y el eje neutro ascenderá.

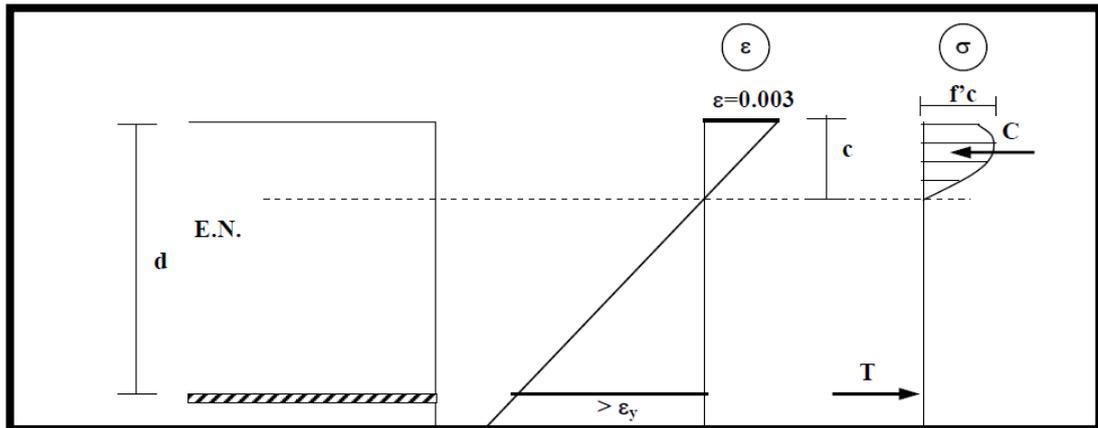


Figura 2.29.-Diagrama de deformaciones *unitarias* y de esfuerzos *bajo cargas últimas* en vigas con armadura de tracción *pequeña*

El ascenso del eje neutro proporcionará deformaciones unitarias importantes al acero, lo que asegura que el acero incurse ampliamente en la zona de fluencia conduciendo a un comportamiento dúctil de la sección analizada, conforme lo establecen en los códigos de diseño.

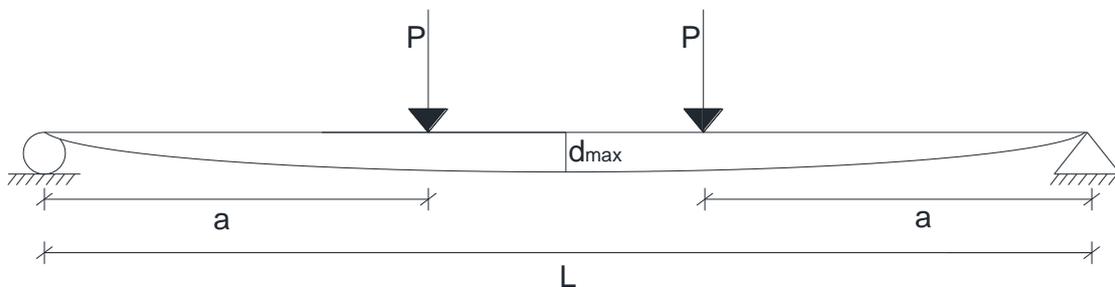
En definitiva, es la cantidad de acero de tracción la que controla el tipo de falla de las estructuras bajo solicitaciones flexionantes, Contrariamente a lo que se podría pensar, el exceso de armadura de tracción puede ser perjudicial para el comportamiento de una estructura de hormigón armado, al volverla más frágil



2.11. DEFLEXIÓN INSTANTÁNEA:

Las deflexiones instantáneas son deformaciones elásticas y por tanto las expresiones de Resistencia de Materiales para materiales elásticos pueden ser utilizadas. En la figura 2.30 se muestra un ejemplo de cómo se debe evaluar la deflexión en una viga prismática con dos cargas puntuales.

$$\delta = \frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{24EI}$$



El concreto es un material que se agrieta al ser sometido a un momento superior al momento crítico que es, como ya se definió, el que ocasiona los esfuerzos de tracción en la sección que exceden el módulo de ruptura del material. El momento flector que actúa sobre una sección influye en su fisuramiento y este, a su vez, en su momento de inercia. Por lo tanto, la inercia de una sección está directamente relacionada con el momento flector al que está sometida. Branson propuso una ecuación empírica basada en el análisis estadístico de gran número de ensayos para la determinación del momento de inercia efectivo de una sección. Este parámetro toma en consideración el agrietamiento que el elemento presenta. El código deriva a partir de la siguiente expresión:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right) I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$



Donde:

M_{cr} : Momento flector crítico.

M_a : Momento flector máximo al que está sometido la sección, bajo la condición para la cual se está evaluando la flecha.

I_g : Momento de inercia de la sección bruta de concreto, sin agrietar, respecto al centro de gravedad, despreciando la presencia del refuerzo.

I_{cr} : Momento de inercia de la sección rajada, respecto al eje neutro.

El momento de inercia I_{cr} , es el momento de inercia de la sección agrietada considerando la presencia de refuerzo. Para determinarlo se emplea el concepto de sección transformada, el cual es empleado para análisis elásticos y que es aplicable en este caso en el cual el concreto es analizado bajo condiciones de servicio.

El momento flector crítico se determina haciendo uso de la relación siguiente, que también es propuesta por el código:

$$M_{cr} = (F_r I_g) / y_t$$

Donde:

f_r : Tensión de ruptura del concreto determinada a través de $2\sqrt{f_c}$, fórmula del (ACI-Ec.(9-10)).

y_t : Distancia del eje neutro de la sección bruta de concreto, despreciando la presencia del refuerzo, a la fibra extrema en tracción.

El momento de inercia de la sección fisurada será:

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



CAPITULO III

MATERIALES Y EQUIPOS

3.1. MATERIALES

Los materiales usados fueron los necesarios para la realización de los ensayos de acuerdo a la normatividad.

3.1.1. Cemento

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el cemento Tipo MS que proviene de la Fabrica Cemento Pacasmayo SA.

Este Cemento se comercializa en la ciudad de Trujillo y cumple con las normas NTP 334.082 y ASTM C1157.

3.1.2. Gravilla

La gravilla que se utilizó para el desarrollo de la investigación, proviene de la Cantera “Cerro Campana” ubicada en la Calle Miguel Grau – Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad

3.1.3. Agregado Grueso

El agregado grueso que se utilizó para el desarrollo de la investigación, proviene de la Cantera “Cerro Campana” ubicada en la Calle Miguel Grau – Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad



3.1.4. Agua

En la mezcla se utilizó agua potable de suministro doméstico, siguiendo los parámetros de las tesis guías, debido a la presencia excesiva de burbujas en el agua esta debe reposar hasta que no se observen burbujas

3.1.5. Acero

Se utilizó 1 varilla de 3/8", las cuales provinieron de ACEROS AREQUIPA

3.2.6. Adhesivo

El adhesivo utilizado fue ColmaFix 32, el cual pertenece a la marca Sika.

- ColmaFix32

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epoxi, libre de solventes, para unir concreto fresco con endurecido.

▪ Usos

Como adhesivo para la unión de concreto o mortero fresco con: Concreto endurecido, mortero endurecido, piedra, acero, fierro, fibrocemento y madera.

▪ Ventajas

- Excelente adherencia aún en superficies húmedas.
- Elevadas resistencias mecánicas.
- Tiempo de acción Prolongado
- Libre de solventes.



▪ **Normas**

- Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C881-78 Tipo II, grado
- Certificado por el Instituto de Salud Pública como producto no tóxico

▪ **Datos del Producto**

Color Gris (mezcla A+B)

▪ **Almacenamiento**

- Dos años en envase original bien cerrado en lugar fresco y bajo techo, a temperaturas entre 5°C y 25°C.
- Acondicione el material a temperatura de 18°C - 30°C antes de usar.

▪ **Presentación**

Juego 5 kg. Caja 6 x 1 kg.

▪ **Datos Técnicos**

- Densidad: 1,4 kg/dm³
- Pot - life de 1 Kg. a 25° C : 60 minutos
- Adherencia al concreto : 2,5 - 3 N/mm²
(ruptura del concreto).
- Adherencia al acero : 18 - 20 N/mm²
- Proporción de la mezcla :
- En peso : A : B = 2 : 1
- En volumen : A : B = 2 : 1
- Resistencias mecánicas:
- Compresión : 60 - 70 N/mm²
- Flexión : 30 - 35 N/mm²
- Tracción : 18 - 20 N/mm²



▪ **Aplicación**

- **Consumo:** El consumo aproximado es de 0,3 a 0,5 kg/m² , dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.

- **Preparación de las superficies**

Concreto: Al momento de aplicar **Colma Fix 32**, el concreto debe encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas. La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, empleándose para ello chorro de agua y arena, escobilla de acero, puntos, etc.

Metales: Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pinturas, etc. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físico-químicos.

- **Instrucciones de mezclado**

Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica (max. 600 rpm) durante 5-7 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. En el caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se puede subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.

- **Método de Aplicación:** La temperatura de la superficie para aplicar Colma Fix 32 debe estar comprendida entre



10-30 °C. La colocación se puede realizar con brocha, rodillo o pulverizador adecuado al producto. El concreto o mortero fresco debe ser aplicado una vez transcurrida 1 hr de aplicado Colma Fix 32 y antes de transcurridas 7 hrs, a 20°C; con temperaturas mayores este tiempo se acorta y con temperaturas menores se alarga. En todo caso, el producto debe estar fresco al tacto al vaciar el concreto.

Las herramientas y los instrumentos deben ser limpiados inmediatamente después del empleo con diluyente a la piroxilina.

- **Base de Valores**

Todos los datos técnicos del producto indicados en esta hoja de datos se basan en pruebas de laboratorio.

Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

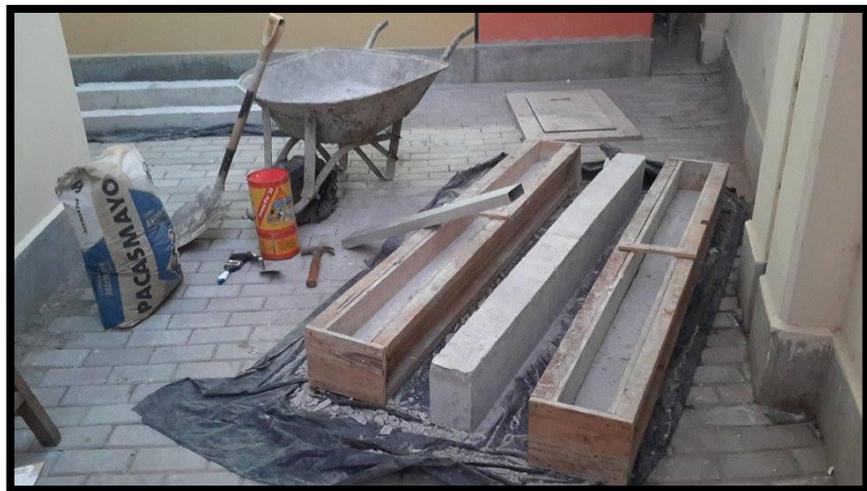


Figura 3.1. - Materiales utilizados para ensayo



3.2. EQUIPOS

3.2.1. Deformímetros,

Se hizo uso de 3 deformímetros, suministrados por la universidad. Estos nos indicarán la deflexión de cada viga.



Figura 3.2. - Deformímetro

3.2.2. Máquina universal de carga

Con capacidad de presión máxima de presión de 5800 psi, para ensayo a flexión de las vigas.

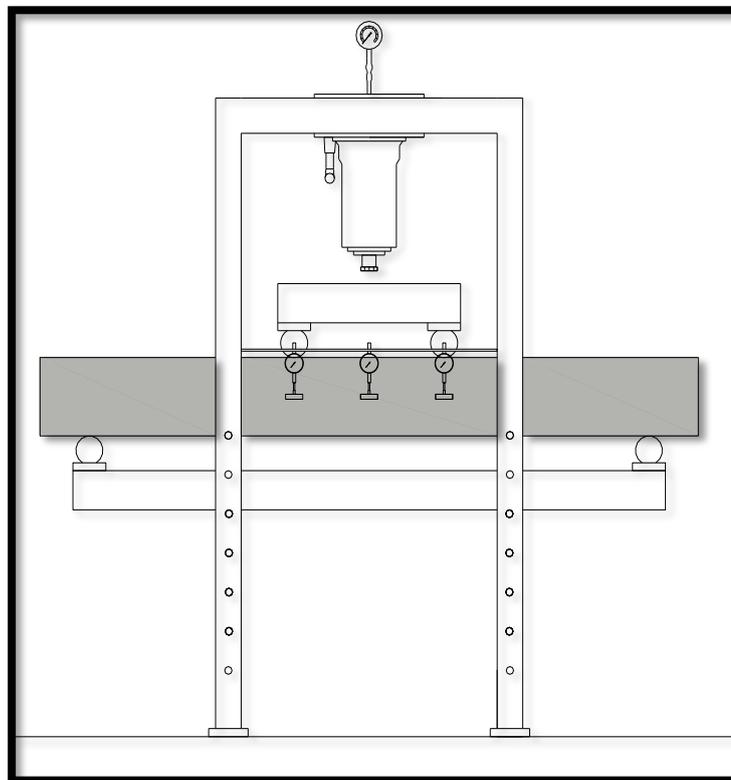


Figura 3.3. - Máquina universal de carga



CAPITULO IV

DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ENSAYO DE LABORATORIO

4.1. INTRODUCCION.

En este capítulo describiremos de forma detallada, el procedimiento experimental que se utilizó en la presente investigación. Para lo cual se sugiere acompañar la siguiente lectura con el álbum de fotos localizado en anexos.

4.2. GEOMETRIA DE LAS VIGAS DE ENSAYO.

Para definir las dimensiones de las probetas de ensayos es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las vigas de prueba de cada serie tienen que ser vaciadas a la vez, para que todas cuenten con la misma dosificación.
- Las dimensiones de las probetas serán limitadas teniendo en cuenta su peso, ya que cada una de ellas deben ser transportadas y manipuladas durante la fase de ensayos.,
- La manipulación en forma eficiente de la probeta durante la instrumentación y en ensayo.
- Finalmente, el tamaño de las superficies falladas (fisuradas y/o agrietadas) deben ser representativas de elementos reales



4.3. CARACTERISTICAS DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.

Para el ensayo se elaboraron tres vigas de sección rectangular de 0.125 cm. de ancho por 0.20 cm. de alto y 1.80 de longitud, reforzadas con acero de 3/8" grado 60, con una resistencia de 4200 kg/cm². Conjuntamente se elaborará dos testigos cilíndrico, con el fin de obtener la resistencia del concreto (f'_c), según norma ASTM C- 39, estas fueron ensayadas a los 28 días. Se diseñó un recubrimiento mínimo de concreto sobre el acero de 3 cm.

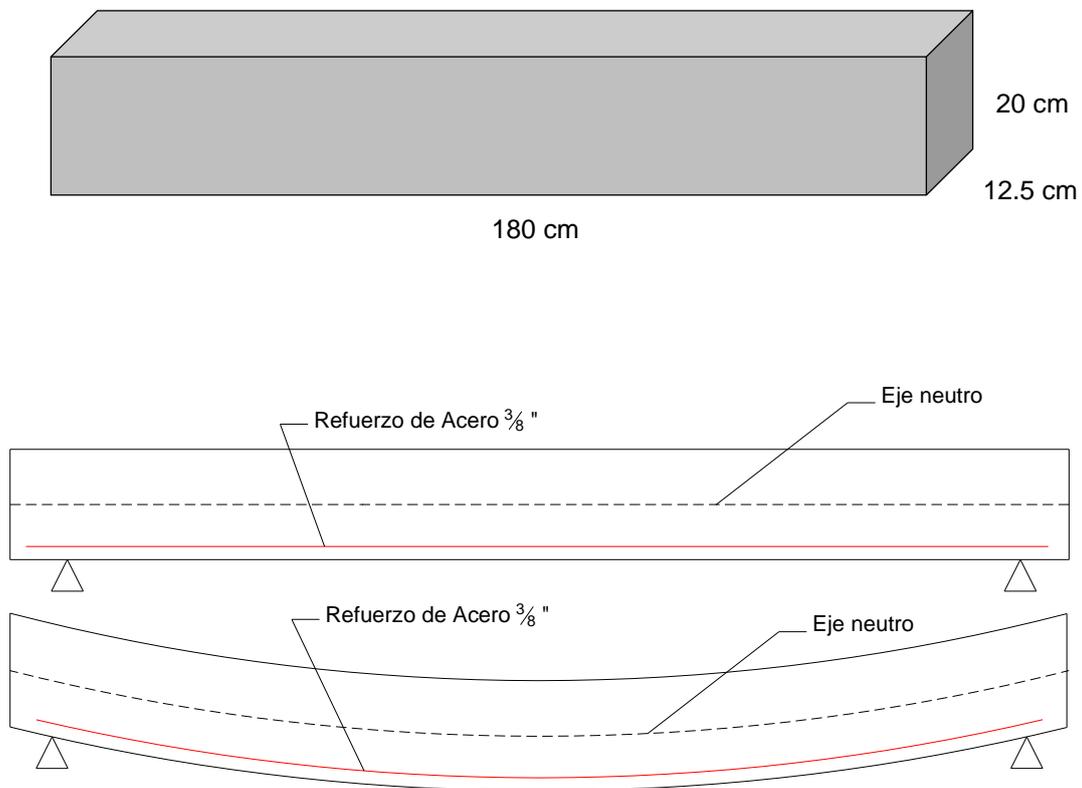


Fig.4.1: Viga de concreto armado

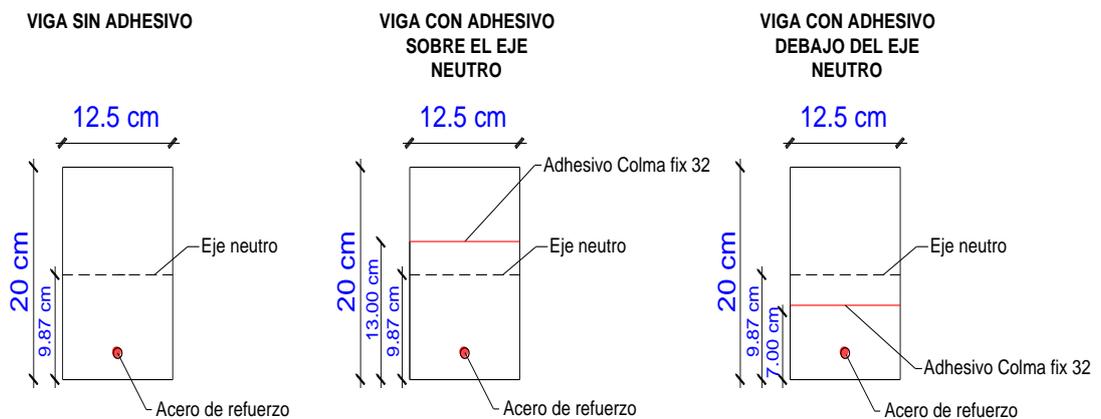


Fig.4.2: Vigas de concreto armado – Sección transversal

Las vigas de concreto armado, fueron elaboradas en el patio del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego. Por lo cual una vez que el concreto de las vigas adquiriera la resistencia adecuada (mayor a los 28 días), se procedió a trasladarlas desde su posición original hasta el laboratorio para realizar el posterior ensayo.

4.4. DOSIFICACION DE MEZCLA.

Los materiales que se utilizan deben ser controlados en su dosificación y preparación, ya que la resistencia varía bastante por pequeño que sea el cambio de proporciones de los materiales.

La dosificación base, para un metro cúbico de hormigón, que se siguió en la elaboración de ambos tipos de viga fue la siguiente:



Tabla 4.1: Cantidades por m3

Material	Parcial	Desperdicio	Total
Cemento (bolsas)	8.24	0.41	8.65
Arena (m3)	0.56	0.03	0.58
Grava - 3/4" (m3)	0.84	0.04	0.88
Agua (m3)	0.09	-	0.09

Dosificación de mezcla	
Cemento (kg)	350
Arena (m3)	0.555
Grava (m3)	0.835
Porcentaje de agua	9%
Porcentaje de desperdicios	5%

4.5. ELABORACION DE LAS VIGAS DE ENSAYO.

- ✓ A partir de las dimensiones establecidas para las vigas a ensayar (0,125x0.20x1.80), se diseñaron y fabricaron 3 encofrados.



Figura 4.3. - Modelo de encofrado

- ✓ Se colocó la varilla de acero de refuerzo en el interior del encofrado de cada una de las vigas, colocando dados de concreto para asegurar el recubrimiento de 2.5 cm



La elaboración de las vigas se realizó en dos etapas:

- En la primera etapa se elaboraron 3 vigas, una de ellas monolítica (con concreto de una misma edad), y dos de ellas



Figura 4.4. - Primera etapa del vaciado

- En la segunda etapa se colocó el adhesivo epóxico. Para aplicar el adhesivo es necesario limpiar la superficie del elemento de concreto, retirando el polvo y contaminantes que pudiesen reducir la adherencia entre el concreto antiguo y nuevo. Una vez realizada esta operación se procede a aplicar el adhesivo sobre la superficie del elemento de concreto usando una brocha y una espátula, como se ve en las fotografías. Primero se debe mezclar los componentes por separado en cada envase. Luego, se adiciona el componente B al componente A con una espátula, mezclando a baja velocidad aproximadamente 10 minutos. Posteriormente se procedió al vaciado del peralte restante.



Figura 4.5. Aplicación de adhesivo epoxico



Figura 4.6. - Segunda etapa de vaciado

- ✓ Se realizó el compactado del concreto con ayuda de una varilla de acero.



Figura 4.7. - Chuceo del concreto



- ✓ Se desencofraron las vigas a las 20 horas y se sometieron a curado. Este proceso de curado consistió en esperar a que el concreto recién colocado, adquiriera una tonalidad mate (aproximadamente dos horas después de realizado el vaciado), para de este modo empezar a humedecer completamente la superficie de las vigas. El proceso de curado se realizó por 28 días, los primeros 7 días se curó 3 veces al día, haciendo uso de un recipiente. El riguroso control en el curado, permitió garantizar que los tres vaciados realizados, tuvieran el mismo proceso de curado.



Figura 4.8.-Desencofrado de vigas

4.6. ENSAYO DE LABORATORIO:

El ensayo consiste en someter a flexión una viga rectangular de concreto reforzado, cargando la viga con dos cargas puntuales en los tercios de la luz, desde los extremos, de forma que el tramo central de la misma quede sometido a flexión pura, logrando así la sollicitación buscada.

1. Se habilitaron los materiales necesarios para la realización del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas.



Figura 4.9.- Traslado de vigas hacia el laboratorio



Figura 4.10.- Ubicación de vigas en el laboratorio

2. Se adaptó la maquina universal, colocando un bloque de aplicación de carga, con el fin de distribuir la fuerza que aplica sobre él, el gato empleado en el ensayo. Además se colocaron 3 deformímetros de ± 0.01 mm de precisión sostenidas por un ángulo de 1", en los tres puntos del tercio central de la viga.



Figura 4.11.- Colocación de bloque aplicador de carga

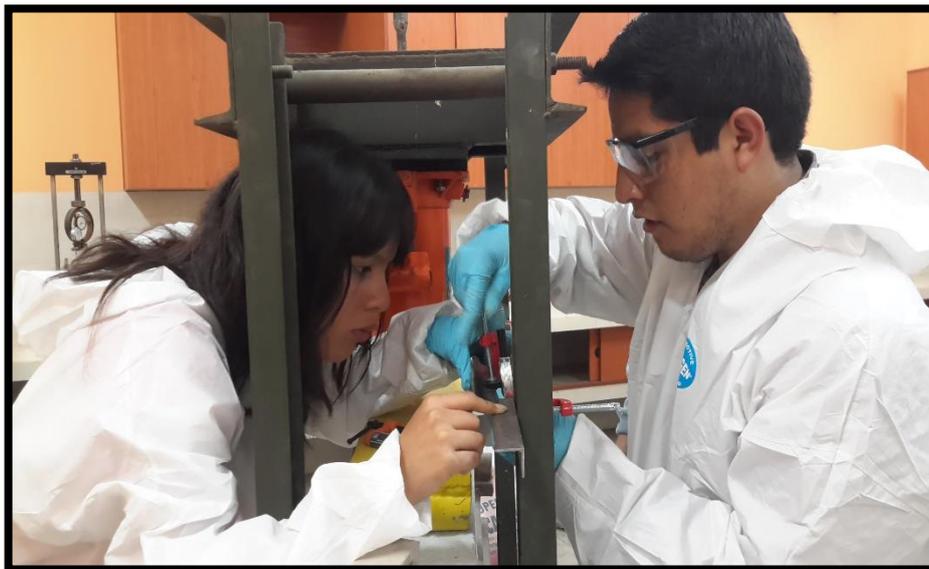


Figura 4.12. - Colocación de deformímetros

3. Se colocaron tacos de madera de 1 ½" en cada punto donde se colocaron los deformímetros, con el fin de poder medir las deformaciones de la viga en tres puntos (extremos y medio) del tercio central de la luz de la viga.



Figura 4.13.- Fijación de tacos de madera en cada viga

4. Se colocaron las vigas de concreto armado en la máquina ya adaptada para nuestro ensayo. Las vigas se apoyaron sobre una estructura metálica, con cilindros que se comportaron como apoyos simples.



Figura 4.14.- Posicionamiento de viga para ensayo



Figura 4.15.- Alineamiento de viga a ensayar

5. Se procedió a nivelar el ángulo que sostenía los deformímetros con el fin de verificar que se encuentre recta y poder así medir las deformaciones en los 3 puntos

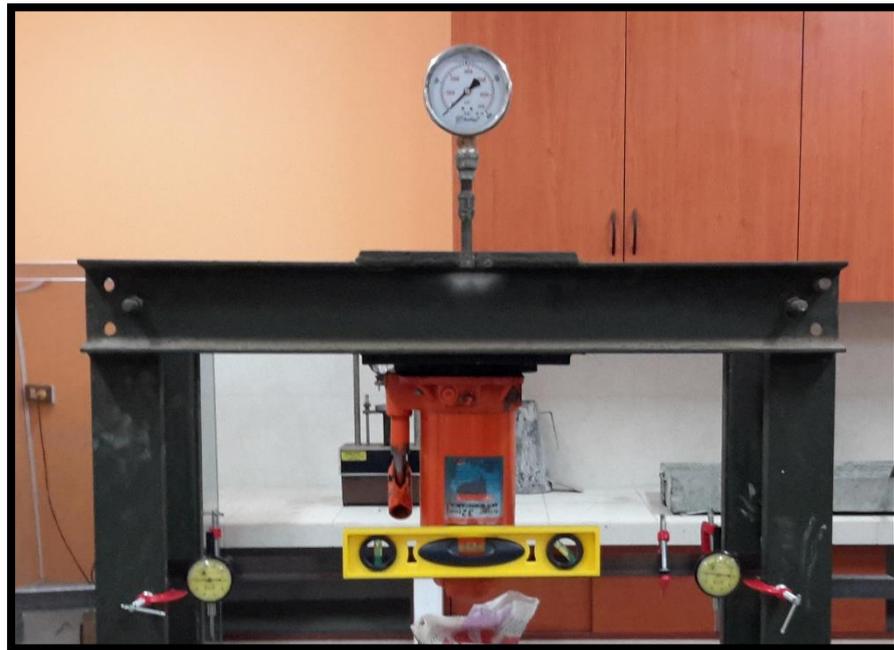


Figura 4.16. - Nivelación de ángulo

6. Se aplicó la carga progresivamente con la ayuda del gato hidráulico, para de esta manera determinar la carga máxima que soportó, el tipo de falla y registrar las deflexiones en cada viga.



✓ VIGA 1 (SIN ADHESIVO - MONOLITICA):



Figura 4.17.- Inicio de prueba-viga monolítica



Figura 4.18.- Fin de prueba - viga monolítica

✓ VIGA 2 (CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO):



Figura 4.19.- Inicio de prueba – Adhesivo bajo eje neutro



Figura 4.20.- Fin de prueba – Adhesivo bajo eje neutro



✓ VIGA 3 (CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO):



Figura 4.21. Inicio de prueba – Adhesivo sobre eje neutro



Figura 4.22.- Fin de prueba – Adhesivo sobre eje neutro



CAPITULO V

RESULTADOS

5.1. INTRODUCCION:

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las 3 vigas, describiendo asimismo su desarrollo y las observaciones pertinentes a cada trabajo experimental.

La información de los resultados experimentales se presenta en tablas y gráficos para describir y comentar el comportamiento de cada viga ensayada, analizando básicamente, la carga máxima o de rotura, como también la deflexión máxima alcanzada por ellas al momento del colapso final.

5.2. PRUEBAS DE CARGA:

Luego de haber aplicado la carga progresivamente con la ayuda del gato hidráulico, hasta la rotura del elemento; se procedió a registrar los datos en tablas, identificando la carga máxima que soportó cada una de las vigas.

A continuación se detalla las presiones y cargas registradas, en kgf.



VIGA SIN ADHESIVO			VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO			VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO		
PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total (kg)	PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total (kg)	PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total (kg)
0	0	0.000	0	0	0.000	0	0	0.000
100	7.031	178.755	100	7.031	178.755	100	7.031	178.755
200	14.062	357.510	200	14.062	357.510	200	14.062	357.510
300	21.093	536.264	300	21.093	536.264	300	21.093	536.264
400	28.124	715.019	400	28.124	715.019	400	28.124	715.019
500	35.155	893.774	500	35.155	893.774	500	35.155	893.774
600	42.186	1072.529	600	42.186	1072.529	600	42.186	1072.529
700	49.217	1251.283	700	49.217	1251.283	700	49.217	1251.283
800	56.248	1430.038	800	56.248	1430.038	800	56.248	1430.038
900	63.279	1608.793	900	63.279	1608.793	900	63.279	1608.793
1000	70.31	1787.548	1000	70.31	1787.548	1000	70.31	1787.548
1100	77.341	1966.302	1100	77.341	1966.302	1100	77.341	1966.302
1200	84.372	2145.057	1200	84.372	2145.057	1200	84.372	2145.057
1300	91.403	2323.812	1300	91.403	2323.812	1300	91.403	2323.812
1400	98.434	2502.567	1400	98.434	2502.567	1400	98.434	2502.567
1500	105.465	2681.322	1500	105.465	2681.322	1500	105.465	2681.322
1600	112.496	2860.076	1600	112.496	2860.076	1600	112.496	2860.076
1700	119.527	3038.831	1700	119.527	3038.831	1700	119.527	3038.831
1800	126.558	3217.586	1800	126.558	3217.586	1800	126.558	3217.586
1900	133.589	3396.341	1900	133.589	3396.341	1900	133.589	3396.341
2000	140.62	3575.095	1950	137.1045	3485.718	2000	140.62	3575.095
						2100	147.651	3753.850
						2200	154.682	3932.605

Tabla 5.1. Resultados obtenidos en las pruebas de carga

5.3. MAPA DE FISURAS Y GRIETAS.

En las figuras se pueden observar fotografías que muestran a las vigas de concreto armado con las grietas que se originaron debido a las cargas aplicadas.

Las figuras subsiguientes corresponden a una gráfica a escala de las anteriores fotografías, en las cuales se observa el patrón de fisuras, acompañadas de la presión (psi) a la que se produjo. Dichas presiones corresponden a las presiones producidas por la maquina universal adaptada, en el instante en que se visualiza la aparición de fisuras

Se produjeron 3 tipos de fallas:



- **VIGA CON ADHESIVO SOBRE EJE NEUTRO:** La viga con adhesivo sobre el eje neutro presentó falla balanceada, el concreto falló simultáneamente cuando el acero alcanza la fluencia.

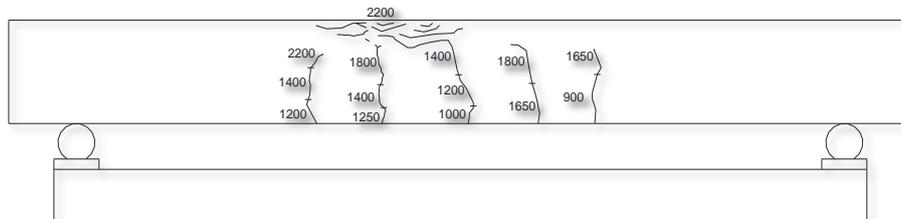
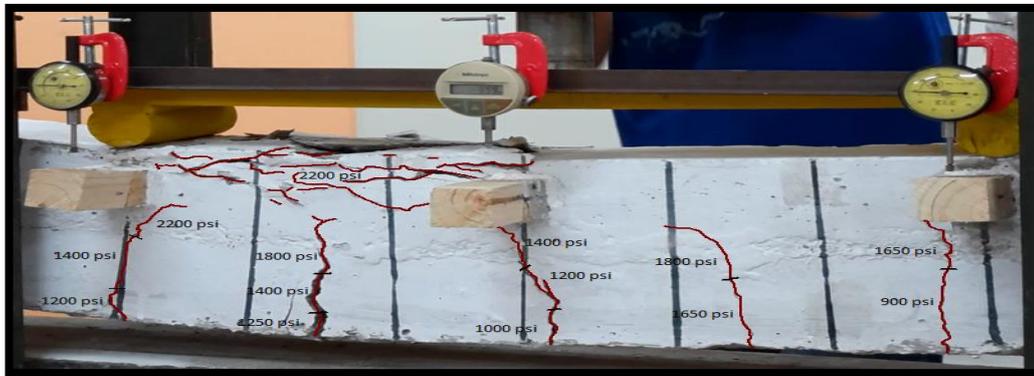


Figura 5.3.- Falla por tracción

5.4. DEFLEXIONES:

Se procedió a registrar las deflexiones obtenidas por los deformímetros tanto en los extremos como en el centro del tercio de la luz de cada tipo de viga, según la carga aplicada.

Además se halló la deflexión neta o variación de deflexión, la cual se obtuvo como diferencia entre la lectura de la deflexión en el punto central de la viga y el promedio de las deflexiones verticales registradas en los extremos



- VIGA MONOLITICA

Carga Total (kg)	Deflexiones Izquierda - Derecha (mm)		Deflexion Promedio(mm)	Deflexion Central(mm)	Variacion de Deflexion(mm)
	δI	δD	δP	δC	$\Delta \delta$
0.000	0	0	0	0	0
178.755	0.08	0.09	0.085	0.12	0.035
357.510	0.29	0.34	0.315	0.37	0.055
536.264	0.51	0.6	0.555	0.62	0.065
715.019	0.77	0.88	0.825	0.92	0.095
893.774	0.95	1.02	0.985	1.09	0.105
1072.529	1.38	1.45	1.415	1.55	0.135
1251.283	1.68	1.72	1.7	1.87	0.17
1430.038	2.3	2.45	2.375	2.63	0.255
1608.793	2.54	2.69	2.615	2.99	0.375
1787.548	2.8	2.7	2.75	3.22	0.47
1966.302	3.3	3.61	3.455	3.99	0.535
2145.057	3.7	3.8	3.75	4.32	0.57
2323.812	4.35	4.7	4.525	5.15	0.625
2502.567	4.7	5	4.85	5.6	0.75
2681.322	5.13	5.4	5.265	6.1	0.835
2860.076	5.9	6.1	6	7.3	1.3
3038.831	8.15	9.2	8.675	10.29	1.615
3217.586	9.15	10.15	9.65	11.39	1.74
3396.341	10.8	12.6	11.7	13.8	2.1
3575.095	12.3	15.2	13.75	17.88	4.13

Tabla 5.2.- Deformaciones de viga monolítica

- VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO

Carga Total (kg)	Deflexiones Izquierda - Derecha (mm)		Deflexion Promedio(mm)	Deflexion Central(mm)	Variacion de Deflexion(mm)
	δI	δD	δP	δC	$\Delta \delta$
0.000	0	0	0	0	0
178.755	0.2	0.21	0.205	0.23	0.025
357.510	0.38	0.34	0.36	0.39	0.03
536.264	0.78	0.73	0.755	0.79	0.035
715.019	0.91	0.9	0.905	0.95	0.045
893.774	1.06	1.05	1.055	1.13	0.075
1072.529	1.29	1.31	1.3	1.45	0.15
1251.283	1.64	1.7	1.67	1.9	0.23
1430.038	2.04	2.05	2.045	2.3	0.255
1608.793	2.23	2.24	2.235	2.5	0.265
1787.548	2.83	2.95	2.89	3.2	0.31
1966.302	3.24	3.26	3.25	3.6	0.35
2145.057	3.75	3.9	3.825	4.29	0.465
2323.812	4.45	4.5	4.475	4.97	0.495
2502.567	5.2	5.22	5.21	5.72	0.51
2681.322	5.78	5.73	5.755	6.32	0.565
2860.076	6.1	6.2	6.15	6.75	0.6
3038.831	6.65	6.92	6.785	7.51	0.725
3217.586	7.3	7.2	7.25	8.05	0.800
3396.341	10.6	10.2	10.4	11.69	1.29
3485.718	13.99	12.9	13.445	14.79	1.345

Tabla 5.3.- Deformaciones de viga con adhesivo bajo eje neutro



- VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO:

Carga Total (kg)	Deflexiones Izquierda - Derecha (mm)		Deflexion Promedio(mm)	Deflexion Central(mm)	Variacion de Deflexion(mm)
	δI	δD			
0.000	0	0	0	0	0
178.755	0.07	0.08	0.075	0.11	0.035
357.510	0.16	0.18	0.17	0.23	0.06
536.264	0.27	0.29	0.28	0.37	0.09
715.019	0.4	0.47	0.435	0.54	0.105
893.774	0.5	0.54	0.52	0.65	0.13
1072.529	0.7	0.85	0.775	0.92	0.145
1251.283	1.05	1.22	1.135	1.32	0.185
1430.038	1.8	1.9	1.85	2.15	0.3
1608.793	2	2.2	2.1	2.54	0.44
1787.548	2.4	2.6	2.5	3.01	0.51
1966.302	3.13	3.2	3.165	3.74	0.575
2145.057	3.4	3.6	3.5	4.11	0.61
2323.812	4.2	4.4	4.3	5.24	0.94
2502.567	4.7	4.9	4.8	5.75	0.95
2681.322	5.3	5.48	5.39	6.58	1.19
2860.076	6.7	6.54	6.62	8.15	1.53
3038.831	8.4	7.95	8.175	9.99	1.815
3217.586	11.1	10.5	10.8	12.77	1.97
3396.341	12.5	11.8	12.15	14.24	2.09
3575.095	13.7	13.6	13.65	17.6	3.95
3753.850	16.5	16.2	16.35	21.61	5.26
3932.605	20.2	19.3	19.65	25.1	5.45

Tabla 5.4.- Deformaciones de viga con adhesivo sobre eje neutro



CAPITULO VI

DISCUSIÓN Y COMPARACION DE RESULTADOS

6.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo se realizaron las comparaciones necesarias de los resultados procesados obtenidos en el ensayo, con el fin de analizar el comportamiento estructural de los tres tipos de viga y la influencia que el adhesivo logra tener sobre estos.

Las gráficas obtenidas son:

- Carga – Deflexión
- Esfuerzo de compresión y tracción a nivel del Adhesivo – Deformación
- Momento – Desplazamiento
- Momento Curvatura

Finalmente se compararon las deflexiones máximas obtenidas en el laboratorio con las deflexiones instantáneas calculadas.

6.2. CARGA VS DEFLEXION:

▪ VIGA MONOLITICA

PRESION(PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total(kg)	Deflexion (mm)
0	0	0.000	0.00
100	7.031	178.755	0.12
200	14.062	357.510	0.37
300	21.093	536.264	0.62
400	28.124	715.019	0.92
500	35.155	893.774	1.09
600	42.186	1072.529	1.55
700	49.217	1251.283	1.87
800	56.248	1430.038	2.63
900	63.279	1608.793	2.99
1000	70.31	1787.548	3.22
1100	77.341	1966.302	3.99
1200	84.372	2145.057	4.32
1300	91.403	2323.812	5.15
1400	98.434	2502.567	5.60
1500	105.465	2681.322	6.10
1600	112.496	2860.076	7.30
1700	119.527	3038.831	10.29
1800	126.558	3217.586	11.39
1900	133.589	3396.341	13.80
2000	140.62	3575.095	17.88

Tabla 6.1.- Carga – deflexión (viga monolítica)



▪ **VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO**

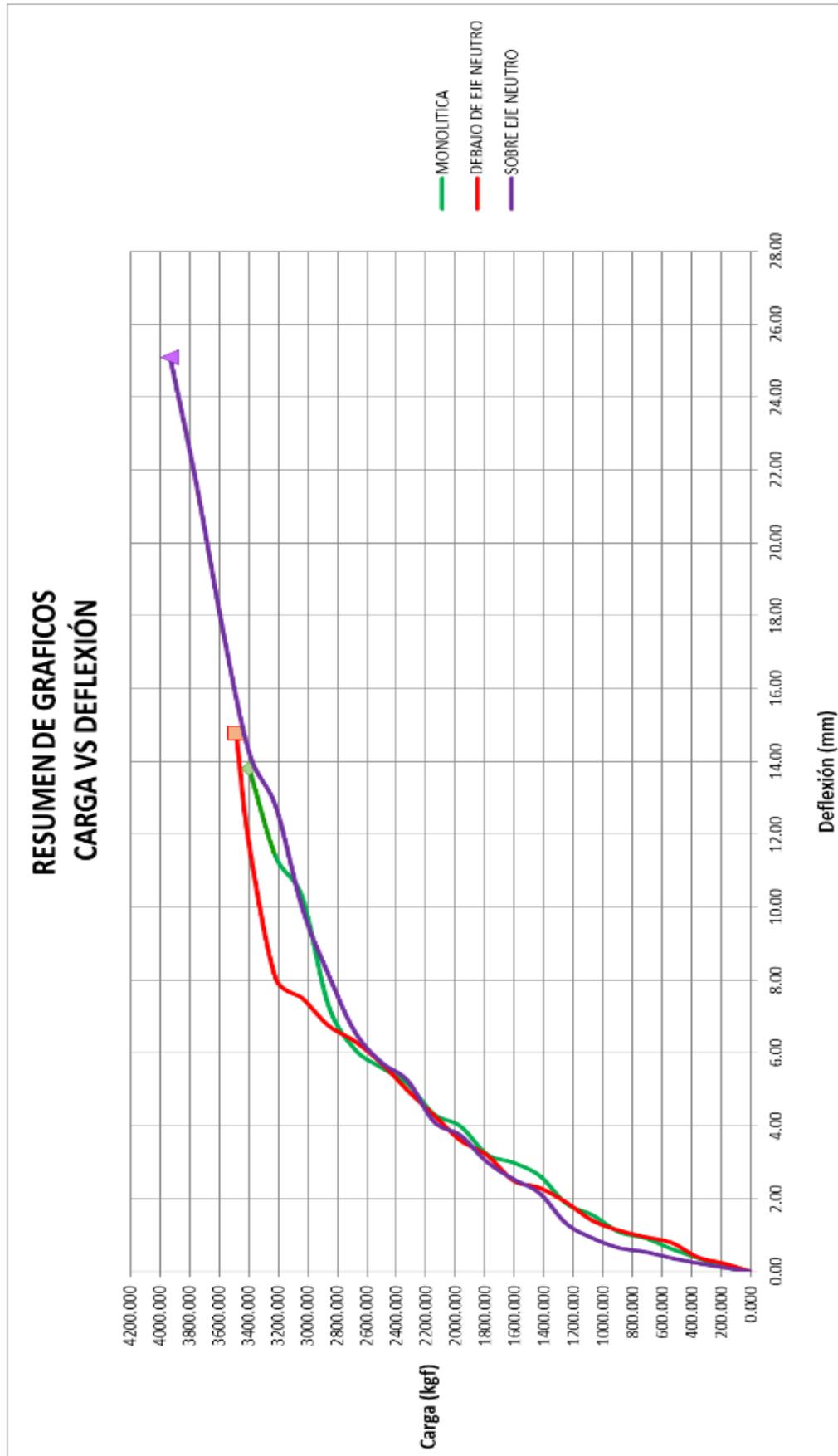
PRESION(Psi)	PRESION(Kg/cm2)	Carga Total(kg)	Deflexion (mm)
0	0	0.000	0.000
100	7.031	178.755	0.230
200	14.062	357.510	0.390
300	21.093	536.264	0.790
400	28.124	715.019	0.950
500	35.155	893.774	1.130
600	42.186	1072.529	1.450
700	49.217	1251.283	1.900
800	56.248	1430.038	2.300
900	63.279	1608.793	2.500
1000	70.31	1787.548	3.200
1100	77.341	1966.302	3.600
1200	84.372	2145.057	4.290
1300	91.403	2323.812	4.970
1400	98.434	2502.567	5.720
1500	105.465	2681.322	6.320
1600	112.496	2860.076	6.750
1700	119.527	3038.831	7.510
1800	126.558	3217.586	8.050
1900	133.589	3396.341	11.690
1950	137.1045	3485.718	14.790

Tabla 6.2.- Carga – deflexión (viga con adhesivo bajo eje neutro)

▪ **VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO**

PRESION(Psi)	PRESION(Kg/cm2)	Carga Total(kg)	Deflexion (mm)
0	0	0.000	0
100	7.031	178.755	0.11
200	14.062	357.510	0.23
300	21.093	536.264	0.37
400	28.124	715.019	0.54
500	35.155	893.774	0.65
600	42.186	1072.529	0.92
700	49.217	1251.283	1.32
800	56.248	1430.038	2.15
900	63.279	1608.793	2.54
1000	70.31	1787.548	3.01
1100	77.341	1966.302	3.74
1200	84.372	2145.057	4.11
1300	91.403	2323.812	5.24
1400	98.434	2502.567	5.75
1500	105.465	2681.322	6.58
1600	112.496	2860.076	8.15
1700	119.527	3038.831	9.99
1800	126.558	3217.586	12.77
1900	133.589	3396.341	14.24
2000	140.62	3575.095	17.6
2100	147.651	3753.850	21.61
2200	154.682	3932.605	25.1

Tabla 6.3.- Carga – deflexión (viga con adhesivo sobre eje neutro)





A. CASO VIGA MONOLITICA (SIN ADHESIVO)

- Carga de rotura de la viga: 3575.095 kg
- Máxima deflexión registrada (Deflexión del punto central al momento de la rotura): 17.88 mm.

B. CASO VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO

- Carga de rotura de la viga: 3485.718 kg
- Máxima deflexión registrada (Deflexión del punto central al momento de la rotura): 14.79 mm.

C. CASO VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO

- Carga de rotura de la viga: 3392.605 kg
- Máxima deflexión registrada (Deflexión del punto central al momento de la rotura): 25.1 mm.

D. COMPARACION DE RESISTENCIAS OBTENIDAS:

- Disminución de 2.5% de la resistencia con la aplicación de adhesivo bajo eje neutro.
- Aumento de 9.09% de la resistencia con la aplicación de adhesivo sobre eje neutro.

6.3. ESFUERZO AL NIVEL DEL ADHESIVO VS DESPLAZAMIENTO

Los esfuerzos de tracción y compresión que se ejerce a la altura del adhesivo en cada una de las vigas, son variables por dos motivos principales: el momento aplicado (M) y la ubicación del eje neutro (c)

Es por esta razón que se establecerá un intervalo para determinar la variación del eje neutro en función de la carga aplicada.

Considerando que $c \approx a$:

$$c = \frac{As \cdot fs}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$



Y el esfuerzo en el acero está determinado por la siguiente expresión:

$$f_s = \frac{M}{A_s(d - \frac{c}{2})}$$

Donde:

A_s = Área de acero (cm²)

f_s = Esfuerzo en el acero (kg/cm²)

f'_c = Resistencia del concreto a compresión (kg/cm²)

b = Ancho de la sección transversal de la viga (cm)

M = Momento resistente de la viga

d = distancia desde centroide del acero hasta límite de la zona en compresión

c = distancia desde el eje neutro hasta límite de la zona en compresión

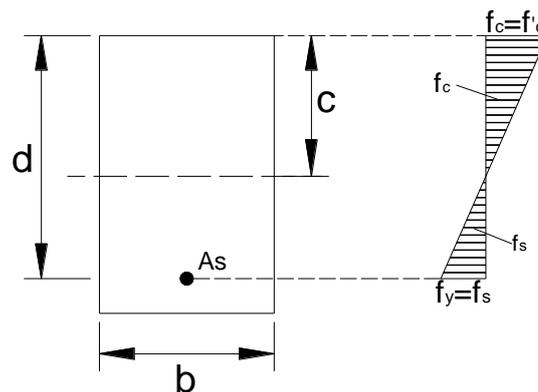


Figura 6.1.- Ubicación de eje neutro

DATOS	
b (cm) =	12.5
h (cm) =	20
I nercia (cm ⁴) =	8333.333333
I_{st} (cm ⁴) =	4378.17
A_s (cm ²) =	0.71
f_c (kg/cm ²) =	160
b (cm) =	12.5
d (cm) =	16.57
$\epsilon_{unitaria\ maxima}$ =	0.00144



Con las fórmulas dadas anteriormente, daremos valores a “c” proporcionalmente, empezando desde 10.13 cm, que es la distancia del eje neutro hacia la zona en compresión; para de esta manera poder hallar los esfuerzos a nivel del adhesivo en las 3 vigas.

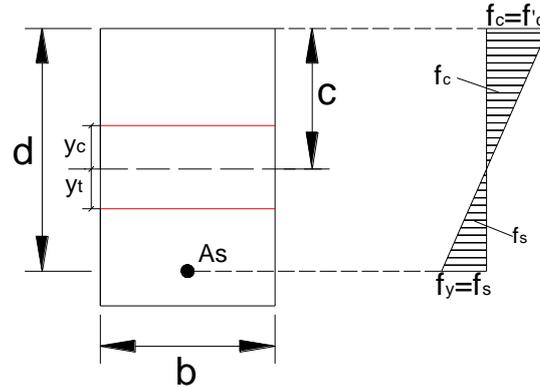


Figura 6.2.- Distancia del adhesivo al eje neutro

A. VIGA SIN ADHESIVO (MONOLITICA)

M max (kg.cm)	C	fs	f'c
0.000	10.13	0	0
4156.048	9.57	496.698287	3.11
8312.097	9.07	972.7609991	11.36
12468.145	8.57	1429.44794	19.61
16624.194	8.07	1867.918408	27.86
20780.242	7.57	2289.241029	36.11
24936.290	7.07	2694.402445	44.36
29092.339	6.57	3084.315031	52.61
33248.387	6.07	3459.823753	60.86
37404.436	5.57	3821.712282	69.11
41560.484	5.07	4170.708452	77.36
45716.533	4.57	4507.489145	85.61
49872.581	4.07	4832.684675	93.86
54028.629	3.57	5146.882723	102.11
58184.678	3.07	5450.631884	110.36
62340.726	2.57	5744.44486	118.61
66496.775	2.07	6028.801352	126.86
70652.823	1.57	6304.150669	135.11
74808.871	1.07	6570.914102	143.36
78964.920	0.57	6829.48707	151.61
83120.968	0	7065.285833	160

Tabla 6.4.-Variación de eje neutro “c” – viga monolítica



A.1. Esfuerzo en compresión vs deformación

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	M _{max} (Kg.cm)	ε _{unitaria}	c(cm)	yc(cm)	σ _c (kg/cm)	Δδ (mm)
0	0	0.000	0.00000	10.13	3.13	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00078	9.57	2.57	-2.44	0.04
200	357.510	8312.097	0.00242	9.07	2.07	-3.93	0.06
300	536.264	12468.145	0.00405	8.57	1.57	-4.47	0.07
400	715.019	16624.194	0.00601	8.07	1.07	-4.06	0.10
500	893.774	20780.242	0.00712	7.57	0.57	-2.71	0.11
600	1072.529	24936.290	0.01013	7.07	0.07	-0.40	0.14
700	1251.283	29092.339	0.01222	6.57	-0.43	2.86	0.17
800	1430.038	33248.387	0.01719	6.07	-0.93	7.06	0.26
900	1608.793	37404.436	0.01954	5.57	-1.43	12.22	0.38
1000	1787.548	41560.484	0.02105	5.07	-1.93	18.32	0.47
1100	1966.302	45716.533	0.02608	4.57	-2.43	25.37	0.54
1200	2145.057	49872.581	0.02824	4.07	-2.93	33.38	0.57
1300	2323.812	54028.629	0.03366	3.57	-3.43	42.33	0.63
1400	2502.567	58184.678	0.03660	3.07	-3.93	52.23	0.75
1500	2681.322	62340.726	0.03987	2.57	-4.43	63.08	0.83
1600	2860.076	66496.775	0.04771	2.07	-4.93	74.88	1.30
1700	3038.831	70652.823	0.06725	1.57	-5.43	87.63	1.62
1800	3217.586	74808.871	0.07444	1.07	-5.93	101.32	1.74
1900	3396.341	78964.920	0.09020	0.57	-6.43	115.97	2.10
2000	3575.095	83120.968	0.11686	0.00	-7.00	132.90	4.13

Tabla 6.5. Esfuerzo en compresión vs deformación – viga monolítica

A.2. Esfuerzo en tracción vs deformación

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	M _{max} (Kg.cm)	ε _{unitaria}	c(cm)	yt(cm)	σ _t (kg/cm)	Δδ (mm)
0	0	0.000	0.00000	10.13	2.420	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00078	9.57	2.980	2.83	0.04
200	357.510	8312.097	0.00242	9.07	3.480	6.61	0.06
300	536.264	12468.145	0.00405	8.57	3.980	11.33	0.07
400	715.019	16624.194	0.00601	8.07	4.480	17.01	0.10
500	893.774	20780.242	0.00712	7.57	4.980	23.64	0.11
600	1072.529	24936.290	0.01013	7.07	5.480	31.21	0.14
700	1251.283	29092.339	0.01222	6.57	5.980	39.74	0.17
800	1430.038	33248.387	0.01719	6.07	6.480	49.21	0.26
900	1608.793	37404.436	0.01954	5.57	6.980	59.63	0.38
1000	1787.548	41560.484	0.02105	5.07	7.480	71.01	0.47
1100	1966.302	45716.533	0.02608	4.57	7.980	83.33	0.54
1200	2145.057	49872.581	0.02824	4.07	8.480	96.60	0.57
1300	2323.812	54028.629	0.03366	3.57	8.980	110.82	0.63
1400	2502.567	58184.678	0.03660	3.07	9.480	125.99	0.75
1500	2681.322	62340.726	0.03987	2.57	9.980	142.11	0.83
1600	2860.076	66496.775	0.04771	2.07	10.480	159.17	1.30
1700	3038.831	70652.823	0.06725	1.57	10.980	177.19	1.62
1800	3217.586	74808.871	0.07444	1.07	11.480	196.16	1.74
1900	3396.341	78964.920	0.09020	0.57	11.980	216.07	2.10
2000	3575.095	83120.968	0.11686	0.00	12.550	238.27	4.13

Tabla 6.6.- Esfuerzo en tracción vs deformación – viga monolítica



B. VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO

M max (kg.cm)	C	fs	f'c
0.000	10.13	0	0
4156.048	9.69	499.3039035	6.8
8312.097	9.26	980.3365119	13.6
12468.145	8.82	1444.082722	20.4
16624.194	8.38	1891.457892	27.2
20780.242	7.95	2323.313877	34
24936.290	7.51	2740.444435	40.8
29092.339	7.07	3143.590102	47.6
33248.387	6.63	3533.442579	54.4
37404.436	6.20	3910.648689	61.2
41560.484	5.76	4275.813961	68
45716.533	5.32	4629.505873	74.8
49872.581	4.89	4972.256795	81.6
54028.629	4.45	5304.566663	88.4
58184.678	4.01	5626.905409	95.2
62340.726	3.58	5939.715182	102
66496.775	3.14	6243.412372	108.8
70652.823	2.70	6538.389455	115.6
74808.871	2.26	6825.016687	122.4
78964.920	1.83	7103.643658	129.2
81042.944	1.39	7190.235691	136

Tabla 6.7.- Variación de eje neutro “c” – viga con adhesivo bajo eje neutro

B.1. Esfuerzo en compresión vs deformación

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	Mmax (Kg.cm)	ϵ unitaria	c(cm)	yc(cm)	σ_c (kg/cm)	$\Delta\delta$ (mm)
0	0.000	0.000	0.00000	10.130	3.13	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00144	9.693	2.69	-2.56	0.03
200	357.510	8312.097	0.00255	9.256	2.26	-4.28	0.03
300	536.264	12468.145	0.00516	8.819	1.82	-5.18	0.04
400	715.019	16624.194	0.00621	8.382	1.38	-5.25	0.04
500	893.774	20780.242	0.00739	7.945	0.95	-4.49	0.07
600	1072.529	24936.290	0.00915	7.508	0.51	-2.89	0.10
700	1251.283	29092.339	0.01242	7.071	0.07	-0.47	0.23
800	1430.038	33248.387	0.01503	6.634	-0.37	2.78	0.26
900	1608.793	37404.436	0.01634	6.197	-0.80	6.86	0.27
1000	1787.548	41560.484	0.02092	5.760	-1.24	11.77	0.31
1100	1966.302	45716.533	0.02353	5.323	-1.68	17.51	0.35
1200	2145.057	49872.581	0.02804	4.886	-2.11	24.08	0.47
1300	2323.812	54028.629	0.03248	4.449	-2.55	31.48	0.50
1400	2502.567	58184.678	0.03739	4.012	-2.99	39.71	0.51
1500	2681.322	62340.726	0.04131	3.575	-3.43	48.77	0.57
1600	2860.076	66496.775	0.04412	3.138	-3.86	58.66	0.60
1700	3038.831	70652.823	0.04908	2.701	-4.30	69.38	0.73
1800	3217.586	74808.871	0.05261	2.264	-4.74	80.92	0.80
1900	3396.341	78964.920	0.07641	1.827	-5.17	93.30	1.29
1950	3485.718	81042.944	0.09667	1.390	-5.61	103.84	1.35

Tabla 6.8.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro



B.2. Esfuerzo en tracción vs deformación

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	Mmax (Kg.cm)	ϵ unitaria	c(cm)	yt(cm)	σ_t (kg/cm)	$\Delta\delta$ (mm)
0	0.000	0.000	0.00000	10.130	2.420	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00144	9.693	2.857	2.71	0.03
200	357.510	8312.097	0.00255	9.256	3.294	6.25	0.03
300	536.264	12468.145	0.00516	8.819	3.731	10.63	0.04
400	715.019	16624.194	0.00621	8.382	4.168	15.83	0.04
500	893.774	20780.242	0.00739	7.945	4.605	21.86	0.07
600	1072.529	24936.290	0.00915	7.508	5.042	28.72	0.10
700	1251.283	29092.339	0.01242	7.071	5.479	36.41	0.23
800	1430.038	33248.387	0.01503	6.634	5.916	44.93	0.26
900	1608.793	37404.436	0.01634	6.197	6.353	54.28	0.27
1000	1787.548	41560.484	0.02092	5.760	6.790	64.46	0.31
1100	1966.302	45716.533	0.02353	5.323	7.227	75.46	0.35
1200	2145.057	49872.581	0.02804	4.886	7.664	87.30	0.47
1300	2323.812	54028.629	0.03248	4.449	8.101	99.97	0.50
1400	2502.567	58184.678	0.03739	4.012	8.538	113.47	0.51
1500	2681.322	62340.726	0.04131	3.575	8.975	127.79	0.57
1600	2860.076	66496.775	0.04412	3.138	9.412	142.95	0.60
1700	3038.831	70652.823	0.04908	2.701	9.849	158.94	0.73
1800	3217.586	74808.871	0.05261	2.264	10.286	175.75	0.80
1900	3396.341	78964.920	0.07641	1.827	10.723	193.40	1.29
1950	3485.718	81042.944	0.09667	1.390	11.160	206.58	1.35

Tabla 6.9.- Esfuerzo en tracción n vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro

C. VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO

M max (kg.cm)	C	fs	f'c
0	10.13	0	0
4156.048412	9.67	498.803972	7.27
8312.096823	9.21	978.4111508	14.55
12468.14524	8.75	1439.908816	21.82
16624.19365	8.29	1884.303658	29.09
20780.24206	7.83	2312.529111	36.36
24936.29047	7.37	2725.451897	43.64
29092.33888	6.91	3123.87788	50.91
33248.38729	6.45	3508.557316	58.18
37404.43571	5.99	3880.189568	65.45
41560.48412	5.53	4239.427349	72.73
45716.53253	5.06	4586.88055	80.00
49872.58094	4.60	4923.119691	87.27
54028.62935	4.14	5248.679052	94.55
58184.67776	3.68	5564.059502	101.82
62340.72618	3.22	5869.731073	109.09
66496.77459	2.76	6166.135295	116.36
70652.823	2.30	6453.687326	123.64
74808.87141	1.84	6732.777892	130.91
78964.91982	1.38	7003.775055	138.18
83120.96823	0.92	7267.025838	145.45
87277.01665	0.46	7522.857702	152.73
91433.06506	0.00	7771.579908	160.00

Tabla 6.10.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro



C.1. Esfuerzo en compresión vs deformación

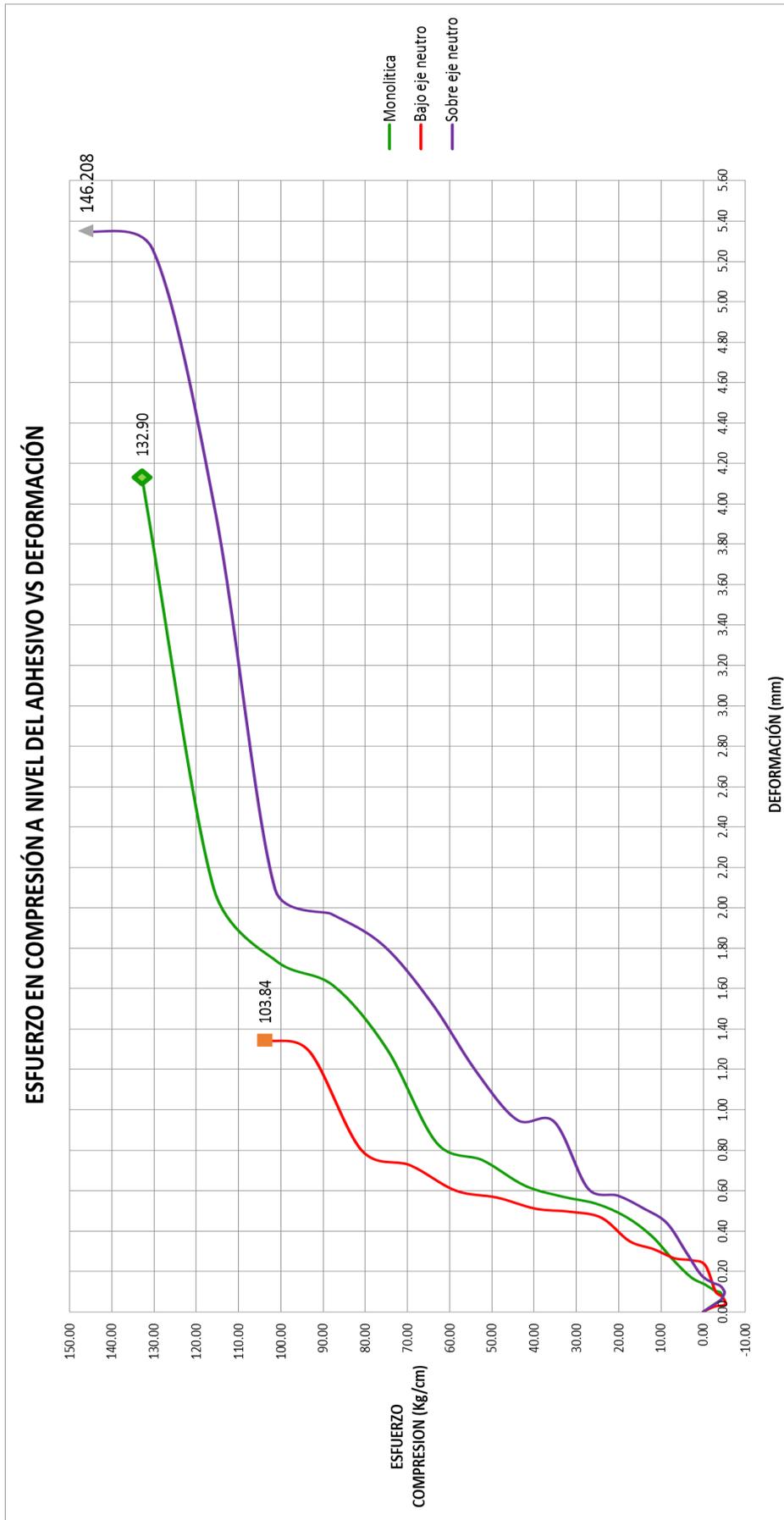
PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	M _{max} (Kg.cm)	ε _{unitaria}	c(cm)	yc(cm)	σ _c (kg/cm)	Δδ (mm)
0	0.000	0.000	0.00000	10.13	3.13	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00072	9.67	2.670	-2.534	0.04
200	357.510	8312.097	0.00150	9.21	2.209	-4.194	0.06
300	536.264	12468.145	0.00242	8.75	1.749	-4.979	0.09
400	715.019	16624.194	0.00353	8.29	1.288	-4.891	0.11
500	893.774	20780.242	0.00425	7.83	0.828	-3.928	0.13
600	1072.529	24936.290	0.00601	7.37	0.367	-2.090	0.15
700	1251.283	29092.339	0.00863	6.91	-0.093	0.621	0.19
800	1430.038	33248.387	0.01405	6.45	-0.554	4.207	0.30
900	1608.793	37404.436	0.01660	5.99	-1.015	8.667	0.44
1000	1787.548	41560.484	0.01967	5.53	-1.475	14.002	0.51
1100	1966.302	45716.533	0.02444	5.06	-1.936	20.210	0.58
1200	2145.057	49872.581	0.02686	4.60	-2.396	27.293	0.61
1300	2323.812	54028.629	0.03425	4.14	-2.857	35.251	0.94
1400	2502.567	58184.678	0.03758	3.68	-3.317	44.082	0.95
1500	2681.322	62340.726	0.04301	3.22	-3.778	53.788	1.19
1600	2860.076	66496.775	0.05327	2.76	-4.238	64.368	1.53
1700	3038.831	70652.823	0.06529	2.30	-4.699	75.822	1.82
1800	3217.586	74808.871	0.08346	1.84	-5.159	88.151	1.97
1900	3396.341	78964.920	0.09307	1.38	-5.620	101.354	2.09
2000	3575.095	83120.968	0.11503	0.92	-6.080	115.431	3.95
2100	3753.850	87277.017	0.14124	0.46	-6.541	130.382	5.26
2200	3932.605	91433.065	0.16405	0.00	-7.001	146.208	5.35

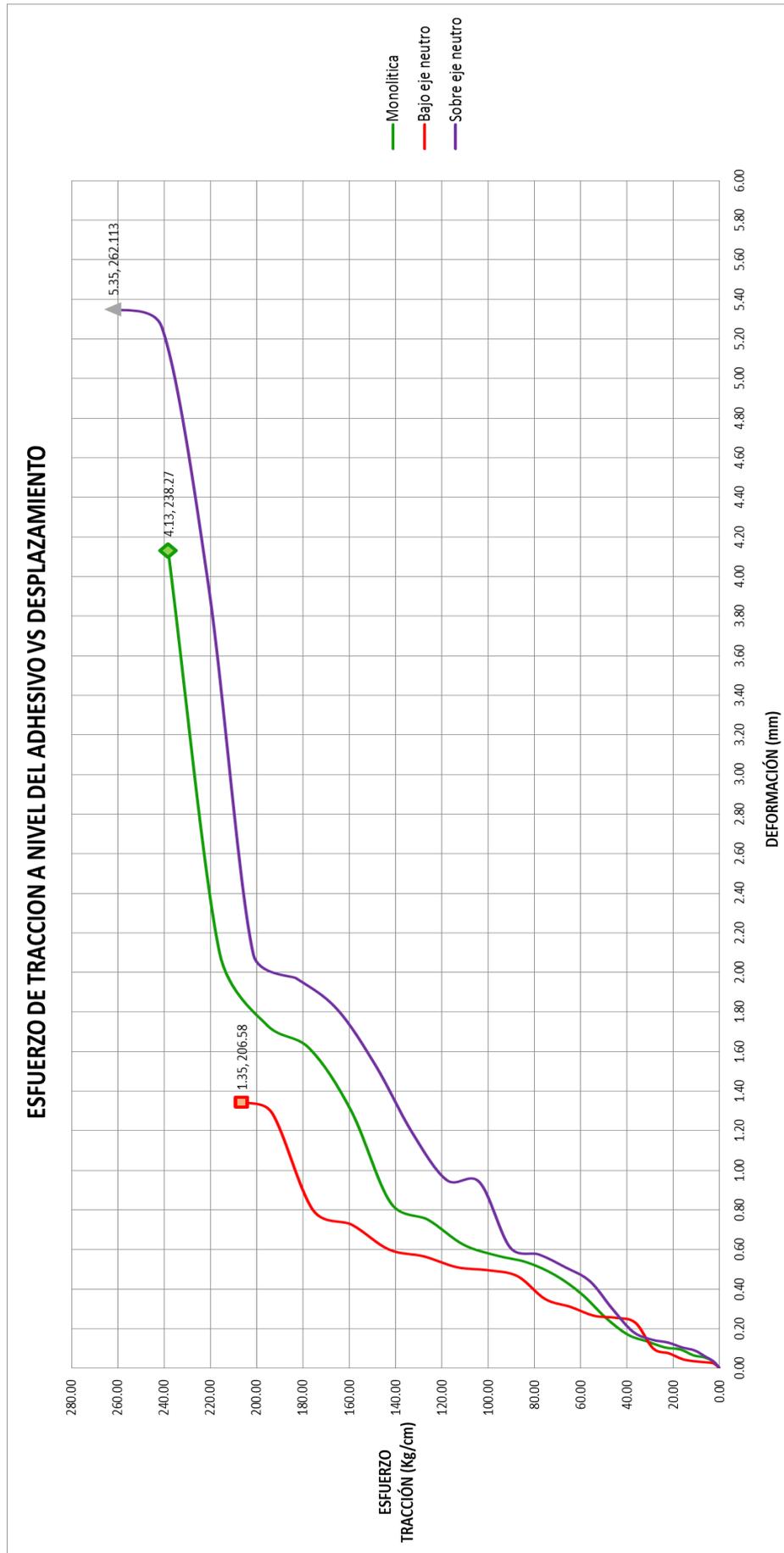
Tabla 6.11.- Esfuerzo en compresión vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro

C.2. Esfuerzo en tracción vs deformación

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL (kg)	M _{max} (Kg.cm)	ε _{unitaria}	c(cm)	yt(cm)	σ _t (kg/cm)	Δδ (mm)
0	0.000	0.000	0.00000	10.13	2.420	0.00	0.00
100	178.755	4156.048	0.00072	9.67	2.881	2.734	0.04
200	357.510	8312.097	0.00150	9.21	3.341	6.343	0.06
300	536.264	12468.145	0.00242	8.75	3.802	10.826	0.09
400	715.019	16624.194	0.00353	8.29	4.262	16.183	0.11
500	893.774	20780.242	0.00425	7.83	4.723	22.415	0.13
600	1072.529	24936.290	0.00601	7.37	5.183	29.520	0.15
700	1251.283	29092.339	0.00863	6.91	5.644	37.500	0.19
800	1430.038	33248.387	0.01405	6.45	6.104	46.355	0.30
900	1608.793	37404.436	0.01660	5.99	6.565	56.083	0.44
1000	1787.548	41560.484	0.01967	5.53	7.025	66.686	0.51
1100	1966.302	45716.533	0.02444	5.06	7.486	78.163	0.58
1200	2145.057	49872.581	0.02686	4.60	7.946	90.514	0.61
1300	2323.812	54028.629	0.03425	4.14	8.407	103.740	0.94
1400	2502.567	58184.678	0.03758	3.68	8.867	117.840	0.95
1500	2681.322	62340.726	0.04301	3.22	9.328	132.814	1.19
1600	2860.076	66496.775	0.05327	2.76	9.788	148.663	1.53
1700	3038.831	70652.823	0.06529	2.30	10.249	165.385	1.82
1800	3217.586	74808.871	0.08346	1.84	10.709	182.982	1.97
1900	3396.341	78964.920	0.09307	1.38	11.170	201.454	2.09
2000	3575.095	83120.968	0.11503	0.92	11.630	220.799	3.95
2100	3753.850	87277.017	0.14124	0.46	12.091	241.019	5.26
2200	3932.605	91433.065	0.16405	0.00	12.551	262.113	5.35

Tabla 6.12.- Esfuerzo en tracción vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro







A. CASO VIGA MONOLITICA (SIN ADHESIVO)

- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (tracción):** 238.27 kg/cm
- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (compresión):** 132.90 kg/cm
- **Deformación neta máxima:** 4.13 mm

B. CASO VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO

- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (tracción):** 206.5 kg/cm
- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (compresión):** 103.84 kg/cm
- **Deformación neta máxima:** 1.35 mm

C. CASO VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO

- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (tracción):** 262.113 kg/cm
- **Esfuerzo máximo a nivel del adhesivo (compresión):** 146.208 kg/cm
- **Deformación neta máxima:** 5.35 mm

D. COMPARACION DE ESFUERZOS OBTENIDOS:

- Disminución de 13.33 % del esfuerzo de tracción al nivel del adhesivo aplicado bajo el eje neutro, en comparación con la viga monolítica.
- Disminución en 21.87 % del esfuerzo de compresión al nivel del adhesivo aplicado bajo el eje neutro, en comparación con la viga monolítica.
- Aumento de 21.21% del esfuerzo de tracción al nivel del adhesivo aplicado sobre el eje neutro, en comparación con la viga monolítica.
- Aumento de 28.98% del esfuerzo de tracción al nivel del adhesivo aplicado sobre el eje neutro, en comparación con la viga monolítica.



6.4. MOMENTO VS DESPLAZAMIENTO:

- **VIGA SIN ADHESIVO(MONOLITICA)**

PRESION(PSI)	PRESION(Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max(kg.cm)	$\Delta\delta$ (mm)
0	0	0	0.000	0.000
100	7.031	178.7547704	4156.048	0.035
200	14.062	357.5095408	8312.097	0.055
300	21.093	536.2643112	12468.145	0.065
400	28.124	715.0190816	16624.194	0.095
500	35.155	893.773852	20780.242	0.105
600	42.186	1072.528622	24936.290	0.135
700	49.217	1251.283393	29092.339	0.170
800	56.248	1430.038163	33248.387	0.255
900	63.279	1608.792934	37404.436	0.375
1000	70.31	1787.547704	41560.484	0.470
1100	77.341	1966.302474	45716.533	0.535
1200	84.372	2145.057245	49872.581	0.570
1300	91.403	2323.812015	54028.629	0.625
1400	98.434	2502.566786	58184.678	0.750
1500	105.465	2681.321556	62340.726	0.835
1600	112.496	2860.076326	66496.775	1.300
1700	119.527	3038.831097	70652.823	1.615
1800	126.558	3217.585867	74808.871	1.740
1900	133.589	3396.340638	78964.920	2.100
2000	140.62	3575.095408	83120.968	4.130

Tabla 6.13.-Momentos actuantes vs deformación – viga sin adhesivo

- **VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO**

PRESION(PSI)	PRESION(Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max(kg.cm)	$\Delta\delta$ (mm)
0	0	0	0.000	0.000
100	7.031	178.7547704	4156.048	0.025
200	14.062	357.5095408	8312.097	0.030
300	21.093	536.2643112	12468.145	0.035
400	28.124	715.0190816	16624.194	0.045
500	35.155	893.773852	20780.242	0.075
600	42.186	1072.528622	24936.290	0.150
700	49.217	1251.283393	29092.339	0.230
800	56.248	1430.038163	33248.387	0.255
900	63.279	1608.792934	37404.436	0.265
1000	70.31	1787.547704	41560.484	0.310
1100	77.341	1966.302474	45716.533	0.350
1200	84.372	2145.057245	49872.581	0.465
1300	91.403	2323.812015	54028.629	0.495
1400	98.434	2502.566786	58184.678	0.510
1500	105.465	2681.321556	62340.726	0.565
1600	112.496	2860.076326	66496.775	0.600
1700	119.527	3038.831097	70652.823	0.725
1800	126.558	3217.585867	74808.871	0.800
1900	133.589	3396.340638	78964.920	1.290
1950	137.1045	3485.718023	81042.944	1.345

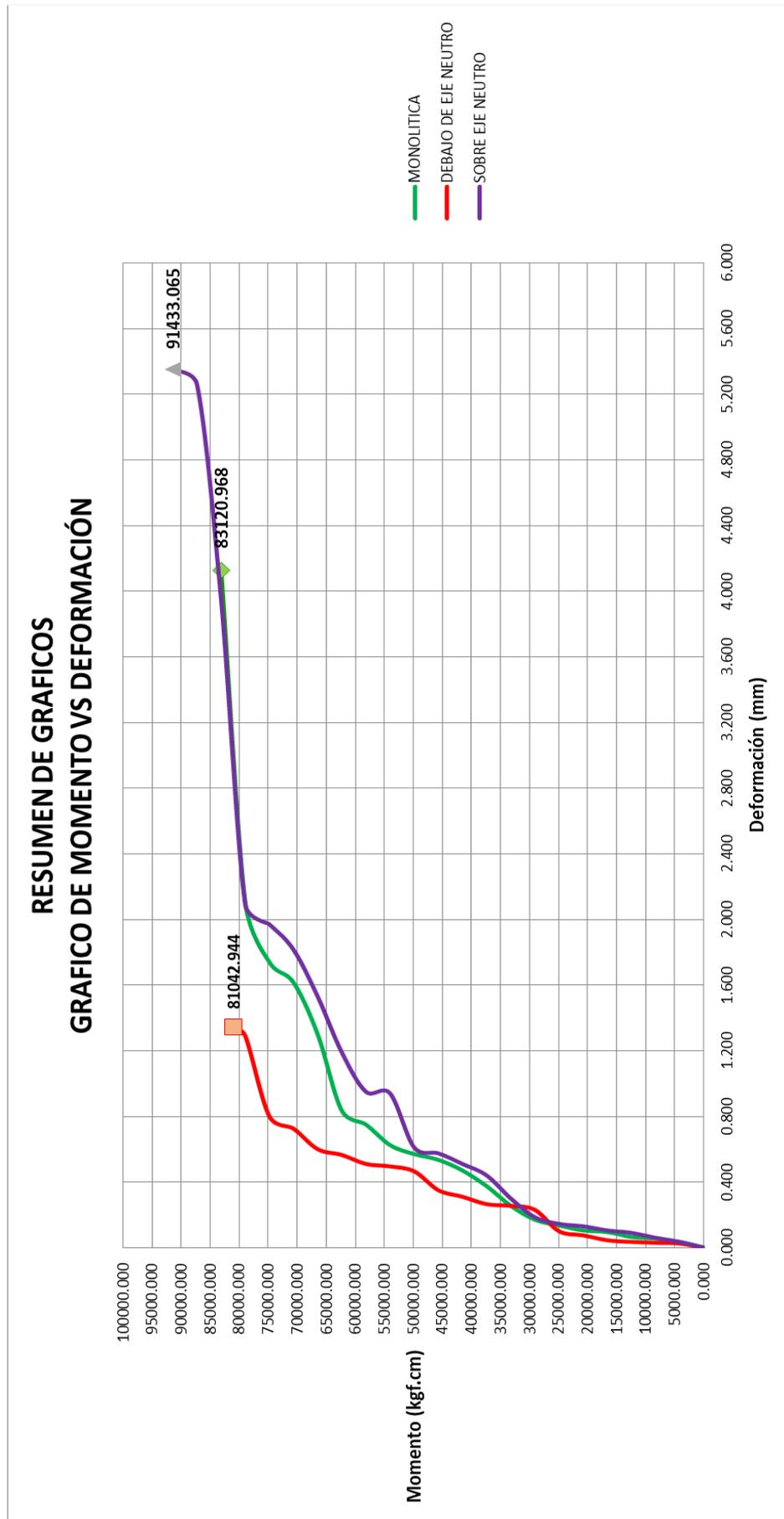
Tabla 6.14.-Momentos actuantes vs deformación – viga con adhesivo bajo eje neutro



▪ **VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO**

PRESION(Psi)	PRESION(Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max	$\Delta\delta$ (mm)
0	0	0	0.000	0.000
100	7.031	178.7547704	4156.048	0.035
200	14.062	357.5095408	8312.097	0.060
300	21.093	536.2643112	12468.145	0.090
400	28.124	715.0190816	16624.194	0.105
500	35.155	893.773852	20780.242	0.130
600	42.186	1072.528622	24936.290	0.145
700	49.217	1251.283393	29092.339	0.185
800	56.248	1430.038163	33248.387	0.300
900	63.279	1608.792934	37404.436	0.440
1000	70.31	1787.547704	41560.484	0.510
1100	77.341	1966.302474	45716.533	0.575
1200	84.372	2145.057245	49872.581	0.610
1300	91.403	2323.812015	54028.629	0.940
1400	98.434	2502.566786	58184.678	0.950
1500	105.465	2681.321556	62340.726	1.190
1600	112.496	2860.076326	66496.775	1.530
1700	119.527	3038.831097	70652.823	1.815
1800	126.558	3217.585867	74808.871	1.970
1900	133.589	3396.340638	78964.920	2.090
2000	140.62	3575.095408	83120.968	3.950
2100	147.651	3753.850178	87277.017	5.260
2200	154.682	3932.604949	91433.065	5.450

Tabla 6.15.-Momentos actuantes vs deformación – viga con adhesivo sobre eje neutro





A. CASO VIGA MONOLITICA (SIN ADHESIVO)

- **Momento máximo a nivel del adhesivo :** 83120.968 kg.cm
- **Deformación neta máxima:** 4.13 mm

B. CASO VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO

- **Momento máximo a nivel del adhesivo :** 81042.944 kg.cm
- **Deformación neta máxima:** 1.35 mm

C. CASO VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO

- **Momento máximo a nivel del adhesivo :** 91433.0651 kg.cm
- **Deformación neta máxima:** 5.45 mm

D. COMPARACION DE MOMENTOS OBTENIDOS:

- Disminución de 2.5% del momento máximo resistente de una la viga con adhesivo aplicado bajo el eje neutro.
- Aumento de 9.09% del momento máximo resistente de una la viga con adhesivo aplicado sobre el eje neutro.



6.5. MOMENTO VS CURVATURA:

- VIGA MONOLITICA**

PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max(kg.cm)	$\Delta\delta$ (cm)	Pendiente (P)
0	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00
100	7.03	178.755	4156.048	0.035	0.07
200	14.06	357.510	8312.097	0.055	0.11
300	21.09	536.264	12468.145	0.065	0.12
400	28.12	715.019	16624.194	0.095	0.18
500	35.16	893.774	20780.242	0.105	0.20
600	42.19	1072.529	24936.290	0.135	0.26
700	49.22	1251.283	29092.339	0.170	0.32
800	56.25	1430.038	33248.387	0.255	0.49
900	63.28	1608.793	37404.436	0.375	0.72
1000	70.31	1787.548	41560.484	0.470	0.90
1100	77.34	1966.302	45716.533	0.535	1.02
1200	84.37	2145.057	49872.581	0.570	1.09
1300	91.40	2323.812	54028.629	0.625	1.19
1400	98.43	2502.567	58184.678	0.750	1.43
1500	105.47	2681.322	62340.726	0.835	1.59
1600	112.50	2860.076	66496.775	1.300	2.48
1700	119.53	3038.831	70652.823	1.615	3.08
1800	126.56	3217.586	74808.871	1.740	3.32
1900	133.59	3396.341	78964.920	2.100	4.01
2000	140.62	3575.095	83120.968	4.130	7.88

Tabla 6.16.- Momentos vs curvatura – viga sin adhesivo

- VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO**

PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max(kg.cm)	$\Delta\delta$ (cm)	Pendiente (P)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.00
100	7.031	178.755	4156.048	0.03	0.05
200	14.062	357.510	8312.097	0.03	0.06
300	21.093	536.264	12468.145	0.04	0.07
400	28.124	715.019	16624.194	0.04	0.09
500	35.155	893.774	20780.242	0.07	0.14
600	42.186	1072.529	24936.290	0.15	0.29
700	49.217	1251.283	29092.339	0.23	0.44
800	56.248	1430.038	33248.387	0.26	0.49
900	63.279	1608.793	37404.436	0.27	0.51
1000	70.31	1787.548	41560.484	0.31	0.59
1100	77.341	1966.302	45716.533	0.35	0.67
1200	84.372	2145.057	49872.581	0.47	0.89
1300	91.403	2323.812	54028.629	0.50	0.95
1400	98.434	2502.567	58184.678	0.51	0.97
1500	105.465	2681.322	62340.726	0.57	1.08
1600	112.496	2860.076	66496.775	0.60	1.15
1700	119.527	3038.831	70652.823	0.73	1.38
1800	126.558	3217.586	74808.871	0.80	1.53
1900	133.589	3396.341	78964.920	1.29	2.46
1950	137.1045	3485.718	81042.944	1.35	2.57

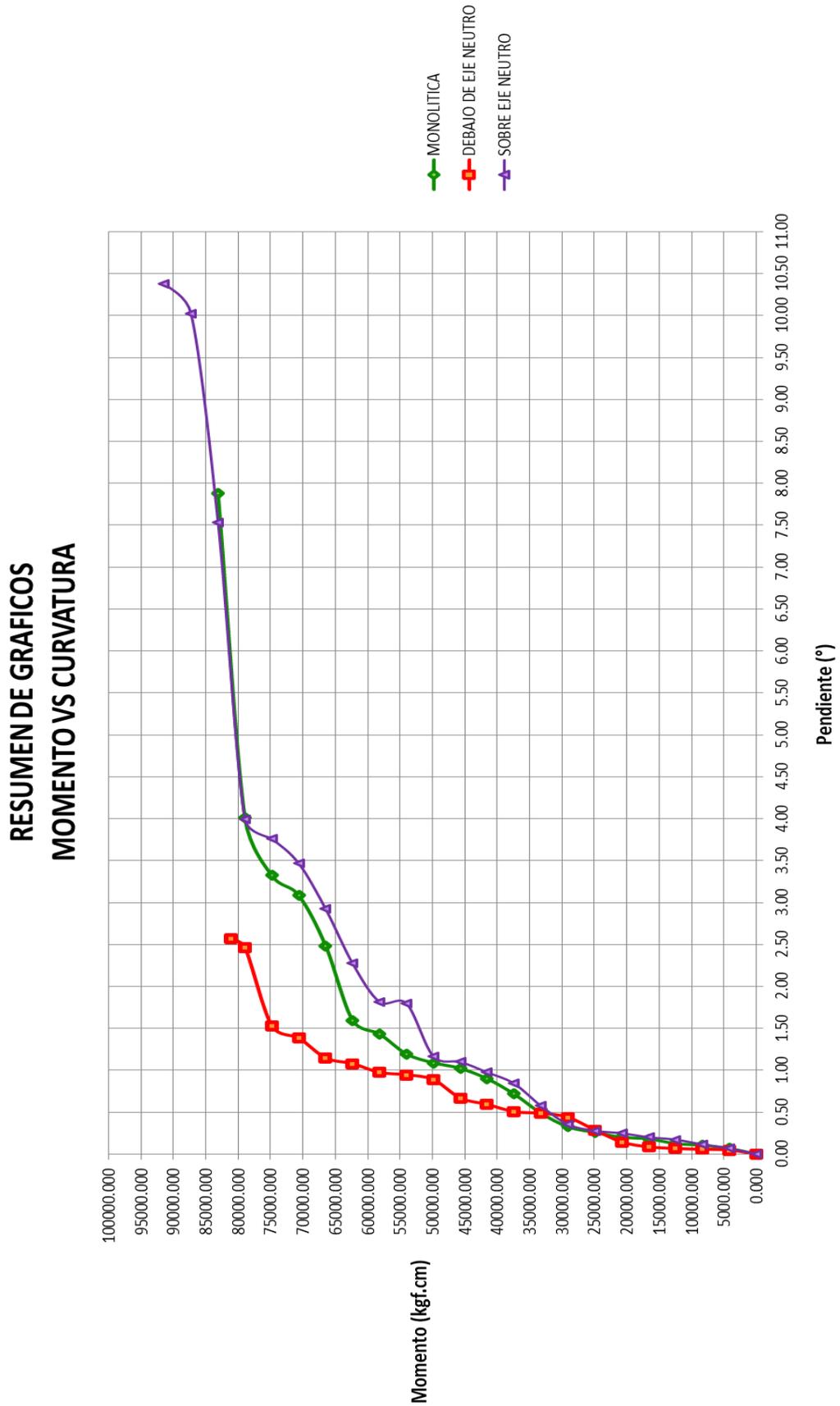
Tabla 6.17.- Momentos vs curvatura – viga con adhesivo sobre eje neutro



▪ **VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO**

PRESION (PSI)	PRESION (Kg/cm2)	Carga Total(kg)	M max(kg.cm)	$\Delta\delta$ (cm)	Pendiente (P)
0	0	0	0.000	0	0.00
100	7.031	178.7547704	4156.048	0.035	0.07
200	14.062	357.5095408	8312.097	0.06	0.11
300	21.093	536.2643112	12468.145	0.09	0.17
400	28.124	715.0190816	16624.194	0.105	0.20
500	35.155	893.773852	20780.242	0.13	0.25
600	42.186	1072.528622	24936.290	0.145	0.28
700	49.217	1251.283393	29092.339	0.185	0.35
800	56.248	1430.038163	33248.387	0.3	0.57
900	63.279	1608.792934	37404.436	0.44	0.84
1000	70.31	1787.547704	41560.484	0.51	0.97
1100	77.341	1966.302474	45716.533	0.575	1.10
1200	84.372	2145.057245	49872.581	0.61	1.16
1300	91.403	2323.812015	54028.629	0.94	1.80
1400	98.434	2502.566786	58184.678	0.95	1.81
1500	105.465	2681.321556	62340.726	1.19	2.27
1600	112.496	2860.076326	66496.775	1.53	2.92
1700	119.527	3038.831097	70652.823	1.815	3.47
1800	126.558	3217.585867	74808.871	1.97	3.76
1900	133.589	3396.340638	78964.920	2.09	3.99
2000	140.62	3575.095408	83120.968	3.95	7.53
2100	147.651	3753.850178	87277.017	5.26	10.02
2200	154.682	3932.604949	91433.065	5.45	10.38

Tabla 6.18.-Momentos vs pendiente – viga con adhesivo sobre eje neutro





6.6 DEFLEXIONES INSTANTANEAS Y DEFLEXIONES OBTENIDAS EN ENSAYO

Una sección de concreto que esté totalmente agrietada en su lado de tensión tendrá una rigidez con valor de un tercio a tres cuartos de la rigidez completa de sección si no está agrietada. En diferentes secciones a lo largo de la viga, la rigidez varía en función del momento presente. Es fácil ver que un método exacto para calcular deflexiones debe tener en cuenta estas variaciones. Si se quiere obtener la deflexión inmediata de un miembro prismático no agrietado, puede suponerse que el momento de inercia es igual a I_g en toda la longitud del miembro. Si el miembro está agrietado en una o más secciones a lo largo de su longitud o si su peralte varía a lo largo del claro, deberá usarse un valor más exacto de I . Se ha dado una expresión de momento de inercia para usarse en los cálculos de deflexiones. Este momento de inercia provee un valor de transición entre I_g e I_{cr} que depende del grado de agrietamiento causado por las cargas aplicadas. Se le llama I_e , momento de inercia efectivo y se basa en una estimación de la cantidad probable de agrietamiento causado por el momento variable a lo largo del claro

Es por ello que se hace necesario calcular la inercia efectiva y de esta manera hallar las deflexiones instantáneas para cada carga.

Luego de calcular las deflexiones instantáneas teóricas, se procedió a comparar estos resultados con las deflexiones obtenidas en nuestro ensayo de laboratorio

1. Esfuerzo de rotura:

$$\begin{aligned}f_r &= 2 * \sqrt{f'_c} \\f_r &= 2 * \sqrt{160} \\f_r &= 25.30 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$



2. Momento de inercia de sección fisurada

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

$$I_c = \frac{1}{3} \times 12.5 \times 10^3 + 10.54 \times 0.71 \times (16.57 - 10.13)^2$$

$$I_c = 4641.65 \text{ cm}^4$$

3. y_t (Distancia del eje neutro de la sección bruta de concreto, despreciando la presencia del refuerzo, a la fibra extrema en tracción)

$$y_t = 10$$

4. Momento flector crítico

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_{cr}}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{25.30 \times 4641.65}{10}$$

$$M_{cr} = 21085.85 \text{ kg.cm}$$

5. Inercia efectiva:

Se calculará para cada momento actuante en los 3 tipos de vigas

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right) I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

6. Deflexión máxima en el centro de la luz:

Se calculará para cada carga aplicada en los 3 tipos de viga, considerando:

$$L = 153 \text{ cm.}$$

$$a = 46.5 \text{ cm}$$

$$E = 15000\sqrt{160} = 189736.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = I_e$$

$$\delta = \frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{24EI}$$



- VIGA SIN ADHESIVO(MONOLITICA):

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL(kg)	DEFLEXION MAX. EN PRUEBA (mm)	M MAX (kg.cm)	INERCIA EFECTIVA (cm4)	DEFLEXION MAX TEORICA (mm)
0	0	0.00	0.000	0.000	0.00
100	178.755	0.12	4156.048	486488.329	0.00
200	357.510	0.37	8312.097	64872.485	0.03
300	536.264	0.62	12468.145	22487.823	0.15
400	715.019	0.92	16624.194	12170.504	0.37
500	893.774	1.09	20780.242	8496.423	0.66
600	1072.529	1.55	24936.290	6872.422	0.98
700	1251.283	1.87	29092.339	6046.451	1.30
800	1430.038	2.63	33248.387	5582.757	1.61
900	1608.793	2.99	37404.436	5302.619	1.91
1000	1787.548	3.22	41560.484	5123.497	2.19
1100	1966.302	3.99	45716.533	5003.669	2.47
1200	2145.057	4.32	49872.581	4920.496	2.74
1300	2323.812	5.15	54028.629	4860.970	3.01
1400	2502.567	5.60	58184.678	4817.250	3.27
1500	2681.322	6.10	62340.726	4784.419	3.52
1600	2860.076	7.30	66496.775	4759.288	3.78
1700	3038.831	10.29	70652.823	4739.726	4.03
1800	3217.586	11.39	74808.871	4724.271	4.28
1900	3396.341	13.80	78964.920	4711.900	4.53
2000	3575.095	17.88	83120.968	4701.881	4.78

Tabla 6.19.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga sin adhesivo

- VIGA CON ADHESIVO BAJO EL EJE NEUTRO:

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL(kg)	DEFLEXION MAX. EN PRUEBA (mm)	M MAX (kg.cm)	INERCIA EFECTIVA (cm4)	DEFLEXION MAX TEORICA (mm)
0	0	0.000	0	0	0.000
100	178.7547704	0.220	4156.048412	486488.3293	0.002
200	357.5095408	0.390	8312.096823	64872.48491	0.035
300	536.2643112	0.790	12468.14524	22487.82331	0.150
400	715.0190816	0.950	16624.19365	12170.50436	0.369
500	893.773852	1.130	20780.24206	8496.423434	0.661
600	1072.528622	1.400	24936.29047	6872.421663	0.981
700	1251.283393	1.900	29092.33888	6046.450814	1.301
800	1430.038163	2.300	33248.38729	5582.756795	1.611
900	1608.792934	2.500	37404.43571	5302.619382	1.908
1000	1787.547704	3.200	41560.48412	5123.496679	2.194
1100	1966.302474	3.600	45716.53253	5003.668542	2.471
1200	2145.057245	4.290	49872.58094	4920.496458	2.741
1300	2323.812015	4.970	54028.62935	4860.970291	3.006
1400	2502.566786	5.720	58184.67776	4817.250102	3.267
1500	2681.321556	6.320	62340.72618	4784.419386	3.524
1600	2860.076326	6.750	66496.77459	4759.288349	3.779
1700	3038.831097	7.510	70652.823	4739.725856	4.032
1800	3217.585867	8.050	74808.87141	4724.271173	4.283
1900	3396.340638	11.690	78964.91982	4711.900281	4.532
1950	3485.718023	14.790	83120.96823	4701.880835	4.662

Tabla 6.20.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga con adhesivo bajo eje neutro



- VIGA CON ADHESIVO SOBRE EL EJE NEUTRO:

PRESION (PSI)	CARGA TOTAL(kg)	DEFLEXION MAX. EN PRUEBA (mm)	M MAX (kg.cm)	INERCIA EFECTIVA (cm4)	DEFLEXION MAX TEORICA (mm)
0	0	0.000	0	0	0.000
100	178.7547704	0.110	4156.048412	486488.3293	0.002
200	357.5095408	0.230	8312.096823	64872.48491	0.035
300	536.2643112	0.370	12468.14524	22487.82331	0.150
400	715.0190816	0.540	16624.19365	12170.50436	0.369
500	893.773852	0.650	20780.24206	8496.423434	0.661
600	1072.528622	0.920	24936.29047	6872.421663	0.981
700	1251.283393	1.320	29092.33888	6046.450814	1.301
800	1430.038163	2.150	33248.38729	5582.756795	1.611
900	1608.792934	2.540	37404.43571	5302.619382	1.908
1000	1787.547704	3.010	41560.48412	5123.496679	2.194
1100	1966.302474	3.740	45716.53253	5003.668542	2.471
1200	2145.057245	4.110	49872.58094	4920.496458	2.741
1300	2323.812015	5.240	54028.62935	4860.970291	3.006
1400	2502.566786	5.750	58184.67776	4817.250102	3.267
1500	2681.321556	6.580	62340.72618	4784.419386	3.524
1600	2860.076326	8.150	66496.77459	4759.288349	3.779
1700	3038.831097	9.990	70652.823	4739.725856	4.032
1800	3217.585867	12.770	74808.87141	4724.271173	4.283
1900	3396.340638	14.240	78964.91982	4711.900281	4.532
2000	3575.095408	17.600	83120.96823	4701.880835	4.781
2100	3753.850178	21.610	87277.01665	4693.67966	5.029
2200	3932.604949	25.100	91433.06506	4686.902318	5.276

Tabla 6.21.- Deformación en prueba vs deflexión teórica – viga con adhesivo sobre eje neutro



CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos y procesados concluimos lo siguiente

- La aplicación del adhesivo epóxico ColmaFix 32 influye en la conservación de las características de una viga dependiendo la altura en la que se ubica el puente adherente
- El adhesivo aplicado sobre el eje neutro brinda un incremento en la resistencia de un 9.09% en una viga de concreto armado en comparación a una sin adhesivo epóxico (monolítica).
- El adhesivo aplicado bajo el eje neutro disminuye la resistencia en 2.5% en una viga de concreto armado en comparación a una sin adhesivo epóxico (monolítica).
- En una primera etapa, los 3 tipos de vigas tuvieron un comportamiento similar hasta los 1251.28 kgf; a partir de esta carga, la viga sin adhesivo epóxico comienza a presentar fisuras en su sección, las cuales se van incrementando lentamente hasta que finalmente la viga falla por flexión a los 3575.10 kgf, mientras que la viga con adhesivo epóxico aplicado bajo el eje neutro empieza a presentar fisuras a los 2502.57 kgf y estas se incrementan rápidamente conforme va aumentando la carga, hasta alcanzar la rotura a los 3485.72 kgf, fallando por tensión diagonal. A los 1608.79 kgf, la sección de la viga con adhesivo epóxico aplicado sobre el



eje neutro ya empieza a presentar fisuras y falla por compresión a 3392.61 kgf.

- La aplicación del adhesivo sobre el eje neutro de una viga, brinda un incremento de su ductilidad, a diferencia de aplicarlo bajo el eje neutro debido a que disminuye su ductilidad, volviéndola más frágil.
- Una viga con adhesivo epóxico aplicado bajo su eje neutro, soportará menores esfuerzos de tracción y compresión a la altura del puente adherente; a diferencia de los esfuerzos soportados a la altura del puente adherente de una viga con adhesivo sobre su eje neutro, los cuales se incrementan.

7.2. RECOMENDACIONES

- Para la utilización del adhesivo epóxico ColmaFix 32, como material de construcción en vigas de concreto armado, es recomendable realizar pruebas de laboratorio, con la finalidad de verificar el comportamiento estructural que se desea obtener.
- Es necesario que se realice una adecuada dosificación de mezclas, para que de esta manera tanto el concreto antiguo como el concreto nuevo tengan una óptima resistencia a la compresión y no se presenten futuros problemas estructurales.
- Se recomienda aplicar el adhesivo sobre el eje neutro de las vigas, debido a que le brinda una mayor resistencia, como ya se ha demostrado.



CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Morales Morales, Roberto, “Diseño en Concreto Armado”, Cuarta edición
2. Teodoro E. Harmsen, “Diseño de estructuras de concreto armado”, Cuarta edición.
3. MacGregor, “Diseño de concreto reforzado”, Sexta edición
4. McCornac Jack C., “Diseño de concreto reforzado”, Octava edición
5. Reglamento Nacional de Edificaciones; normas E060
6. Norma ASTM - American Society for Testing Materials; C-78 y C-39.
7. Hoja técnica, Edición 6, 6/09/11, WM – ColmaFix 32



CAPITULO IX

ANEXOS



ANEXO 9.1

(Diseño de Mezcla del Concreto)



DATOS PARA DISEÑO DE MEZCLA

LARGO (m)	1.8
ANCHO (m)	0.125
ALTURA (m)	0.2
N° de vigas	3
Vol. De concreto por viga (m3)	0.045
Vol de concreto total (m3)	0.135

Dosificación de mezcla por 1.00 m3		% de agua/volumen	9%
Cemento (kg)	350	% de desperdicios	5%
Arena (m3)	0.555	N° de bolsas de cemento por volumen.	8.24
Grava (m3)	0.835		

Material	Cantidad Parcial	Cantidad de Desperdicio (%)	Cantidad Total
Cemento (bolsas)	1.11	0.06	1.17
Arena (m3)	0.07	0.00	0.08
Grava(3/4") (m3)	0.11	0.01	0.12
Agua (m3)	0.01	-	0.01

TIPO DE VIGA	PRIMER MES		SEGUNDO MES	
VIGA SIN ADHESIVO	0.045	m3		
VIGA CON AD. SOBRE EJE NEUTRO	0.03375	m3	0.01125	m3
VIGA CON AD. BAJO EJE NEUTRO	0.0135	m3	0.0315	m3
Vol. Total	0.09225	m3	0.04275	m3



ANEXO 9.2

(Cálculo de acero)



Calculo de acero mínimo (ACI 3186 – EC. 10-3)

Para evitar la falla de las vigas en forma repentina, y que ésta sea en forma progresiva a medida que se incrementa la carga, el código ACI (10.5.1) especifica una cantidad mínima de refuerzo que debe usarse en miembros a flexión (con las restricciones referidas en ese código):

$$A_{s,\min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \cdot b_w \cdot d \geq \frac{14 \cdot b_w \cdot d}{f_y}$$

Donde:

A_{s, min} = cantidad mínima de armadura de flexión, mm²

b_w = ancho del alma, mm

d = distancia de la fibra extrema en compresión al centroide de la armadura en tracción, mm

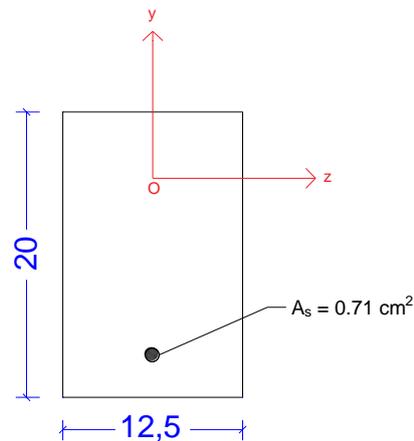
f_{c'} = resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa

f_y = resistencia especificada a la fluencia del refuerzo, MPa



ANEXO 9.3

(Cálculo de eje neutro y momento de inercia de sección transformada)



Para hallar el momento de inercia de la sección de la viga, será necesario transformar el área de acero en un área de concreto equivalente a $A_{c'} = nA_s$

1. Hallamos la relación entre el módulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad del concreto

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

$$E_c = 15000\sqrt{160} = 189736.6596 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_s = 1 \text{ } \varnothing 3/8 = 0.71 \text{ cm}^2$$

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

$$n = \frac{2000000}{189736.6596}$$

$$n = 10.54$$

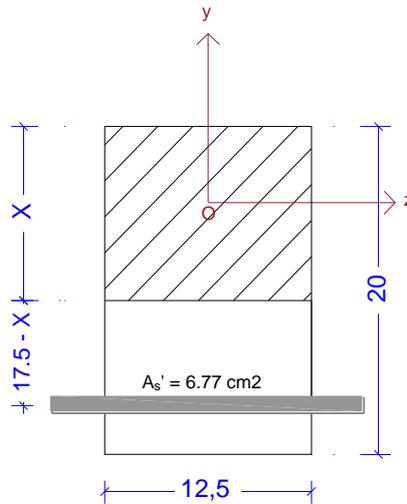
2. Determinamos el área de acero transformado en concreto

$$A_{c'} = (n-1)A_s$$

$$A_{c'} = 9.54 \times 0.71$$

$$A_{c'} = 6.77 \text{ cm}^2$$

En base a este resultado, graficamos la misma sección, pero convertida en un solo material, mostrándose la parte de acero transformada en concreto de color gris y determinamos la ubicación del eje central, a través de la igualdad de los momentos estáticos.



$$S_z^{sup} = S_z^{inf}$$

$$12.5X \left(\frac{X}{2} \right) = 6.77(17.5 - X) + (12.5(20 - X) \left(\frac{20 - X}{2} \right))$$
$$6.25X^2 = 118.475 - 6.77X + \left((250 - 12.5X) \left(\frac{20 - X}{2} \right) \right)$$
$$6.25X^2 = 118.475 - 6.77X + \left(250 - 12.5X \left(10 - \frac{X}{2} \right) \right)$$
$$6.25X^2 = 118.475 - 6.77X + 2500 - 125X - 125X$$
$$6.25X^2 = 118.475 - 6.77X + 2500 - 125X - 125X$$
$$X = 10.13$$

Posteriormente, calculamos el momento de inercia respecto a dicho eje neutro.

$$I_z = \frac{1}{12} \times 12.5 \times 10.13^3 + 12.5 \times 10.13 \times 5.065^2 + 6.77 \times 6.92^2 + \frac{1}{12} \times 6.77 \times 0.375^3$$

$$I_z = 4378.17 \text{ cm}^4$$



ANEXO 9.4

(Hoja Técnica Colmax32 - Empresa Sika)



Ficha Técnica
Versión, Septiembre, 2014
Colma Fix 32

Colma Fix® 32

Puente de adherencia

Descripción del Producto	Colma Fix® 32 es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epoxi, libre de solventes, para unir hormigón fresco con endurecido.
Usos	Como adhesivo para la unión de hormigón o mortero fresco con: Hormigón endurecido, mortero endurecido, piedra, acero, fierro, fibrocemento y madera.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Excelente adherencia aún en superficies húmedas. ■ Elevadas resistencias mecánicas. ■ Tiempo de acción prolongado. ■ Libre de solventes.
Normas	Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C881-78 Tipo II, grado 2. Certificado por el Instituto de Salud Pública como producto no tóxico.
Datos del Producto	
Color	Gris (mezcla A+B)
Almacenamiento	Dos años en envase original bien cerrado en lugar fresco y bajo techo, a temperaturas entre 5°C y 25°C. Acondicione el material a temperatura de 18°C - 30°C antes de usar.
Presentación	Juego 5 kg. Caja 6 x 1 kg.
Datos Técnicos	
	Densidad: 1,4 kg/dm ³
	Pot - life de 1 Kg. a 25° C : 60 minutos
	Adherencia al hormigón : 2,5 - 3 N/mm ² (ruptura del hormigón).
	Adherencia al acero : 18 - 20 N/mm ²
	Proporción de la mezcla :
	En peso : A : B = 2 : 1
	En volumen : A : B = 2 : 1
	Resistencias mecánicas:
	Compresión : 60 - 70 N/mm ²
	Flexión : 30 - 35 N/mm ²
	Tracción : 18 - 20 N/mm ²
Aplicación	
Consumo	El consumo aproximado es de 0,3 a 0,5 kg/m ² , dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.
Preparación de las superficies	<p>Hormigón: Al momento de aplicar Colma Fix® 32, el hormigón debe encontrarse limpio, exento de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas. La superficie de hormigón debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al hormigón sano, empleándose para ello chorro de agua y arena, escobilla de acero, puntos, etc.</p> <p>Metales: Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pinturas, etc. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físico-químicos.</p>
Instrucciones de mezclado	Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica (max. 600 rpm) durante 5-7 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. En el caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se puede subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.





Construcción

Método de Aplicación	<p>La temperatura de la superficie para aplicar Colmax Fix[®] 32 debe estar comprendida entre 10-30 °C. La colocación se puede realizar con brocha, rodillo o pulverizador adecuado al producto. El hormigón o mortero fresco debe ser aplicado una vez transcurrida 1 hr de aplicado Colmax Fix[®] 32 y antes de transcurridas 7 hrs, a 20°C; con temperaturas mayores este tiempo se acorta y con temperaturas menores se alarga. En todo caso, el producto debe estar fresco al tacto al vaciar el hormigón.</p> <p>Las herramientas y los instrumentos deben ser limpiados inmediatamente después del empleo con diluyente a la piroxilina.</p>
Base de Valores	<p>Todos los datos técnicos del producto indicados en esta hoja de datos se basan en pruebas de laboratorio. Los datos medidos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.</p>
Restricciones Locales	<p>Observe, por favor, que como resultado de regulaciones locales específicas el funcionamiento de este producto puede variar de un país a otro. Consultar, por favor, la hoja de datos local del producto para la descripción exacta de los campos de aplicación.</p>
Instrucciones de seguridad	
Salud y Seguridad	<p>Para información y consejo sobre seguridad en la manipulación, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben referirse a la ficha de datos de seguridad vigente, la cual contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros datos relativos a la seguridad. En caso de emergencia llamar al CITUC a los siguientes fonos: 6353800 por intoxicaciones ó 2473600 por emergencias químicas.</p>
Observaciones	<p>La información, y, en particular, las recomendaciones relacionadas a la aplicación y uso final de productos de Sika, se dan en buena fe basada en el conocimiento y experiencia actual de Sika de los productos cuando se han almacenado apropiadamente, manipulados y aplicados bajo las condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en materiales, substratos y condiciones reales del sitio son tales que ninguna garantía en relación a la comercialización o de aptitud para un propósito particular, ni cualquier obligación que surja en absoluto de cualquier relación legal, puede ser inferida de esta información, ni de cualquier otra recomendación escrita, o de cualquier otra sugerencia ofrecida. El usuario debe probar la aptitud del producto para la aplicación y propósito propuesto. Sika se reserva el derecho para cambiar las propiedades de sus productos. Deben observarse los derechos de propiedad de terceras partes. Todas las órdenes de compra son aceptadas sujetas a nuestras condiciones actuales de venta y entrega. Los usuarios siempre deben referirse a la más reciente edición de la Ficha Técnica local del producto correspondiente, copias de la cual se proporcionarán a su solicitud.</p>



Sika S.A. Chile
Pde. S. Allende 85
San Joaquín
Santiago
Chile
Tel. 56 2 510 6510
Fax 56 2 552 3735
www.sika.cl





ANEXO 9.5

(Hoja Técnica Cemento Pacasmayo tipo MS)



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.160 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 686 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

CEMENTO ANTISALITRE NUEVA FÓRMULA **FORTIMAX3**

Cemento Portland Tipo MS(MH)(R)

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157
Pacasmayo, 13 de febrero 2015.

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	4800	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	5.5	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.94	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm ²)	23.2 (237)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm ²)	32.2 (328)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm ²)	43.2 (440)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	174	Mínimo 45
Fraguado Final	min	329	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.004	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato a 6 meses	%	0.04	Máximo 0.10
Calor de Hidratación a 7 días	kcal/kg	67	Máximo 70
Opción R: Baja reactividad con agregados álcali-silice reactivos			
Expansión a 14 días	%	0.005	Máximo 0.020
Expansión a 56 días	%	0.016	Máximo 0.060

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el período del 01-01-2015 al 31-01-2015.
La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de diciembre 2014.
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de diciembre 2014.
La expansión por sulfato a 6 meses corresponde al mes de julio 2014.
El calor de hidratación corresponde al mes de diciembre 2014.
Opción R corresponden al mes de noviembre 2014.
(*) Requisito opcional.


Ing. Ivanoff Rojas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.



ANEXO 9.6

(Fotografías de Equipos y
Ensayo Físico)



FOTOGRAFIA 1.- Agregado grueso



FOTOGRAFIA 2.- Cemento y gravilla



FOTOGRAFIA 3.- Maquina universal de carga



FOTOGRAFIA 4.-
Compresora de concreto



FOTOGRAFIA 5.- Probetas de ensayo

FOTOGRAFIA 6- Ensayo a compresión de probeta





FOTOGRAFIA 7.- Aplicación de temple a vigas



FOTOGRAFIA 8.- Marcación de líneas de ubicación



FOTOGRAFIA 9.- Bloque distribuidor de carga



FOTOGRAFIA 10.- Habilitación de máquina para ensayo



FOTOGRAFIA 11.- Nivel de mano



FOTOGRAFIA 12.- Instalación de viga de prueba