

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EFECTO DE LA UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA EN  
LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS  
VACIADAS EN DOS ETAPAS”.**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
CLUBER MARTOS FUSTAMANTE**

**ASESOR:  
Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**

**CAJAMARCA– PERÚ**

**2018**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por guiar mis pasos y darme la fuerza espiritual para ser perseverante. A mi familia por su incesante ayuda que me permite no desmayar y seguir adelante.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor el Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, por su valioso apoyo moral y oportuna motivación en mi formación profesional así como en el desarrollo y seguimiento de la presente investigación.

También expresar mi sincera gratitud al Ing. José Lázaro Lezama Leiva por su colaboración y supervisión en este trabajo, así mismo hacer mi extensivo reconocimiento al M. Cs. Ing. José Luis Marchena Araujo y al Ing. Marcos Mendoza Linares por los aportes y sugerencias brindados.

Al joven Leiner Guerrero Gonzáles, a todos mis amigos y personas quienes me proporcionaron su invaluable ayuda en la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

*A Dios por dar sentido a mi vida, orientarme por el buen camino y darme la fortaleza para alcanzar mis sueños.*

*Con amor y cariño a mis padres Cluber y Tula, por su gran sacrificio, por sus consejos y ejemplo en mi formación, por su incansable apoyo y motivación en cada etapa de mi vida.*

*A mis hermanos que los quiero mucho Doritha y Ghyankarlo, al igual que a mi abuelita Teresa, por compartir mis aciertos y desaciertos enseñándome a seguir adelante.*

## **CONTENIDO**

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS:	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	15
1.3. HIPÓTESIS:	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:	16
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN:	16
1.6. OBJETIVOS:	17
1.6.1. Objetivo General:	17
1.6.2. Objetivos Específicos:	17
1.7. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS:	17

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN:	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES:	20
2.2. BASES TEÓRICAS:	21
2.2.1. CONCRETO ARMADO:	21
2.2.2. VIGAS:	27
2.2.3. FLEXIÓN:	27
2.2.4. ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZAS DE CORTE:	36
2.2.5. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIO:	39
2.2.6. DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE FISURAS:	39

2.2.7. RAJADURAS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO:	41
2.2.8. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS:	42
2.2.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CON JUNTAS:	44
2.2.10. ADHESIVO EPÓXICO:	45
2.2.11. ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A FLEXIÓN:	48
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:	50

### **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. UBICACIÓN:	53
3.1.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:	53
3.1.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN:	53
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	54
3.2.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:	54
3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO:	54
3.2.3. MUESTRA:	54
3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS:	55
3.2.5. UNIDAD DE OBSERVACIÓN:	55
3.2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	55
3.3. PROCEDIMIENTO:	56
3.3.1. UBICACIÓN DE LA CANTERA:	57
3.3.2. AGREGADO FINO:	57
3.3.3. AGREGADO GRUESO:	58
3.3.4. CEMENTO PORTLAND TIPO I:	58
3.3.5. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS:	58
3.3.6. DISEÑO DE MEZCLAS:	60
3.3.7. DISEÑO DE VIGAS:	63
3.3.8. ENCOFRADO DE VIGAS:	63
3.3.9. HABILITACIÓN DE ACERO:	63
3.3.10. LLENADO DE VIGAS-PRIMERA ETAPA:	63
3.3.11. CURADO DEL CONCRETO ARMADO:	64
3.3.12. APLICACIÓN DE LOS ADHESIVOS EPÓXICOS:	64
3.3.13. LLENADO DE VIGAS-SEGUNDA ETAPA:	64

3.3.14. DESENCOFRADO DE LAS VIGAS DE CONCRETO:	64
3.3.15. ENSAYO A FLEXIÓN:	65
3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:	65
3.4.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:	65
3.4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:	65

#### **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1. DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:	92
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON ANTECEDENTES TEÓRICOS:	96
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON BASES TEÓRICAS:	97
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS:	97

#### **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES:	99
5.2. RECOMENDACIONES:	99

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:</b>	100
------------------------------------	-----

<b>APÉNDICE:</b>	103
------------------	-----

APÉNDICE I: FICHA DE OBSERVACIONES:	104
-------------------------------------	-----

<b>ANEXOS:</b>	105
----------------	-----

ANEXO I: ILUSTRACIONES DEL DESARROLLO DE LA TESIS:	106
--	-----

ANEXO II: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS:	114
---	-----

Anexo II.1: Agregado Fino:	114
----------------------------	-----

Anexo II.2. Agregado grueso:	119
------------------------------	-----

Anexo II.3. Constancia de uso de laboratorio:	125
---	-----

ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS:	126
-------------------------------	-----

Anexo III.1: Tablas de diseño de mezclas-Rivva, E. (2014):	126
--	-----

Anexo III.2: Diseño de mezclas-prueba:	128
--	-----

Anexo III.3: Ajuste de mezcla de prueba:	130
Anexo III.4: Resultados del Ensayo a Compresión:	132
ANEXO IV: DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO:	133
Anexo IV. 1: Predimensionamiento de vigas:	133
Anexo IV. 2: Diseño por flexión:	133
Anexo IV. 3: Diseño por corte:	135
Anexo IV. 4: Comparación del Momento Actuante y Momento Resistente:	137
Anexo IV. 5: Cálculo del eje neutro de la sección:	138
Anexo IV. 6: Cálculo de los momentos flectores:	138
ANEXO V: HOJAS TÉCNICAS:	139
Anexo V.1: Cemento Pacasmayo Tipo I	139
Anexo V.2: Sikadur® 32 Gel	140
Anexo V.3: Chema Epox Adhesivo 32	143

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Componentes Químicos de Cemento Portland.</i>	22
<i>Tabla 2.2. Compuestos Químicos del Cemento Portland.</i>	23
<i>Tabla 2.3. Diámetros y áreas de aceros.</i>	26
<i>Tabla 2.4. Cuantía balanceada</i>	35
<i>Tabla 2.5. Peralte mínimo en vigas.</i>	42
<i>Tabla 2.6. Ventajas y Desventajas del uso de adhesivos epóxicos.</i>	46
<i>Tabla 3.1. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 1.</i>	66
<i>Tabla 3.2. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 2.</i>	67
<i>Tabla 3.3. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 3.</i>	68
<i>Tabla 3.4. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 4.</i>	69
<i>Tabla 3.5. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 5.</i>	70
<i>Tabla 3.6. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 6.</i>	71
<i>Tabla 3.7. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 7.</i>	72
<i>Tabla 3.8. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 8.</i>	73
<i>Tabla 3.9. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 9.</i>	74
<i>Tabla 3.10. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 10.</i>	75
<i>Tabla 3.11. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 11.</i>	76
<i>Tabla 3.12. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 12.</i>	77
<i>Tabla 3.13. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 13.</i>	78
<i>Tabla 3.14. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 14.</i>	79
<i>Tabla 3.15. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 15.</i>	80
<i>Tabla 3.16. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 16.</i>	81
<i>Tabla 3.17. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 17.</i>	82
<i>Tabla 3.18. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 18.</i>	83
<i>Tabla 3.19. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 19.</i>	84
<i>Tabla 3.20. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 20.</i>	85
<i>Tabla 3.21. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 21.</i>	86
<i>Tabla 3.22. Carga máxima promedio por tipo de viga.</i>	87
<i>Tabla 3.23. Deflexión máxima promedio por tipo de viga.</i>	88
<i>Tabla 3.24. Ancho de grietas.</i>	90
<i>Tabla 7.1. Resistencia Promedio o Resistencia Media Requerida.</i>	126

<i>Tabla 7.2. Consistencia y asentamiento del concreto.</i> .....	126
<i>Tabla 7.3. Selección del asentamiento.</i> .....	126
<i>Tabla 7.4. Volumen unitario de agua.</i> .....	126
<i>Tabla 7.5. Contenido de aire atrapado.</i> .....	127
<i>Tabla 7.6. Relación agua/cemento por resistencia.</i> .....	127
<i>Tabla 7.7. Módulo de Finura de la combinación de agregados.</i> .....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<i>Figura 2.1. Gráfico esfuerzo vs deformación del acero. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.2. Tipos de vigas. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2.3. Diagrama de momento flector de una viga. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.4. Diagrama de momento resistente vs curvatura ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.5. Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga..</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.6. Distribución de deformaciones para los diversos tipos. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.7. Diagrama momento-curvatura para los tipos de falla en flexión. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.8. Diagrama de deformaciones de una sección con falla balanceada ..</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.9. Diagrama de fuerzas cortantes a una distancia "d". ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.10. Dimensiones de sección de viga ....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.11. Tipos de rajaduras en vigas de concreto armado ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.12. Vista en planta de la viga analizada ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.13. Muestra con una junta sometida a compresión pura ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.14. Resistencia a la compresión para una muestra con una junta. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2.15. Esquema básico de una unión adhesiva. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 2.16. Modos de falla de las uniones adhesivas. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.17. Variación de la resistencia incrementando anchura y longitud de solapamiento. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2.18. Variación de la resistencia para diferentes grosores. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 2.19. Dispositivo adecuado para la prueba de flexión ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.1. Ubicación geográfica del lugar de investigación.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.2. Secciones de los 4 tipos de vigas. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.3. Flujograma del procedimiento usado en la investigación.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3.4. Ubicación de la Cantera Margarita Km 91+000 Cajamarca-Ciudad de Dios. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.5. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 1. ....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.6. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 2. ....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.7. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 3. ....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.8. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 4. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.9. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 5. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.10. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 6. ....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.11. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 7. ....</i>	<i>72</i>

<i>Figura 3.12. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 8.</i>	73
<i>Figura 3.13. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 9.</i>	74
<i>Figura 3.14. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 10.</i>	75
<i>Figura 3.15. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 11.</i>	76
<i>Figura 3.16. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 12.</i>	77
<i>Figura 3.17. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 13.</i>	78
<i>Figura 3.18. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 14.</i>	79
<i>Figura 3.19. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 15.</i>	80
<i>Figura 3.20. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 16.</i>	81
<i>Figura 3.21. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 17.</i>	82
<i>Figura 3.22. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 18.</i>	83
<i>Figura 3.23. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 19.</i>	84
<i>Figura 3.24. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 20.</i>	85
<i>Figura 3.25. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 21.</i>	86
<i>Figura 3.26. Comparación de las Cargas máximas vs. Tipo de viga.</i>	87
<i>Figura 3.27. Comparación del Momento Flector Máximo vs tipo de viga.</i>	88
<i>Figura 3.28. Comparación de la Deflexión máxima vs. Tipo de viga.</i>	89
<i>Figura 3.29. Ancho de grieta real.</i>	90

## RESUMEN

Debido a múltiples razones como procesos constructivos, programación de obra, mantenimiento o reparación de estructuras, reforzamiento post-construcción, así como la informalidad en el sector construcción; es necesario utilizar un adhesivo epóxico que funcione como puente de adherencia entre un concreto fresco con un concreto endurecido, de tal modo asegurar su unión y monolitismo. El presente tema de investigación radicó en encontrar el efecto de la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de vigas de concreto armado, para ello se construyeron 4 tipos vigas: las vigas tipo I las cuales son monolíticas y sirven como vigas patrón, las vigas tipo II, tipo III y tipo IV tienen el puente de adherencia ubicado sobre el eje neutro, en el mismo eje neutro y debajo del eje neutro respectivamente; los adhesivos epóxicos utilizados son Sikadur ® 32 Gel y Chema Epox Adhesivo 32. De los resultados que se obtuvieron en laboratorio revelaron un aumento de 8 % en la resistencia a flexión y un incremento de 5.12 % en la ductilidad de las vigas tipo II empleando el adhesivo Sika, mientras que para el resto de casos dichos valores disminuyeron conforme el puente de adherencia se acerca a la base de la sección. Por lo tanto se concluyó que el efecto que ocasiona la ubicación del puente de adherencia sobre el eje neutro aumenta la resistencia a flexión y ductilidad en vigas llenadas en dos etapas.

**Palabras Clave:** Puente de adherencia, adhesivo epóxico, vigas, ductilidad, resistencia a flexión, deflexión, concreto armado.

## ABSTRACT

Due to multiple reasons such as construction processes, work scheduling, maintenance or repair of structures, post-construction reinforcement, as well as informality in the construction sector; it is necessary to use an epoxy adhesive that works as a bond of adhesion between a fresh concrete with a hardened concrete, in such a way as to ensure its union and monolithism. The present research topic was to find the effect of the location of the bridge of adhesion in the resistance to bending of reinforced concrete beams, for this, 4 types of beams were built: type I beams which are monolithic and serve as standard beams, the type II, type III and type IV beams have the adhesion bridge located on the neutral axis, on the same neutral axis and below the neutral axis respectively; The epoxy adhesives used are Sikadur ® 32 Gel and Chema Epox Adhesive 32. From the results obtained in the laboratory they revealed an increase of 8 % in the resistance to flexion and a 5.12 % increase in the ductility of the type II beams using the Sika adhesive, while for the remaining cases these values decreased as the bridge of adhesion approaches the base of the section. Therefore, it was concluded that the effect caused by the location of the bridge of adhesion on the neutral axis increases the resistance to bending and ductility in beams filled in two stages.

**Keywords:** Adhesion bridge, epoxy adhesive, beams, ductility, resistance to bending, deflection, reinforced concrete.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

El sector construcción a nivel mundial es considerado como un dinamizador de la economía de un país o región. Este sector en el Perú a mediados del siglo XIX empieza a utilizar concreto como material de construcción. En la actualidad, este material es el más utilizado en la construcción en nuestro país. (Harmsen T., 2017).

En condiciones ideales toda estructura de concreto armado es concebida como monolítica y debe ser materializada de forma continua e ininterrumpida; sin embargo en la construcción es frecuente que se requiera adherir un concreto fresco con un concreto ya endurecido debido a procesos constructivos, programación de obra, mantenimiento o reparaciones de estructuras.

También para el caso de reforzamiento post-construcción a causa de rehabilitación sísmica, cambios de uso, defectos constructivos y de diseño; es necesario aumentar la sección de los elementos estructurales y por ende unir concretos de diferente edad.

El aspecto económico y la informalidad en la construcción son otros causales que ocasionan juntas frías de construcción, como el llenado de vigas hasta una fracción de su peralte o dejar acero de refuerzo a la intemperie para un futuro llenado conjuntamente con la losa de techo. (Mosqueira, M. y Tarque, S., 2005).

En todos los ejemplos antes mencionados es necesario utilizar un adhesivo epóxico en el plano de interrupción o en la superficie de adherencia entre ambos sustratos de concreto para generar un puente de adherencia entre concreto nuevo y concreto antiguo de tal modo garantizar su unión y monolitismo; no obstante para elementos estructurales sometidos a flexión como es el caso de vigas es necesario conocer la influencia que provoca la ubicación del puente de adherencia en esta, cuando ha sido llenada en dos etapas; es aquí que reside el tema principal de la presente investigación.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:**

La investigación trata de resolver la siguiente pregunta:

¿Cuál es el efecto de la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas?

### **1.3. HIPÓTESIS:**

El efecto de la ubicación del puente de adherencia sobre el eje neutro de la viga aumenta la resistencia a flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:**

La justificación teórica del presente estudio radica en aportar conocimientos referentes al efecto que provoca la ubicación del puente de adherencia en el comportamiento a flexión de vigas de concreto armado, vaciadas en dos etapas en las cuales se han utilizado adhesivos epóxicos como puentes de adherencia entre concreto nuevo y concreto antiguo.

La justificación práctica es proponer una alternativa de solución confiable para los constructores o responsables de la ejecución de proyectos que emplean estos productos epóxicos en los elementos estructurales.

La justificación personal es mi interés ambiental y económico en la reutilización de elementos estructurales deficientes de tal forma que adquieran un comportamiento estructural adecuado empleando los adhesivos epóxicos entre concretos de diferente edad.

### **1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN:**

- Las dimensiones de la viga fueron 1.20 m de longitud, 15 cm de ancho y 20 cm de peralte ensayadas en su centro de luz, tal como establece la NTP 339.079.
- Las vigas tuvieron una resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> y su diseño estructural cumplió con la norma de concreto armado E 060.
- La ubicación del puente de adherencia se planteó solamente en tres lugares de la viga de concreto armado; debajo del eje neutro (a 5 cm de la base), en el mismo eje neutro (a 10 cm de la base) y sobre el eje neutro (a 15 cm de la base).
- Los adhesivos epóxicos utilizados en esta investigación son los más requeridos en el mercado de la construcción y son: Sikadur® 32 Gel y Chema Epox Adhesivo 32.
- En esta investigación no se evaluó el desplazamiento entre sustratos de concreto, ni la efectividad del puente de adherencia.

## **1.6. OBJETIVOS:**

### **1.6.1. Objetivo General:**

- Determinar el efecto de la ubicación del puente de adherencia en la resistencia a flexión de vigas simplemente armadas vaciadas en dos etapas.

### **1.6.2. Objetivos Específicos:**

- Determinar el momento flector máximo y deflexión máxima de cada viga.
- Determinar la ductilidad de cada viga ensayada a flexión.
- Comparar y analizar los resultados del comportamiento estructural de los cuatro tipos de vigas.

## **1.7. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS:**

El presente estudio cuenta con cinco capítulos los cuales se describen a continuación:

**Capítulo I:** Este capítulo considera el contexto, el problema incluyendo la pregunta principal y la hipótesis, la justificación de la investigación, los alcances de la investigación y los objetivos.

**Capítulo II:** El presente capítulo contiene al marco teórico, comenzando con la descripción del estado del arte a nivel internacional, nacional y local; luego se detalla los fundamentos teóricos que sirven de base para la investigación.

**Capítulo III:** Empieza precisando la ubicación geográfica y el tiempo en el cual se realizó la investigación, luego se menciona la metodología aplicada y se describe el procedimiento en orden cronológico realizados en esta investigación y finalmente se presenta los resultados obtenidos del procesamiento de datos, de acuerdo a los objetivos especificados y complementados con los cálculos de los anexos.

**Capítulo IV:** En esta sección se analiza y discuten los resultados obtenidos del capítulo anterior, también se hace un contraste de la hipótesis y de los antecedentes teóricos; resaltando las coincidencias y divergencias explicando la razón de las mismas.

**Capítulo V:** En esta parte finaliza el estudio concluyendo para cada objetivo en función a los resultados encontrados y también se indica las recomendaciones pertinentes para la presente investigación.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

## 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN:

### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES:

De acuerdo con Pinzón O. E. (2011) en su investigación de maestría: **“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”**, realizó ensayos a flexión de vigas reforzadas externamente con platinas metálicas en las cuales el sistema de adherencia estaba compuesto únicamente por la resina epóxica BASF, CONCRETSIVE PASTA ®. Con esto se buscó determinar la influencia, en términos de resistencia, de este componente epóxico dentro del sistema de adherencia. Los resultados de estos ensayos indicaron que solamente la resina resulta insuficiente para garantizar la correcta adherencia en el sistema, debido a que se presentaron desprendimientos tempranos de la platina ante cargas relativamente bajas; por lo tanto la platina no transmite correctamente los esfuerzos entre el refuerzo externo y la viga.

Otro estudio en el ámbito internacional es la del autor Rahman, M. (2016) en su investigación: **“Efecto de la sustitución de adhesivo con mortero de cemento en viga NSM de Hormigón Reforzado fortalecida”**; evaluó el reforzamiento de una viga deficiente fortaleciéndola con el uso de barras de acero, con montaje cercano a la superficie (NSM), también evalúa el tipo de adhesivo utilizado (Sikadur® 30) para la unión entre sustrato de concreto y elementos de refuerzo; además de la sustitución progresiva de este adhesivo epóxico por un mortero de cemento. Este estudio concluye que el comportamiento a flexión de las vigas con NSM es superior a la muestra patrón y el reemplazo parcial del adhesivo epóxico por mortero de cemento no afecta significativamente el comportamiento a flexión de dichas vigas de concreto armado reforzadas con la técnica NSM. Por lo que, el autor sugiere la sustitución parcial del adhesivo por un mortero de cemento como una alternativa rápida, económica y confiable debido a que este reemplazo no afecta las propiedades mecánicas del elemento estructural.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES:**

Según Proaño L. R. (2011) en su tesis de maestría: **“Comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas externamente con platinas de fibras de carbono”**; estudia el reforzamiento de vigas agrietadas con laminados de polímeros reforzados con fibras de carbono (FRP) adheridos con dos tipos de sistemas de resinas epóxicas. De los ensayos en vigas de concreto armado sujetas a cargas transversales se obtuvo los siguientes resultados: La viga patrón mostró un momento último en el centro de la misma de 42.8 KN-m fallando por rotura del recubrimiento en compresión del concreto. La viga 1 A reforzada con el sistema Sika Carbodur y la viga 1 B reforzada con el sistema MBrace lograron un momento último de 53.9 KN-m y 71.05 KN-m respectivamente, la falla que experimento ambas vigas fue por desprendimiento del refuerzo externo en el tercio central de la viga, también presentó nuevo agrietamiento durante el incremento de carga. Por lo que concluyó que el reforzamiento es efectivo en ambos sistemas de adherencia.

## **2.2. BASES TEÓRICAS:**

### **2.2.1. CONCRETO ARMADO:**

Nilson A. (2001), define al concreto como un material compuesto, semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava y agua; para después endurecer en las formas deseadas.

Los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son: la disponibilidad de materiales componentes, el bajo costo que representa obtenerlos (sin considerar al cemento y aditivos), la facilidad de llenar cualquier tipo de forma, la alta resistencia al fuego y al clima en condiciones severas.

Una de sus principales propiedades del concreto es su alta resistencia a la compresión, idóneo para elementos estructurales como columnas; no obstante cuenta con una baja resistencia a la tensión en comparación con su resistencia a la compresión por lo que es relativamente frágil considerando esta carencia. Para contrarrestar esta restricción se comenzó a utilizar de forma factible el acero de refuerzo, por su alta resistencia a la tensión principalmente en aquellos lugares donde la baja resistencia a la tensión del concreto limita la capacidad portante del elemento estructural; por lo tanto este refuerzo se coloca al concreto fresco en formas de barras circulares con nervaduras para mayor adherencia y así formar un solo elemento. La combinación resultante de estos dos materiales es conocida como concreto reforzado o armado y combina las ventajas de cada elemento uno, al igual que el bajo costo que significa fabricarlo.

#### **2.2.1.1. Componentes del Concreto Armado:**

##### **2.2.1.1.1. Cemento Portland:**

El cemento es el material más primordial del concreto por que brinda a este su resistencia cuando este se encuentra completamente endurecido. El cemento portland es un producto artificial obtenido por la calcinación de mezcla adecuadamente molida de caliza, arcilla y minerales de hierro, formándose así un compuesto llamado Clinker, luego se pulveriza el Clinker de cemento portland y se adiciona Yeso (sulfato cálcico di hidratado), permitiéndole a la mezcla fraguar y endurecer. (NTP 334.001, 2011).

### Componentes Químicos:

Los componentes químicos del cemento Portland se expresan por el porcentaje del contenido de óxidos. Los principales óxidos son: la cal u oxido de calcio, sílice, alúmina y el óxido férrico, siendo el total de éstos del 95 % al 97 %. Otros óxidos en pequeñas cantidades también son: magnesio, sodio, potasio, titanio, azufre y otros de menor importancia (Torre A., 2004).

*Tabla 2.1. Componentes Químicos de Cemento Portland. (Adaptado de Torre A., 2004)*

Oxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	58% - 67%	<b>C</b>
SiO <sub>2</sub>	16% - 26%	<b>S</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4% - 8%	<b>A</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% - 5%	<b>F</b>
SO <sub>3</sub>	0.1% - 2.5%	
MgO	1% - 5%	
K <sub>2</sub> O y Na <sub>2</sub> O	0% - 1%	
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0% - 3%	
TiO <sub>2</sub>	0% - 0.5%	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0% - 1.5%	
Pérdida x Calcinación	0.5% - 3%	

### Compuestos Químicos:

En la fabricación del clinker de cemento Portland, al ser calcinado los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima entre si dando lugar a cuatro importantes compuestos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente el 90-95 % del cemento, al igual que hay compuestos secundarios de bajo porcentaje. (Torre A., 2004).

Tabla 2.2. *Compuestos Químicos del Cemento Portland. (Adaptado de Torre A., 2004)*

Designación	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	30% a 50%
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	15% a 30%
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	4% a 12%
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	8% a 13%
Cal libre	$\text{CaO}$		
Magnesia libre (Periclasa)	$\text{MgO}$		

### **Tipos:**

Los tipos de Cementos Portland reglamentados en las normas NTP 334.009-2013 y ASTM C150, son:

Tipo I: Normal para uso general.

Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos

Tipo III: Rápida resistencia inicial

Tipo IV: Bajo calor de hidratación

Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos

### **2.2.1.1.2. Agregados:**

Conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial que pueden ser tratados o elaborados. (NTP 400.011, 2013).

Los agregados son aglomerados o ligados por la pasta del cemento para formar la estructura resistente del concreto. Llamados también áridos, son materiales inertes porque aunque forman al concreto no intervienen en la reacción química de este; aunque por el gran volumen que ocupan dentro del concreto sus particularidades pueden afectar la elección del cemento a utilizar al igual que las condiciones a la que estará expuesto el elemento estructural.

**Clasificación:****Agregado Fino:**

Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado de 9.5 mm (3/8 pulg.) y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037-2014.

El agregado fino puede consistir en arena natural o elaborada o una combinación de estas. Sus partículas serán limpias libre de cantidades nocivas de polvo, materia orgánica, sales, pizarras, esquistos u otras sustancias dañinas. En cuanto al perfil del agregado deberán ser preferentemente angular, duros, compactos y resistentes. (Rivva E., 2014).

**Agregado Grueso:**

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) provenientes de la desagregación natural o artificial de roca y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037-2014.

El agregado grueso podrá estar constituido de grava natural (redondeada) o triturada (angular), piedra partida o chancada, el agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias que no superen el 5 % de impurezas finas, de perfil completamente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de una textura adecuadamente rugosa. En cuanto a la granulometría seleccionada deberá ser continua y permitir obtener la máxima densidad del concreto, para que este sea trabajable y de adecuada consistencia al ser colocado en obra. (Rivva E., 2014).

**Hormigón:**

No se encuentra dentro de la clasificación de agregados de la norma NTP 400.037-2014, sin embargo está incluido como definición.

Material mixto que se encuentra principalmente en los conos de deyección o bancos de depósitos en las orillas de los ríos y se utiliza en la construcción como concreto no estructural para solados, cimientos, sobrecimientos, entre otros. (Rivva E., 2014)

Es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera. (Torre A., 2004).

#### **2.2.1.1.3. Agua de Mezclado:**

El agua es la materia prima indispensable al igual que el cemento en la concepción del concreto, ya que su relación (A/C) regula la resistencia que alcanzará en dicho concreto, la combinación de estos forma la pasta de la mezcla cuya función es ligar o aglutinar a los agregados obteniendo una consistencia y trabajabilidad adecuada para ser vaciada en obra.

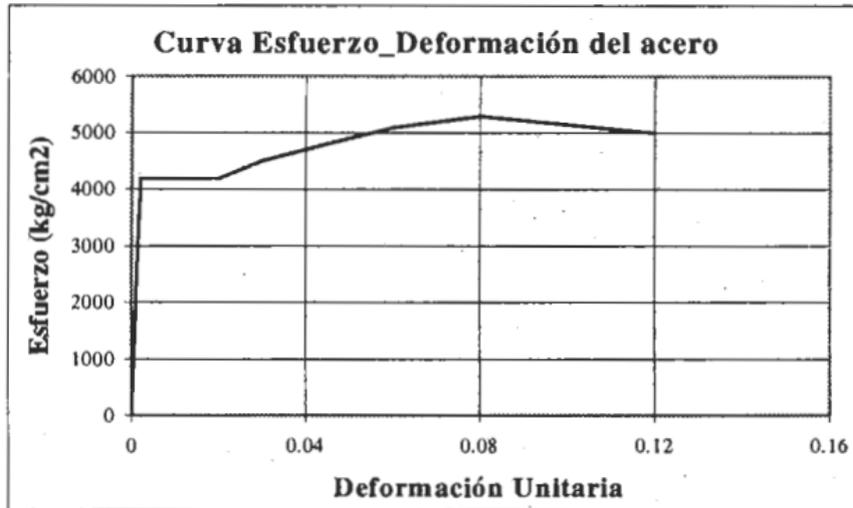
El agua de mezclado para elaborar concreto puede ser agua potable proveniente de la red pública de suministro, no obstante algunas aguas usadas en la construcción no son potables y pueden ser utilizadas si cumplen con algunos requisitos indicados en la norma NTP 339.088, 2014 y la norma E. 060. En nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades. (Torres A., 2004).

#### **2.2.1.1.4. Acero de Refuerzo:**

Morales R. (2012) define al acero de refuerzo en el concreto armado como varillas de sección redonda, con nervaduras para tener mayor adherencia entre concreto-acero e impedir su desplazamiento. Usualmente el tipo de acero se caracteriza por el esfuerzo de fluencia, entre estos tipos tenemos los de grado 40, 50 y 60 que corresponden a los límites de fluencia de 28000, 35000, y 42000 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. El módulo de elasticidad del acero "E" es prácticamente el mismo para todos los aceros, con un valor de 2 000 000 Kg/cm<sup>2</sup>.

El gráfico de la Figura 2.1 se puede observar un tramo inicial elástico lineal, una plataforma de fluencia en donde la deformación continua sin variar el esfuerzo; por lo que este valor del esfuerzo se le llama esfuerzo de fluencia, también se nota una región de endurecimiento por deformación, y finalmente una zona donde el esfuerzo decae hasta producirse la fractura.

Figura 2.1. Gráfico esfuerzo vs deformación del acero. (Adaptado de Morales, R. 2012)



Valores de diseño para distintos diámetros de acero:

Tabla 2.3. Diámetros y áreas de aceros.

Designación	Diámetro		Área cm <sup>2</sup>	Peso kg/ml
	Pulg.	mm		
2	1/4	6.4	0.32	0.25
3	3/8	9.5	0.71	0.56
4	1/2	12.7	1.29	0.994
5	5/8	15.9	1.99	1.552
6	3/4	19.1	2.84	2.235
8	1	25.4	5.1	3.973
11	1 3/8	35.8	10.06	7.907
6 mm	-	6	0.28	0.222
8 mm	-	8	0.5	0.395
12 mm	-	12	1.13	0.888

### 2.2.2. VIGAS:

San Bartolomé A. (1998), define a las vigas como “elemento de soporte o apoyo de la losa, la cual transfiere su carga a dicha viga además de estar sujeta a la influencia de otras cargas tales como su propio peso, peso de tabiques y otros”.

Blanco A. (2011), designa a las vigas como “elementos de sostén de las losas y transfieren directamente su peso hacia las columnas o muros; dependiendo del tipo de sistema estructural con que se cuente”. Generalmente las vigas forman los ejes de una estructura y en sus intersecciones se ubican columnas; las vigas conjuntamente con las columnas y/o placas cumplen una función sísmica de suma importancia, la de aportar rigidez lateral a una estructura para resistir las fuerzas horizontales provocadas por sismos. En cuanto a sus tipos tenemos:

- Viga peraltada: es aquella cuyo peralte o altura de sección es mayor que el espesor de losa y por ende es visible diferenciándose del techo. Las vigas peraltadas pueden ser invertidas, si su peralte se desarrolla hacia la parte superior de la losa y normales, si su espesor se orienta hacia la parte inferior de la losa; ambos tipos de vigas aportan la misma rigidez y resistencia tan solo cambian los esfuerzos internos.
- Viga chata: son aquellas que se confunden con el techo por tener el mismo espesor.

*Figura 2.2. Tipos de vigas. (Adaptada de Blanco A. 2011)*



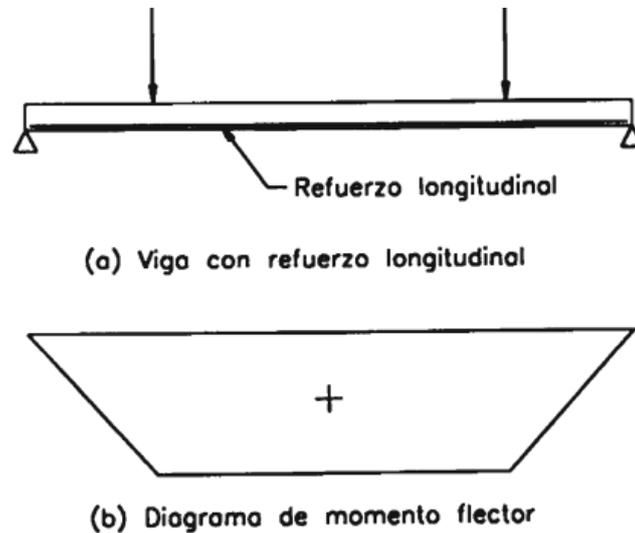
### 2.2.3. FLEXIÓN:

Blanco A. (2011) precisa que la flexión en todo elemento estructural se presenta cuando este elemento se encuentra sometido a cargas perpendiculares a su plano, estas cargas son externas y transversales, generando esfuerzos de flexión y fuerzas cortantes a lo largo de su eje longitudinal. Todas las ecuaciones que a continuación se detallan se encuentran en el sistema metro-kilogramo-segundo (MKS).

### 2.2.3.1. Secciones Rectangulares Sometidas a Flexión:

Harmsen T. (2017), especifica el caso de una viga rectangular simplemente apoyada en sus extremos con la presencia de dos cargas puntuales y perpendiculares a su eje longitudinal, ocasionando un diagrama de momento flector presentado en la figura 2.3.

Figura 2.3. Diagrama de momento flector de una viga. (Adaptado de Harmsen T. 2017)



En toda la longitud de la viga se genera un estrato superior a compresión y un estrato inferior a tracción. Las etapas que pasa la parte de la viga la cual presenta flexión pura, cuando se incrementa la carga hasta la falla por flexión, se describen a continuación:

**Etapas 1:** No hay presencia de rajaduras por que la carga es pequeña y por lo tanto los esfuerzos de compresión y tracción en la sección no superan la resistencia del concreto.

**Etapas 2:** El esfuerzo del concreto está a punto de alcanzar su resistencia a tracción. No se observan las primeras rajaduras pero si una creciente deformación. El acero y el concreto se deforman conjuntamente debido a su adherencia entre ellos presentando un comportamiento elástico, además los esfuerzos de cada material están vinculados por la siguiente ecuación:

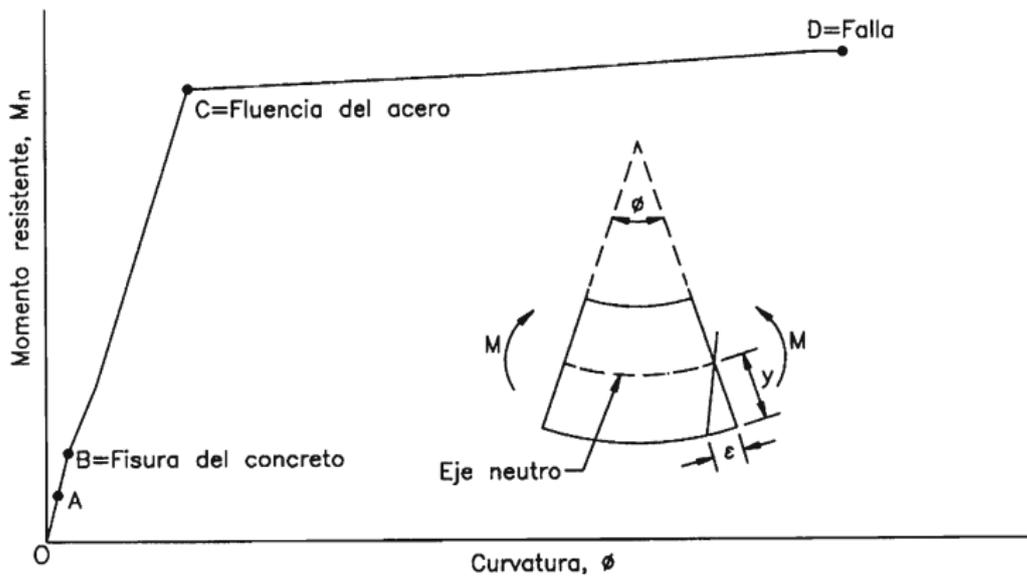
$$f_s = n f_c \quad (2.1)$$

Donde:  $f_s$ : Esfuerzo del acero.  
 $f_c$ : Esfuerzo del concreto.  
 $n$ : Relación modular.

**Etapa 3:** El concreto presenta agrietamiento, por ende no resiste el esfuerzo de tracción y éste último es absorbido por el refuerzo; la distribución de esfuerzos sigue siendo lineal. El concreto llega hasta la mitad de su resistencia a la compresión.

**Etapa 4:** El acero alcanza el esfuerzo de fluencia, aunque el concreto no llegue a su resistencia máxima, la deflexión se incrementa rápidamente y la distribución de esfuerzos ya no es lineal. Finalmente el concreto falla por aplastamiento.

Figura 2.4. Diagrama de momento resistente vs curvatura. (Adaptado de Harmsen T. 2017)



Harmsen define a la curvatura como:

$$\phi = y/\epsilon \quad (2.2)$$

Donde,  $\epsilon$  es la deformación unitaria de la sección analizada a una distancia "y" del eje neutro de la misma.

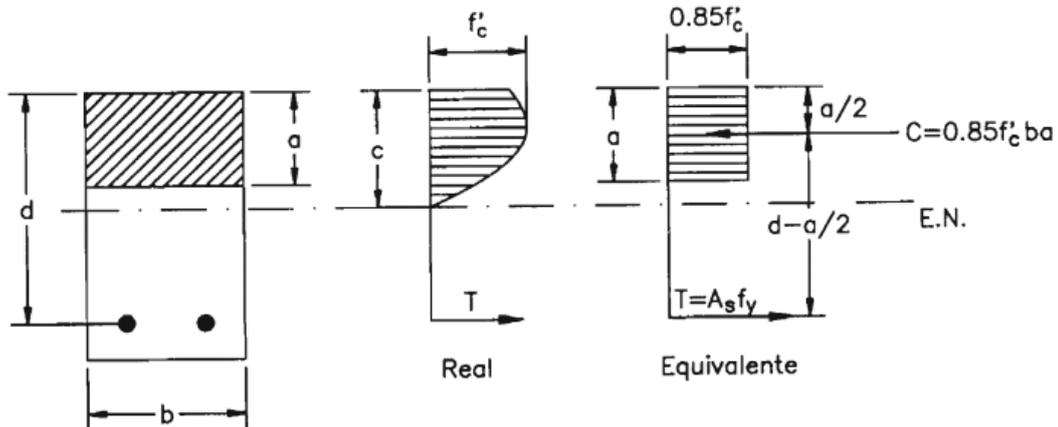
### **2.2.3.2. Hipótesis básicas para el estudio de elementos sometidos a flexión:**

El Código ACI-318 (2014) en su capítulo 22.2, presenta las siguientes hipótesis para elementos sometidos a flexión:

- 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 tracción como a compresión.
- El concreto falla al alcanzar una deformación unitaria última de 0.003. Sin embargo, para concretos normales éstas varían entre 0.003 y 0.004.
- El esfuerzo en el acero antes de alcanzar la fluencia es igual al producto de su módulo de elasticidad por su deformación unitaria. Para deformaciones mayores a la de fluencia, el esfuerzo en el refuerzo será independiente de la deformación e igual a  $f_y$ . Esta hipótesis refleja el modelo elasto-plástico de la curva esfuerzo-deformación del acero.
- La resistencia a la tensión del concreto es despreciada.
- 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.
- Los requerimientos del punto anterior son satisfechos por la distribución rectangular de esfuerzos, propuesta por Whitney. El valor de  $B_1$  es 0.85 si la resistencia del concreto es menor que  $280 \text{ kg/cm}^2$ . Si este no es el caso,  $B_1$  disminuirá en 0.05 por cada incremento de  $70 \text{ kg/cm}^2$  en la resistencia del concreto. En ningún caso  $B_1$  será menor que 0.65, pues los ensayos han demostrado que para concretos de alta resistencia una reducción excesiva de  $B_1$  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 2.5. Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga.

(Adaptado de Harmsen T. 2017)



### 2.2.3.3. Tipos de fallas en los elementos sometidos a flexión:

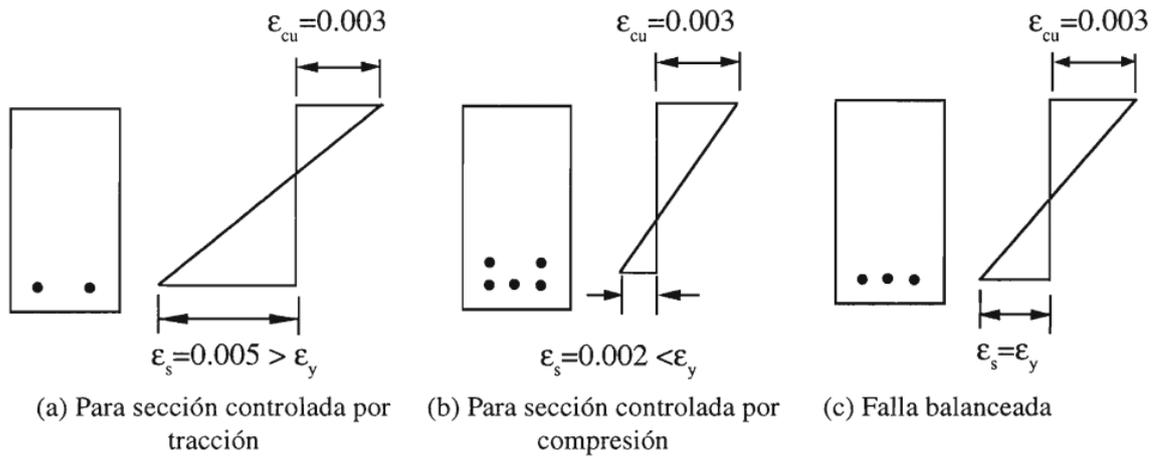
Harmsen, T. (2017), menciona 3 tipos de fallas:

- Falla por tensión: Llamadas también sub-reforzadas, en este tipo de falla el acero fluye y el elemento exhibe una falla dúctil por lo que se aprecian grandes deformaciones y agrietamiento antes de colapsar; la norma peruana establece la cantidad máxima de acero en tracción.
- Falla por compresión: El acero no tiene oportunidad de fluir (permanece en el rango elástico) y el concreto alcanza la deformación máxima fallando súbitamente. Estas secciones son llamadas sobre-reforzadas, su falla es frágil y no es recomendable en el diseño.

Comparando las resistencias de secciones de las mismas dimensiones, una sección sobre-reforzada es superior a una sección sub-reforzada; pero la falla de la misma no es recomendable.

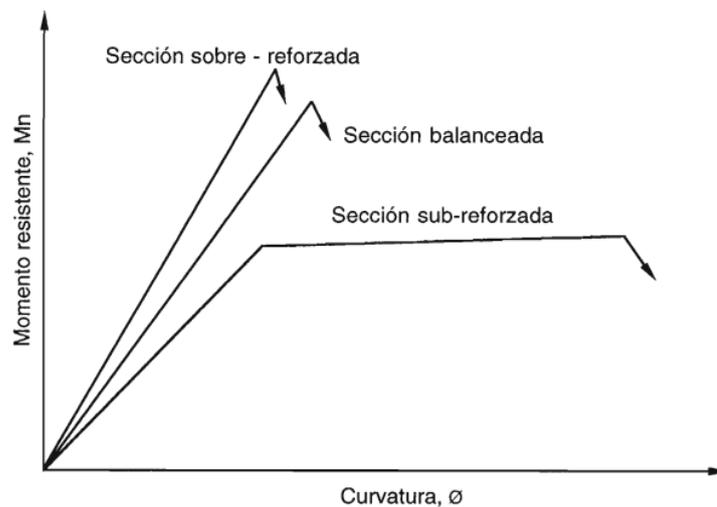
- Falla balanceada: Marca el límite entre las anteriores fallas, se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última de 0.003 simultáneamente al inicio de la fluencia del acero. También la fractura es frágil y no se recomienda.

Figura 2.6. Distribución de deformaciones para los diversos tipos. (Adaptado de Harmsen T. 2017)



Las características descritas anteriormente para cada tipo de falla se pueden apreciar mejor al ser comparadas en la siguiente gráfica momento resistente vs curvatura:

Figura 2.7. Diagrama momento-curvatura para los tipos de falla en flexión. (Adaptado de Harmsen T. 2017)



#### 2.2.3.4. Análisis de una sección rectangular sometida a flexión:

De la Figura 2.5, la condición de equilibrio establece:

$$C = T \tag{2.3}$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$0.85 f'c ba = As f_y \quad (2.4)$$

Donde  $b$ : es ancho de la sección.

$a$ : es la altura del rectángulo de esfuerzos de compresión en el concreto.

$As$ : área de acero en tensión de la sección.

Despejando “ $a$ ” de la ec. (2.4):

$$a = \frac{As f_y}{0.85 f'c b} \quad (2.5)$$

Conociendo las equivalencias del índice de refuerzo “ $w$ ” y de la cuantía “ $\rho$ ”:

$$w = \frac{\rho f_y}{f'c} \quad (2.6)$$

$$\rho = \frac{As}{bd} \quad (2.7)$$

Reemplazados en la ec. (2.5), obtenemos:

$$a = \frac{As f_y}{0.85 f'c b} = \frac{w d}{0.85} \quad (2.8)$$

Además el Momento Resistente Nominal de la sección es:

$$Mn = C \left( d - \frac{a}{2} \right) = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.9)$$

Reemplazamos valores de  $C$  y  $T$ :

$$Mn = 0.85 f'c ba \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.10)$$

$$Mn = As f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.11)$$

De las ec. (2.9) y (2.10):

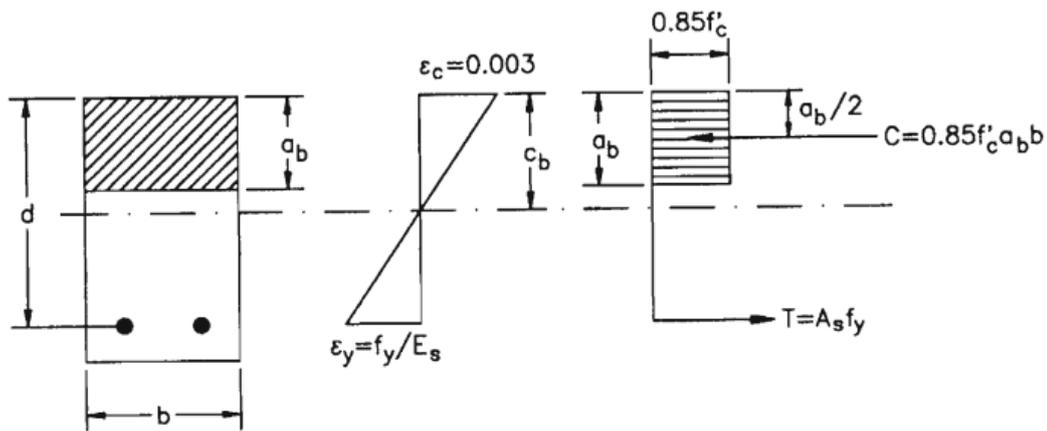
$$Mn = b d^2 w f'c (1 - 0.59w) \quad (2.12)$$

### 2.2.3.5. Cuantía Balanceada o Cuantía Básica:

Las formulas demostradas anteriormente son válidas cuando el esfuerzo del acero es igual al esfuerzo de fluencia esto permite que la cuantía de la sección sea menor o igual que la cuantía básica.

A continuación se muestra los diagramas de deformaciones de una sección balanceada:

Figura 2.8. Diagrama de deformaciones de una sección con falla balanceada.  
(Adaptado de Harmsen T. 2017)



Por semejanza de triángulos se puede anotar la siguiente equivalencia:

$$\frac{0.003}{C_b} = \frac{\varepsilon_y}{d - C_b} = \frac{f_y/E_s}{d - C_b} \quad (2.13)$$

Despejando el término  $C_b$  de la ec. (2.13):

$$C_b = \frac{0.003 d E_s}{f_y + 0.003 E_s} \quad (2.14)$$

Para un valor del módulo de elasticidad del acero de  $E_s = 2\,039\,000 \text{ Kg/cm}^2$ :

$$C_b = \frac{6117 d}{f_y + 6117} \quad (2.15)$$

Conociendo que  $a_b = \beta_1 c_b$  y reemplazando las equivalencias de las ec. (2.5), obtenemos:

$$a_b = \frac{\overline{\rho}_b f_y d}{0.85 f'_c} \quad (2.16)$$

Donde:  $\overline{\rho}_b$ : Cuantía balanceada o básica.

Finalmente la ecuación de la cuantía balanceada es:

$$\bar{\rho}_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left( \frac{6117}{f_y + 6117} \right) \quad (2.17)$$

El código ACI restringe la cuantía del acero a un  $0.75\bar{\rho}_b$  por razones de seguridad y aunque resulte antieconómica, por lo que se utiliza cuantías menores como  $0.50\bar{\rho}_b$ , a continuación se presenta valores de cuantías balanceadas para diferentes resistencias de concretos:

*Tabla 2.4. Cuantía balanceada (Adaptado de Harmsen T. 2017)*

$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	210	280	350	420
$\beta_1$	0.85	0.85	0.80	0.75
$\bar{\rho}_b$	0.0214	0.0285	0.0335	0.0377
$0.75\bar{\rho}_b$	0.0160	0.0214	0.0252	0.0283
$0.5\bar{\rho}_b$	0.0107	0.0143	0.0167	0.0189

#### 2.2.3.6. Acero máximo en Flexión:

En el acápite 10.3.4 de la norma E.060 Concreto Armado, establece que el refuerzo de acero en tracción no deberá exceder de  $0.75 A_{sb}$ :

$$A_s \text{ máx} = 0.75 A_{sb} \quad (2.18)$$

$$\rho \text{ máx} = 0.75 \bar{\rho}_b \quad (2.19)$$

La cuantía máxima para secciones doblemente reforzadas, es:

$$\rho \text{ máx} = 0.75 \bar{\rho}_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y} \quad (2.20)$$

#### 2.2.3.7. Refuerzo mínimo en elementos a flexión:

De acuerdo al Código ACI-318 (2014) en capítulo 9.6, determina el  $A_s$  mín y debe ser mayor a las siguientes dos expresiones:

$$A_s \text{ mín} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (2.21)$$

$$A_s \text{ mín} = \frac{14}{f_y} b_w d \quad (2.22)$$

## 2.2.4. ELEMENTOS SOMETIDOS A FUERZAS DE CORTE:

Según Harmsen T. (2017) el efecto de la fuerza cortante en elementos de concreto armado es estudiada recientemente y dicho fenómeno es sumamente complejo, aun no hay modelos matemáticos que puedan explicarlo por lo tanto la mayoría de códigos y reglamentos sustentan su diseño en parámetros semi-empírico. También el autor hace hincapié en evitar la falla generada por esfuerzo cortante debido a que es frágil.

Blanco A. (2011) el comportamiento de elementos sometidos a cortante no está totalmente comprendido a diferencia de los elementos sometidos a flexión, debido a que la mayoría de elementos de concreto armado tienen que resistir fuerzas cortantes que rara vez actúan por si solas; siendo así forzoso evaluar todas las interacciones posibles. La característica principal de este tipo de fuerza es provocar una falla no dúctil que debe ser evitada.

### 2.2.4.1. Diseño por Cortante:

De acuerdo a la norma de concreto armado E 0.60 en su capítulo 11, menciona que la resistencia requerida por corte " $V_u$ " debe ser menor o igual que la resistencia nominal " $V_n$ " afectada por un factor de diseño en la sección analizada:

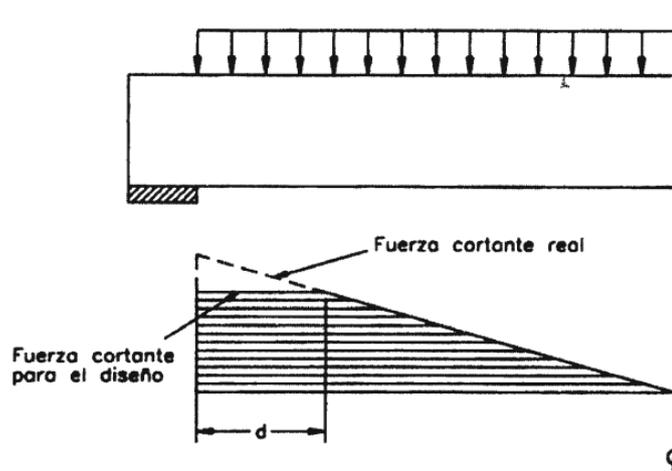
$$V_u \leq \phi V_n \quad (2.23)$$

La resistencia nominal estará conformada por los aportes de resistencia nominal al cortante del concreto " $V_c$ " y la resistencia nominal al cortante del acero " $V_s$ ":

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.24)$$

Si la reacción del apoyo induce compresión en el elemento, si las cargas están aplicadas en la parte superior de la viga y no hay cargas concentradas entre la cara del apoyo y una sección ubicada a  $d$  de ella, entonces las secciones situadas en este tramo se diseñarán para un cortante último igual al correspondiente a la sección ubicada a " $d$ " del apoyo. Las cargas distribuidas aplicadas en el tramo AB son transmitidas al apoyo por compresión directa. Por ello, no se consideran para el diseño del refuerzo transversal. (Harmsen, 2017, p. 136)

Figura 2.9. Diagrama de fuerzas cortantes a una distancia "d". (Adaptado de Harmsen T. 2017)



### Resistencia del concreto a la fuerza cortante:

La contribución del concreto en la resistencia a corte para miembros sometidos únicamente a corte y a flexión es:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b w d \quad (2.25)$$

### Resistencia del acero o refuerzo a la fuerza cortante:

El esfuerzo de fluencia del acero por corte será como máximo 4200 Kg/cm<sup>2</sup> para contrarrestar las grietas diagonales. Blanco A. (2011) clasifica al refuerzo transversal:

- Estribos cerrados perpendiculares al eje del elemento.
- Estribos perpendiculares al eje del elemento y barras dobladas que formen un ángulo de 30° o más con el eje del elemento.
- Espirales.

La contribución del refuerzo en la resistencia a corte cuando se utilice estribos perpendiculares al eje longitudinal del elemento es:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.26)$$

Donde:  $A_v$ : Área del refuerzo por cortante del espaciamiento "S", proporcionada a la suma de las áreas de las ramas de los estribos ubicados en el alma.

#### 2.2.4.2. Refuerzo Mínimo de Corte:

Morales R. (2012) describe el siguiente procedimiento:

1. Si  $V_n \leq 0.5 \phi V_c$ , entonces no necesita ningún tipo de refuerzo transversal.

2. Si  $0.5 \phi V_c \leq V_{ud} \leq \phi V_c$ , entonces requiere de un refuerzo transversal mínimo y es el mayor valor de las siguientes equivalencias:

$$A_v \min = 0.2 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.27)$$

$$A_v \min = 3.5 \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (2.28)$$

Para  $S \leq d/2$  y  $S \leq 60$  cm.

3. Si  $V_n \geq \phi V_c$ , tenemos:

Si  $V_s \leq 1.06 \sqrt{f'_c} b_w d$ , entonces  $S \leq d/2$  v  $S \leq 60$  cm.

Si  $V_s > 1.06 \sqrt{f'_c} b_w d$  y  $V_s \leq 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d$ ,

Entonces  $S \leq d/4$  v  $S \leq 30$  cm.

4. Si  $V_s > 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d$ , entonces:

Cambiar sección y/o mejorar calidad de concreto.

#### 2.2.4.3. Límites para el espaciamiento del refuerzo de corte:

La norma E 0.60 de concreto armado en su acápite 11.5.5 especifica que el espaciamiento del refuerzo de cortante colocado perpendicularmente al eje longitudinal del elemento no debe exceder en "d/2", ni a 600 mm:

$$S \leq d/2 \quad (2.29)$$

$$S \leq 60 \text{ cm} \quad (2.30)$$

#### 2.2.4.4. Aporte Máximo de refuerzo transversal solicitado por corte:

El valor máximo que puede tomar "Vs", es:

$$V_s = 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.31)$$

De tomar un valor superior a la ec. (2.31) se debe considerar cambiar sección y/o mejorar calidad de concreto.

### **2.2.5. REQUISITOS DE RESISTENCIA Y SERVICIO:**

La norma de concreto armado E. 060 en su capítulo 9 establece que toda sección de los elementos estructurales, la resistencia de diseño “ $\phi R_n$ ” deberá ser mayor o igual que la resistencia requerida “ $R_u$ ”, calculadas para las cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se estipulan en la norma mencionada:

$$\phi R_n \geq R_u \quad (2.32)$$

#### **2.2.5.1. Resistencia Requerida (U):**

La combinación de carga que por lo general se presenta en los diseños de estructuras convencionales, está dada por la carga muerta (CM) y carga viva (CV):

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV \quad (2.33)$$

#### **2.2.5.2. Resistencia de Diseño:**

Esta resistencia es proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones de esta norma, multiplicada por los factores de resistencia que a continuación se mencionan:

- Flexión sin carga axial : 0.9.
- Cortante y Torsión : 0.85.

Para McCormac J. y Brown R. (2011), los factores de reducción de resistencia son de suma importancia; ya que al ser utilizados permiten compensar las incertidumbres respecto a la resistencia de los materiales, las inexactitudes en las ecuaciones de diseño, las aproximaciones del análisis y otros.

### **2.2.6. DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE FISURAS:**

Blanco A. (2011), menciona que no es exacto determinar el ancho de una grieta o fisura por flexión; sin embargo, existen teorías que tratan de explicar la formación y ancho de las fisuras en vigas. Se sabe también que el ancho de una fisura es

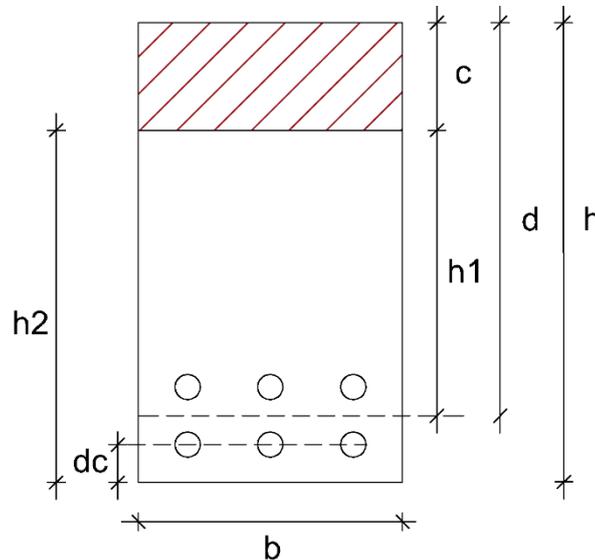
directamente proporcional al nivel de esfuerzo del acero en tracción, así como el área efectiva de concreto que rodea a cada varilla de acero traccionada.

En cuanto a las expresiones que calculan el ancho de fisuras tenemos:

$$W \text{ máx} = 2.6 \sqrt[4]{A} f_s \times 10^{-6} \text{ en cm} \quad (2.34)$$

$$W \text{ máx} = \theta \sqrt[3]{A d c} f_s \times 10^{-6} \text{ en cm} \quad (2.35)$$

Figura 2.10. Dimensiones de sección de viga. (Adaptado de Blanco A. 2011)



Donde:  $W \text{ máx}$ : Ancho de fisura generada a flexión.

$A$ : Área de concreto efectiva que rodea a cada varilla.

$\theta$ : relación entre  $h_1 / h_2$ .

$dc$ : Recubrimiento inferior medido desde el centro de la varilla más cercana al borde del elemento.

$f_s$ : Esfuerzo del acero.

Determinación del parámetro "Z":

El código ACI indica que debe evaluarse un coeficiente Z, debiendo ser menor a 31 000 kg/cm para condiciones de exposición interior o menor a 26 000 kg/cm para condiciones de exposición exterior.

$$Z = f_s \sqrt[3]{A d c} \text{ en (kg/cm)} \quad (2.36)$$

De las ecuaciones N° 35 y 36, se obtiene:

$$W \text{ máx} = \theta Z 10^{-6} \text{ en cm} \quad (2.37)$$

Para un factor  $\theta = 1.2$ , obtenemos:

$$W \text{ máx} = 0.37 \text{ mm (interiores)}$$

$$W \text{ máx} = 0.30 \text{ mm (exteriores)}$$

Por lo tanto se puede concluir que el ancho de una fisura originado por flexión admite el rango de 0.37 mm a 0.30 mm.

### **2.2.7. RAJADURAS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO:**

(Harmsen T. 2017, p.130), menciona que existen tres tipos de rajaduras en vigas de concreto armado y estas son:

#### **Rajadura de Flexión:**

Se presentan en las secciones donde se producen los mayores esfuerzos de flexión, es decir, en el tercio central de la luz de la viga y en los apoyos si se trata de elementos continuos. Son verticales y se inician al borde del elemento. En estas secciones, el efecto de la fuerza cortante es pequeño en comparación con el del momento flector.

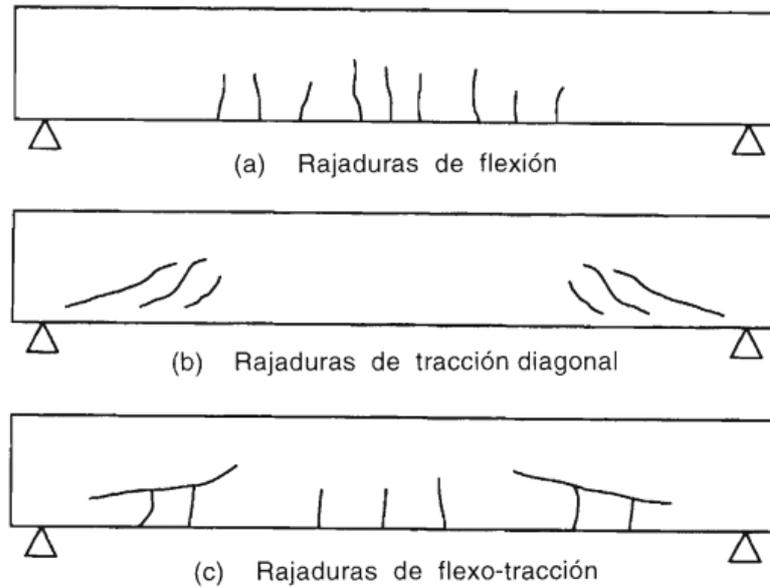
#### **Rajaduras de tracción diagonal:**

Son escasas en vigas esbeltas. Son propias de zonas en las cuales  $\sigma_x$ , es casi nulo y las tensiones principales se presentan a  $45^\circ$ . Se inician en el eje neutro o cerca de él y se extienden diagonalmente hacia los bordes del elemento. La fuerza cortante que produce el agrietamiento diagonal es del orden de  $0.93\sqrt{f'c} bw d$ . Estas grietas se presentan cerca de los apoyos y en los puntos de inflexión de vigas de gran peralte, cuyo ancho es relativamente pequeño y están poco armadas transversalmente.

#### **Rajaduras de flexo-tracción:**

Son las más comunes en vigas esbeltas. Al producirse las primeras grietas ocasionadas por flexión, la sección que resiste el corte se ve disminuida. En la garganta no fisurada se presenta una concentración de esfuerzos, tanto de corte como de compresión que ocasiona que las rajaduras tiendan a inclinarse. Son propias de secciones donde el momento flector es considerable. La fuerza cortante de agrietamiento diagonal es aproximadamente  $0.5\sqrt{f'c} bw d$ , la cual es menor que la que ocasiona las rajaduras de tracción diagonal. Se observa que disminuye en relación al caso anterior.

Figura 2.11. Tipos de rajaduras en vigas de concreto armado. (Adaptado de Harmsen T. 2017)



### 2.2.8. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS:

La norma de concreto armado E. 060 en su acápite 10.4, detalla la distancia entre los apoyos laterales de elementos sometidos a flexión: “La separación entre los apoyos laterales de una viga no debe exceder de 50 veces el menor ancho  $b$  del ala o cara en compresión”:

$$\text{Luz máxima entre apoyos} \leq 50 b \quad (2.38)$$

La norma E. 060 en su acápite 9.6.2.1, especifica los peraltes o espesores mínimos de vigas, que a continuación se muestran:

Tabla 2.5. Peralte mínimo en vigas.

	Espesor o peralte mínimo, $h$			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Blanco A. (2011) sugiere las siguientes ecuaciones para predimensionamiento de vigas:

$$\text{Peralte de la viga} = (1/10) \text{ a } (1/12) \text{ de la luz libre} \quad (2.39)$$

$$\text{Ancho de la viga} = 0.3 \text{ a } 0.5 \text{ la altura de viga} \quad (2.40)$$

Según Morales R. (2012) para una sección rectangular con acero solo en tracción se cuenta con la ec.(2.12):

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = b d^2 w f'c (1 - 0.59w)$$

Además el momento flector último de una sección cualquiera puede expresarse como:

$$Mu = (Wu B) \frac{Ln^2}{\alpha} \quad (2.41)$$

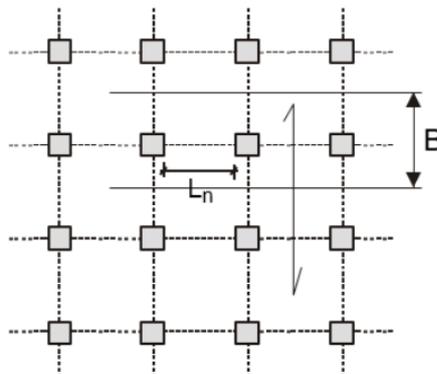
Donde: Wu: Carga por unidad de área, en Kg/cm<sup>2</sup>.

Ln: Longitud libre.

B: Dimensión transversal tributaria.

$\alpha$ : Coeficiente de momento.

Figura 2.12. Vista en planta de la viga analizada. (Adaptado de Morales R. 2012)



Igualando las ec. (2.12) y (2.41), despejamos el valor "d":

$$d = Ln \sqrt{\frac{Wu B}{\alpha \phi f'c b w (1 - 0.59w)}} \quad (2.42)$$

Considerando la sección de momento positivo máximo, asumimos:

$$\alpha = 16$$

$$b = B/20$$

$$\phi = 0.9$$

$$fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$W = 0.007 * 4200 / 210 = 0.14$$

$$\rho = 0.007$$

$$h = d / 1.1 \text{ para un f.s.} = 10 \%$$

Reemplazamos estos valores en la ec. (2.42):

$$h = \frac{Ln}{\left(\frac{4}{\sqrt{Wu}}\right)} \quad (2.43)$$

De acuerdo a la norma de concreto armado de E 060 en su capítulo 7.7 detalla el espesor del recubrimiento de concreto para el acero de refuerzo:

Para concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:

- Losas, muros, viguetas:

Barras de 1 11/16" y 2 1/4": 40 mm

Barras de 1 3/8" y menores: 20 mm

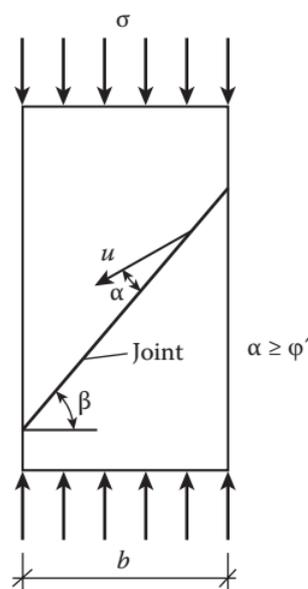
- Vigas y columnas:

Armadura principal, estribos y espirales: 40 mm

### 2.2.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CON JUNTAS:

Nielsen (2011), considera un espécimen rectangular sometido a compresión pura, correspondiente al esfuerzo de compresión " $\sigma$ ". La muestra tiene una junta que forma un ángulo " $\beta$ " con las secciones con compresión pura, el espesor del espécimen es " $t$ ", tal como se muestra en la figura 2.13. Si la falla está en la junta, la parte superior puede deslizarse hacia abajo a lo largo de la junta. El desplazamiento " $u$ " de la parte superior forma un ángulo  $\alpha$  con la junta.

Figura 2.13. Muestra con una junta sometida a compresión pura. (Adaptada de Nielsen 2011)



El autor deduce la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{c'(1 - \sin \alpha) \cos \varphi' + f_t'(\sin \alpha - \sin \varphi')}{\cos \beta (1 - \sin \varphi') \sin(\beta - \alpha)} \quad (2.44)$$

Donde:

$v'$  = factor de efectividad. ( $v' = 1/2$ )

$c'$  = cohesión en la junta. ( $c' = c / 2$ )

$\varphi'$  = ángulo de fricción en la junta. ( $\varphi' = 37^\circ$ )

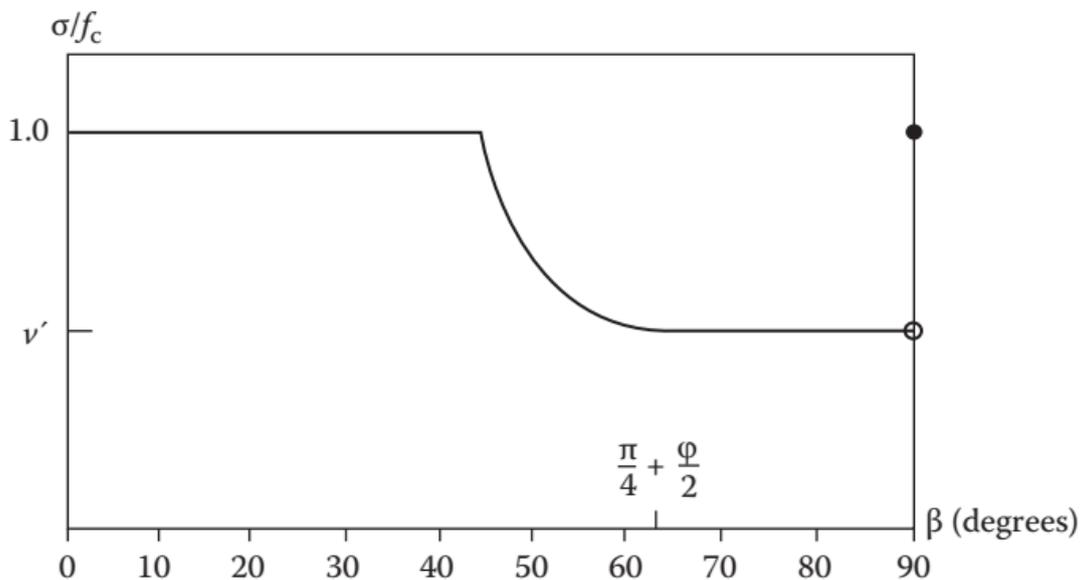
$f_t'$  = Esfuerzo a tensión. ( $f_t' = 0$ )

$f_c$  = Esfuerzo a compresión.

Reemplazando estos valores en la ec. (2.44), se obtiene el siguiente gráfico presentado en la figura 2.14.

Figura 2.14. Resistencia a la compresión para una muestra con una junta.

(Adaptada de Nielsen 2011)



La figura anterior, demuestra que a menor inclinación de la junta con respecto a la horizontal obtiene una mayor resistencia a la compresión en comparación cuando esta inclinación aumenta.

## 2.2.10. ADHESIVO EPÓXICO:

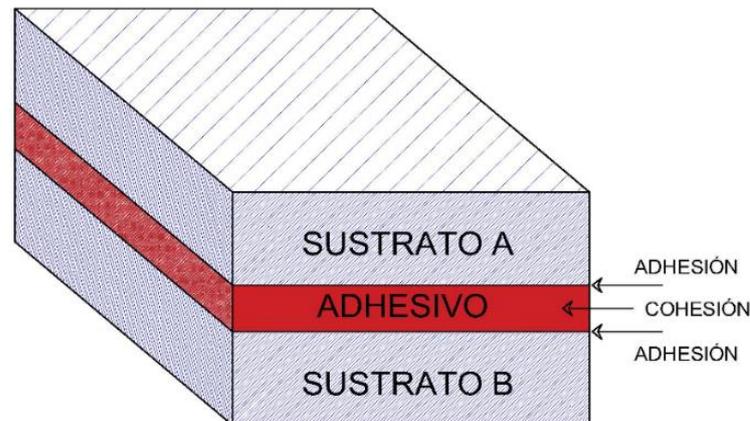
### 2.2.10.1. Definición:

Sustancia aplicada entre las superficies de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Denominamos sustratos o adherentes a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo. El conjunto de interacciones físicas y químicas que tienen lugar en la interfaz adhesivo-adherente recibe el nombre de

adhesión. Son puentes entre las superficies de los sustratos, tanto si son del mismo, como si son de distinto material. (Madrid M., 1997, p. 3)

El mecanismo de unión depende de la fuerza de asociación del adhesivo al sustrato llamado adhesión y la fuerza interna del adhesivo llamado cohesión, presentados en la siguiente figura:

Figura 2.15. Esquema básico de una unión adhesiva. (Adaptado de Madrid M. 1997)



Los adhesivos epóxicos son principalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre la superficie de contacto entre sustratos.

Tabla 2.6. Ventajas y Desventajas del uso de adhesivos epóxicos. (Adaptado de Madrid M. 1997)

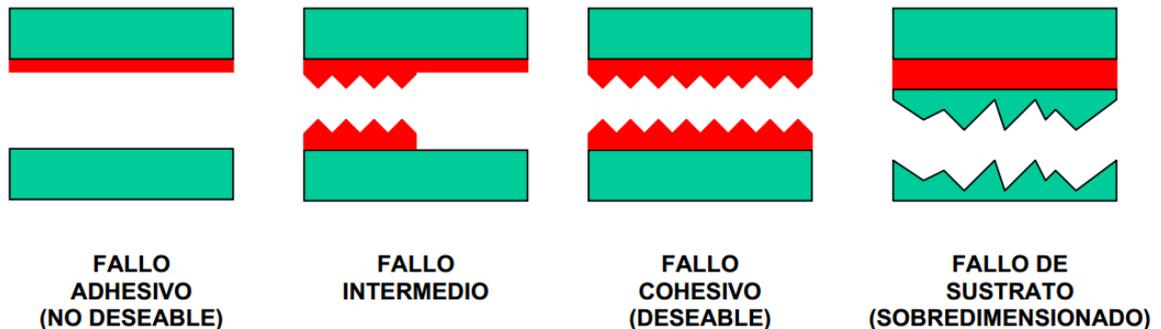
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Distribución uniforme de tensiones	Necesidad de preparación superficial
Rigidización de las uniones	Espera de los tiempos de curado
No se produce distorsión del sustrato	Dificultad de desmontaje
Uniones selladas y aisladas	Temperaturas limitadas
Compatibilidad del producto con otros materiales	Inexistencia de ensayos no destructivos

### 2.2.10.2. Tipos de Falla:

La falla de una unión adhesiva se produce por separación por adhesión, cuando la separación se produce en la interfaz sustrato-adhesivo (no recomendable). La separación por cohesión produce una ruptura del adhesivo (recomendable); por lo que un adhesivo siempre estará diseñado para lograr que las fuerzas adhesivas sean siempre superiores a las cohesivas. Otra separación se da por ruptura del sustrato

cuando el propio sustrato rompe antes que la unión adhesiva o que la interfaz sustrato-adhesivo.

Figura 2.16. Modos de falla de las uniones adhesivas. (Adaptado de Madrid M. 1997)

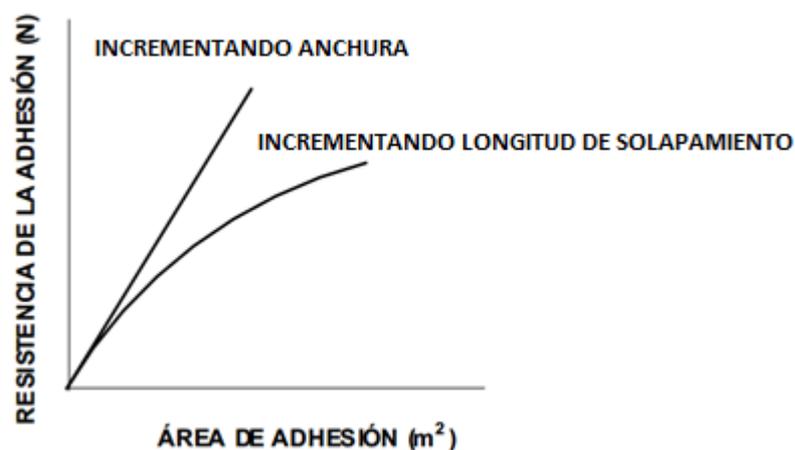


### 2.2.10.3. Factores geométricos que intervienen en la resistencia del adhesivo:

Madrid M. (1997), menciona a 3 factores que influyen en la resistencia de un adhesivo; estas son ancho de la adhesión, longitud de solapamiento y espesores de adhesivo y sustratos.

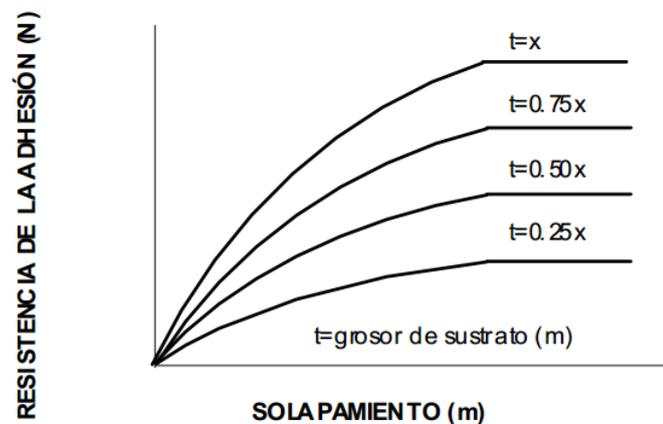
El ancho de adhesión es proporcional a la resistencia al corte-cizalla, es decir a mayor ancho la resistencia será superior, no obstante la relación de longitud de solapamiento y la resistencia a corte no es lineal; aunque se observe un ligero aumento:

Figura 2.17. Variación de la resistencia incrementando anchura y longitud de solapamiento. (Adaptado de Madrid M. 1997)



De igual manera el espesor de los sustratos son proporcionales a la resistencia de la adhesión:

Figura 2.18. Variación de la resistencia para diferentes grosores. (Adaptado de Madrid M. 1997)



#### 2.2.10.4. Clasificación del Adhesivo Epóxico:

La norma ASTM C881 (1999), clasifica en siete tipos a los adhesivos epóxicos de acuerdo a su uso de la siguiente manera:

1. Tipo I: Pegas no estructurales de concreto endurecido a concreto endurecido y otros materiales y como ligante en morteros y concretos epóxicos.
2. Tipo II: Pegas no estructurales de concreto fresco a concreto endurecido.
3. Tipo III: Pega de materiales antideslizantes a concreto endurecido y como ligante en morteros y concretos epóxicos usados en superficies resistentes a tráfico (o superficies sujetas a movimientos térmicos o mecánicos).
4. Tipo IV: Pegas estructurales de concreto endurecido a concreto endurecido y otros materiales y como ligante en morteros y concretos epóxicos.
5. Tipo V: Pegas estructurales de concreto fresco a concreto endurecido.
6. Tipo VI: Para pegar y sellar segmentos prefabricados con tendones internos y para proceso de tensado por etapas cuando postensionamiento temporal es aplicado.
7. Tipo VII: Sellado de elementos prefabricados segmentarios.

#### 2.2.11. ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A FLEXIÓN:

La norma NTP 339.079 (2012), describe el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo, el cual consiste en aplicar una carga en el centro de la

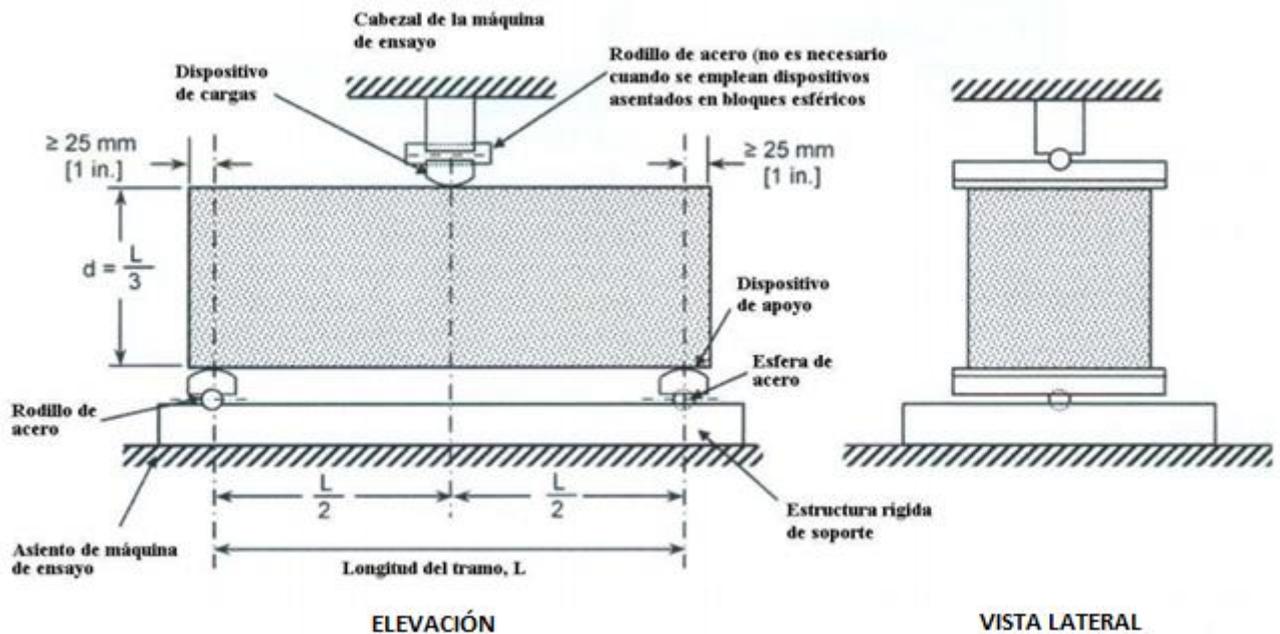
luz de la viga hasta que ocurra su falla para determinar la resistencia a la flexión y la deformación de cada viga, de acuerdo al rango de velocidades que estipula esta norma.

Para realizar el ensayo a flexión de las vigas de concreto armado, la NTP 339.079 indica lo siguiente:

- Se deberá emplear un bloque de aplicación de carga y dos bloques de soporte del espécimen. La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de manera tal que se evite toda excentricidad, como se muestra en la figura 2.17.
- Todos los aparatos para la determinación de la resistencia a la flexión con carga en el centro del tramo deberán ser similares a los presentados en la figura 2. 17 y deberá mantener constante la distancia entre apoyos y la posición del bloque central de carga, con respecto a los bloques de soporte con una tolerancia de  $\pm 1$  mm.
- La dirección de las reacciones deberá ser paralelas a la dirección de la carga aplicada en todo momento mientras se realice la prueba.

El procedimiento de ensayo a flexión se detalla en la NTP. 339.079-2012.

*Figura 2.19. Dispositivo adecuado para la prueba de flexión. (Adaptado de la NTP 339.079)*



### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:**

- Adhesivo Epóxico: Son principalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre la superficie de contacto entre sustratos. (Madrid, M., 1997, p.25).
- Agregado: también llamados áridos; conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP. (NTP 400.011, 2013, p.2).
- Carga muerta: Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. (NTE E 020).
- Carga viva: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación. (NTE E 020).
- Carga: Fuerzas u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos. (NTE E 020).
- Compactación: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una mezcla de mortero o de concreto fresco. (NTP 339.047, 2014, p. 8).
- Concreto: Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (NTE E 060)
- Curado: Medidas adoptadas para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa recién colocada para permitir a hidratación del cemento hidráulico y (si es necesario) las reacciones puzolánicas, de modo que se puedan desarrollar la propiedades potenciales de la mezcla. (NTP 339.047, 2014, p. 12).
- Ductilidad: Capacidad de soportar grandes deformaciones sin pérdida significativa de su resistencia. (Morales, R., 2012, p. 209)
- Ensayo de asentamiento: Medida de la consistencia del mortero u concreto fresco expresada por el descenso de una masa plástica, al quedar libre del soporte metálico en que fue moldeado. (NTP 339.047, 2014, p. 7).

- Estribos: Refuerzo colocado perpendicularmente o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal, empleado para resistir esfuerzos de cortante y de torsión en un elemento estructural. Los estribos también cumplen función de control del pandeo de las barras longitudinales y de confinamiento al concreto. (NTE E 060)
- Módulo de elasticidad: Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. También conocido como módulo de Young o módulo Young de elasticidad, designado por el símbolo “E”. (NTP 339.047, 2014, p. 16).
- Recubrimiento: Espesor requerido para dar al acero una adecuada protección de concreto contra el fuego y la corrosión, el diseñador debe mantener un espesor mínimo de recubrimiento de concreto en la parte exterior al acero más expuesto. (Nilson, A., 2001, p.87).
- Relación Modular: Relación entre los módulos de elasticidad del acero y del concreto. (Harmsen T, 2017, p. 72).
- Resistencia de diseño: Resistencia nominal multiplicada por el factor de reducción de resistencia  $\phi$  que corresponda. (NTE E 060)
- Resistencia Nominal: Resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia de esta Norma, antes de aplicar el factor de reducción de resistencia. (NTE E 060)
- Resistencia Requerida: Resistencia que un elemento o una sección transversal debe tener para resistir las cargas amplificadas o los momentos y fuerzas internas correspondientes combinadas según lo estipulado en esta Norma. (NTE E 060)
- Viga: Elemento estructural que trabaja fundamentalmente a flexión y cortante. (NTE E 060)

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1. UBICACIÓN:

#### 3.1.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

País : Perú.  
Departamento : Cajamarca.  
Provincia : Cajamarca.  
Distrito : Cajamarca.

*Figura 3.1. Ubicación geográfica del lugar de investigación. (Google Earth, Datum: WGS84)*



La investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz", en el edificio 1 C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, en la Av. Atahualpa N°1050. Ubicada en las coordenadas UTM: zona 17 sur, Este: 776604.14 m, Norte: 9207012.95 m, cota Z: 2683 msnm.

#### 3.1.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN:

La investigación tuvo un tiempo o periodo de desarrollo de tesis desde el mes de octubre 2017 hasta el mes abril del 2018.

## 3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

### 3.2.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:

De acuerdo con Borja, M. (2012), tenemos:

- **Tipo** : El tipo de investigación es Aplicada, debido a que está destinada a la solución de inmediata de un problema práctico.
- **Nivel** : El nivel de investigación es Experimenta-Correlacional, ya que investiga la relación o asociamiento entre las variables existentes.
- **Diseño** : El diseño aplicado es Experimental, debido a que la hipótesis se verifica mediante la manipulación de las variables por parte del investigador.
- **Método**: El método de la investigación es Cuantitativo, porque plantea una forma confiable para conocer la realidad a través de la recolección, análisis de datos y probar la hipótesis.

### 3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO:

La población de estudio fue un conjunto de 21 vigas de concreto reforzado. Estas fueron elaboradas y ensayadas en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

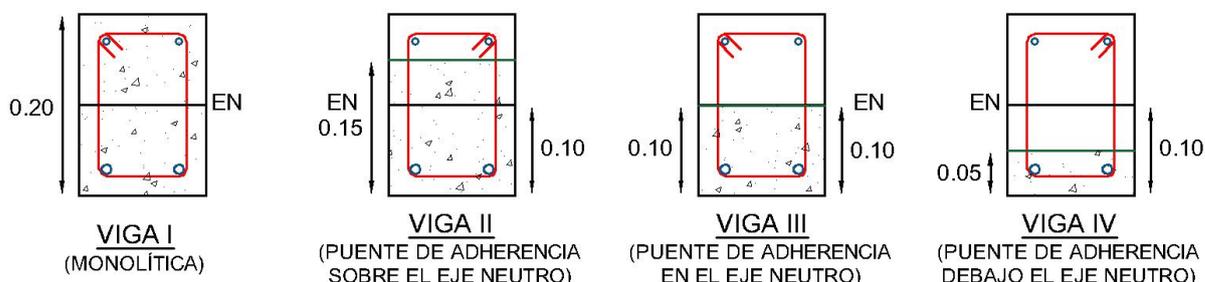
### 3.2.3. MUESTRA:

La muestra estuvo constituida por 21 vigas de concreto armado: 3 vigas monolíticas (tipo I), 6 vigas tipo II, 6 vigas tipo III y 6 vigas tipo IV, las cuales se describen a continuación:

- **3 Vigas tipo I:** Vigas monolíticas vaciadas en una etapa, en las que no se utilizó adhesivo epóxico; tienen un ancho de 15 cm, un peralte 20 cm por una longitud de 1.20 m.
- **6 Vigas tipo II:** Vigas llenadas en dos etapas, tienen una junta de construcción en donde se utilizó dos tipos de adhesivos epóxicos (Sikadur® 32 Gel para 3 vigas y Chema Epox Adhesivo 32 para las otras 3 vigas) como puente de adherencia, ubicado a 15 cm de la base de la viga; cuentan con un ancho de 15 cm, un peralte 20 cm por una longitud de 1.20 m.
- **6 Vigas tipo III:** Vigas llenadas en dos etapas, tienen una junta de construcción en donde se utilizó dos tipos de adhesivos epóxicos (Sikadur® 32 Gel para 3 vigas y Chema Epox Adhesivo 32 para las otras 3 vigas) como puente de adherencia, ubicado a 10 cm de la base de la viga; cuentan con un ancho de 15 cm, un peralte 20 cm por una longitud de 1.20 m.

- **6 Vigas tipo IV:** Vigas llenadas en dos etapas, tienen una junta de construcción en donde se utilizó dos tipos de adhesivos epóxicos (Sikadur® 32 Gel para 3 vigas y Chema Epox Adhesivo 32 para las otras 3 vigas) como puente de adherencia, ubicado a 5 cm de la base de la viga; cuentan con un ancho de 15 cm, un peralte 20 cm por una longitud de 1.20 m.

Figura 3.2. Secciones de los 4 tipos de vigas.



### 3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS:

La unidad de análisis es la viga de concreto armado de 1.2 m x 0.15 m x 0.20 m con puente de adherencia.

### 3.2.5. UNIDAD DE OBSERVACIÓN:

El momento flector máximo y deflexión máxima que soporta los diferentes tipos de vigas.

### 3.2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

#### Técnicas:

El presente estudio empleó la técnica de la observación directa para la recopilación de información, también se usaron fichas de observación las cuales facilitaron el registro de datos, anotación de características y otras observaciones de campo; esta ficha se detalla en el apéndice. Finalmente se usaron grabaciones de video y fotografías para la documentación de datos.

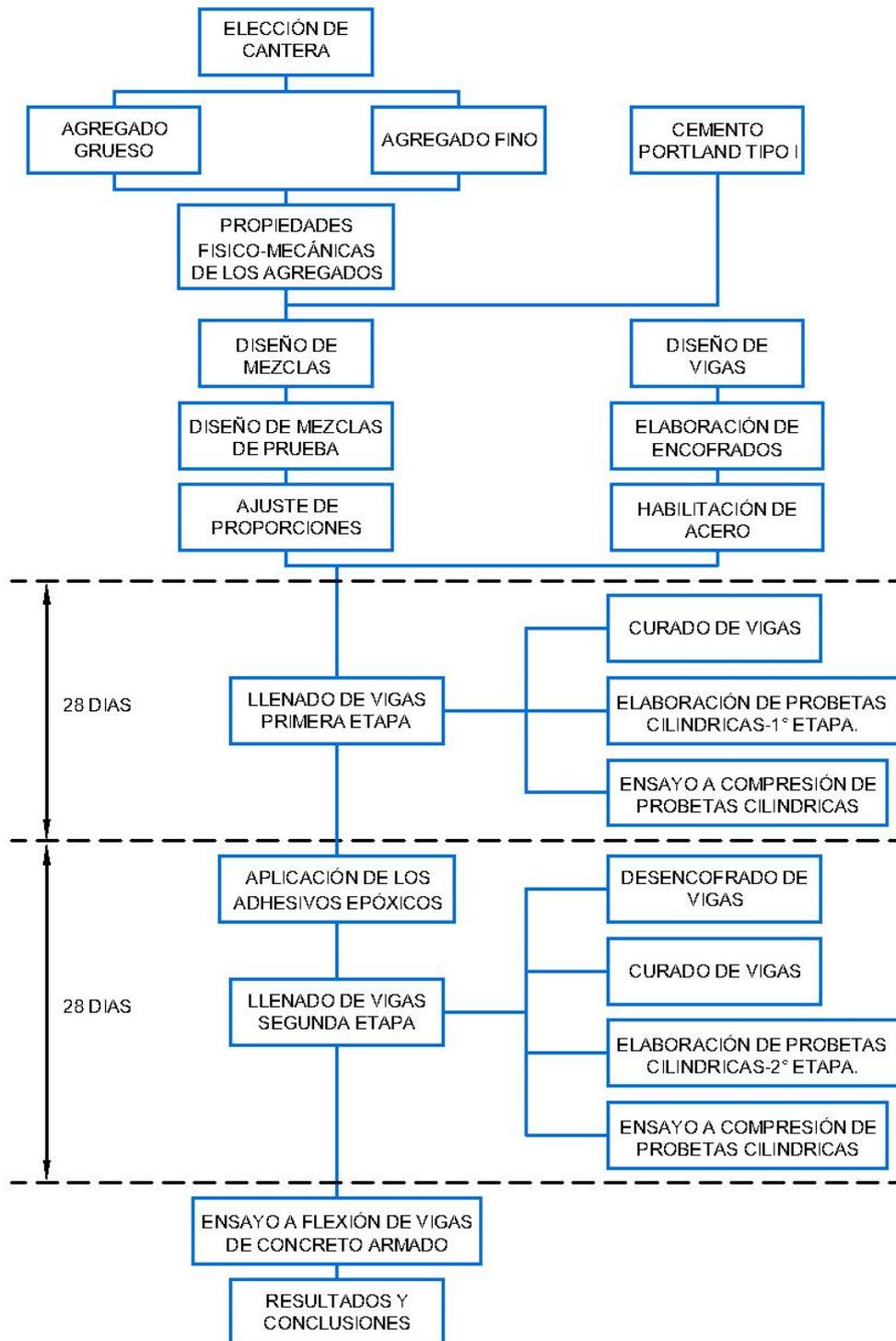
#### Instrumentos:

Se utilizó la máquina universal de 100 tn del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC, las cargas registradas aumentaron cada 0.25 tn. Para las lecturas de deflexiones se empleó 1 deformímetro marca Litz Germany, calibrado para 0.01 mm y de 25 mm de deformación máxima; también se usó un nivel láser marca Bosch y papel milimetrado como alternativa de registro de deformaciones. Además se utilizó un vernier para la medición del ancho de grieta principal, generado en las vigas.

### 3.3. PROCEDIMIENTO:

A continuación se presenta un flujograma del procedimiento empleado en la presente investigación:

Figura 3.3. Flujograma del procedimiento usado en la investigación.



### 3.3.1. UBICACIÓN DE LA CANTERA:

País : Perú.  
Departamento : Cajamarca.  
Provincia : Contumazá.  
Distrito : Chilete.

La cantera ha sido seleccionada ya que es la mejor de la zona y se recomienda su uso para estudios de investigación teniendo en cuenta las bondades de los agregados de río y su adecuada trabajabilidad para conformar el concreto en obra. La agregados elegidos fueron inspeccionados y extraídos de la Cantera Margarita Km 91+000 carretera Cajamarca - Ciudad de Dios (Chilete), ubicada en las coordenadas UTM: zona 17 sur, Este: 739139.864 m, Norte: 9200725.625 m, cota Z: 874 msnm:

*Figura 3.4. Ubicación de la Cantera Margarita Km 91+000 Cajamarca-Ciudad de Dios.*



Fuente: Google Earth, Datum: WGS84.

### 3.3.2. AGREGADO FINO:

El agregado fino cumple con la norma NTP 400.011 y con el requisito granulométrico especificado en la norma NTP 400.037; por lo que una vez transportado al laboratorio de materiales de la UNC; se procedió a tamizar el agregado fino desechando toda partícula retenida en la malla N° 4 (4.75 mm).

### **3.3.3. AGREGADO GRUESO:**

Para la compra del agregado grueso, previamente se determinó el tamaño máximo nominal del agregado, necesario para cubrir cualquier espacio del elemento de concreto armado sin generar vacíos que provoquen reducción en su resistencia y se calculó en función de la menor de las tres dimensiones especificadas en el código ACI-318 2014. Este agregado también cumple con la norma NTP 400.011-2013 y con los husos granulométricos especificados en la norma NTP 400.037-2014.

### **3.3.4. CEMENTO PORTLAND TIPO I:**

El cemento Portland elegido es el tipo I ya que es de uso general y no se cuenta con restricciones o requisitos de propiedades especiales en la presente investigación. El cemento empleado cumple con la norma NTP 334.009-2013; su densidad y sus especificaciones técnicas se indican en el anexo V.

### **3.3.5. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS:**

Para determinar los parámetros físicos y mecánicos del agregado grueso y agregado fino, se realizaron los ensayos respectivos en estricto cumplimiento a los procedimientos detallados en las normas NTP y ASTM. Los resultados de las propiedades de los agregados se muestran en el anexo II y cumplen con las normas que a continuación se precisa:

#### **• Análisis granulométrico:**

De acuerdo a la NTP 400.012, versión 2013 y la norma ASTM C 136; contando con el registro de datos del ensayo, podemos obtener:

- Módulo de Finura de los Agregados:

Es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en el ensayo de granulométrico de los agregados, de los tamices 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100; divididos entre 100.

De las solicitudes o requerimientos del diseño de vigas elegimos el tamaño máximo nominal del agregado grueso el cual debe coincidir con la distribución granulométrica del ensayo:

- Tamaño Máximo: Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. (NTP 400.037, 2014).

- Tamaño máximo Nominal: Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido ente 5 % y 10 %. (NTP 400.037, 2014).

- Según el código ACI 318-14, el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder al menor de:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
- 1/3 del espesor de las losas
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.

• **Contenido de partículas finas que pasa la malla N° 200:**

El procedimiento está reglamentado en la NTP 400.018, versión 2013 y la norma ASTM C 117.

Se deberá calcular en contenido de partículas finas que pasa la malla N° 200 del agregado grueso y del agregado fino y no debe ser más del 1 % y 5 % respectivamente (de acuerdo a la norma NTP 400.037, 2014).

• **Peso Unitario de los Agregados:**

Siguiendo la NTP 400.017, versión 2011 y la norma ASTM C 29. Para determinar el peso unitario suelto y compactado.

Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa teniendo en cuenta que puede ser suelto o compactado, por ejemplo para un agregado grueso pesos unitarios altos significan que quedan muy pocos huecos por llenar con arena y cemento. (Torre A., 2004).

• **Contenido de Humedad:**

Haciendo guía a la NTP 339.185, versión 2013 y la norma ASTM C 566.

La cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla. Es de gran importancia conocer el contenido de humedad de los agregados justo antes de ser mezclados para obtener concreto, debido a que el agua de diseño deberá ser corregida por el aporte de agua de los agregados que presentan antes de ser combinados. (Torre A., 2004).

- **Densidad y Absorción del agregado fino:**

Obedeciendo a la NTP 400.022, versión 2013 y la norma ASTM C 128, para determinar la densidad secada al horno, densidad saturada superficialmente seca, la densidad aparente y la absorción del agregado fino por el método gravimétrico (picnómetro).

- **Densidad y Absorción del agregado grueso:**

En cumplimiento con la NTP 400.021, versión 2013 y la norma ASTM C 127, para determinar la densidad secada al horno, densidad saturada superficialmente seca, la densidad aparente y la absorción del agregado grueso.

- **Resistencia al desgaste o abrasión del agregado:**

De acuerdo con la NTP 400.019, versión 2014 y la norma ASTM C 131.

Este ensayo tiene por finalidad el cálculo del desgaste del agregado grueso, para ello se utiliza la máquina de los ángeles la cual al rotar 500 revoluciones en 15 minutos aproximadamente (de 30 a 33 rpm) con una cantidad de agregado grueso y un número de esferas indeformables de acuerdo a la granulometría de este, se obtendrá un material pulverizado que al ser tamizado por la malla N° 12, no debe pasar más del 50 % para tener una adecuada resistencia mecánica.

### **3.3.6. DISEÑO DE MEZCLAS:**

En el diseño de mezclas de concreto de la presente investigación se utilizó el método de Módulo de Finura de la Combinación de los Agregados, para determinar la adecuada cantidad de los componentes del concreto y así obtener una resistencia de diseño o requerida de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Para lograr una adecuada dosificación de los elementos del concreto, se debe realizar un diseño de mezcla de prueba para luego ajustar las proporciones del concreto.

#### **3.3.6.1. Procedimiento de Diseño de mezclas:**

Teniendo en cuenta el método antes mencionado, Rivva E. (2014), describe la secuencia de cálculos, que a continuación se presenta:

### **1) Especificaciones de diseño:**

Son las condiciones de obra, 210 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica del concreto y mezcla plástica.

### **2) Propiedades de los Materiales:**

Se cuenta con los resultados obtenidos en laboratorio del agregado fino y agregado grueso, además con los datos del cemento Portland tipo I y una apropiada agua de mezclado.

### **3) Determinación de la resistencia promedio:**

Valor extraído del anexo III tabla I, se encuentra la resistencia promedio.

### **4) Seleccionar el TMN del agregado:**

Se determina de la menor de las tres dimensiones descritas en el código ACI 318-14, para luego seleccionar el agregado grueso; desechando las partículas retenidas en el tamiz superior al del TMN.

### **5) Elegir la consistencia de la mezcla:**

El valor se obtiene del anexo III tabla II para una trabajabilidad deseada de consistencia plástica y en función al tipo de elemento estructural (tabla III), se debe tener en cuenta que si la consistencia del concreto es plástica; el concreto debe ser compactado por vibración.

### **6) Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen del concreto:**

Del anexo III tabla IV encontramos el volumen de agua, sabiendo que la mezcla es sin aire incorporado.

### **7) Determinar el porcentaje de aire atrapado:**

Con el TMN del agregado grueso determinado y la tabla V del anexo III, encontramos el porcentaje de aire atrapado.

### **8) Seleccionar la relación Agua - Cemento (A/C):**

Por condiciones de obra la relación A/C será solo obtenida teniendo en consideración únicamente la resistencia y del anexo III tabla VI obtenemos A/C.

### **9) Determinación el factor cemento:**

Se obtiene dividiendo el volumen de agua entre la relación A/C y a dicho resultado finalmente dividirlo entre el peso por bolsa de cemento (42.5 kg).

### **10) El volumen absoluto de pasta.**

Se consigue sumando el volumen del cemento, agua y aire por m<sup>3</sup>.

### **11) Determinación del volumen absoluto de los agregados.**

Es el volumen que falta para completar 1 m<sup>3</sup> restando el volumen de pasta.

### **12) Cálculo del Módulo de Finura:**

El módulo de finura de la combinación de los agregados, se obtiene del anexo III tabla VII.

### **13) Cálculo de los pesos secos de los agregados:**

Con las ecuaciones (3.1) y (3.2) se determina el volumen de cada agregado, para luego determinar su peso específico de masa respectivo.

$$m = r_f m_f + r_g m_g \quad (3.1)$$

$$r_f + r_g = 1 \quad (3.2)$$

Donde: m: Módulo de finura de la combinación de agregados.

m<sub>f</sub>: Módulo de finura del agregado fino.

m<sub>g</sub>: Módulo de finura del agregado grueso.

r<sub>f</sub>: Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

r<sub>g</sub>: Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

#### **14) Valores de Diseño.**

Determinamos las cantidades de los componentes del concreto por m<sup>3</sup>.

#### **15) Corrección por Humedad:**

Se corrige el nuevo peso húmedo de los agregados y agua efectiva del aporte de agua de los mismos.

#### **3.3.7. DISEÑO DE VIGAS:**

Se predimensionaron las vigas de acuerdo la norma NTE E. 060 de concreto armado del Reglamento Nacional de Edificaciones y también en concordancia al reglamento del ACI 318-14.

#### **3.3.8. ENCOFRADO DE VIGAS:**

Con las dimensiones calculadas de las vigas, se elaboró 21 moldes de triplay de 10 mm de espesor; la parte superior de los encofrados ha sido rigidiza por 3 cintas de triplay longitudinal del mismo espesor de tal forma que también facilite el llenado de dichas vigas y se aplicó aceite como desmoldante en los laterales y fondo del encofrado. Se señaló las alturas de llenado de concreto de la primera etapa.

#### **3.3.9. HABILITACIÓN DE ACERO:**

El acero de refuerzo calculado cumple con los requerimientos de la NTP E 0.60, ASTM A615 y NTP 341.031. Se habilitaron las varillas pertenecientes al acero positivo y acero negativo; también se realizó el dobléz y gancho de los estribos en concordancia con las especificaciones del diseño de vigas, amarrados con alambre N° 16. Así mismo se elaboró dados cúbicos de 1" x 1" x 2 mm de la misma resistencia de las vigas, para lograr el recubrimiento necesario del acero.

#### **3.3.10. LLENADO DE VIGAS-PRIMERA ETAPA:**

Se realizó el mezclado de cemento, agua, agregado grueso y agrega fino de acuerdo al diseño de mezclas determinado y corrigiéndolos por el nuevo contenido de humedad de los agregados; luego se comenzó a vaciar concreto a los moldes de la viga en capas de 5 cm para luego ser compactadas por un vibrador de cabezal de 28 mm hasta llegar a la altura deseada de la viga (3 vigas monolíticas y 18 vigas con junta de construcción).

De la primera etapa de vaciado de concreto se corroboró el asentamiento deseado de acuerdo a la NTP 339.035 o la norma ASTM C 143; al igual que se elaboraron 3 probetas cilíndricas para ser ensayadas a los 7, 14 y 28 días de acuerdo a la NTP 339.034.

#### **3.3.11. CURADO DEL CONCRETO ARMADO:**

Las vigas de concreto armado al igual que los testigos cilíndricos de concreto fueron curados de acuerdo a la NTP 339.183, para que el concreto logre alcanzar sus propiedades mecánicas deseadas.

#### **3.3.12. APLICACIÓN DE LOS ADHESIVOS EPÓXICOS:**

Un día previo a cumplir los 28 días las superficies de las juntas de construcción fueron tratadas con un picado ligero de los residuos de concreto de la primera etapa, también fueron cepillados superficialmente con la ayuda de una escobilla metálica y finalmente se limpió dichas superficies; de tal manera obtener un área rugosa de adherencia de acuerdo a las hojas técnicas de los adhesivos epóxicos.

Cada adhesivo epóxico (Sikadur® 32 Gel y Chema Epox Adhesivo) se aplicó a las 9 vigas teniendo en cuenta el rendimiento del producto; faltando 1 hora para el vaciado de la segunda etapa, a los 28 días.

#### **3.3.13. LLENADO DE VIGAS-SEGUNDA ETAPA:**

El segundo vaciado de concreto se realizó 1 hora después de aplicados los adherentes epóxicos, también se usó un vibrador de 28 mm de cabezal para la compactación del concreto.

Al igual que la primera etapa se verificó su asentamiento, elaboraron 3 probetas cilíndricas (para ser ensayadas al mismo tiempo de las anteriores especímenes y compara su resistencia a la compresión) y realizó una adecuada curación del concreto.

#### **3.3.14. DESENCOFRADO DE LAS VIGAS DE CONCRETO:**

Al siguiente día del segundo vaciado de concreto las vigas fueron desencofradas con mucho cuidado de no maltratar al concreto recién endurecido y proceder con el curado de dichas vigas.

### **3.3.15. ENSAYO A FLEXIÓN:**

Habiendo transcurrido 56 días (28 días por cada etapa de llenado de concreto) de la construcción de las vigas, se ensayan a flexión en la máquina de ensayo universal de 100 tn de acuerdo a la NTP 339.079. Para lo cual se consiguió dos perfiles de acero estructural indeformable de 70 cm de altura, que servirán con apoyos de las vigas al ser ensayadas. Las caras laterales de todas las vigas fueron pintadas de tal forma identificar mejor la aparición y desarrollo de cada fractura presentada; de igual manera el eje neutro, puente de adherencia, zona izquierda y zona derecha fueron trazados en la vista frontal de la viga para documentar el agrietamiento de la viga.

## **3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:**

### **3.4.1. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:**

El tratamiento para el procesamiento y análisis de los datos recolectados y obtenidos en los ensayos a flexión de cada viga de concreto armado, se realiza a través de tablas y gráficos en los cuales se hizo una evaluación o análisis comparativo y correlacional de cada tipo de viga en la presente investigación; de acuerdo a los objetivos y a la comprobación de la hipótesis.

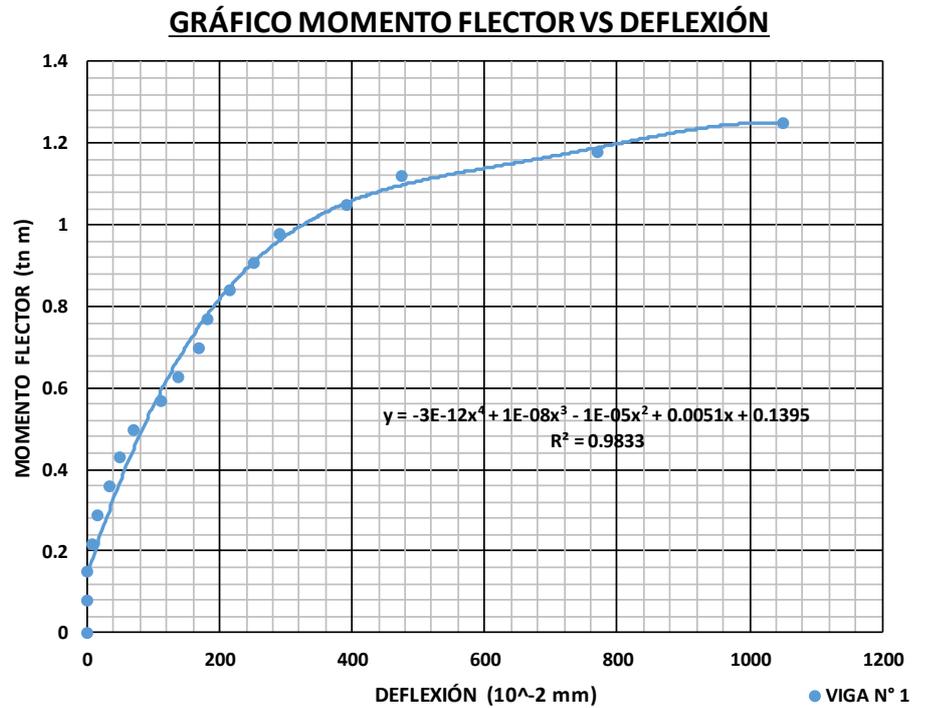
### **3.4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS:**

A continuación se muestran los resultados conseguidos del procesamiento de datos registrados en el ensayo a flexión de cada viga:

### 3.4.2.1. Viga N° 1:

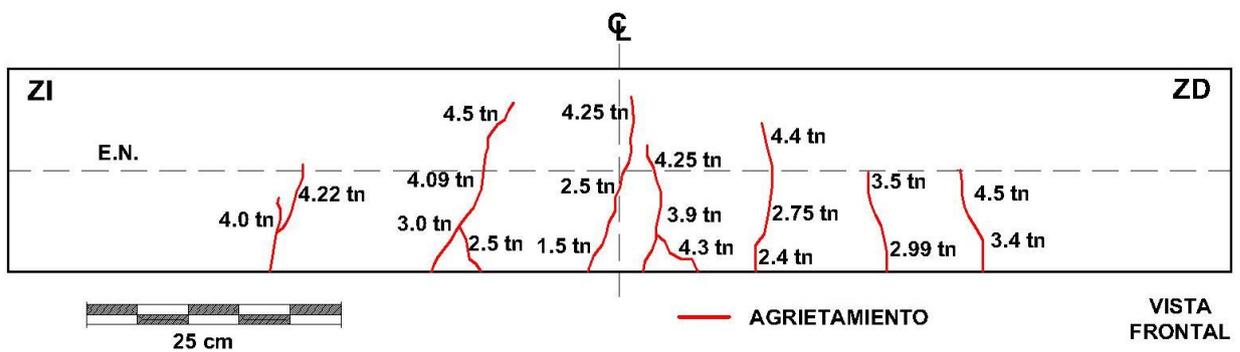
Tabla 3.1. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 1.

VIGA N°1: MONOLÍTICA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>2</sup> mm)
0	0	0
0.25	0.08	0
0.5	0.15	0
0.75	0.22	7
1	0.29	15
1.25	0.36	35
1.5	0.43	50
1.75	0.5	70
2	0.57	111
2.25	0.63	138
2.5	0.7	168
2.75	0.77	182
3	0.84	215
3.25	0.91	251
3.5	0.98	290
3.75	1.05	392
4	1.12	475
4.25	1.18	770
4.5	1.25	1050



La figura 3.4 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 1, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

Figura 3.5. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 1.

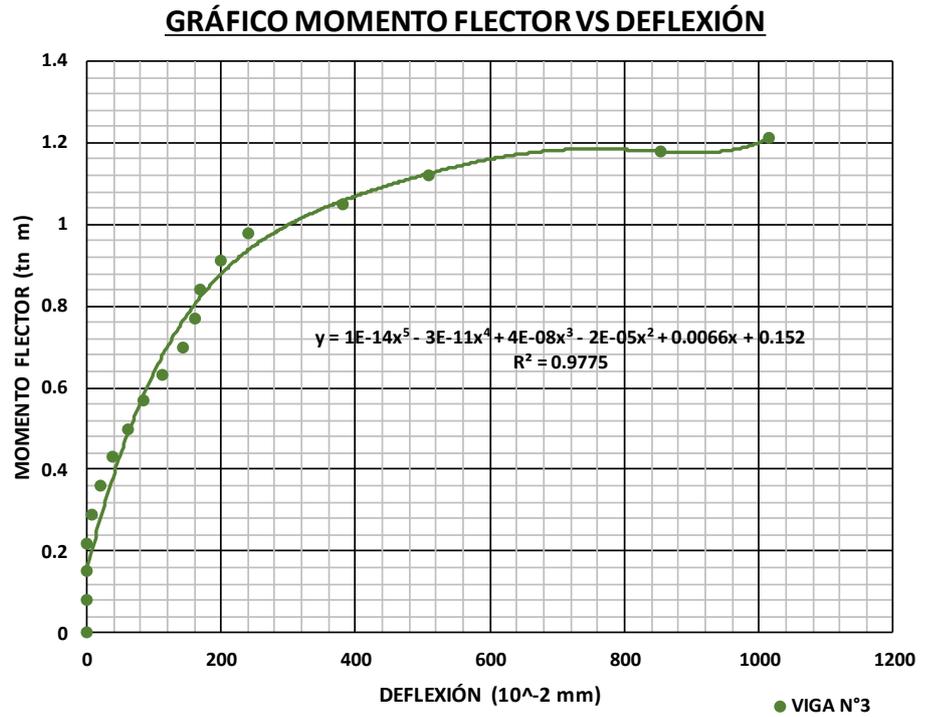




### 3.4.2.3. Viga N° 3:

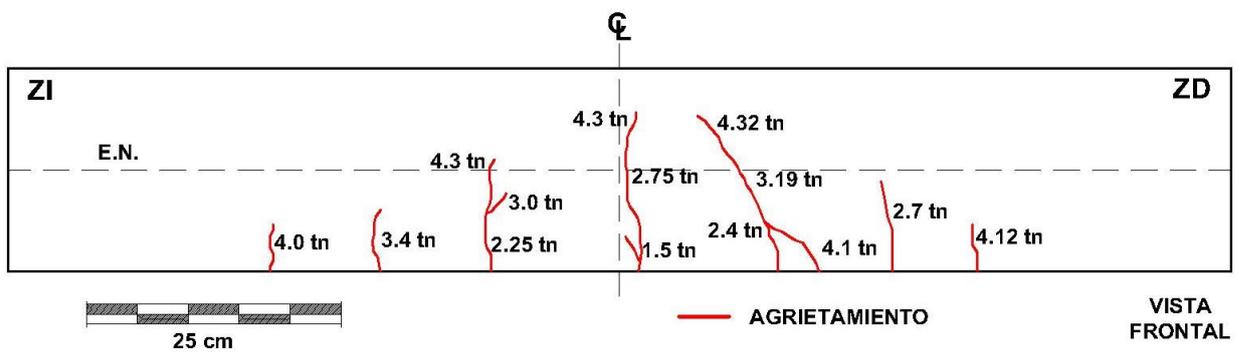
Tabla 3.3. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 3.

VIGA N°3: MONOLÍTICA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0	0	0
0.25	0.08	0
0.5	0.15	0
0.75	0.22	0
1	0.29	8
1.25	0.36	21
1.5	0.43	38
1.75	0.5	61
2	0.57	85
2.25	0.63	113
2.5	0.7	142
2.75	0.77	160
3	0.84	170
3.25	0.91	200
3.5	0.98	240
3.75	1.05	380
4	1.12	510
4.25	1.18	855
4.35	1.21	1015



La figura 3.6 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 3, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

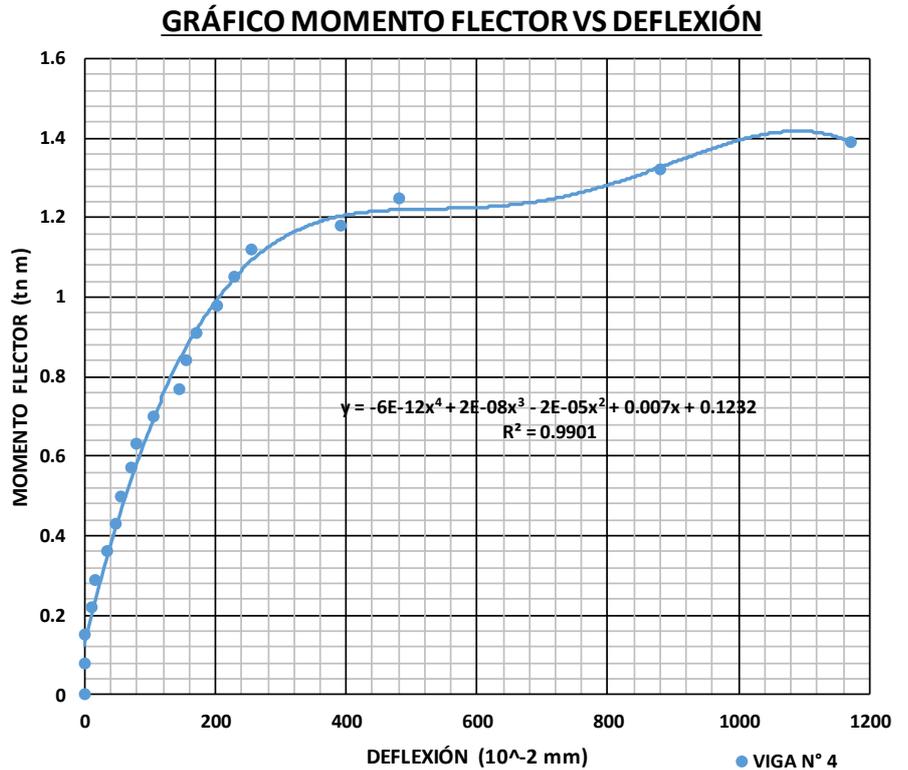
Figura 3.7. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 3.



### 3.4.2.4. Viga N° 4:

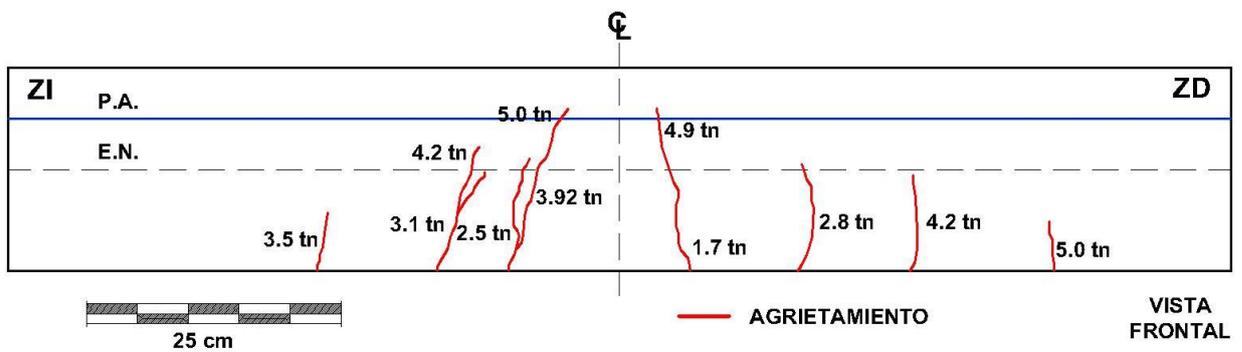
Tabla 3.4. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 4.

VIGA N°4: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	0
0.75	0.22	10
1.00	0.29	15
1.25	0.36	35
1.50	0.43	48
1.75	0.5	55
2.00	0.57	70
2.25	0.63	80
2.50	0.7	105
2.75	0.77	145
3.00	0.84	155
3.25	0.91	171
3.50	0.98	203
3.75	1.05	229
4.00	1.12	255
4.25	1.18	391
4.50	1.25	482
4.75	1.32	880
5.00	1.39	1173



La figura 3.7 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 4, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

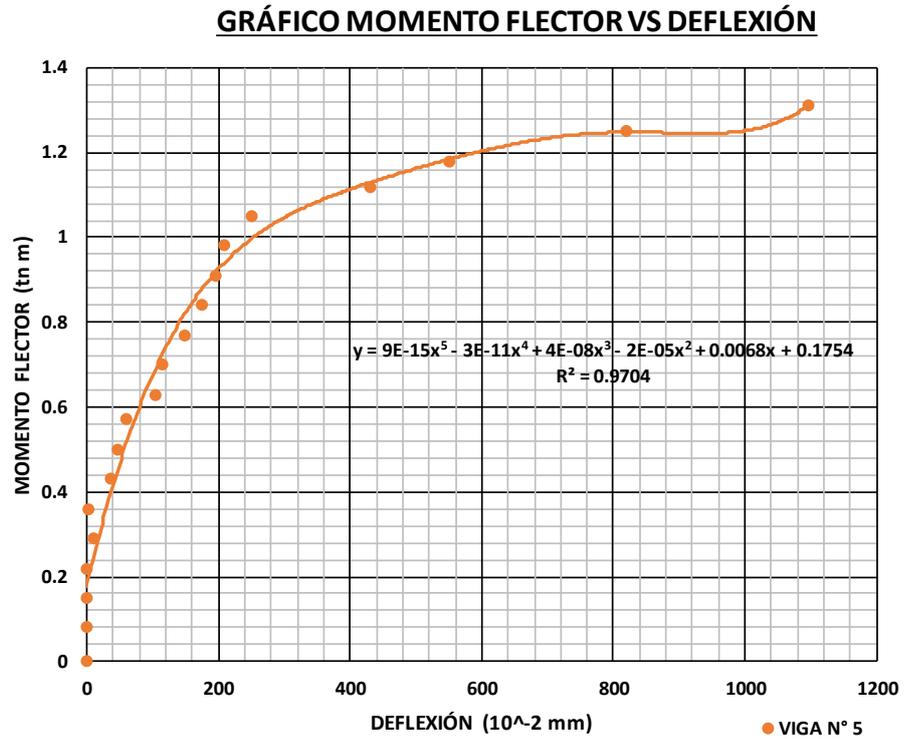
Figura 3.8. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 4.



### 3.4.2.5. Viga N° 5:

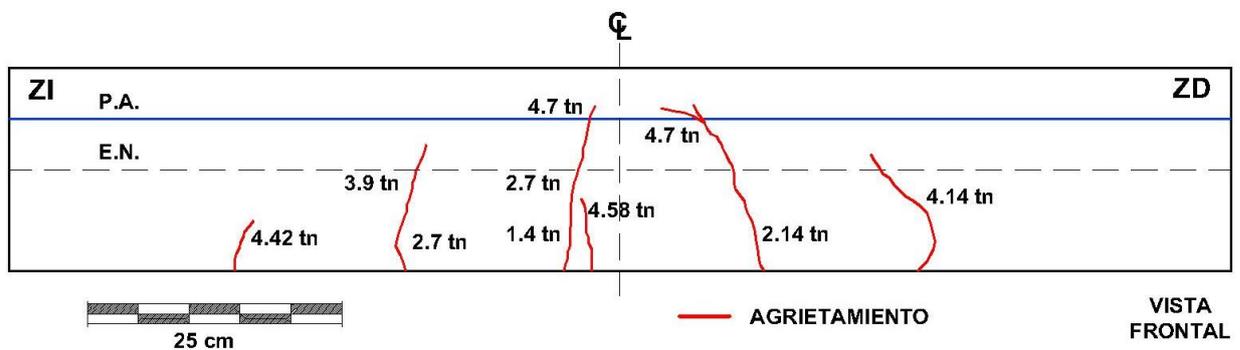
Tabla 3.5. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 5.

VIGA N°5: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	0
0.75	0.22	0
1.00	0.29	11
1.25	0.36	2
1.50	0.43	38
1.75	0.5	46
2.00	0.57	60
2.25	0.63	104
2.50	0.7	115
2.75	0.77	150
3.00	0.84	175
3.25	0.91	195
3.50	0.98	208
3.75	1.05	250
4.00	1.12	430
4.25	1.18	550
4.50	1.25	820
4.70	1.31	1095



La figura 3.8 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 5, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

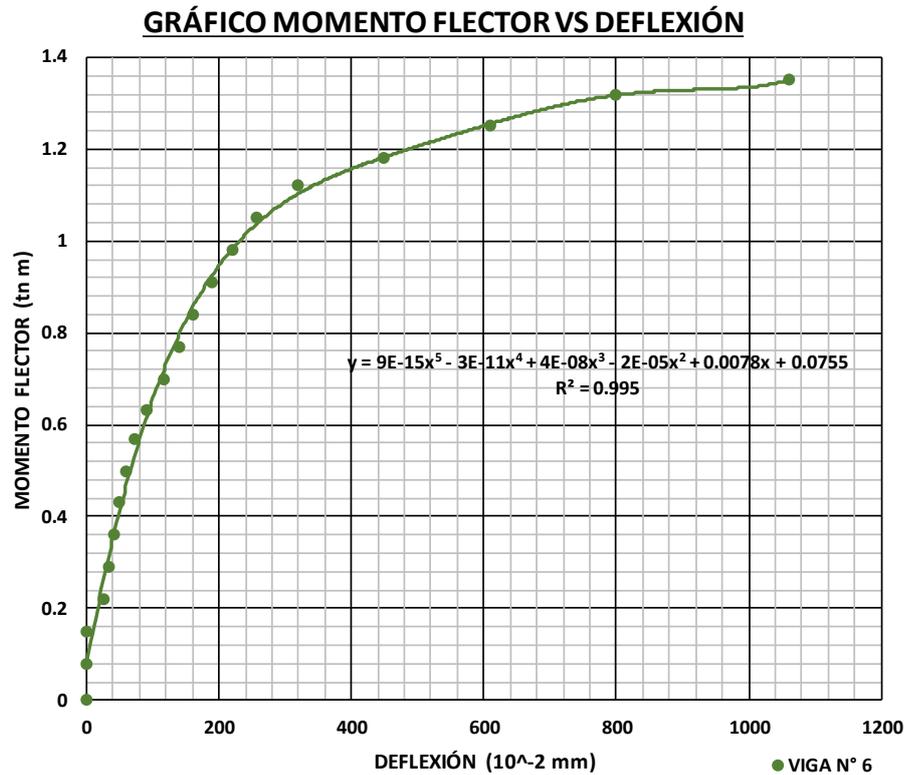
Figura 3.9. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 5.



### 3.4.2.6. Viga N° 6:

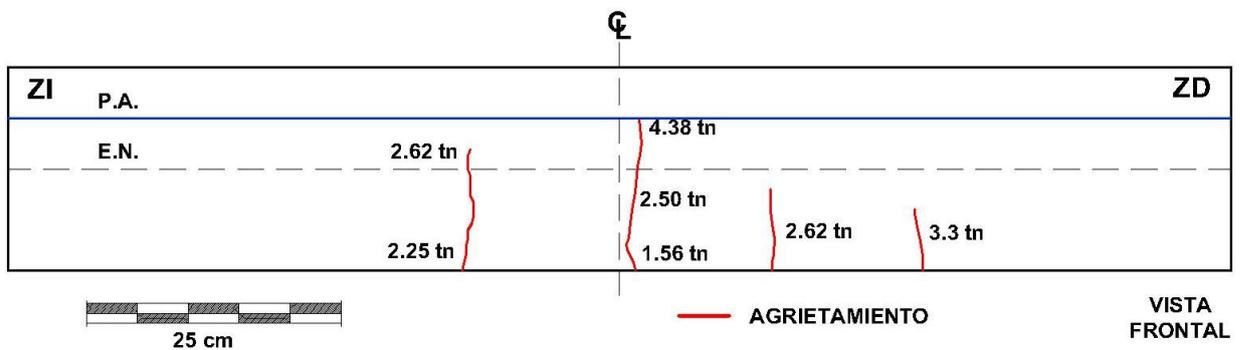
Tabla 3.6. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 6.

VIGA N°6: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	0
0.75	0.22	25
1.00	0.29	33
1.25	0.36	41
1.50	0.43	50
1.75	0.5	60
2.00	0.57	73
2.25	0.63	90
2.50	0.7	118
2.75	0.77	139
3.00	0.84	160
3.25	0.91	189
3.50	0.98	220
3.75	1.05	256
4.00	1.12	320
4.25	1.18	450
4.50	1.25	610
4.75	1.32	800
4.85	1.35	1060



La figura 3.9 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 6, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

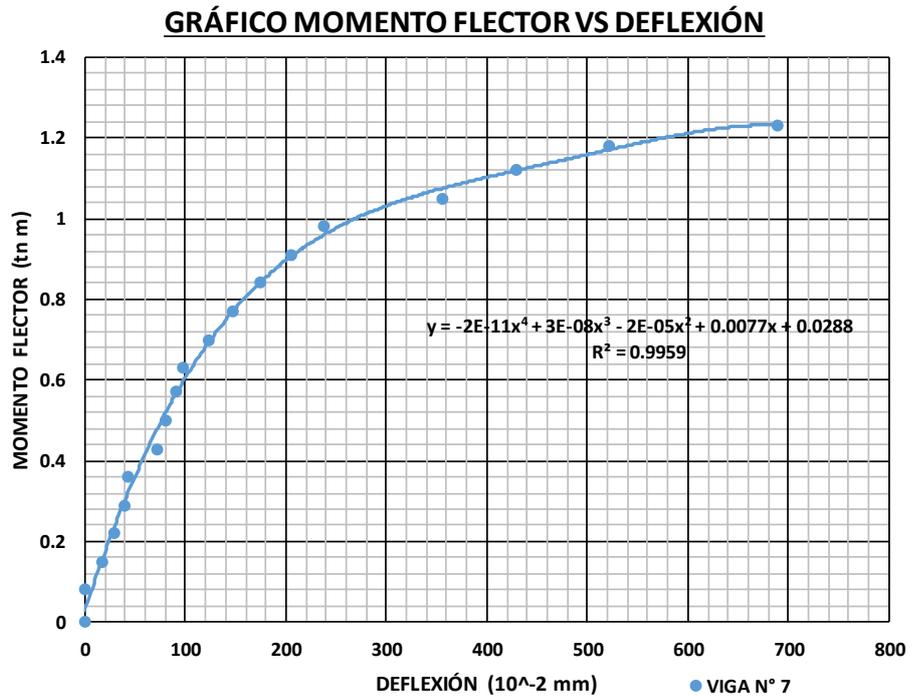
Figura 3.10. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 6.



### 3.4.2.7. Viga N° 7:

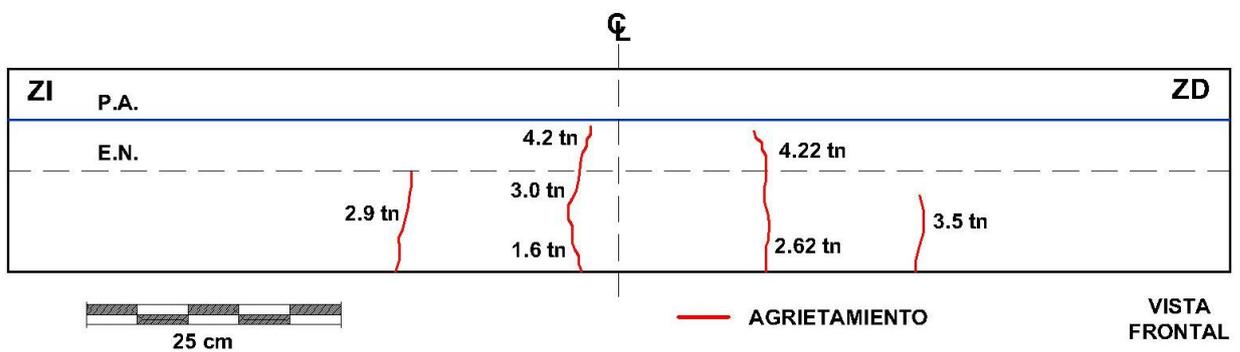
Tabla 3.7. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 7.

VIGA N°7: 15 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	18
0.75	0.22	30
1.00	0.29	39
1.25	0.36	43
1.50	0.43	72
1.75	0.5	81
2.00	0.57	90
2.25	0.63	97
2.50	0.7	123
2.75	0.77	147
3.00	0.84	175
3.25	0.91	205
3.50	0.98	238
3.75	1.05	355
4.00	1.12	430
4.25	1.18	521
4.40	1.23	690



La figura 3.10 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 7, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

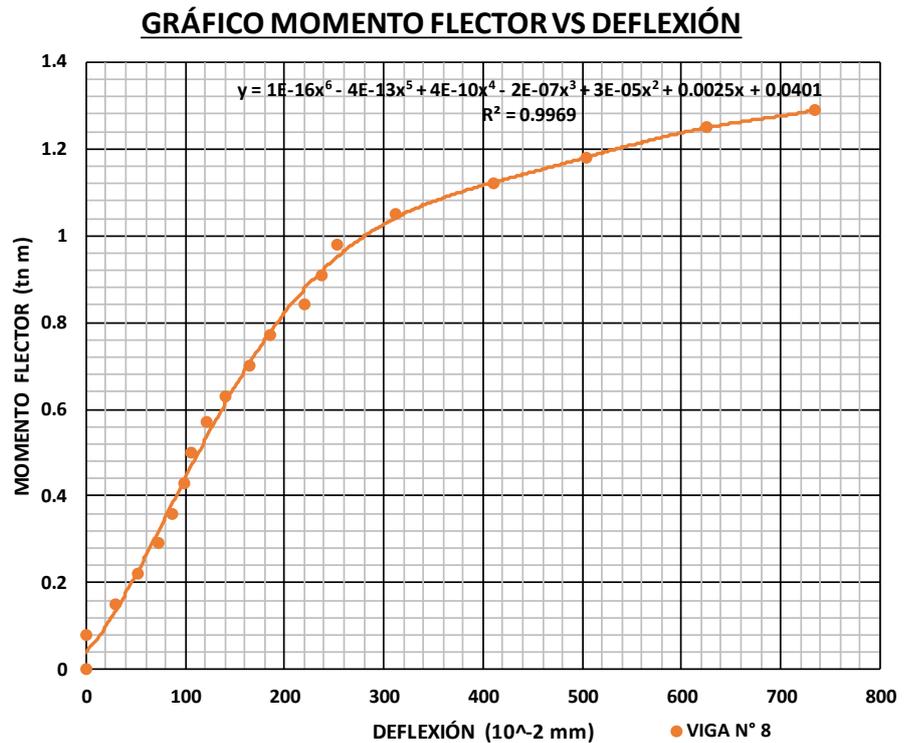
Figura 3.11. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 7.



### 3.4.2.8. Viga N° 8:

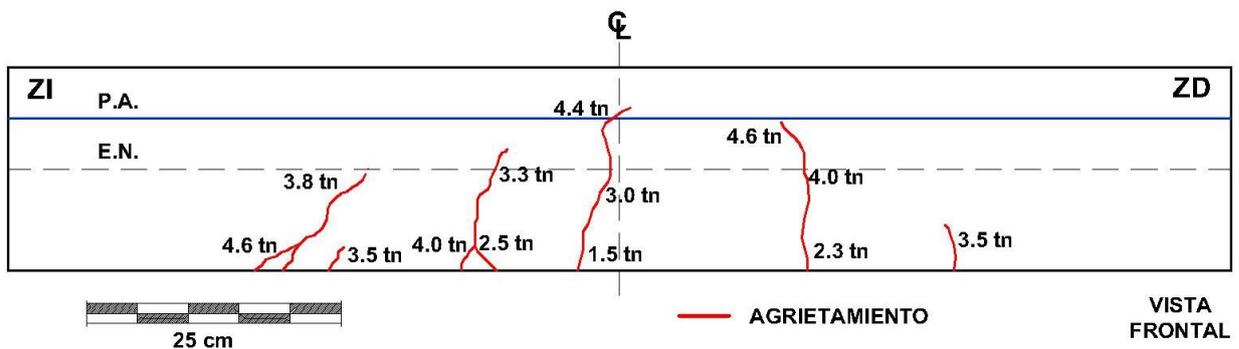
Tabla 3.8. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 8.

VIGA N°8: 15 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLECCIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	30
0.75	0.22	52
1.00	0.29	72
1.25	0.36	87
1.50	0.43	99
1.75	0.5	105
2.00	0.57	122
2.25	0.63	141
2.50	0.7	165
2.75	0.77	185
3.00	0.84	220
3.25	0.91	238
3.50	0.98	253
3.75	1.05	312
4.00	1.12	410
4.25	1.18	505
4.50	1.25	625
4.65	1.29	735



La figura 3.11 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 8, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

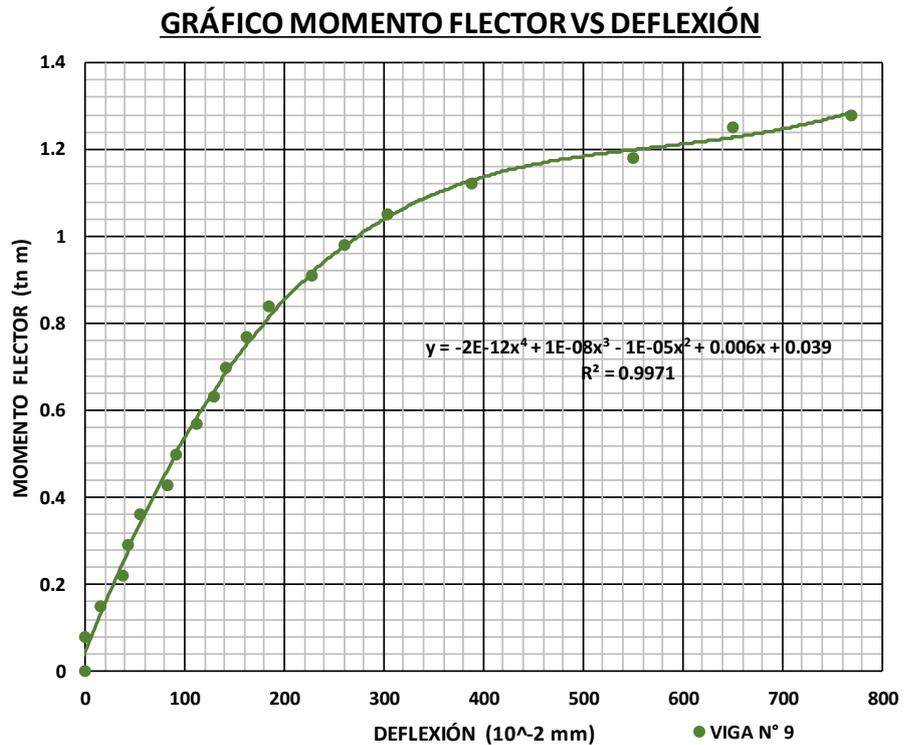
Figura 3.12. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 8.



### 3.4.2.9. Viga N° 9:

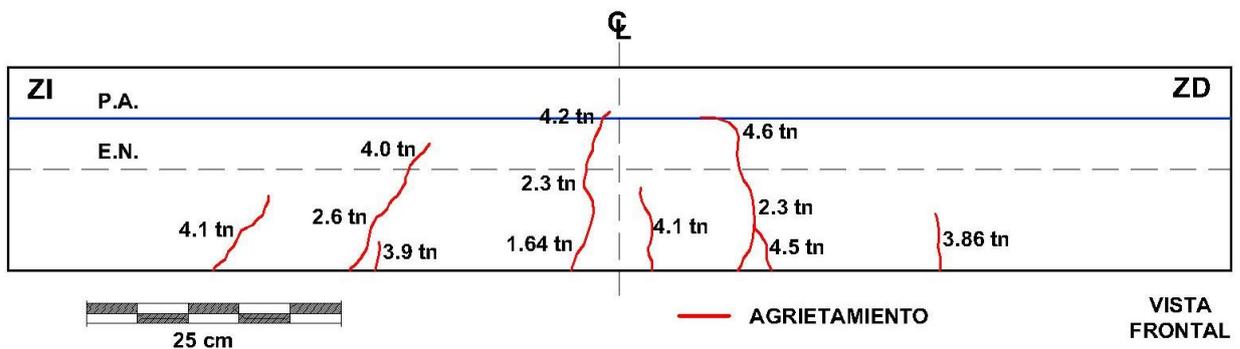
Tabla 3.9. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 9.

VIGA N°9: 15 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	15
0.75	0.22	38
1.00	0.29	44
1.25	0.36	55
1.50	0.43	83
1.75	0.5	91
2.00	0.57	113
2.25	0.63	129
2.50	0.7	142
2.75	0.77	163
3.00	0.84	185
3.25	0.91	228
3.50	0.98	260
3.75	1.05	303
4.00	1.12	388
4.25	1.18	551
4.50	1.25	650
4.60	1.28	770



La figura 3.12 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 9, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

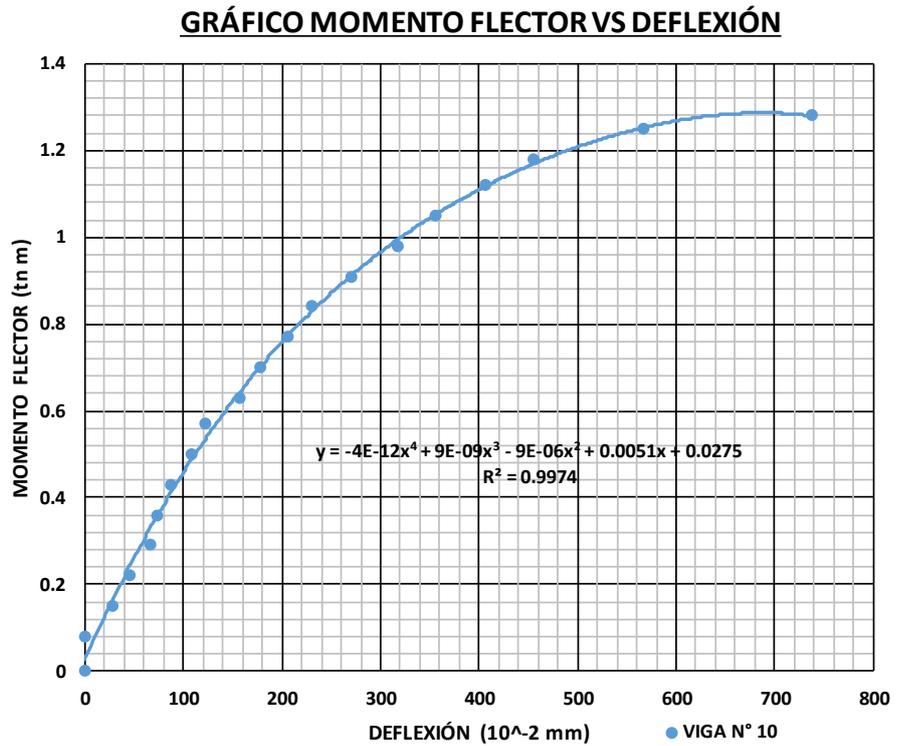
Figura 3.13. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 9.



### 3.4.2.10. Viga N° 10:

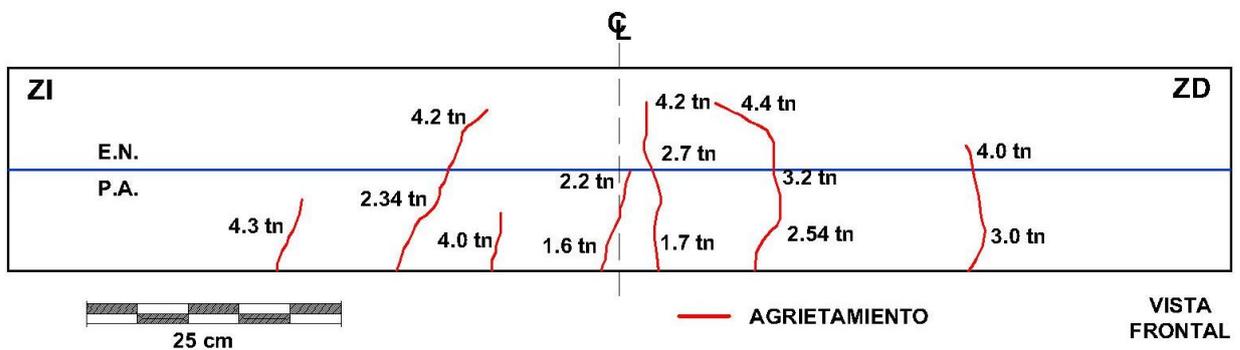
Tabla 3.10. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 10.

VIGA N°10: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLECCIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	28
0.75	0.22	45
1.00	0.29	66
1.25	0.36	74
1.50	0.43	87
1.75	0.5	108
2.00	0.57	122
2.25	0.63	157
2.50	0.7	178
2.75	0.77	205
3.00	0.84	231
3.25	0.91	271
3.50	0.98	318
3.75	1.05	356
4.00	1.12	407
4.25	1.18	455
4.50	1.25	567
4.60	1.28	737



La figura 3.13 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 10, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

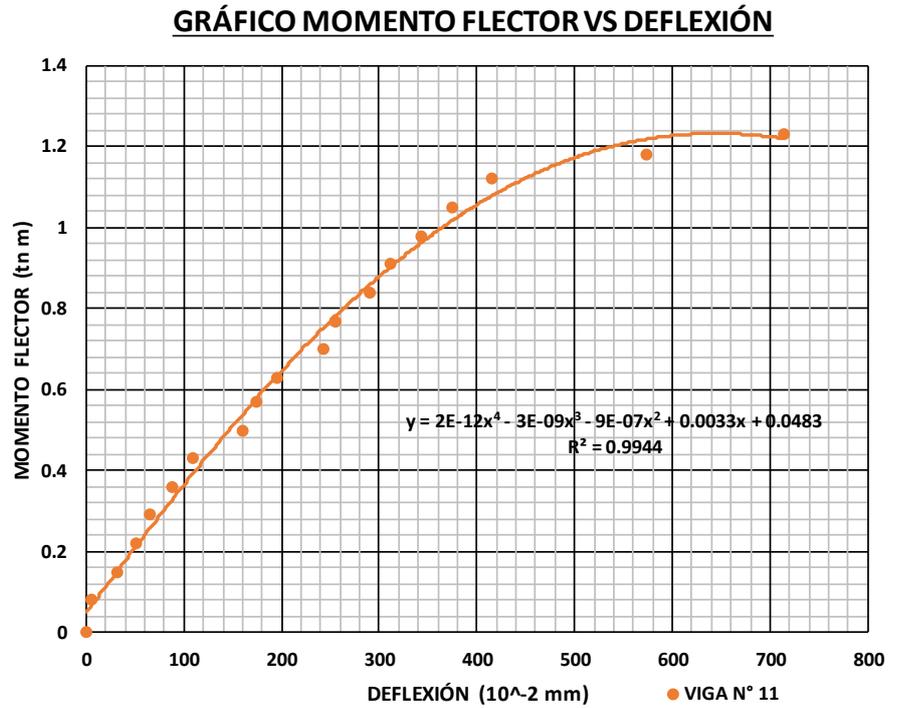
Figura 3.14. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 10.



### 3.4.2.11. Viga N° 11:

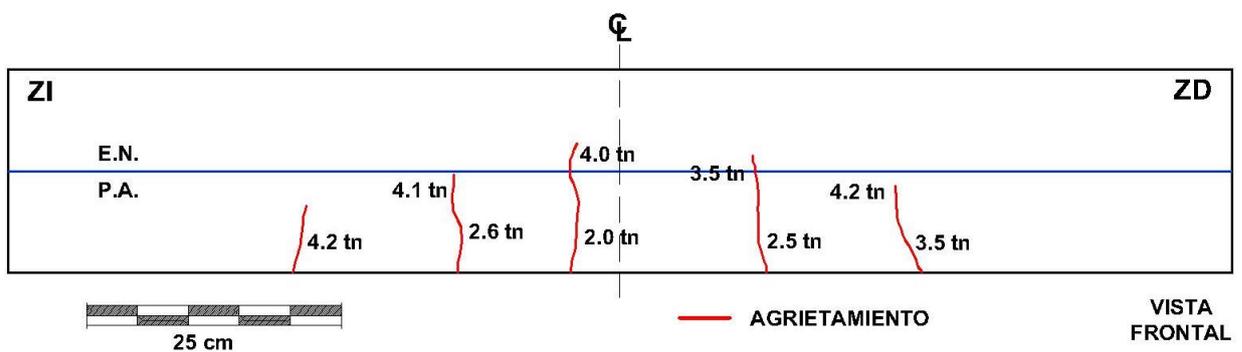
Tabla 3.11. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 11.

VIGA N°11: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	5
0.50	0.15	31
0.75	0.22	52
1.00	0.29	66
1.25	0.36	88
1.50	0.43	110
1.75	0.5	160
2.00	0.57	175
2.25	0.63	195
2.50	0.7	242
2.75	0.77	256
3.00	0.84	290
3.25	0.91	312
3.50	0.98	344
3.75	1.05	375
4.00	1.12	415
4.25	1.18	574
4.40	1.23	714



La figura 3.14 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 11, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

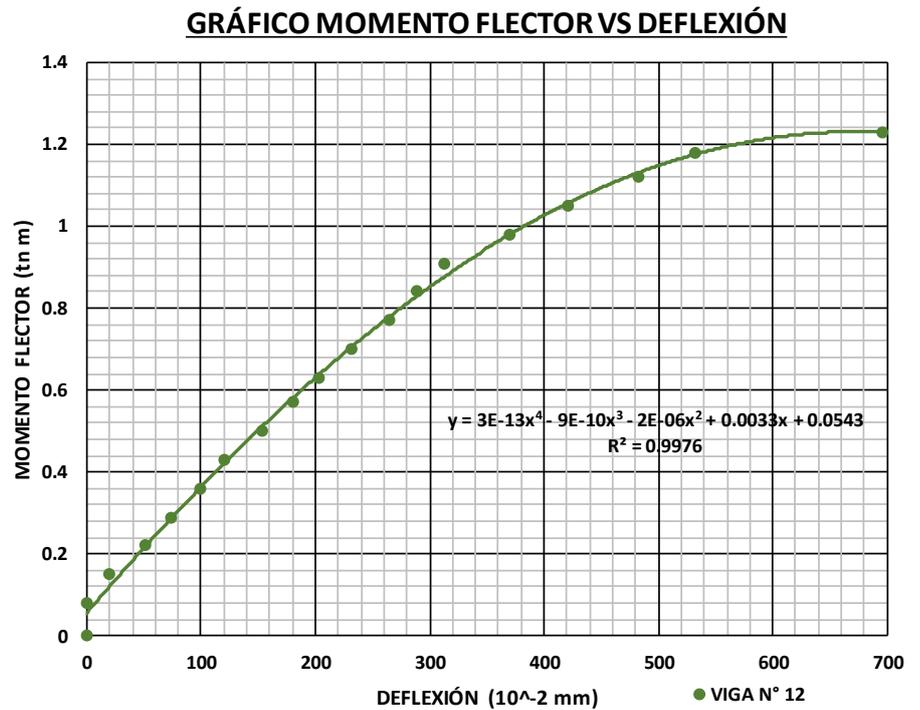
Figura 3.15. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 11.



### 3.4.2.12. Viga N° 12:

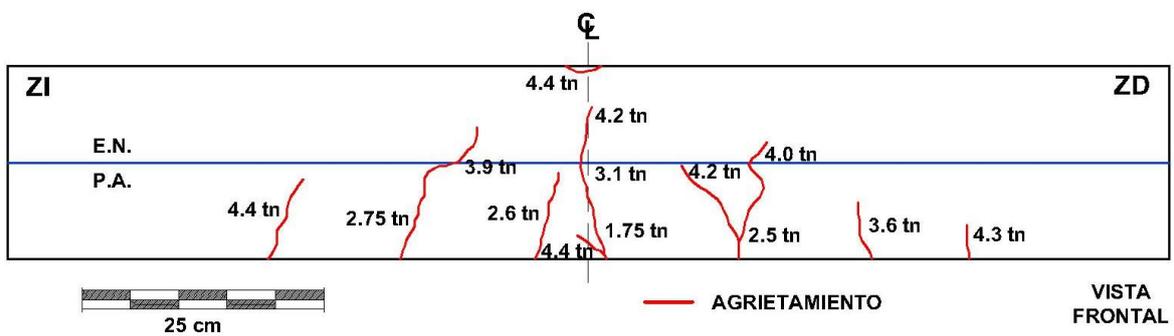
Tabla 3.12. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 12.

VIGA N°12: 15 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn.m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	20
0.75	0.22	51
1.00	0.29	73
1.25	0.36	99
1.50	0.43	120
1.75	0.5	154
2.00	0.57	181
2.25	0.63	203
2.50	0.7	232
2.75	0.77	265
3.00	0.84	289
3.25	0.91	313
3.50	0.98	370
3.75	1.05	421
4.00	1.12	482
4.25	1.18	532
4.40	1.23	696



La figura 3.15 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 12, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

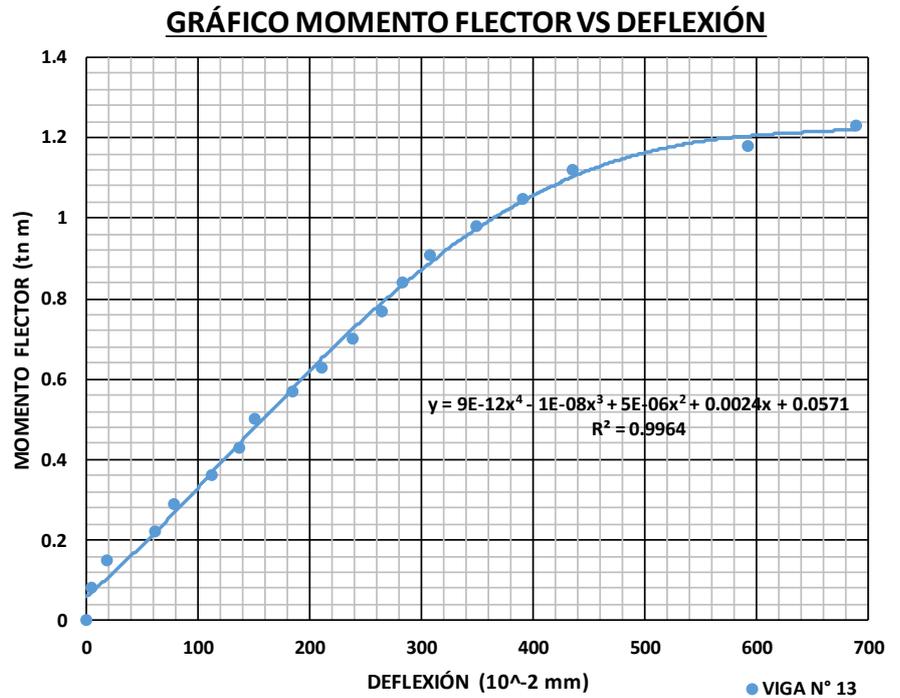
Figura 3.16. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 12.



### 3.4.2.13. Viga N° 13:

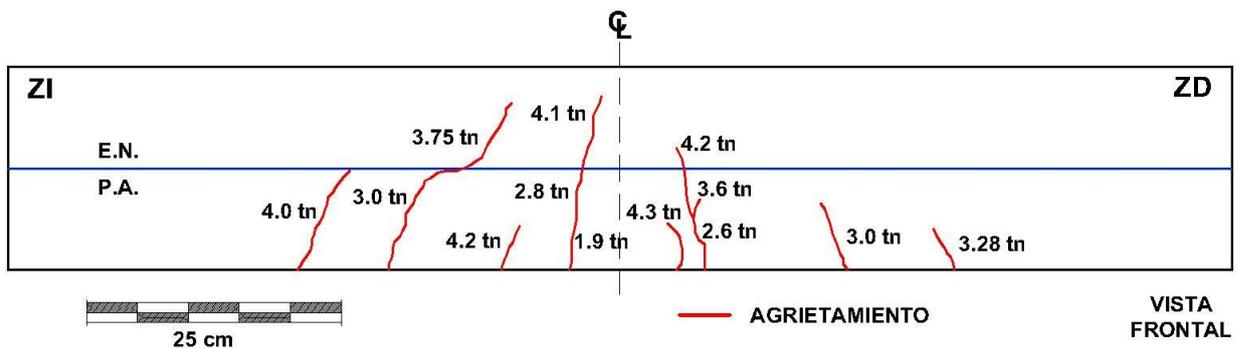
Tabla 3.13. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 13.

VIGA N°13: 10 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	5
0.50	0.15	19
0.75	0.22	61
1.00	0.29	78
1.25	0.36	113
1.50	0.43	137
1.75	0.5	151
2.00	0.57	185
2.25	0.63	211
2.50	0.7	239
2.75	0.77	265
3.00	0.84	284
3.25	0.91	308
3.50	0.98	349
3.75	1.05	391
4.00	1.12	436
4.25	1.18	593
4.40	1.23	689



La figura 3.16 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 13, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

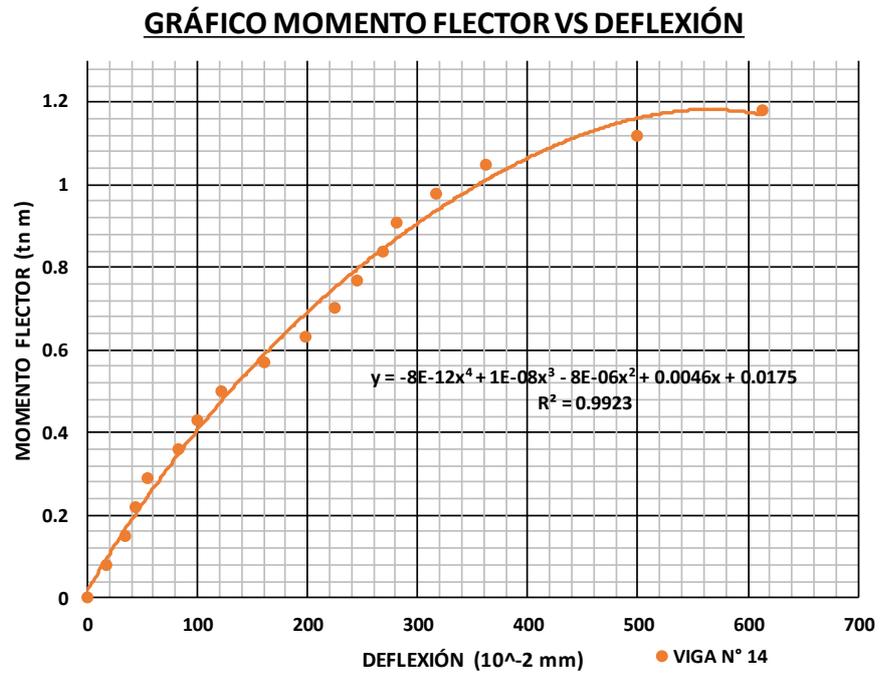
Figura 3.17. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 13.



### 3.4.2.14. Viga N° 14:

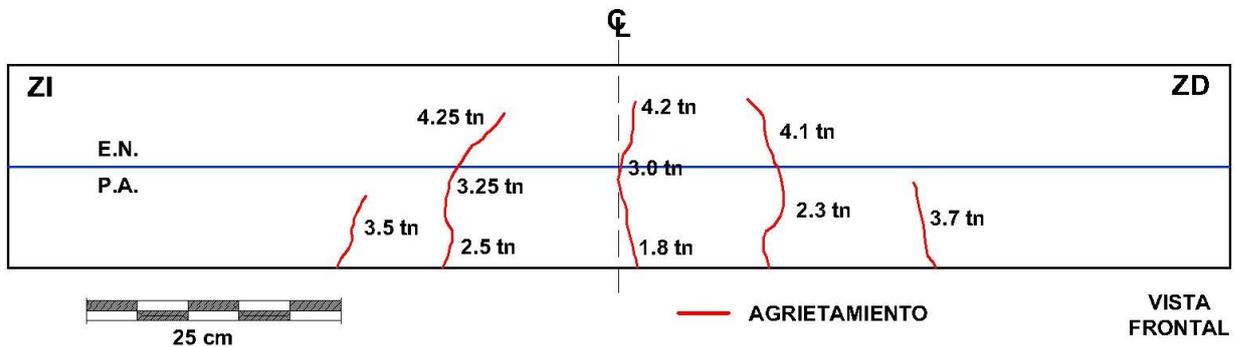
Tabla 3.14. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 14.

VIGA N°14: 10 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	18
0.50	0.15	35
0.75	0.22	44
1.00	0.29	55
1.25	0.36	83
1.50	0.43	100
1.75	0.5	122
2.00	0.57	160
2.25	0.63	198
2.50	0.7	225
2.75	0.77	245
3.00	0.84	269
3.25	0.91	281
3.50	0.98	317
3.75	1.05	362
4.00	1.12	500
4.25	1.18	613



La figura 3.17 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 14, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

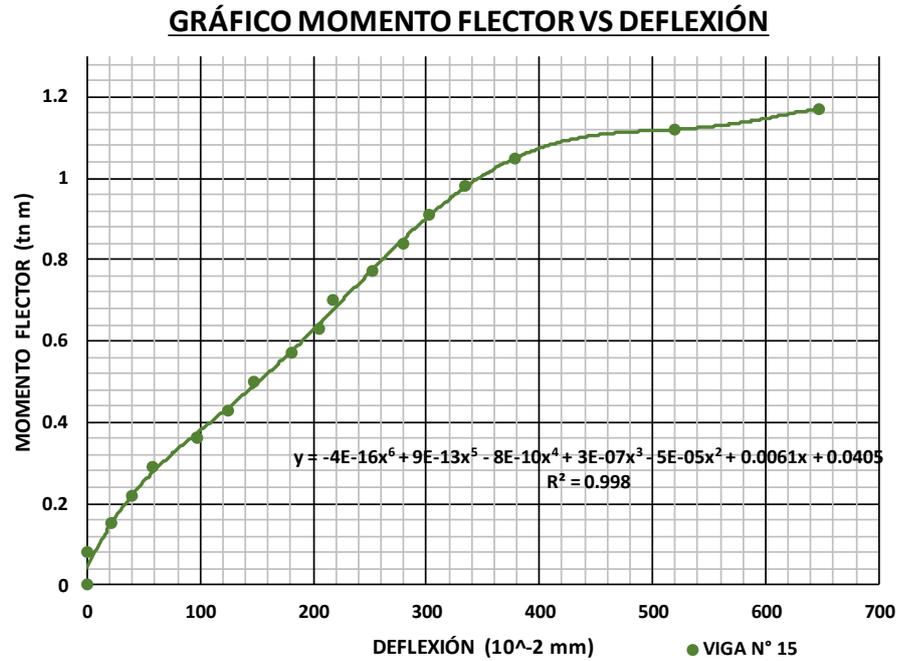
Figura 3.18. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 14.



### 3.4.2.15. Viga N° 15:

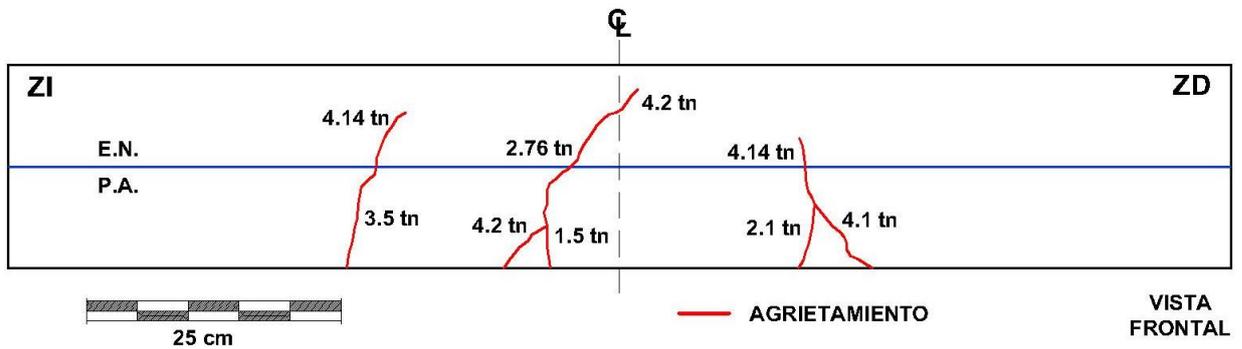
Tabla 3.15. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 15.

VIGA N°15: 10 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	21
0.75	0.22	40
1.00	0.29	58
1.25	0.36	97
1.50	0.43	124
1.75	0.5	147
2.00	0.57	181
2.25	0.63	205
2.50	0.7	217
2.75	0.77	253
3.00	0.84	279
3.25	0.91	302
3.50	0.98	335
3.75	1.05	378
4.00	1.12	520
4.20	1.17	647



La figura 3.18 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 15, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

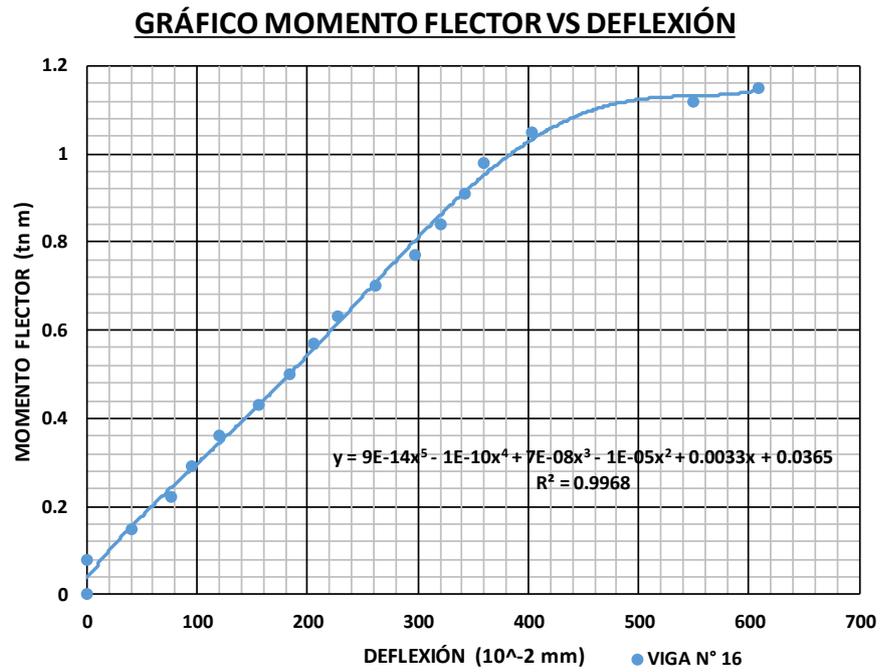
Figura 3.19. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 15.



### 3.4.2.16. Viga N° 16:

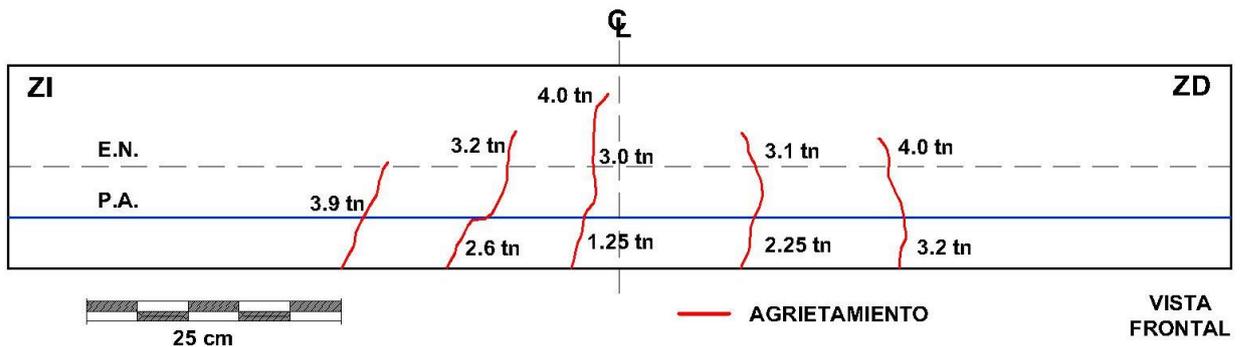
Tabla 3.16. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 16.

VIGA N°16: 5 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	41
0.75	0.22	77
1.00	0.29	95
1.25	0.36	120
1.50	0.43	155
1.75	0.5	183
2.00	0.57	206
2.25	0.63	227
2.50	0.7	261
2.75	0.77	298
3.00	0.84	320
3.25	0.91	342
3.50	0.98	360
3.75	1.05	403
4.00	1.12	550
4.12	1.15	608



La figura 3.19 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 16, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

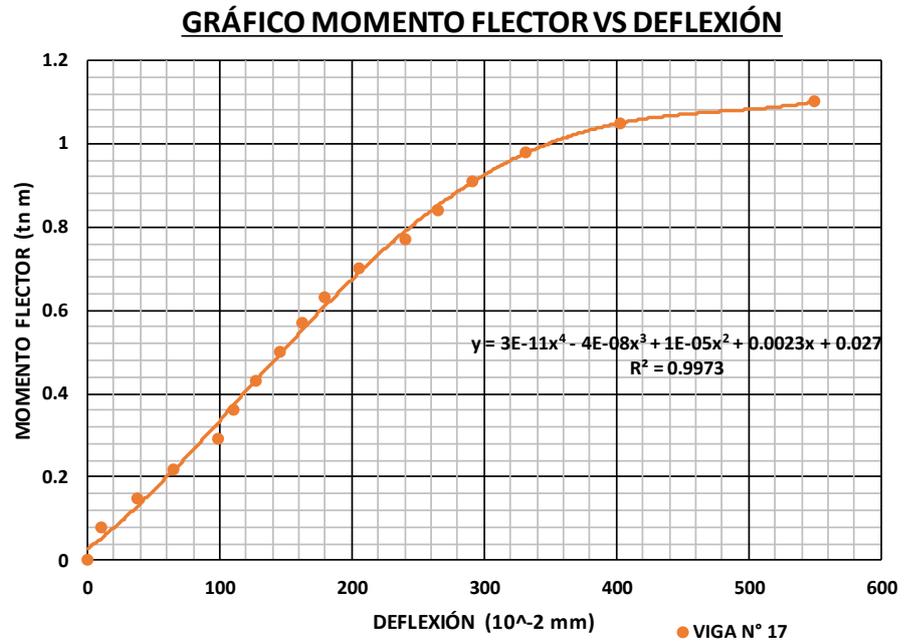
Figura 3.20. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 16.



### 3.4.2.17. Viga N° 17:

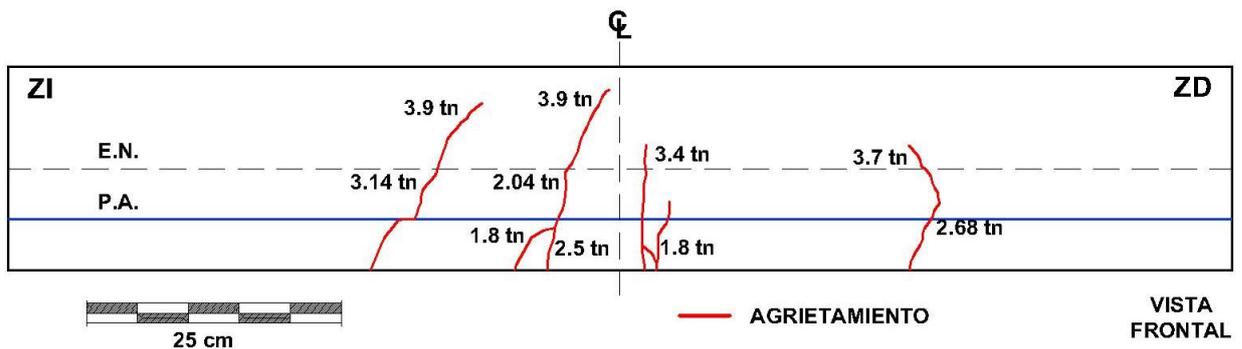
Tabla 3.17. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 17.

VIGA N°17: 5 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	11
0.50	0.15	38
0.75	0.22	65
1.00	0.29	99
1.25	0.36	111
1.50	0.43	127
1.75	0.5	145
2.00	0.57	162
2.25	0.63	179
2.50	0.7	206
2.75	0.77	240
3.00	0.84	265
3.25	0.91	291
3.50	0.98	331
3.75	1.05	403
3.94	1.1	550



La figura 3.20 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 17, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

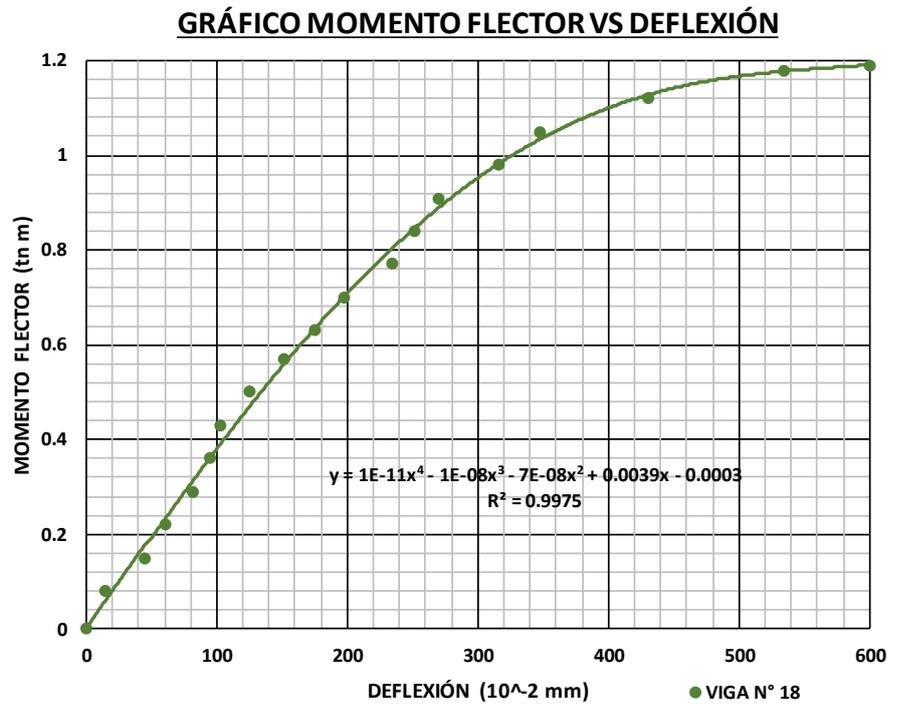
Figura 3.21. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 17.



### 3.4.2.18. Viga N° 18:

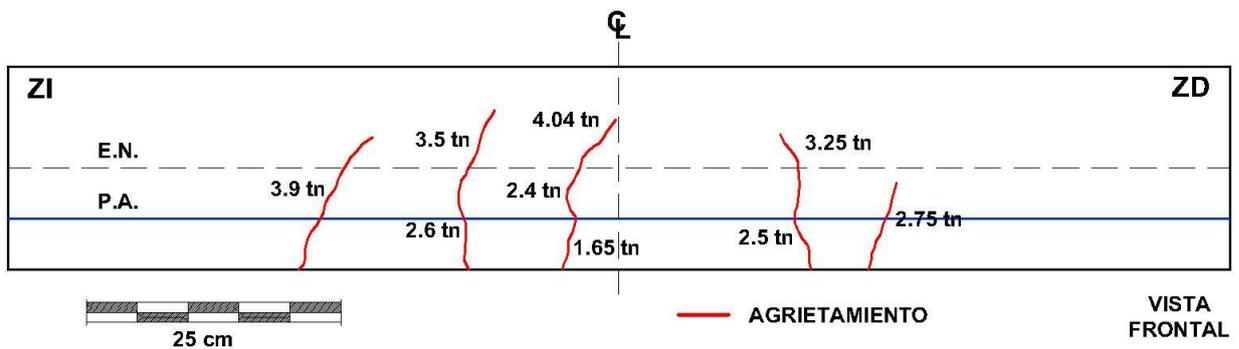
Tabla 3.18. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 18.

VIGA N°18: 5 cm P.A. - SIKA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	15
0.50	0.15	45
0.75	0.22	61
1.00	0.29	82
1.25	0.36	95
1.50	0.43	103
1.75	0.5	125
2.00	0.57	151
2.25	0.63	175
2.50	0.7	198
2.75	0.77	235
3.00	0.84	252
3.25	0.91	270
3.50	0.98	316
3.75	1.05	348
4.00	1.12	431
4.25	1.18	535
4.26	1.19	600



La figura 3.21 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 18, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

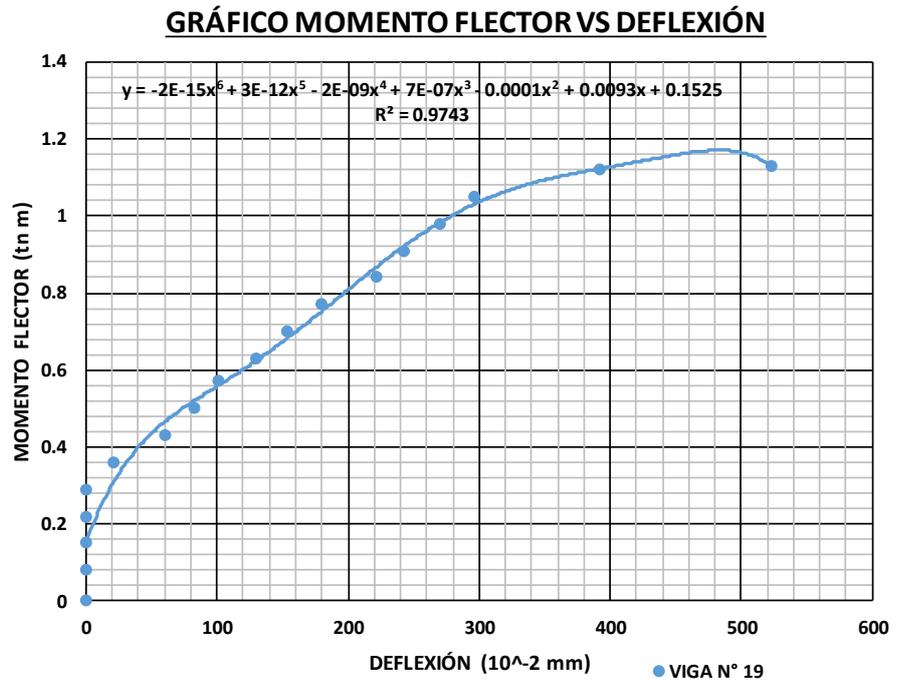
Figura 3.22. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 18.



### 3.4.2.19. Viga N° 19:

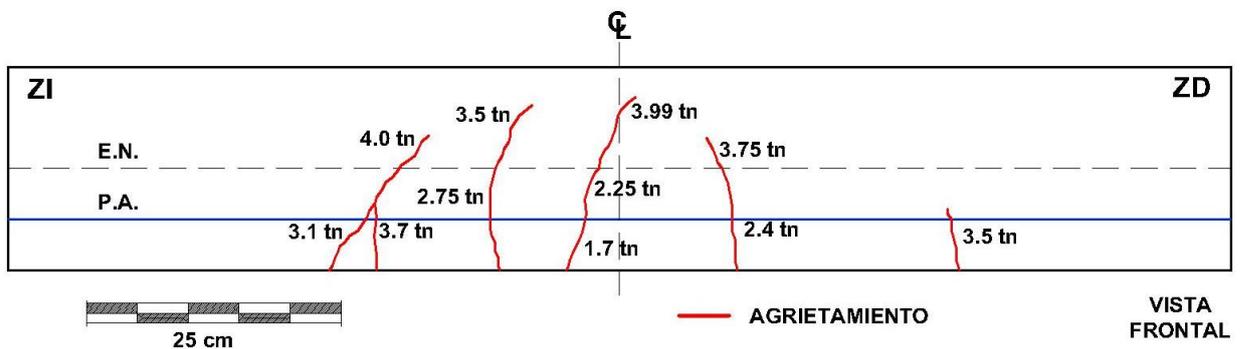
Tabla 3.19. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 19.

VIGA N°19: 5 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	0
0.75	0.22	0
1.00	0.29	0
1.25	0.36	21
1.50	0.43	60
1.75	0.5	82
2.00	0.57	101
2.25	0.63	130
2.50	0.7	154
2.75	0.77	180
3.00	0.84	221
3.25	0.91	243
3.50	0.98	270
3.75	1.05	296
4.00	1.12	392
4.05	1.13	523



La figura 3.22 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 19, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

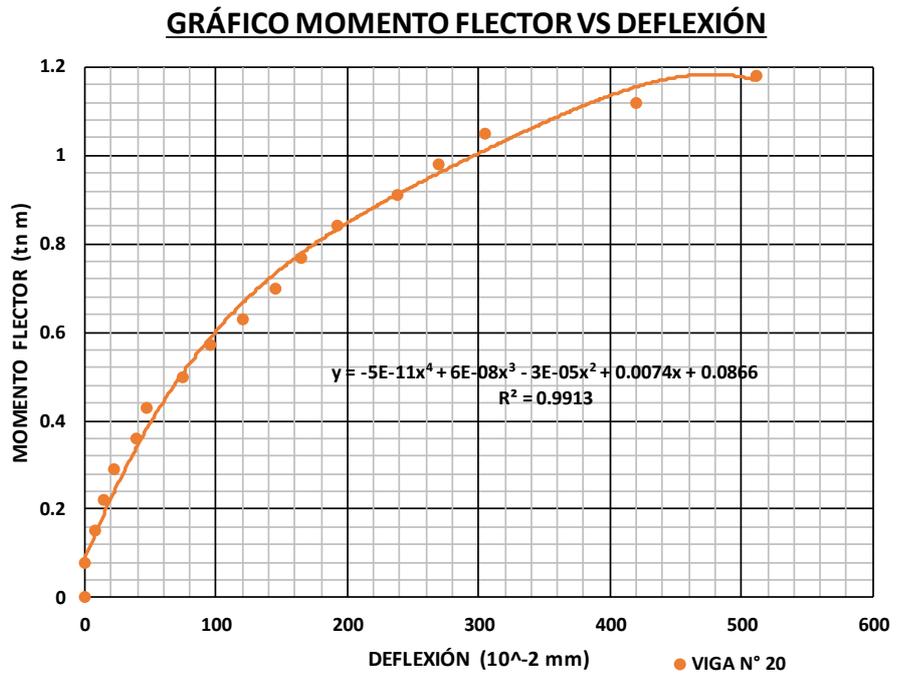
Figura 3.23. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 19.



### 3.4.2.20. Viga N° 20:

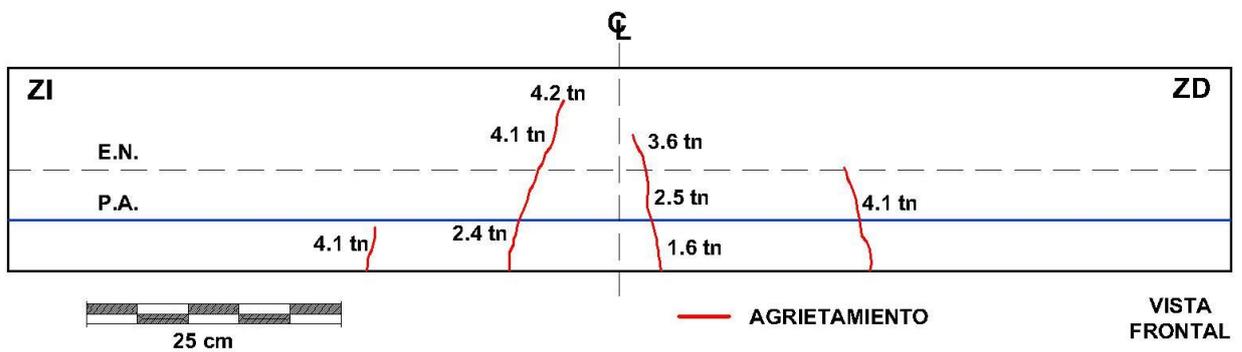
Tabla 3.20. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 20.

VIGA N°20: 5 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	8
0.75	0.22	15
1.00	0.29	22
1.25	0.36	39
1.50	0.43	47
1.75	0.5	75
2.00	0.57	95
2.25	0.63	120
2.50	0.7	145
2.75	0.77	165
3.00	0.84	192
3.25	0.91	238
3.50	0.98	270
3.75	1.05	305
4.00	1.12	420
4.22	1.18	512



La figura 3.23 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 20, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

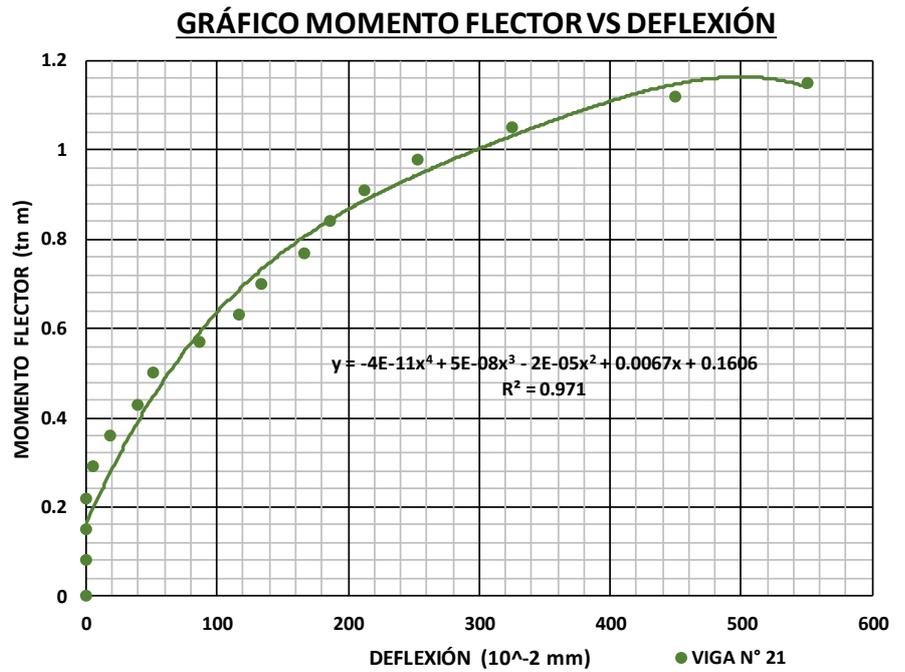
Figura 3.24. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 20.



### 3.4.2.21. Viga N° 21:

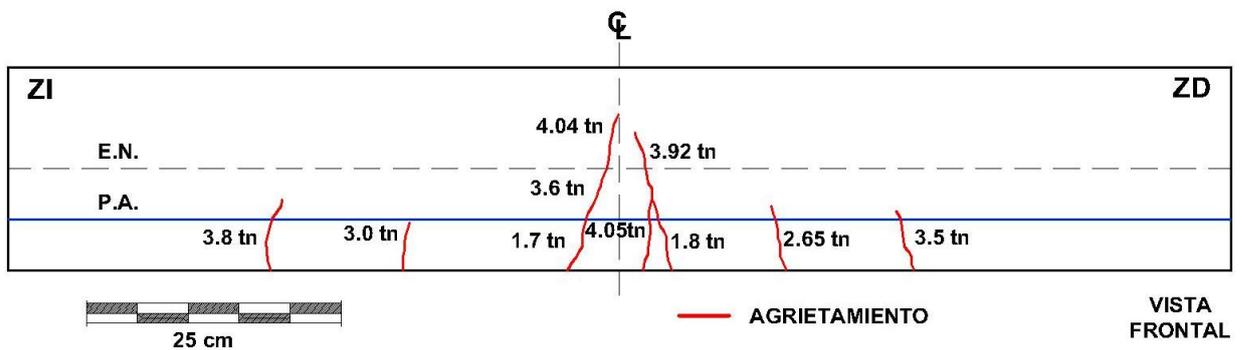
Tabla 3.21. Resultados del ensayo a Flexión, Viga N° 21.

VIGA N°21: 5 cm P.A. - CHEMA		
CARGA (Tn)	MOMENTO FLECTOR (Tn m)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)
0.00	0	0
0.25	0.08	0
0.50	0.15	0
0.75	0.22	0
1.00	0.29	5
1.25	0.36	18
1.50	0.43	39
1.75	0.5	51
2.00	0.57	86
2.25	0.63	117
2.50	0.7	134
2.75	0.77	166
3.00	0.84	186
3.25	0.91	212
3.50	0.98	253
3.75	1.05	325
4.00	1.12	450
4.14	1.15	550



La figura 3.24 muestra el esquema patrón de agrietamiento de la viga N° 21, al igual que las cargas en toneladas en que se origina y se desarrolla cada grieta:

Figura 3.25. Esquema patrón de agrietamiento, viga N° 21.



### 3.4.2.22. Comparación de Carga máxima vs Tipo de viga:

Tabla 3.22. Carga máxima promedio por tipo de viga.

TIPO DE VIGA	N° VIGA	CARGA MÁXIMA (tn)	PROMEDIO DE CARGA (tn)	MOMENTO FLECTOR MÁXIMO (tn m)	PROMEDIO DE MOMENTO FLECTOR (tn m)
I	1	4.5	4.48	1.25	1.25
I	2	4.6		1.28	
I	3	4.35		1.21	
II-SIKA	4	5	4.85	1.39	1.35
II-SIKA	5	4.7		1.31	
II-SIKA	6	4.85		1.35	
II-CHEMA	7	4.4	4.55	1.23	1.27
II-CHEMA	8	4.65		1.29	
II-CHEMA	9	4.6		1.28	
III-SIKA	10	4.6	4.47	1.28	1.25
III-SIKA	11	4.4		1.23	
III-SIKA	12	4.4		1.23	
III-CHEMA	13	4.4	4.28	1.23	1.19
III-CHEMA	14	4.25		1.18	
III-CHEMA	15	4.2		1.17	
IV-SIKA	16	4.12	4.11	1.15	1.15
IV-SIKA	17	3.94		1.1	
IV-SIKA	18	4.26		1.19	
IV-CHEMA	19	4.05	4.14	1.13	1.15
IV-CHEMA	20	4.22		1.18	
IV-CHEMA	21	4.14		1.15	

Considerando los valores de carga máxima y momento flector máximo de la viga tipo I, monolítica o patrón como el 100 %, obtenemos una comparación en porcentajes respecto a los otros valores.

Figura 3.26. Comparación de las Cargas máximas vs. Tipo de viga.

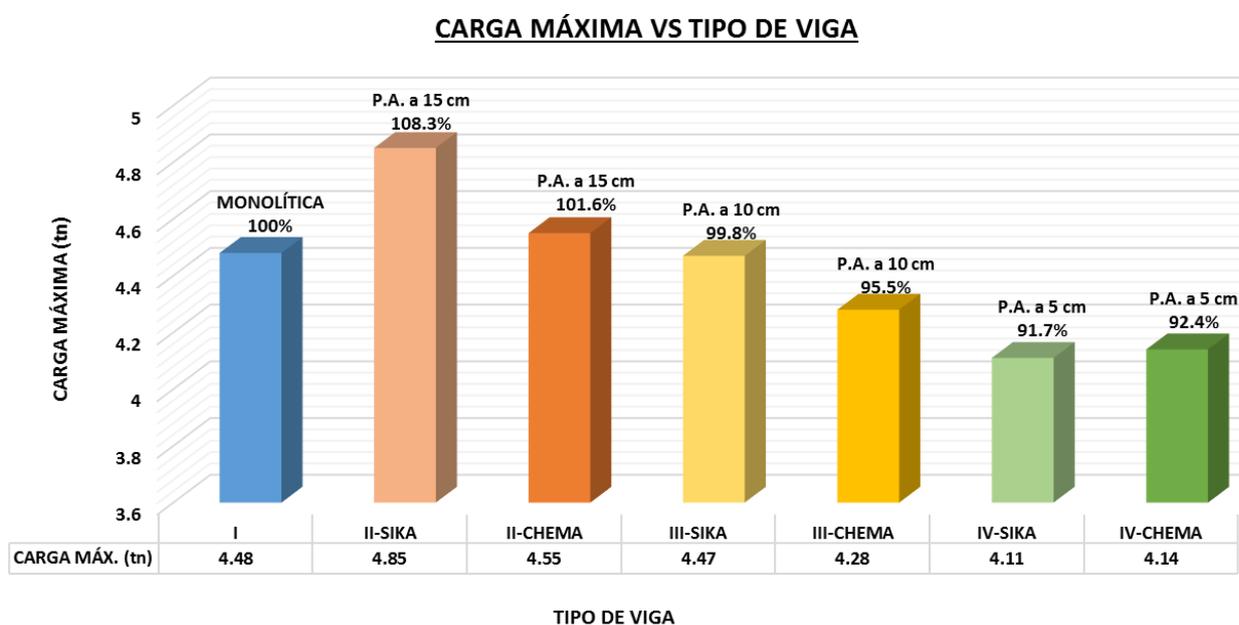
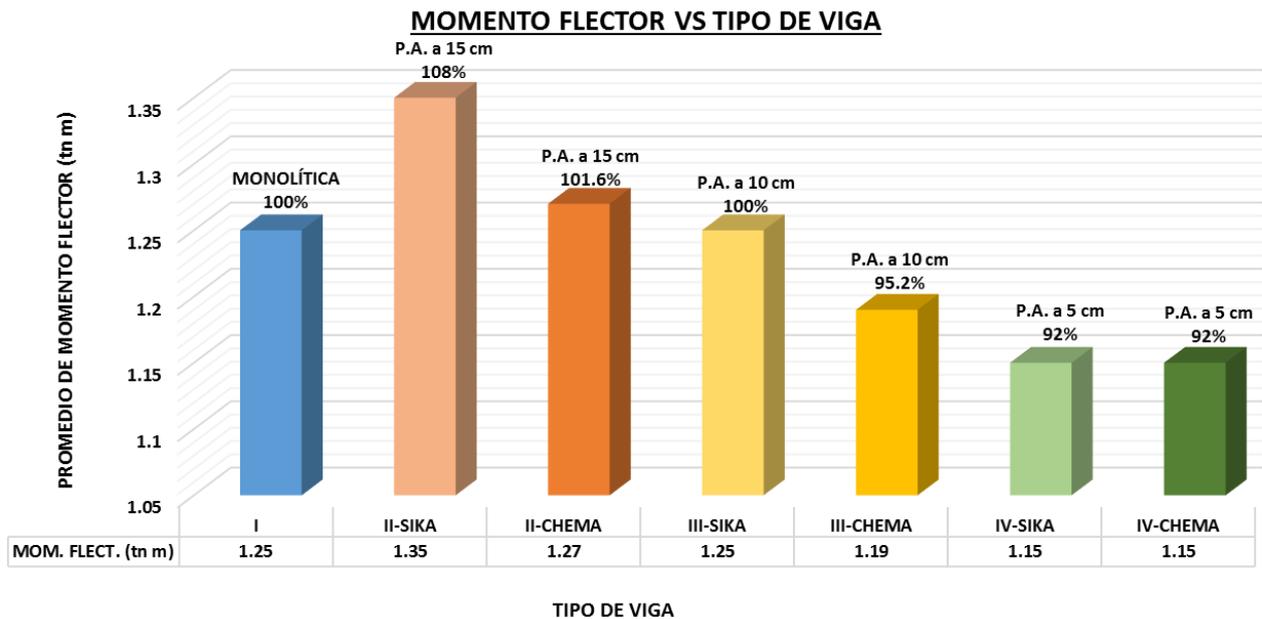


Figura 3.27. Comparación del Momento Flector Máximo vs tipo de viga.



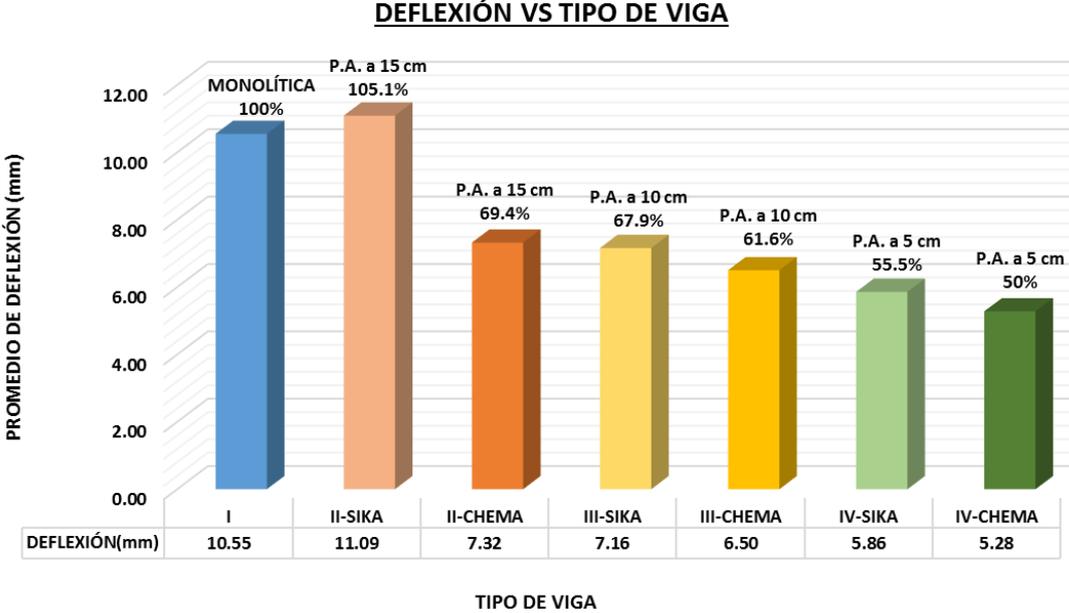
### 3.4.2.23. Comparación de Deflexiones vs Tipo de viga:

Tabla 3.23. Deflexión máxima promedio por tipo de viga.

TIPO DE VIGA	N° VIGA	DEFLEXIÓN MÁXIMA (mm)	PROMEDIO DE DEFLEXIÓN (mm)
I	1	10.50	10.55
I	2	11.00	
I	3	10.15	
II-SIKA	4	11.73	11.09
II-SIKA	5	10.95	
II-SIKA	6	10.60	
II-CHEMA	7	6.90	7.32
II-CHEMA	8	7.35	
II-CHEMA	9	7.70	
III-SIKA	10	7.37	7.16
III-SIKA	11	7.14	
III-SIKA	12	6.96	
III-CHEMA	13	6.89	6.50
III-CHEMA	14	6.13	
III-CHEMA	15	6.47	
IV-SIKA	16	6.08	5.86
IV-SIKA	17	5.50	
IV-SIKA	18	6.00	
IV-CHEMA	19	5.23	5.28
IV-CHEMA	20	5.12	
IV-CHEMA	21	5.50	

Considerando los valores de deflexión máxima de la viga tipo I, monolítica o patrón como el 100 %, obtenemos una comparación en porcentajes respecto a los otros valores.

Figura 3.28. Comparación de la Deflexión máxima vs. Tipo de viga.

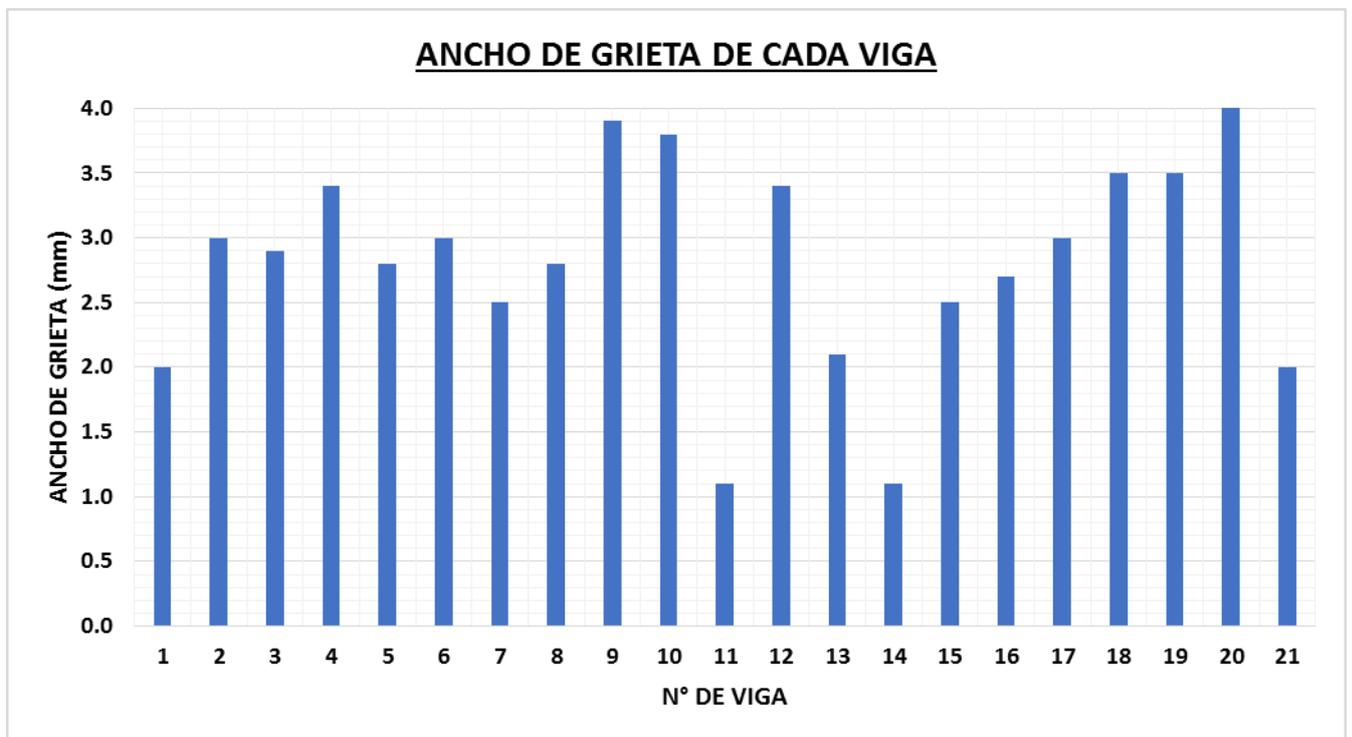


**3.4.2.24. Comparación del ancho de grieta teórico vs real:**

*Tabla 3.24. Ancho de grietas.*

TIPO DE VIGA	N° VIGA	ANCHO DE GRIETA (mm)
I	1	2.0
I	2	3.0
I	3	2.9
II-SIKA	4	3.4
II-SIKA	5	2.8
II-SIKA	6	3.0
II-CHEMA	7	2.5
II-CHEMA	8	2.8
II-CHEMA	9	3.9
III-SIKA	10	3.8
III-SIKA	11	1.1
III-SIKA	12	3.4
III-CHEMA	13	2.1
III-CHEMA	14	1.1
III-CHEMA	15	2.5
IV-SIKA	16	2.7
IV-SIKA	17	3.0
IV-SIKA	18	3.5
IV-CHEMA	19	3.5
IV-CHEMA	20	4.0
IV-CHEMA	21	2.0

*Figura 3.29. Ancho de grieta real.*



## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE** **RESULTADOS**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:**

##### **Resultados de los ensayos a Flexión:**

###### Viga N° 1:

La tabla 3.1, muestra un momento máximo flector de 1.25 tn m alcanzando una deformación máxima de 10.5 mm, la falla es dúctil aumentado su deflexión sin incremento del momento. De la figura 3.5, la vista frontal de la viga ensayada muestra un agrietamiento típico de rajaduras por flexión vistas en el acápite 2.2.7, la grieta surge a 1.5 tn e incrementa hasta 4.25 tn, la grietas secundarias se muestran simétricas en ambas zonas originándose todas ellas en el borde inferior creciendo hacia el eje neutro para un rango de carga de 2.40 a 4.50 tn.

###### Viga N° 2:

La tabla 3.2, muestra un momento máximo flector de 1.28 tn m alcanzando una deformación máxima de 11 mm, la falla es también dúctil prolongando su deflexión sin incremento del momento. De la figura 3.6, el diagrama de agrietamiento es típico y pertenece a rajaduras por flexión, la primera fisura comienza a 1.42 tn y se desarrolla hasta 3.92 tn, la aparición de las demás fisuras empiezan bajo el eje neutro y es simétrica en la zona derecha e izquierda para un rango de cargas de 2.25 a 4.56 tn.

###### Viga N° 3:

La tabla 3.3, muestra un momento máximo flector de 1.21 tn m para una deflexión máxima de 10.15 mm, aunque muestra valores inferiores a las anteriores dos vigas la falla también es dúctil. De la figura 3.7, el mapeo de grietas es típico y Harmsen lo clasifica como una rajaduras por flexión, las fisuras aparecen en el tercio intermedio desde el borde inferior y se dirigen hacia el eje neutro para un rango de carga de 2.25 a 4.32 tn, la falla principal se genera en 1.5 tn al igual que la primera viga.

###### Viga N° 4:

La viga N° 4 tiene un puente de adherencia a 15 cm del borde inferior, el aditivo usado es Sikadur® 32 Gel, la tabla 3.4 presenta un momento máximo de 1.39 tn m para una deflexión de 11.73 mm indicando que una falla dúctil y adecuada, la figura 3.8 muestra el mapeo de grietas es del tipo flexión además de ser simétrica de 1.7 a 5 tn. La fisura principal se genera en 1.7 tn y se prolonga hasta 4.9 tn.

#### Viga N° 5:

La viga N° 5 tiene un puente de adherencia a 15 cm de la base, el aditivo usado también es Sikadur® 32 Gel, la tabla 3.5 presenta un momento máximo de 1.31 tn m para una deflexión de 10.95 mm por lo que demuestra una falla dúctil, de la documentación de fisuras presentada corresponde al tipo flexión, la figura 3.9 muestra las grietas secundarias se originan debajo del eje neutro de 2.14 a 4.7 tn; mientras la falla principal surge en 1.4 tn y se prolonga hasta 4.70 tn.

#### Viga N° 6:

Tiene un puente de adherencia a 15 cm de la base, el aditivo usado es Sikadur® 32 Gel, la tabla 3.6 presenta momento máximo flector de 1.35 tn m alcanzando una deformación máxima de 10.6 mm, la falla es dúctil y se clasifica como rajaduras por flexión, la figura 3.10 exhibe una grieta central surge a 1.56 tn y se desarrolla hasta 4.38 tn, el resto de grietas se muestran simétricas todas ellas formándose en el borde inferior creciendo hacia el eje neutro para un rango de carga de 2.25 a 3.3 tn.

#### Viga N° 7:

Presenta un puente de adherencia a 15 cm de la base, el aditivo usado es Chema Epox Adhesivo 32. De la tabla 3.7, la máxima deflexión alcanzada es de 6.9 mm para un momento de 1.23 tn m, lo cual indica una falla frágil con respecto a las anteriores 6 vigas. En la figura 3.11, el diagrama de agrietamiento es típico de rajaduras por flexión, las conforman 4 fisuras independientes; tres de ellas secundarias para un rango de 2.62 a 4.42 tn y la principal fisura aparece en 1.60 tn y se desarrolla hasta 4.20 tn.

#### Viga N° 8:

La tabla 3.8 muestra los resultados de dicha viga llegan a un momento flector máximo de 1.29 tn m, ocasionando una deformación de 7.35 mm, al igual que la viga N° 7 tiene una fractura frágil. En la figura 3.12, el agrietamiento es típico de rajaduras por flexión, también presenta simetría de fisuras en la zona media para un rango de cargas de 2.3 a 4.6 tn, el espesor de la falla principal se origina en 1.5 hasta 4.4 tn. En esta viga se usó Chema Epox Adhesivo 32 para un puente de adherencia a 15 cm de la base.

#### Viga N° 9:

Esta viga muestra un puente de adherencia a 15 cm de la base, el aditivo usado es Chema Epox Adhesivo 32. De la tabla 3.9, el momento flector máximo es de 1.28 tn m y la máxima deflexión es de 7.7 mm, la falla es frágil. En la figura 3.13, la tipificación de rajaduras es por flexión, exhibe fracturas simétricas en el tercio medio en ambas zonas izquierda y derecha. La fractura principal se debe a una carga de 1.64 hasta 4.2 tn.

#### Viga N° 10:

Tiene un puente de adherencia a 10 cm de la base, el aditivo usado es Sikadur® 32 Gel. La tabla 3.10 presenta momento máximo flector de 1.28 tn m alcanzando una deflexión máxima de 7.37 mm, la falla también es frágil y se clasifica como rajaduras por flexión, porque las fisuras surgen en el tercio medio. De la figura 3.14, la grieta central surge a 1.7 tn y se desarrolla hasta 4.2 tn.

#### Viga N° 11:

El puente de adherencia está a 10 cm de la base, el aditivo usado es Sikadur® 32 Gel. La tabla 3.11 presenta momento máximo flector de 1.23 tn m para una deformación máxima de 7.14 mm, la falla es frágil y se tipifica como rajaduras por flexión. La figura 3.15 exhibe una grieta central empieza de 2 a 4 tn, el resto de grietas se muestran para un rango de carga de 2.5 a 4.2 tn.

#### Viga N° 12:

El puente de adherencia se ubica a 10 cm de la base, usando Sikadur® 32 Gel, la tabla 3.12 exhibe momento máximo flector de 1.23 tn m al igual que la viga N° 11 logrando una deformación máxima de 6.96 mm, por lo que la fractura es frágil y se clasifica como rajaduras por flexión, porque las fisuras son simétricas para el rango de cargas de 2.5 a 4.4 tn, mientras la grieta central surge de 1.75 a 4.2 tn; de acuerdo a la figura 3.16.

#### Viga N° 13:

Presenta un puente de adherencia a 10 cm de la base, usando Chema Epox Adhesivo 32. De la tabla 3.13, la máxima deflexión alcanzada es de 6.89 mm para un momento de 1.23 tn m, lo cual indica una falla frágil al igual que a las anteriores vigas N° 10, 11 y 12. De la figura 3.17, el diagrama de agrietamiento es típico de rajaduras por flexión, las fisuras secundarias son independientes en forma de abanico y la principal fisura aparece en 1.90 tn y se desarrolla hasta 4.1 tn.

#### Viga N° 14:

El puente de adherencia se ubica a 10 cm de la base, usando Chema Epox Adhesivo 32. De acuerdo a la tabla 3.14, el momento máximo flector es de 1.18 tn m y la máxima deflexión alcanzada es de 6.13 mm indicando una falla frágil. De la figura 3.18, el mapeo de fisuramiento es típico de rajaduras por flexión, la fisura principal se origina en 1.80 tn hasta 4.20 tn.

#### Viga N° 15:

Presenta una falla frágil, la tabla 3.15 tiene un momento máximo flector es de 1.17 tn m y la máxima deflexión alcanzada es de 6.47 mm. La figura 3.19 muestra el diagrama de agrietamiento es típico de rajaduras por flexión, la fisura principal es generada por una carga de 1.5 tn y se desarrolla hasta 4.20 tn. El puente de adherencia de la viga se ubica a 10 cm de la base, el aditivo usado es Chema Epox Adhesivo 32.

#### Viga N° 16:

También exhibe una falla frágil, la tabla 3.16 tiene un momento máximo flector es de 1.15 tn m y la máxima deflexión alcanzada es de 6.08 mm. Las rajaduras son por flexión, la figura 3.20 presenta una fisura principal es generada por una carga de 1.25 tn y se desarrolla hasta 4 tn. El puente de adherencia de la viga se ubica a 5 cm de la base, empleando Sikadur® 32 Gel.

#### Viga N° 17:

Exhibe una falla frágil, la tabla 3.17 presenta un momento máximo flector es de 1.1 tn m y la máxima deflexión alcanzada es de 5.50 mm. Las rajaduras son por flexión. La figura 3.21 muestra una fisura principal es generada por una carga de 1.8 tn y se desarrolla hasta 3.9 tn. El puente de adherencia está a 5 cm del borde inferior de la sección, el aditivo empleado es Sikadur® 32 Gel.

#### Viga N° 18:

Tiene un puente de adherencia a 5 cm de la base, el aditivo usado es Sikadur® 32 Gel, la tabla 3.18 presenta momento máximo flector de 1.19 tn m alcanzando una deflexión máxima de 6 mm, por lo tanto la falla es también frágil y se clasifica como rajaduras por flexión, porque las fisuras surgen en el tercio medio en forma simétrica para un rango de cargas de 2.5 a 3.5 tn, la grieta central aparece en 1.65 tn y se desenvuelve hasta 4.04 tn; de acuerdo a la figura 3.22.

#### Viga N° 19:

Presenta un puente de adherencia a 5 cm de la base, utilizando Chema Epox Adhesivo 32. De la tabla 3.19, la máxima deflexión alcanzada es de 5.23 mm para un momento de 1.13 tn m, señalando una falla frágil. De la figura 3.23, el esquema de rajaduras es por flexión, la principal fisura aparece en 1.8 tn y se desarrolla hasta 3.99 tn.

#### Viga N° 20:

Presenta un puente de adherencia a 5 cm de la base, utilizando Chema Epox Adhesivo 32. La tabla 3.20 muestra una máxima deflexión alcanzada es de 5.12 mm para un momento de 1.18 tn m, por ende falla frágil. La figura 3.24 presenta un esquema de rajaduras es tipificado como flexión, la principal fisura sale en 1.6 tn y se desarrolla hasta 3.6 tn.

#### Viga N° 21:

La tabla 3.21 muestra los resultados de dicha viga llegan a un momento flector máximo de 1.15 tn m, ocasionando una deformación de 5.50 mm, al igual que las vigas N° 19 y 20 exhibe una fractura frágil usando el mismo aditivo. La figura 3.25 exhibe el agrietamiento es típico de rajaduras por flexión, también presenta simetría de fisuras en forma de abanico para un rango cargas de 1.80 a 4.05 tn, el espesor de la falla principal se origina en 1.7 a 4.04 tn.

## **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON ANTECEDENTES TEÓRICOS:**

De los resultados mostrados en la *Figura 3.26* y *Figura 3.27*, observamos que el mejor comportamiento obtenido en el ensayo a flexión son para las vigas tipo II en las cuales el P. A. se ubica a 15 cm de la base de la sección de la viga; demostrando una respuesta superior el aditivo Sika y una respuesta ligeramente similar el aditivo Chema en comparación con el momento flector de la viga monolítica; en cuanto a los otros tipos de vigas la resistencia a flexión decae conforme la altura del P. A. disminuye.

Así mismo de la *Figura 3.28*, notamos la presencia de fallas dúctiles en las vigas tipo I o patrón y vigas tipo II con aditivo Sika, Lo cual es adecuado ya que una estructura dúctil tiene mayor capacidad de absorber energía y es sumamente importante porque sirve como señal de alerta de fallas inminentes; sin embargo se generan una fractura frágil en el resto de vigas.

Esto es coherente con las investigaciones de Rahman, M. 2016 y Proaño L. R. 2011; en las cuales garantizan un comportamiento mecánico superior (resistencia a flexión y ductilidad) de las vigas con adhesivo epóxico respecto a las vigas patrón.

Además al realizarse los ensayos a flexión de las 21 vigas de concreto armado, no se observó desprendimiento alguno entre capas de concreto; este comportamiento diverge con la investigación de Pinzón O. E. 2011, en la cual concluye que la resina epóxica resulta insuficiente para garantizar la correcta adherencia en el sistema, impidiendo la transferencia correcta de los esfuerzos entre el refuerzo externo y la viga.

#### **4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON BASES TEÓRICAS:**

Los valores presentados en la figura 3.29, muestran los anchos máximos de grietas registradas en el ensayo a flexión de las 21 vigas con un valor promedio de de 2.8 mm. Los resultados son superiores al rango de 0.3 a 0.37 mm; esto indica una discordancia con los estudios de Blanco A. 2011.

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CONTRASTADOS CON LA HIPÓTESIS:**

En base a los resultados obtenidos del procesamiento de datos registrados en laboratorio, la ubicación del puente de adherencia (P.A.) tiene gran influencia en el comportamiento de vigas llenas en dos etapas en las que se usó aditivo epóxico como P. A. Este efecto en cuanto a la resistencia a flexión genera una disminución de dicha resistencia conforme el P.A. reduce su altura de ubicación con respecto a la base de la sección de la viga; deduciéndose que mientras más espesor o fracción de peralte se vacíe en la primera etapa de llenado obtendrá un comportamiento similar o superior a la respuesta monolítica. De igual manera influye en la ductilidad, la cual desciende con forme el P.A. se ubica en el eje neutro o debajo del mismo.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y** **RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES:**

- La ubicación del puente de adherencia sobre el eje neutro de la sección de la viga, aumenta la resistencia a flexión en vigas de concreto armado.
- El P. A. aplicado sobre el eje neutro proporciona un incremento en la resistencia a flexión de un 8 % usando aditivo Sika y en 1.6 % empleando aditivo Chema.
- El P. A. ubicado en el eje neutro no aporta en la resistencia a flexión usando aditivo Sika y disminuye su resistencia en 4.8 % utilizando aditivo Chema.
- El P. A. aplicado debajo del eje neutro brinda un decremento en la resistencia a flexión de un 8 % para ambos aditivos.
- El adhesivo Sika aplicado en las vigas tipo II aumenta su ductilidad en un 5.1 %, mientras que el adhesivo Chema aplicado en las vigas tipo II disminuye su ductilidad en 30.6 %.
- La ductilidad se reduce en vigas tipo III en un 32.1 % y 38.4 % utilizando los aditivos Sika y Chema respectivamente.
- La ductilidad decrece en vigas tipo IV en un 44.5 % y 50 % utilizando los adhesivos Sika y Chema respectivamente.

### **5.2. RECOMENDACIONES:**

- Se recomienda para futuras investigaciones con respecto a este tema, evaluar el desplazamiento entre sustratos de concreto unidos por el adhesivo epóxico. También se sugiere evaluar la efectividad del puente de adherencia.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- American Concrete Institute. 2014. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318 S-14). Michigan, USA, Farmington Hills. 29 Ago. 592 p.
- ASTM. 1999. Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete. ASTM C881. 5 p.
- Blasco Blanco, A. 2011. Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado. Ed. act. Lima, Perú, Priceliness. 300 p.
- Borja Suárez, M. 2012. Metodología de la Investigación Científica. Chiclayo, Perú, s.e. 38 p.
- Harmsen, T. 2017. Diseño de Estructuras de Concreto Armado. 5 Ed. Lima, Perú, PUCP. p. 77-147.
- Lezama Leiva, J. 2013. Tecnología del concreto. Cajamarca, Perú, UNC. 79 p.
- Madrid, M. 1997. Tecnología de la Adhesión. s.l., España, s.e. 59 p.
- McCormac, JC; Russell HB. 2011. Diseño de Concreto Reforzado. 8 Ed. México, México, Alfaomega. p. 70-72.
- Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006. Cargas. NTE E.020. Lima, Perú, ICG. 9 Jun. 8 p.
- Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006. Concreto Armado. NTE E.060. Lima, Perú, ICG. 10 Jun. 200 p.
- Morales Morales, R. 2012. Diseño en Concreto Armado. Lima, Perú, Hozlo. 367 p.
- Mosqueira Moreno, MA; Tarque Ruíz, SN. 2005. Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana. Tesis M.C. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica Perú. 142 p.
- Nielsen, MP. 2011. Limit Analysis and Concrete Plasticity. 3 Ed. New York, Estados Unidos, CRC Press. 799 p.
- Nilson, A. 2001. Diseño de Estructuras de Concreto. 12 Ed. Ariza, E. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill. p. 1-52.
- NTP 334.001. 2011. Cementos definiciones y nomenclatura. Lima, Perú, INDECOPI. 2 Ago. 19 p.
- NTP 334.009. 2013. Cementos Portland requisitos. Lima, Perú, INDECOPI. 31 Dic. 18p.

- NTP 339.034. 2015. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Lima, Perú, INDECOPI. 31 Dic. 23 p.
- NTP 339.035. 2015. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. Lima, Perú, INDECOPI. 31 Dic. 10 p.
- NTP 339.047. 2014. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados. Lima, Perú, INDECOPI. 14 Ene. 24 p.
- NTP 339.079. 2012. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. Lima, Perú, INDECOPI. 18 Dic. 13 p.
- NTP 339.088. 2014. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland requisitos. Lima, Perú, INDECOPI. 14 Ene. 17 p.
- NTP 339.183. 2013. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. Lima, Perú, INDECOPI. 1 Feb. 26 p.
- NTP 339.185. 2013. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima, Perú, INDECOPI. 24 Ago. 12 p.
- NTP 400.011. 2013. Definición y Clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones. Lima, Perú, INDECOPI. 6 Oct. 16 p.
- NTP 400.012. 2013. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, Perú, INDECOPI. 1 Feb. 20 p.
- NTP 400.017. 2016. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. Lima, Perú, INDECOPI. 2 Ago. 21 p.
- NTP 400.019. 2014. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Lima, Perú, INDECOPI. 28 Dic. 16 p.
- NTP 400.022. 2013. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Lima, Perú, INDECOPI. 16 Ene. 25 p.
- NTP 400.037. 2014. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú, INDECOPI. 8 Feb. 26 p.

- Pinzón Vargas, OE. 2011. 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 M.C. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 97 p.
- Proaño Tataje, LR. 2011. Comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas externamente con platinas de fibras de carbono. Tesis M.C. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 291 p.
- Rahman, M. 2016. Effect of adhesive replacement with cement mortar on NSM strengthened RC Beam. Revista de la construcción. 5(1):1-12.
- Rivva López, E. 2014. Diseño de Mezclas. 2 Ed. Lima, Perú, ICG. 208 p.
- San Bartolomé, Á. 1998. Análisis de Edificios. 1 Ed. Lima, Perú, PUCP. p. 17-21.
- Torre, A. 2004. Curso Básico de Tecnología del Concreto. Lima, Perú, s.e. 131 p.

## **APÉNDICE:**

## APÉNDICE I: FICHA DE OBSERVACIONES:



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS:** "EFECTO DE LA UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS VACIADAS EN DOS ETAPAS"

**LUGAR:** LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNC

**FECHA:**

**HORA DE ENSAYO:**

### ENSAYO A FLEXIÓN

**N° DE VIGA:**

**TIPO DE VIGA:**

**UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA:**

**ADITIVO:**

CARGA (tn)	DEFLEXIÓN (10 <sup>-2</sup> mm)	OBSERVACIONES
0		
0.25		
0.5		
0.75		
1		
1.25		
1.5		
1.75		
2		
2.25		
2.5		
2.75		
3		
3.25		
3.5		
3.75		
4		
4.25		
4.5		
4.75		
5		
5.25		
5.5		

**CARGA ULTIMA:**

**ESPELOR DE FALLA:**

**TIEMPO DE ENSAYO:**

OTRAS OBSERVACIONES

**ANEXOS:**

**ANEXO I: ILUSTRACIONES DEL DESARROLLO DE LA TESIS:**



*Figura 6.1. Inspección del agregado fino-cantera Margarita.*



*Figura 6.2. Inspección de agregado grueso-cantera Margarita.*



*Figura 6.3. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados.*



*Figura 6.4. Ensayo de peso específico del agregado grueso.*



*Figura 6.5. Ensayo de peso específico del agregado fino.*



*Figura 6.6. Ensayo del porcentaje de finos que pasan el tamiz N° 200.*



*Figura 6.7. Ensayo de abrasión del agregado grueso.*



*Figura 6.8. Diseño de Mezcla, ensayo de asentamiento del concreto y elaboración de probetas cilíndricas.*



*Figura 6.9. Ensayo de compresión de probetas de concreto.*



*Figura 6.10. Encofrado y armaduras de las vigas a ensayar.*



*Figura 6.11. Llenado de testigos de concreto-1° etapa.*



*Figura 6.12. Inspección del Ing. Miguel Mosqueira Moreno, en el llenado y vibrado de vigas-1° etapa.*



*Figura 6.13. Preparación de la superficie de adherencia.*



*Figura 6.14. Limpieza de la superficie de adherencia.*



*Figura 6.15. Aditivos epóxicos usados como puentes de adherencia.*



*Figura 6.16. Aplicación de los adhesivos epóxicos a sus respectivas juntas.*



*Figura 6.17. Llenado y vibrado de concreto-2° etapa.*



Figura 6.18. Inspección del Ing. Miguel Mosqueira Moreno, en el llenado y vibrado de vigas-2° etapa.



Figura 6.19. Desencofrado y codificación de vigas.



Figura 6.20. Probetas de concreto ensayadas, de la 1° y 2° etapa respectivamente.



Figura 6.21. Supervisión del Ing. Miguel Mosqueira Moreno e Ing. José Lázaro Lezama Leiva, en el ensayo a flexión de las vigas de concreto armado.



Figura 6.22. Registro de datos de la viga N° 18 ensayada a flexión.



Figura 6.23. Vista frontal de las fisuras generadas de la viga N°9 ensayada a flexión.

## ANEXO II: PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS:

### Anexo II.1: Agregado Fino:

#### PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

##### 1. MODULO DE FINURA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO

**TESIS** : "EFECTO DE LA UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS VACIADAS EN DOS ETAPAS"

**MATERIAL** : AGREGADO FINO

**PROCEDENCIA** : CANTERA MARGARITA Km 91+000 CARRETERA CAJAMARCA - CIUDAD DE DIOS (CHILETE)

**NORMA** : NTP 400.012, NTP 400.037 / ASTM C136, ASTM C33

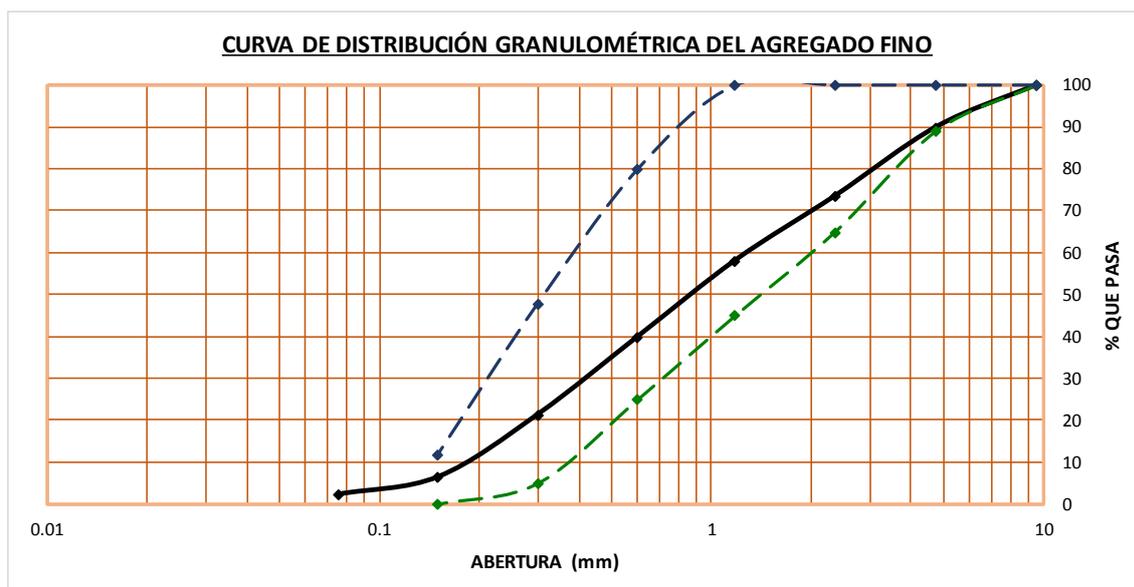
**FECHA** : 20 DE OCTUBRE 2017

**ENSAYO** : N°1

**PESO SECO INICIAL**= 1500 g

TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
					PARCIAL	ACUMULADO			
3/8"	9.5	466	466	0	0	0	100	100	100
N°4	4.75	455	605	150	10	10	90	89	100
N°8	2.36	736	982	246	16.4	26.4	73.6	65	100
N°16	1.18	388	619	231	15.4	41.8	58.2	45	100
N°30	0.6	412	685	273	18.2	60	40	25	80
N°50	0.3	367	646	279	18.6	78.6	21.4	5	48
N°100	0.15	315	540	225	15	93.6	6.4	0	12
N°200	0.075	302	365	63	4.2	97.8	2.2	-	-
CAZOLETA	-	134	167	33	2.2	100	0	-	-
SUMATORIA				1500	100				

**MF**= 3.104



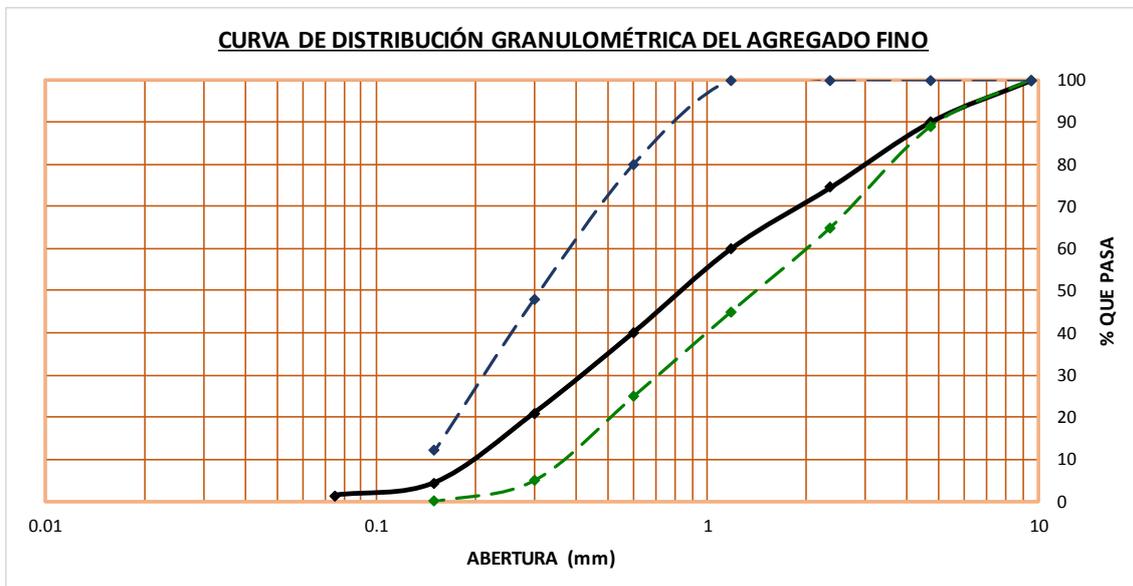
<b>D60</b> =	1.3	<b>D30</b> =	0.42	<b>D10</b> =	0.18
<b>Cu</b> =	7.22	<b>Cc</b> =	0.75		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO "M" Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 3,104.

ENSAYO : N°2  
 PESO SECO INICIAL= 1500 g

TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)	
					PARCIAL	ACUMULADO			
3/8"	9.5	466	466	0	0	0	100	100	100
N°4	4.75	455	602	147	9.8	9.8	90.2	89	100
N°8	2.36	736	970	234	15.6	25.4	74.6	65	100
N°16	1.18	388	607	219	14.6	40	60	45	100
N°30	0.6	412	709	297	19.8	59.8	40.2	25	80
N°50	0.3	367	655	288	19.2	79	21	5	48
N°100	0.15	315	564	249	16.6	95.6	4.4	0	12
N°200	0.075	302	347	45	3	98.6	1.4	-	-
CAZOLETA	-	134	155	21	1.4	100	0	-	-
SUMATORIA				1500	100				

MF= 3.096



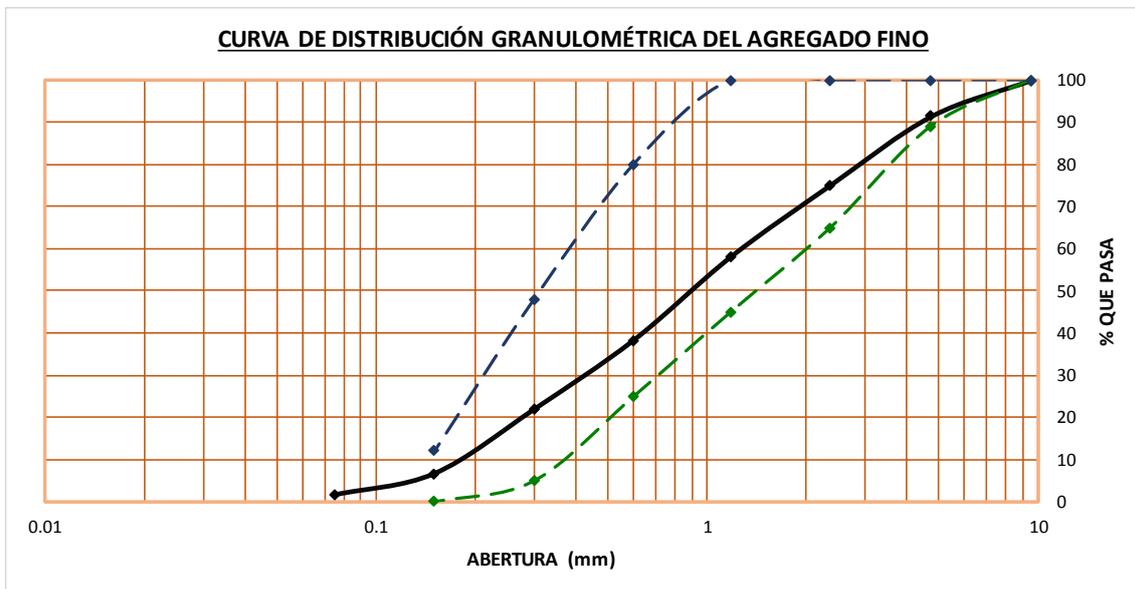
D60=	1.2	D30=	0.41	D10=	0.19
Cu=	6.32	Cc=	0.74		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO "M" Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 3,096.

ENSAYO : N°3  
 PESO SECO INICIAL= 1800 g

TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "M" (%)		
					PARCIAL	ACUMULADO				
3/8"	9.5	466	466	0	0	0	100	100	100	
N°4	4.75	455	609	154	8.56	8.56	91.44	89	100	
N°8	2.36	736	1031	294	16.33	24.89	75.11	65	100	
N°16	1.18	388	694	306	17	41.89	58.11	45	100	
N°30	0.6	412	768	357	19.83	61.72	38.28	25	80	
N°50	0.3	367	663	296	16.44	78.16	21.84	5	48	
N°100	0.15	315	590	275	15.28	93.44	6.56	0	12	
N°200	0.075	302	393	91	5.06	98.5	1.5	-	-	
CAZOLETA	-	134	161	27	1.5	100	0	-	-	
SUMATORIA				1800	100					

MF= 3.087



D60=	1.4	D30=	0.42	D10=	0.175
Cu=	8.00	Cc=	0.72		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO "M" Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 3,087.

## 2. PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

### 2.1. DETERMINACIÓN DEL FACTOR "F" PARA EL RECIPIENTE:

DESCRIPCIÓN	UND.	VALOR
PESO DE LA FIOLA	g	145
PESO DE LA FIOLA + AGUA	g	643
VOLUMEN DE LA FIOLA	cm3	500
<b>PESO ESPECÍFICO DEL AGUA</b>	<b>kg/m3</b>	<b>996</b>
PESO DEL MOLDE + PLACA	kg	4.419
PESO DEL MOLDE+AGUA+PLACA	kg	7.400
PESO DEL AGUA EN EL MOLDE	kg	2.981
<b>FACTOR F PARA EL RECIPIENTE</b>	<b>lts/m3</b>	<b>334.116</b>

### 2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SECO SUELTO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DEL MOLDE	kg	3.879	3.879	3.879
PESO DEL MOLDE+MUESTRA SUELTA	kg	9.047	9.158	9.061
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	kg	5.168	5.279	5.182
FACTOR DEL RECIPIENTE	lts/m3	334.116	334.116	334.116
PESO UNITARIO SECO SUELTO	kg/m3	1726.71	1763.8	1731.39
<b>PESO UNITARIO SECO SUELTO PROMEDIO</b>	<b>kg/m3</b>	<b>1741</b>		

### 2.3. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SECO COMPACTADO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DEL MOLDE	kg	3.879	3.879	3.879
PESO DEL MOLDE+MUESTRA SUELTA	kg	9.382	9.313	9.350
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	kg	5.503	5.434	5.471
FACTOR DEL RECIPIENTE	lts/m3	334.116	334.116	334.116
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	kg/m3	1838.64	1815.59	1827.95
<b>PESO UNITARIO SECO COMP. PROMEDIO</b>	<b>kg/m3</b>	<b>1827</b>		

## 3. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DE TARA	g	135	134	135
PESO DE TARA+MUESTRA HUMEDA	g	2635	1645	3000
PESO DE TARA+MUESTRA SECA	g	2555	1594	2906
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.306	3.493	3.392
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO</b>	<b>%</b>	<b>3.397</b>		

#### 4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS			PROMEDIO
		E1	E2	E3	
PESO DE FIOLA	g	155	155	155	
PESO DE TARA	g	73	72	134	
PESO TARA + MUESTRA SECA	g	567	566	628.5	
W <sub>o</sub> : MASA DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	g	494	494	494.5	
MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA HASTA CALIBRACIÓN	g	643	643	643	
MASA DEL PICNÓMETRO + MUESTRA + AGUA HASTA CALIBRACIÓN	g	958	959	958.5	
MASA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	g	500	500	500	
V <sub>a</sub> : VOLUMEN DE AGUA AÑADIDA AL FRASCO	cm <sup>3</sup>	310.45	311.48	310.96	
V: VOLUMEN DE FIOLA	cm <sup>3</sup>	500	500	500	
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2606.17</b>	<b>2620.41</b>	<b>2615.85</b>	<b>2614</b>
<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2637.83</b>	<b>2652.24</b>	<b>2644.94</b>	<b>2645</b>
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2691.36</b>	<b>2706.55</b>	<b>2694.24</b>	<b>2697</b>
<b>ABSORCIÓN</b>	<b>%</b>	<b>1.215</b>	<b>1.215</b>	<b>1.112</b>	<b>1.18</b>

#### 5. MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200 DEL AGREGADO FINO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DE TARA	g	73	72	135
PESO DE TARA+MUESTRA SECA SIN LAVAR	g	573	572	635
PESO DE TARA+MUESTRA SECA LAVADA	g	557	557	619
PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	%	3.200	3.000	3.200
<b>% DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200 PROMEDIO</b>	<b>%</b>	<b>3.133</b>		

#### 6. CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO:

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	VALOR
01	PERFIL DE AGREGADO		
02	TAMAÑO MÁXIMO		
03	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		
04	MODULO DE FINURA (MF)		3.096
05	PESO UNITARIO SECO SUELTO	kg/m <sup>3</sup>	1741
06	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	kg/m <sup>3</sup>	1827
07	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.40
08	PESO ESPECÍFICO DE MASA	kg/m <sup>3</sup>	2614
09	PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	kg/m <sup>3</sup>	2645
10	PESO ESPECÍFICO APARENTE	kg/m <sup>3</sup>	2697
11	ABSORCIÓN	%	1.18
12	PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	%	3.13
13	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE MATERIAL POR DEGRADACIÓN	%	

## Anexo II.2. Agregado grueso:

### PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

#### 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

**TESIS** : "EFECTO DE LA UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS VACIADAS EN DOS ETAPAS"

**MATERIAL** : AGREGADO GRUESO

**PROCEDENCIA** : CANTERA MARGARITA Km 91+000 CARRETERA CAJAMARCA - CIUDAD DE DIOS (CHILETE)

**NORMA** : NTP 400.012, NTP 400.037 / ASTM C136, ASTM C33

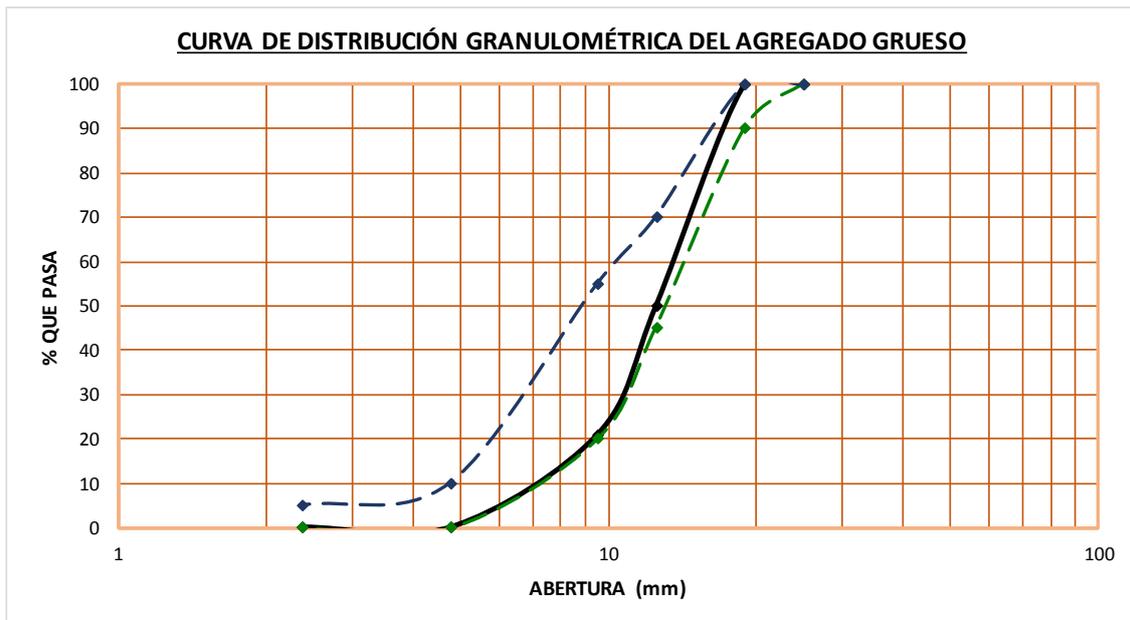
**FECHA** : 19 DE OCTUBRE 2017

**ENSAYO** : N°1

**PESO SECO INICIAL**= 4160 g

TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "HUSO 67" (%)		
					PARCIAL	ACUMULADO				
2"	50	466	466	0	0	0	100	-	-	
1 1/2"	37.5	495	495	0	0	0.00	100	-	-	
1"	25	458	458	0	0	0.00	100	100	100	
<b>TM</b>	3/4"	19	476	476	0	0.00	100	90	100	
<b>TMN</b>	1/2"	12.5	488	2568	2080	50	50.00	50	45	70
	3/8"	9.5	462	1667	1205	28.97	78.97	21.03	20	55
	N°4	4.75	456	1329	871	20.94	99.91	0.09	0	10
	N°8	2.36	736	736	0	0	99.91	0.09	0	5
	N°200	0.075	302	302	0	0	99.91	0.09	-	-
	CAZOLETA	-	766	770	4	0.1	100.00	0	-	-
SUMATORIA				4160	100					

**MG**= 6.784



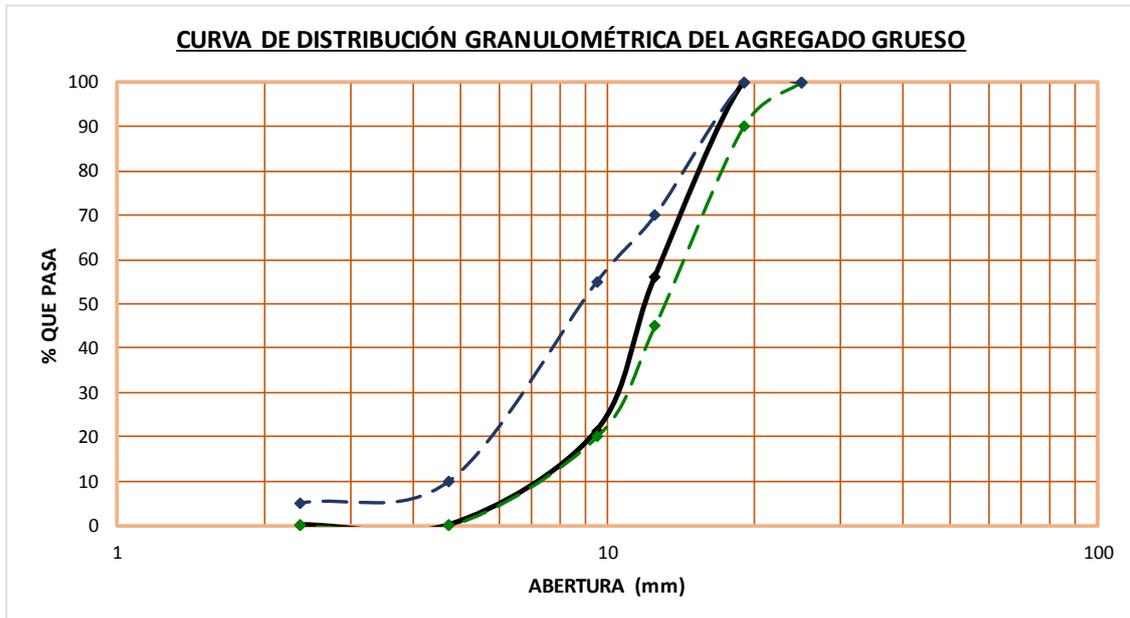
<b>D60</b> =	13	<b>D30</b> =	10.5	<b>D10</b> =	7.1
<b>Cu</b> =	1.83	<b>Cc</b> =	1.19		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO N° 67 DE LA NTP 400.037 Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 6,784.

ENSAYO : N°2  
 PESO SECO INICIAL= 4300 g

	TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "HUSO 67" (%)	
						PARCIAL	ACUMULADO			
	2"	50	466	466	0	0	0	100	-	-
	1 1/2"	37.5	495	495	0	0	0.00	100	-	-
	1"	25	458	458	0	0	0.00	100	100	100
TM	3/4"	19	476	476	0	0	0.00	100	90	100
TMN	1/2"	12.5	488	2386	1898	44.14	44.14	55.86	45	70
	3/8"	9.5	462	1950	1488	34.6	78.74	21.26	20	55
	N°4	4.75	456	1365	909	21.14	99.88	0.12	0	10
	N°8	2.36	736	736	0	0	99.88	0.12	0	5
	N°200	0.075	302	302	0	0	99.88	0.12	-	-
	CAZOLETA		766	771	5	0.12	100.00	0	-	-
SUMATORIA					4300	100				

MG= 6.780



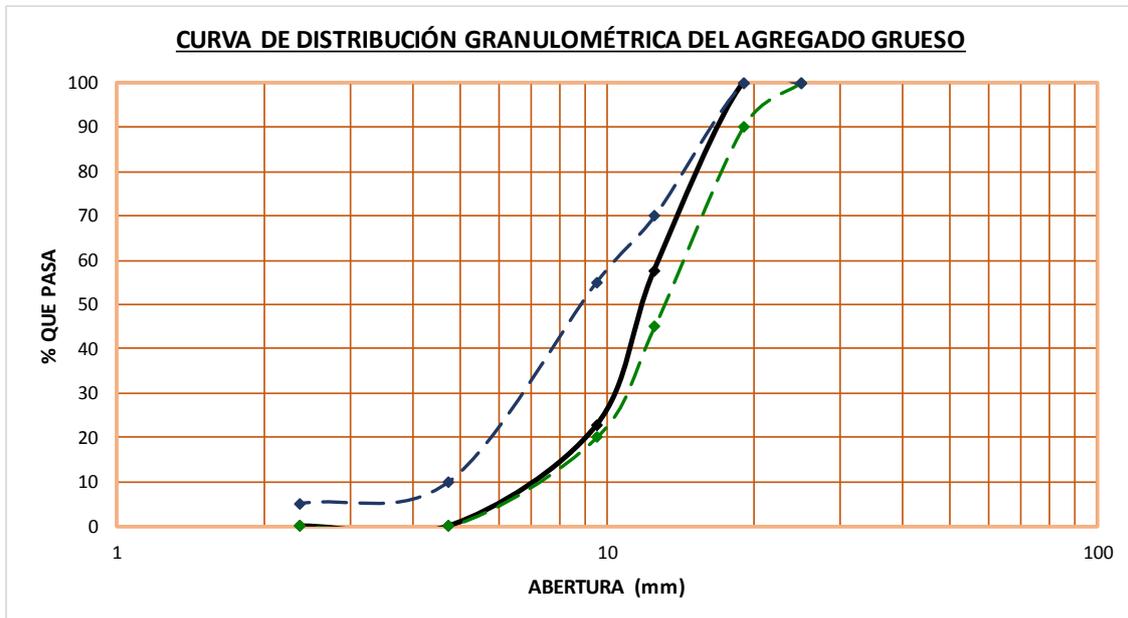
D60=	13.5	D30=	10.25	D10=	7.15
Cu=	1.89	Cc=	1.09		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO N° 67 DE LA NTP 400.037 Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 6,780.

ENSAYO : N°3  
 PESO SECO INICIAL= 4100 g

	TAMIZ	Ø (mm)	PESO TAMIZ (g)	PESO RETENIDO + TAMIZ (g)	PESO RETENIDO (g)	% DE PESO RETENIDO		% QUE PASA	REQUISITO GRANULOMÉTRICO "HUSO 67" (%)		
						PARCIAL	ACUMULADO				
	2"	50	466	466	0	0	0	100	-	-	
	1 1/2"	37.5	495	495	0	0	0.00	100	-	-	
	1"	25	458	458	0	0	0.00	100	100	100	
TM	3/4"	19	476	476	0	0	0.00	100	90	100	
TMN	1/2"	12.5	488	2221	1733	42.27	42.27	57.73	45	70	
	3/8"	9.5	462	1899	1437	35.05	77.32	22.68	20	55	
	N°4	4.75	456	1379	923	22.51	99.83	0.17	0	10	
	N°8	2.36	736	736	0	0	99.83	0.17	0	5	
	N°200	0.075	302	302	0	0	99.83	0.17	-	-	
	CAZOLETA		766	771	7	0.17	100.00	0	-	-	
SUMATORIA					4100	100					

MG= 6.763



D60=	12.6	D30=	10.2	D10=	7
Cu=	1.80	Cc=	1.18		

**OBSERVACIONES:** LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO CUMPLE CON EL HUSO GRANULOMÉTRICO N° 67 DE LA NTP 400.037 Y TIENE UN MODULO DE FINURA DE 6,763.

## 2. PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

### 2.1. DETERMINACIÓN DEL FACTOR "F" PARA EL RECIPIENTE:

DESCRIPCIÓN	UND.	VALOR
PESO DE LA FIOLA	g	145
PESO DE LA FIOLA + AGUA	g	643
VOLUMEN DE LA FIOLA	cm <sup>3</sup>	500
<b>PESO ESPECÍFICO DEL AGUA</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>996</b>
PESO DEL MOLDE + PLACA	kg	4.736
PESO DEL MOLDE+AGUA+PLACA	kg	14.472
PESO DEL AGUA EN EL MOLDE	kg	9.736
<b>FACTOR F PARA EL RECIPIENTE</b>	<b>lts/m<sup>3</sup></b>	<b>102.301</b>

### 2.2. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SECO SUELTO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DEL MOLDE	kg	4.196	4.196	4.196
PESO DEL MOLDE+MUESTRA SUELTA	kg	18.186	18.159	18.063
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	kg	13.99	13.963	13.867
FACTOR DEL RECIPIENTE	lts/m <sup>3</sup>	102.301	102.301	102.301
PESO UNITARIO SECO SUELTO	kg/m <sup>3</sup>	1431.19	1428.43	1418.61
<b>PESO UNITARIO SECO SUELTO PROMEDIO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1426</b>		

### 2.3. DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SECO COMPACTADO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DEL MOLDE	kg	4.196	4.196	4.196
PESO DEL MOLDE+MUESTRA SUELTA	kg	19.319	19.341	19.297
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	kg	15.123	15.145	15.101
FACTOR DEL RECIPIENTE	lts/m <sup>3</sup>	102.301	102.301	102.301
PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	kg/m <sup>3</sup>	1547.1	1549.35	1544.85
<b>PESO UNITARIO SECO COMP. PROMEDIO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>1547</b>		

## 3. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DE TARA	g	135	134	365
PESO DE TARA+MUESTRA HUMEDA	g	1828	3234	2133
PESO DE TARA+MUESTRA SECA	g	1817	3212	2118
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.654	0.715	0.856
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO</b>	<b>%</b>	<b>0.742</b>		

#### 4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS			PROMEDIO
		E1	E2	E3	
PESO DE TARA	g	134	135	135	
PESO TARA + MUESTRA SECA	g	2148	2112	2607	
A: MASA DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	g	2014	1977	2472	
B: MASA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	g	2035	2000	2500	
PESO APARENTE DE CANASTILLA	g	2414	2414	2414	
PESO APARENTE CANASTILLA+MUESTRAS	g	3685	3665.5	3976	
C: MASA APARENTE DE LA MUESTRA SUMERGIDA	g	1271	1251.5	1562	
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2636.13</b>	<b>2641.28</b>	<b>2635.39</b>	
<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2663.61</b>	<b>2672.01</b>	<b>2665.25</b>	<b>2667</b>
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2710.63</b>	<b>2725.02</b>	<b>2716.48</b>	<b>2717</b>
<b>ABSORCIÓN</b>	<b>%</b>	<b>1.043</b>	<b>1.163</b>	<b>1.133</b>	<b>1.11</b>

#### 5. MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200 DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO DE TARA	g	365	135	134
PESO DE TARA+MUESTRA SECA SIN LAVAR	g	4955	3000	3000
PESO DE TARA+MUESTRA SECA LAVADA	g	4930	2983	2984
PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	%	0.545	0.593	0.558
<b>% DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200 PROMEDIO</b>	<b>%</b>	<b>0.565</b>		

#### 6. RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO

EQUIPO DE ENSAYO	MAQUINA DE LOS ÁNGELES
GRADUACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO	B
NÚMERO DE ESFERAS	11
VELOCIDAD PERIFÉRICA UNIFORME (RPM)	30-33
N° DE REVOLUCIONES	500
TMN DEL AGREGADO GRUESO	1/2"
PESO DE LA MUESTRA ENSAYADA (g)	5000

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS		
		E1	E2	E3
PESO ORIGINAL DE LA MUESTRA DE ENSAYO	g	5000	5000	5000
PESO RETENIDO EN LA MALLA N°12 LAVADO Y SECADO	g	3608	3621	3616
PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE MATERIAL	%	27.84	27.58	27.68
<b>PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE MATERIAL PROMEDIO</b>	<b>%</b>	<b>27.70</b>		

## 7. CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	VALOR
01	PERFIL DE AGREGADO		ANGULAR
02	TAMAÑO MÁXIMO		3/4"
03	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		1/2"
04	MODULO DE FINURA (MG)		6.776
05	PESO UNITARIO SECO SUELTO	kg/m3	1426
06	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	kg/m3	1547
07	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.742
08	PESO ESPECÍFICO DE MASA	kg/m3	2638
09	PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	kg/m3	2667
10	PESO ESPECÍFICO APARENTE	kg/m3	2717
11	ABSORCIÓN	%	1.11
12	PORCENTAJE DE FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N°200	%	0.57
13	PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE MATERIAL POR DEGRADACIÓN	%	27.70

### Anexo II.3. Constancia de uso de laboratorio:



Universidad Nacional de Cajamarca

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería



EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, DEJA :

#### CONSTANCIA:

Que joven MARTOS FUSTAMENTE CLUBER, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, **ha realizado sus ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales** de la Facultad de Ingeniería de la UNC, para la Tesis Titulada "EFECTO DE LA UBICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCA EN LA RESISTENCIA A FLEXION DE VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS VACIADAS EN DOS ETAPAS". Dichos ensayos se realizaron del 16 de octubre del 2017 al 19 de marzo de 2018.

Se expide la presente, para los fines que estime conveniente.

Cajamarca, 27 de abril de 2018.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Departamento Académico de Ciencias de la Ingeniería

M.Cs. Ing. MAURICIO ALFONSO VARGAS  
DIRECTOR

## ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS:

### Anexo III.1: Tablas de diseño de mezclas-Rivva, E. (2014):

Tabla 7.1. Resistencia Promedio o Resistencia Media Requerida.

Condiciones de la ejecución en obra	Relación aproximada entre la resistencia promedio y la resistencia de diseño
Excelentes	1.15
Intermedias	1.2 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

Tabla 7.2. Consistencia y asentamiento del concreto.

Consistencia de la Mezcla	Asentamiento	Compactación por
Seca	0" a 2"	-
Plástica	3" a 4"	Vibración
Fluida	≥ 5"	Varillado

Tabla 7.3. Selección del asentamiento.

Tipo de Construcción	Máxima	Mínima
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columunas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Tabla 7.4. Volumen unitario de agua.

Asentamiento	Agua, en lts/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Tabla 7.5. Contenido de aire atrapado.

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Tabla 7.6. Relación agua/cemento por resistencia.

f'cr (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	...
450	0.38	...

Tabla 7.7. Módulo de Finura de la combinación de agregados.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Módulo de Finura de la Combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en bolsas/metro cúbico indicados			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

## Anexo III.2: Diseño de mezclas-prueba:

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

#### 1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

LA MEZCLA SERÁ DISEÑADA SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DEL MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

#### 2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

- RESISTENCIA DE DISEÑO O REQUERIDA  
 $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- CONSISTENCIA DE LA MEZCLA PLÁSTICA  
SLUMP= 3" - 4"
- DISEÑO ÚNICAMENTE POR RESISTENCIA

#### 3. MATERIALES

##### 3.1. CEMENTO:

CEMENTO PORTLAND TIPO I

DENSIDAD= 3.08 gr/ml

##### 3.2. AGUA:

CUMPLE CON LOS REQUISITOS DE LA NORMA E. 060

##### 3.3. AGREGADOS:

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
1. PERFIL DE AGREGADO			ANGULAR
2. TAMAÑO MÁXIMO			3/4"
3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL			1/2"
4. MODULO DE FINURA (MG)		3.096	6.776
5. PESO UNITARIO SECO SUELTO	kg/m3	1741	1426
6. PESO UNITARIO SECO COMPACTADO	kg/m3	1827	1547
7. CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.91	0.94
8. PESO ESPECÍFICO DE MASA	kg/m3	2614	2638
9. PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	kg/m3	2645	2667
10. PESO ESPECÍFICO APARENTE	kg/m3	2697	2718
11. ABSORCIÓN	%	1.18	1.11
12. FINOS QUE PASAN EL TAMIZ N° 200	%	3.13	0.57
13. % DE PÉRDIDA DE MATERIAL POR DEGRADACIÓN	%		27.7

#### 4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO

NO SE CUENTA CON UN REGISTRO DE RESULTADOS DE ENSAYOS

$f'cr = 252 \text{ kg/cm}^2$

#### 5. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

TMN= 1/2"

#### 6. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

CONSISTENCIA PLÁSTICA= 3" - 4"

#### 7. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

VOL. AGUA= 173 lts/m3

#### 8. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

CONT. AIRE= 2.5 %

#### 9. RELACIÓN AGUA/CEMENTO

	$f'cr$	RELACIÓN A/C
LIMITE INFERIOR	250	0.62
LIMITE SUPERIOR	300	0.55
VALOR	252	0.6172

**A/C= 0.6172**

#### 10. FACTOR CEMENTO

FACTOR CEMENTO= 280 kg/m3

FACTOR CEMENTO= 6.59 bl/m3

#### 11. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE PASTA

CEMENTO= 0.090909 m3

AGUA= 0.173 m3

AIRE= 0.025 m3

VOLUMEN ABSOLUTO DE PASTA= 0.288909 m3

## 12. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO

VOL. ABSOLUTO DE AGREGADOS= 0.711091 m<sup>3</sup>

## 13. CÁLCULO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

m<sub>c</sub> (Tabla)= 4.507

% DE VACIOS= 41.36

INCREMENTO EN EL % DE VACIOS= 6.36

DISMINUCIÓN DEL m<sub>c</sub>= 0.127

NUEVO VALOR DEL m<sub>c</sub>:

m<sub>c</sub>= 4.380

## 14. CÁLCULO DEL VALOR "rf"

rf= 65.11 %

rg= 34.89 %

## 15. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS DEL AGREGADO

V. ABSOLUTO AGREGADO FINO= 0.462991 m<sup>3</sup>

V. ABSOLUTO AGREGADO GRUESO= 0.248100 m<sup>3</sup>

## 16. PESO SECOS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO FINO= 1210 kg/m<sup>3</sup>

AGREGADO GRUESO= 654 kg/m<sup>3</sup>

## 17. VALORES DE DISEÑO

CEMENTO= 280 kg/m<sup>3</sup>

AGUA DE DISEÑO= 173 lts/m<sup>3</sup>

AG. FINO SECO= 1210 kg/m<sup>3</sup>

AG. GRUESO SECO= 654 kg/m<sup>3</sup>

## 18. CORRECCIÓN POR HUMEDAD

AG. FINO= 1257 kg/m<sup>3</sup>

AG. GRUESO= 660 kg/m<sup>3</sup>

## 19. AGUA EFECTIVA

HUMEDAD SUPERFICIAL AF= 2.73 %

HUMEDAD SUPERFICIAL AG= -0.17 %

APORTE DE HUMEDAD

AG. FINO= 33.03 lts/m<sup>3</sup>

AG. GRUESO= -1.11 lts/m<sup>3</sup>

31.92 lts/m<sup>3</sup>

AGUA EFECTIVA= 141 lts/m<sup>3</sup>

## 20. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD:

CEMENTO= 280 kg/m<sup>3</sup>

AGUA EFECTIVA= 141 lts/m<sup>3</sup>

AG. FINO HÚMEDO= 1257 kg/m<sup>3</sup>

AG. GRUESO HÚMEDO= 660 kg/m<sup>3</sup>

## 21. PROPORCIÓN EN PESO:

	280	1210	654	173	
<b>SIN CORREGIR</b>	<b>1</b>	<b>4.32</b>	<b>2.34</b>	<b>26</b>	<b>lts/bl</b>
	280	1257	660	141	
<b>CORREGIDAS</b>	<b>1</b>	<b>4.5</b>	<b>2.36</b>	<b>21.4</b>	<b>lts/bl</b>

## 22. PROPORCIÓN EN VOLUMEN:

PESOS UNITARIOS HÚMEDOS DEL AGREGADO

AG. FINO HÚMEDO= 1809 kg/m<sup>3</sup>

AG. GRUESO HÚMEDO= 1439 kg/m<sup>3</sup>

PESO POR PIE CÚBICO DEL AGREGADO

AG. FINO HÚMEDO= 51.23 kg/pie<sup>3</sup>

AG. GRUESO HÚMEDO= 40.75 kg/pie<sup>3</sup>

BOLSA DE CEMENTO= 42.5 kg/pie<sup>3</sup>

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

1 3.7 2.5 21.4 lts/bl

## Anexo III.3: Ajuste de mezcla de prueba:

### AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

#### 1. PROCEDIMIENTO DE AJUSTE

LA MEZCLA SERÁ AJUSTADA SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DEL MÉTODO DE VOLUMENES ABSOLUTOS

#### 2. MATERIALES POR m<sup>3</sup>:

DISEÑO			CORREGIDOS POR HUMEDAD		
CEMENTO=	280	kg/m <sup>3</sup>	CEMENTO=	280	kg/m <sup>3</sup>
AGUA DE DISEÑO=	173	lts/m <sup>3</sup>	AGUA EFECTIVA=	141	lts/m <sup>3</sup>
AG. FINO SECO=	1210	kg/m <sup>3</sup>	AG. FINO HÚMEDO=	1257	kg/m <sup>3</sup>
AG. GRUESO SECO=	654	kg/m <sup>3</sup>	AG. GRUESO HÚMEDO=	660	kg/m <sup>3</sup>

#### 3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS Y DEL CEMENTO:

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO	AGREGADO
		FINO	GRUESO
PESO ESPECÍFICO DE MASA	kg/m <sup>3</sup>	2614	2638
PESO ESPECÍFICO SSS	kg/m <sup>3</sup>	2645	2667
ABSORCIÓN	%	1.18	1.11
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.91	0.94
DENSIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO I	gr/ml	3.08	

#### 4. DATOS DE LA PRUEBA DE LABORATORIO

AL REALIZAR LA MEZCLA DE PRUEBA EN EL LABORATORIO, SE OBSERVARON LOS SIGUIENTES DATOS:

##### 4.1. ASENTAMIENTO:

SLUMP= 7.62 cm (3 Pulg.)

##### 4.2. PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO:

DESCRIPCIÓN	UND.	ENSAYOS
PESO DEL MOLDE	kg	4.196
PESO DEL MOLDE + CONCRETO FRESCO	kg	27.05
PESO DEL CONCRETO FRESCO	kg	22.854
VOLUMEN DEL MOLDE	m <sup>3</sup>	0.0098
<b>PESO UNITARIO DEL CONCRETO</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>2332</b>

##### 4.3. AGUA ADICIONAL:

AGUA ADICIONAL= 340 cm<sup>3</sup>

##### 4.4. APARIENCIA DE LA MEZCLA:

MEZCLA= SATISFACTORIA

#### 5. MATERIALES EN CONDICIÓN SSS POR m<sup>3</sup>:

CEMENTO=	280	kg/m <sup>3</sup>
AGUA DE DISEÑO=	173	lts/m <sup>3</sup>
AGREGADO FINO SSS=	1225	kg/m <sup>3</sup>
AGREGADO GRUESO SSS=	662	kg/m <sup>3</sup>
TOTAL	2340	kg/m <sup>3</sup>

#### 6. PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA:

PESO ESPECÍFICO DE LA MEZCLA= 2399 kg/m<sup>3</sup>

#### 7. PORCENTAJE DE VACÍOS:

% DE VACÍOS = 2.793

#### 8. PESO DE COLADA O TANDA (0.02 m<sup>3</sup>)

CEMENTO=	5.60	kg
AGUA AÑADIDA=	3.16	lts
AGREGADO FINO=	25.140	kg
AGREGADO GRUESO=	13.200	kg
PESO DE LA COLADA=	47.100	kg

#### 9. RENDIMIENTO DE LA MEZCLA DE ENSAYO

RENDIMIENTO= 0.020197 m<sup>3</sup>

#### 10. AGUA DE MEZCLADO

##### 10.1. AGUA DE MEZCLADO POR TANDA:

HUMEDAD SUPERFICIAL AF=	2.73	%
HUMEDAD SUPERFICIAL AG=	-0.17	%
AGUA AÑADIDA=	3.16	lts/tanda
APORTE DE AGUA SUPERFICIAL AF=	0.6607	lts/tanda
APORTE DE AGUA SUPERFICIAL AG=	-0.022	lts/tanda
AGUA DE MEZCLADO POR TANDA=	3.80	lts

##### 10.2. AGUA DE MEZCLADO POR m<sup>3</sup>

AGUA / m<sup>3</sup>= 188 lts/m<sup>3</sup>

##### 10.3. CORRECCIÓN POR ASENTAMIENTO

ASENTAMIENTO OBTENIDO=	7.62	cm (3 Pulg.)
ASENTAMIENTO DESEADO=	8.89	cm (3.5 Pulg.)
INCREMENTA EN=	1.27	cm
INCREMENTO DE AGUA=	2.54	lts

**10.4. CORRECCIÓN POR CONTENIDO DE AIRE**

CONT. DE AIRE OBTENIDO=	2.793	%
CONT. DE AIRE DESEADO=	2.50	%
DISMINUYE EN=	0.293	%
INCREMENTO DE AGUA=	0.88	lts

**10.5. NUEVA AGUA DE MEZCLADO POR m3**

NUEVA AGUA / m3= 191.42 lts/m3

**11. RELACIÓN AGUA/CEMENTO**

A/C= 0.6172

**12. NUEVO CONTENIDO DE CEMENTO**

CEMENTO= 310 kg

**13. CORRECCIÓN DE LOS AGREGADOS**

LA TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA ES SATISFACTORIA, LOS AGREGADOS POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO DEBERÁN MANTENERSE IGUAL QUE EN LA MEZCLA DE PRUEBA

**13.1. CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO**

AG. GRUESO HÚMEDO=	654	kg/m3
AG. GRUESO SECO=	648	kg/m3

**13.2. CONTENIDO DEL AGREGADO FINO**

AG. GRUESO SSS=	655	kg/m3
AGREGADO FINO SSS=	1176	kg/m3
AGREGADO FINO SECO=	1162	kg/m3

**14. NUEVOS PESOS SECOS DE LA TANDA**

CEMENTO=	310	kg/m3
AGUA DE DISEÑO=	191.4	lts/m3
AG. FINO SECO=	1162	kg/m3
AG. GRUESO SECO=	648	kg/m3

**15. CORRECCIÓN POR EL MÉTODO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS****15.1. VOLUMEN ABSOLUTOS SIN CONSIDERAR EL AIRE:**

CEMENTO=	0.001818	m3
AGUA =	0.003800	m3
AG. FINO SECO=	0.009258	m3
AG. GRUESO SECO=	0.004958	m3
SUMA=	0.019834	m3

AIRE ATRAPADO= 1.80 %

**15.2. VOLUMEN ABSOLUTOS SIN AGREGADO FINO:**

CEMENTO=	0.100649	m3
AGUA DE DISEÑO=	0.191419	m3
AIRE ATRAPADO	0.017973	m3
AG. GRUESO SECO=	0.245641	m3
SUMA=	0.555682	m3

**15.3. VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO SECO:**

VOL. ABS. AGR. FINO SECO=	0.444318	m3
PESO SECO DEL AGR. FINO=	1161	kg/m3

**16. PESOS AJUSTADOS DE DISEÑO POR m3:**

CEMENTO=	310	kg/m3
AGUA DE DISEÑO=	191.4	lts/m3
AG. FINO SECO=	1161	kg/m3
AG. GRUESO SECO=	648	kg/m3

**17. PESOS AJUSTADOS CORREGIDOS HUMEDAD POR m3:**

HUMEDAD SUPERFICIAL AF=	2.73	%
HUMEDAD SUPERFICIAL AG=	-0.17	%
APORTE DE AGUA SUPERFICIAL AF=	31.71	lts/m3
APORTE DE AGUA SUPERFICIAL AG=	-1.10	lts/m3
	30.61	lts/m3

CEMENTO=	310	kg/m3
AGUA EFECTIVA=	161	lts/m3
AG. FINO HÚMEDO=	1207	kg/m3
AG. GRUESO HÚMEDO=	654	kg/m3

**18. PROPORCIÓN EN PESO:**

	310	1161	648	191.4	
SIN CORREGIR	1	3.7	2.1	26	lts/bl
	310	1207	654	161	
CORREGIDAS	1	3.9	2.11	22	lts/bl

## Anexo III.4: Resultados del Ensayo a Compresión:

### ENSAYO A COMPRESIÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO: 210 kg/cm<sup>2</sup>

ETAPA DE VACIADO	N° DE PROBETA	EDAD DEL CONCRETO ENSAYADO	CARGA DE ROTURA (Tn)	DIÁMETRO (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A COMPRESIÓN $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA
PRIMERA	1	7 Días	28.5	15.34	184.82	154.2	73
	2	14 Días	35.5	15.3	183.85	193.1	92
	3	28 Días	45	15.24	182.41	246.7	117
SEGUNDA	1	7 Días	29.5	15.31	184.09	160.2	76
	2	14 Días	36	15.33	184.58	195	93
	3	28 Días	44	15.25	182.65	240.9	115

Figura 6.24. Comparación de resistencia de las dos etapas de vaciado.

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS

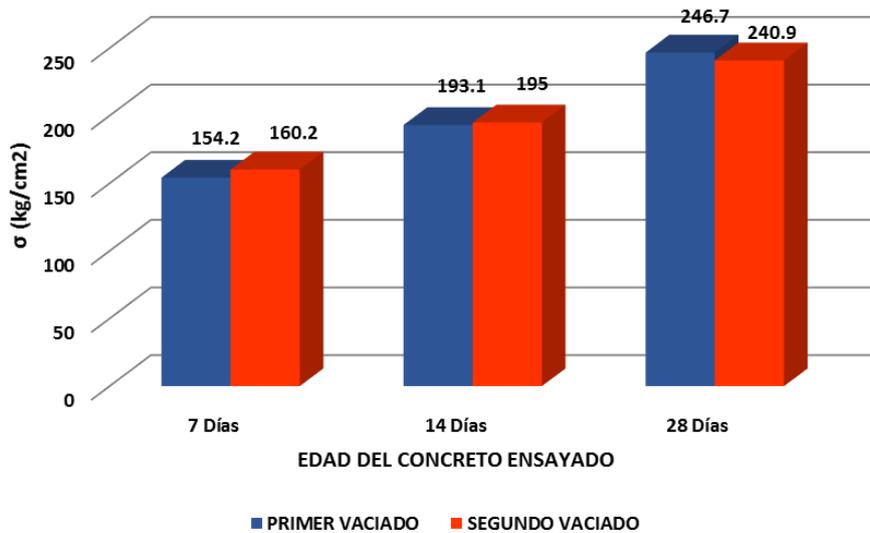
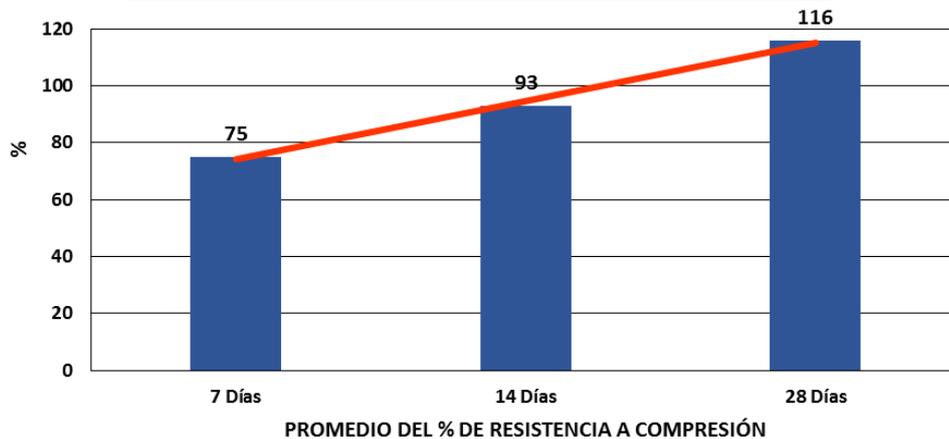


Figura 6.25. Evolución de la resistencia a compresión del concreto.

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN DIFERENTES EDADES



## **ANEXO IV: DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO:**

### **Anexo IV. 1: Predimensionamiento de vigas:**

Considerando que las dimensiones de las vigas son limitadas, teniendo en cuenta su peso, la manipulación y traslado para ser ensayadas; se eligió una longitud de 1.20 m. La viga será soportada por apoyos ubicados a 5 cm de cada extremo de la misma.

$$\text{Luz entre apoyos} = 1.10 \text{ m}$$

Según Blanco A. (2011) de la ec. (2.33):

$$h = 9.2 \text{ cm a } 11 \text{ cm}$$

De acuerdo a la norma de concreto armado E 060, de la Tabla 2.5:

$$h = 7 \text{ cm}$$

Según Morales R. (2012), considerando una sección inicial de viga de 0.15 x 0.20 m, tenemos del metrado de cargas:

$$\text{Peso unitario del concreto armado} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso propio de la viga} = 2400 \times 0.15 \times 0.20 \times 1.20 = 86.4 \text{ kg}$$

$$\text{Área} = 15 \text{ cm} \times 120 \text{ cm} = 1800 \text{ cm}^2$$

$$\text{Carga muerta} = 1.4 \times (86.4/1800) = 0.0672 \text{ kg/cm}^2$$

De la ec. (2.43):

$$h = 0.071 \text{ m}$$

Los valores obtenidos de los 3 criterios anteriores no son adecuados ya que la viga cuenta con una luz entre apoyos pequeña; entonces por cuestiones de trabajabilidad en la habilitación del acero, se ha tomado el valor inmediato superior múltiplo de 5.

$$h = 20 \text{ cm y } b = 15 \text{ cm}$$

### **Anexo IV. 2: Diseño por flexión:**

Carga puntual de diseño = 3 tn.

Carga distribuidas del peso propio de la viga:

$$CM = 2400 \times 0.15 \times 0.20 / 100 = 0.072 \text{ tn/m.}$$

$$Ud = 1.4 \times 0.072 = 0.1008 \text{ tn/m.}$$

Considerando un recubrimiento de 3 cm de acuerdo al capítulo 2.2.8.

El peralte efectivo  $d=20-3=17\text{cm}$ .

Reacciones en los extremos de la viga (Tn):

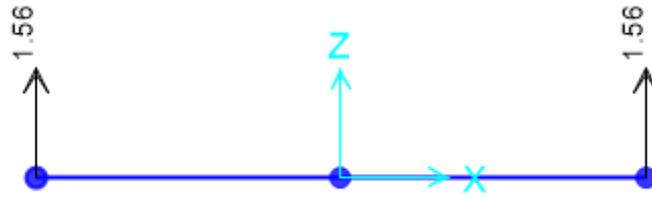


Diagrama de cortantes (Tn):

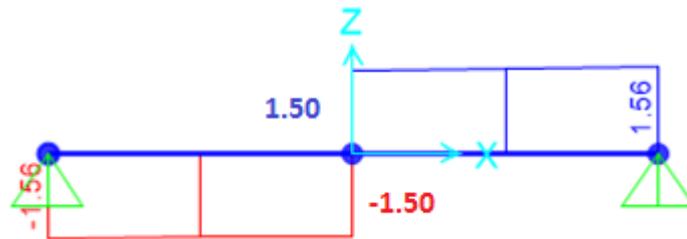
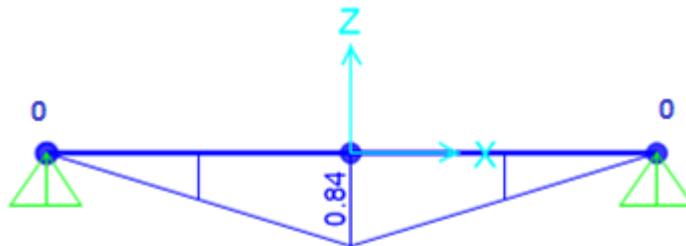


Diagrama de momentos (Tn x m):



De la ec. (2.12), afectando a ambos miembros del factor de resistencia  $\phi$ ; obtenemos el  $M_u = \phi M_n$  y despejando "w", tenemos:

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7 \times 0.84 \times 10^5}{0.9 \times 210 \times 15 \times 17^2}} = 0.1096$$

De la ecuación del índice de refuerzo "w", despejamos el valor de la cuantía:

$$\rho = \frac{0.1096 \times 210}{4200} = 0.00548$$

De la ecuación de la cuantía "ρ", encontramos el área de acero:

$$A_s = 0.00548 \times 15 \times 17 = 1.4 \text{ cm}^2$$

De las ec. (2.18) encontramos el área de acero máxima:

$$A_{s \text{ máx}} = 0.75 \times 0.02125 \times 15 \times 17 = 4.064 \text{ cm}^2$$

De la ec. (2.21) y (2.22) encontramos el área de acero mínima, tomando el mayor valor de la ecuaciones:

$$As \text{ mín } 1 = \frac{0.8 \times \sqrt{210} \times 15 \times 17}{4200} = 0.704 \text{ cm}^2$$

$$As \text{ mín } 2 = \frac{14 \times 15 \times 17}{4200} = 0.85 \text{ cm}^2$$

Teniendo en cuenta el diagrama de momentos, se considera un acero positivo igual a 1.4 cm<sup>2</sup> equivalente a dos varillas de 3/8" (1.42 cm<sup>2</sup>); como acero negativo consideramos al acero mínimo 0.85 equivalente a dos varillas de 8 mm (1 cm<sup>2</sup>) aproximadamente. La Tabla 2.3 detalla los valores del área de acero de las varillas elegidas.

### Anexo IV. 3: Diseño por corte:

Cálculo del cortante último a una distancia "d" (V<sub>ud</sub>):

Por semejanza de triángulos en el diagrama de cortantes:

$$\frac{1.56 - 1.50}{0.55} = \frac{x}{0.55 - 0.17}$$

$$V_{ud} = x + 1.50 = 1.54 \text{ Tn}$$

Conociendo que V<sub>n</sub>=V<sub>ud</sub>/ø:

$$V_n = \frac{1.54}{0.85} = 1.81 \text{ Tn}$$

De la ec. (2.25) y afectando a ambos miembros del factor de resistencia ø, encontramos el cortante resistente del concreto (øV<sub>c</sub>):

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{210} \times 15 \times 17 = 1.66 \text{ Tn}$$

$$0.5 \phi V_c = 0.83 \text{ Tn}$$

Como V<sub>n</sub> ≥ 0.5 ø V<sub>c</sub> , entonces necesita refuerzo transversal.

Como 0.5 ø V<sub>c</sub> ≤ V<sub>ud</sub> ≤ øV<sub>c</sub>, entonces requiere de un refuerzo transversal mínimo.

Conociendo los espaciamientos máximos:

$$S \leq 17/2 \leq 8.5 \text{ cm}$$

$$S \leq 60 \text{ cm}$$

Elegimos el menor de ellos y lo aproximamos al valor inmediato superior múltiplo de 5, tenemos un espaciamiento  $S = 10$  cm.

El acero mínimo a corte y es el mayor valor de las siguientes equivalencias de las ec. (2.27) y (2.28):

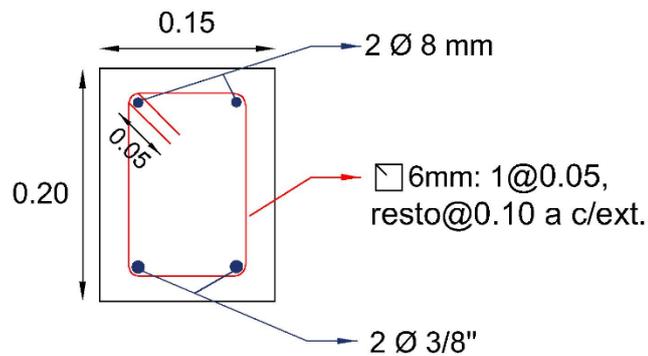
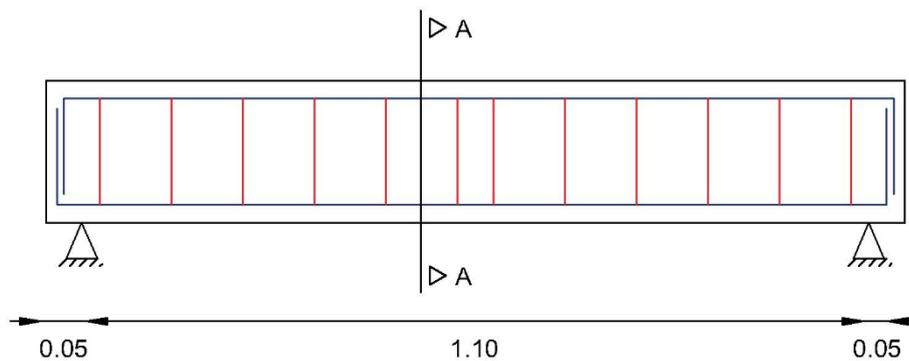
$$A_v \text{ min } 1 = 0.2 \sqrt{210} \frac{15 \times 10}{4200} = 0.104 \text{ cm}^2$$

$$A_v \text{ min } 2 = 3.5 \frac{15 \times 10}{4200} = 0.125 \text{ cm}^2$$

Eligiendo el mayor valor de ambos resultados y sabiendo que el área de acero transversal es el doble que el área de acero por corte ( $A_v = 2A_s$ ); obtenemos:

$$A_s = \frac{0.125}{2} = 0.063 \text{ cm}^2$$

Teniendo en cuenta el diagrama de cortes, considerando un acero transversal igual a  $0.063 \text{ cm}^2$  equivalente una varilla de 6 mm ( $0.28 \text{ cm}^2$ ) aproximadamente; espaciados el primer estribo a 5cm y el resto a 10 cm a cada extremo. La Tabla 2.3 detalla el valor del área de acero de la varilla elegida.

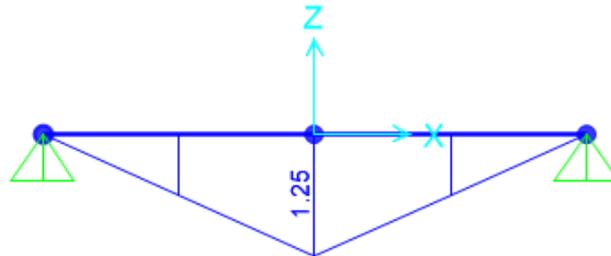


**CORTE A-A**

#### Anexo IV. 4: Comparación del Momento Actuante y Momento Resistente:

##### Cálculo del momento actuante:

Para una carga puntual promedio de 4.50 tn registrada en el ensayo de flexión para las vigas monolíticas, obtenemos el diagrama de momentos al igual que el momento actuante máximo:



$$M_{act} = 1.25 \text{ Tn m}$$

##### Cálculo del momento resistente de la sección

Del corte A-A en el anexo anterior, tenemos:

$$d = 20 - (2 + 0.6 + (0.95/2)) = 16.93 \text{ cm} \quad d' = 2 + 0.6 + (0.8/2) = 3 \text{ cm}$$

$$A_s = 1.42 \text{ cm}^2 \quad A_s' = 1 \text{ cm}^2$$

Cálculo del esfuerzo del acero a compresión "f's":

$$f's = 6117 \left( 1 - \frac{\left(\frac{3}{16.93}\right) (6117 + 4200)}{6117} \right) = 4288.83 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la cuantía en compresión:

$$\rho' = \frac{1}{15 \times 16.93} = 0.0039$$

Considerando un  $f's = f_y$ , de la ec. (2.20):

$$\rho_{m\acute{a}x} = 0.75 \times 0.02125 + 0.0039 \times 1 = 0.0198$$

Cálculo de la cuantía en tensión:

$$\rho = \frac{1.42}{15 \times 16.93} = 0.0056$$

Se comprueba que la  $\rho < \rho_{m\acute{a}x}$ , por lo que **falla a tracción**:

Primer efecto: Calculamos "a" de la ec. (2.5), para una resistencia a la compresión real obtenida de los ensayos de laboratorio:

$$A_{s1} = 1.42 - 1 = 0.42 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{0.42 \times 4200}{0.85 \times 246.7 \times 15} = 0.56 \text{ cm}$$

El momento nominal 1 se obtiene de la ec. (2.11):

$$Mn1 = 0.42 \times 4200 \times \left( 16.93 - \frac{0.56}{2} \right) = 0.3 \text{ tn x m}$$

Segundo efecto: El momento nominal 2 es:

$$Mn2 = 1 \times 4200 \times (16.93 - 3) = 0.59 \text{ tn x m}$$

Por lo tanto el momento resistente de la sección es:

$$Mn = (0.3 + 0.59) = 0.90 \text{ tn x m}$$

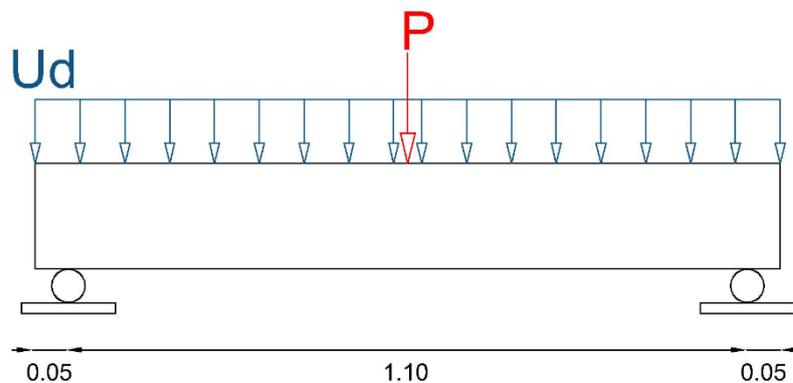
#### Anexo IV. 5: Cálculo del eje neutro de la sección:

De la ec. (2.15), obtenemos el valor de  $C_b$ :

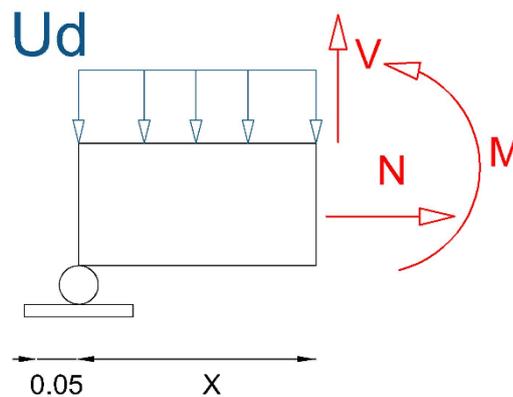
$$C_b = \frac{6117 \times 16.93}{4200 + 6117} = 10 \text{ cm}$$

#### Anexo IV. 6: Cálculo de los momentos flectores:

Conociendo la carga uniformemente repartida, de anterior cálculos:  $Ud=0.1 \text{ tn/m}$  y para una carga "P" variable; tenemos:



Por condiciones de equilibrio encontramos el valor máximo del momento para  $x=0.55 \text{ m}$ ; obteniendo la siguiente ecuación:



$$M = \frac{(P + 0.11)0.55}{2} - 0.015125 \text{ (tn m)}$$

## ANEXO V: HOJAS TÉCNICAS:

### Anexo V.1: Cemento Pacasmayo Tipo I



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 03

### Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm2/g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECIFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm2)	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm2)	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm2)	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

#### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.

(\*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.



# HOJA TÉCNICA

## Sikadur® - 32 Gel

Puente de Adherencia

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.

#### USOS

- Como adhesivo estructural de concreto fresco con concreto endurecido.
- Como adhesivo entre elementos de concreto, piedra, mortero, acero, fierro, fibra cemento, madera.
- Adhesivo entre concreto y mortero.
- En anclajes de pernos en concreto o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Fácil de aplicar
- Libre de solventes
- No es afectado por la humedad
- Altamente efectivo, aun en superficies húmedas
- Trabajable a bajas temperaturas
- Alta resistencia a la tracción

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### COLORES

GRIS (MEZCLA A+B)

#### ASPECTO

Líquido Denso

#### PRESENTACIÓN

Juego de 1 kg.

Juego de 5 kg.

#### ALMACENAMIENTO

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

Se puede almacenar en su envase original cerrado, sin deterioro en un lugar fresco, seco y bajo techo durante dos años a una temperatura entre 5°C y 30°C. Acondicione el material a 18°C a 30°C antes de usar.

---

**DATOS TÉCNICOS****DENSIDAD**

1.6 kg/lts.

**PROPORCIÓN DE LA MEZCLA EN PESO**

A:B = 2:1

**Pot life a 20°C**

25 minutos

**Cumple la norma ASTM C-881**

Standard Especification for Epoxy-Resin-Base Bonding System for Concrete. Está certificado como producto no tóxico por el Instituto de Salud Pública de Chile.

**Resistencia a compresión (ASTM D 695)**

1 día = 75 Mpa

10 días = 90 Mpa

**Resistencia a flexión (ASTM C 580)**

10 días = 34 Mpa

**Adherencia( ASTM C 882)**

> 13 Mpa

**Fuerza de arrancamiento de anclaje en concreto H25(fe A63-42H, 012mm, L=L=12cm)**

6.000 kgf

**USGBC VALORACIÓN LEED**

Sikadur®-32 Gel cumple con los requerimientos LEED.

Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 70 g/L (menos agua)

---

**INFORMACIÓN DEL SISTEMA**

---

**DETALLES DE APLICACIÓN****CONSUMO / DOSIS**

El consumo aproximado es de 0.3 a 0.5 kg/m<sup>2</sup>, dependiendo de la rugosidad y temperatura de la superficie.

---

**MÉTODO DE APLICACIÓN****CONCRETO**

Al momento de aplicar Sikadur®-32 Gel el concreto debe encontrarse limpio, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. Debe estar firme y sano con respecto a sus resistencias mecánicas.

La superficie de concreto debe limpiarse en forma cuidadosa hasta llegar al concreto sano, eliminando totalmente la lechada superficial. Esta operación se puede realizar con chorro de agua y arena, escobilla de acero, y otros métodos. La superficie a unir debe quedar rugosa.

**Metales**

Deben encontrarse limpios, sin óxido, grasa, aceite, pintura, entre otros. Se recomienda un tratamiento con chorro de arena a metal blanco o en su defecto utilizar métodos térmicos o físicos químicos.

**PREPARACIÓN DEL PRODUCTO**

Mezclar totalmente las partes A y B en un tercer recipiente limpio y seco, revolver en forma manual o mecánica con un taladro de bajas revoluciones (máx. 600 r.p.m.) durante 3–5 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla homogénea. Evitar el aire atrapado.

---

En caso que el volumen a utilizar sea inferior al entregado en los envases, se pueden subdividir los componentes respetando en forma rigurosa las proporciones indicadas en Datos Técnicos.

#### **METODO DE APLICACIÓN**

La colocación de Sikadur®-32 Gel se realiza con brocha, rodillo o pulverizado sobre una superficie preparada. En superficies húmedas asegurar la aplicación restregando con la brocha.

El concreto fresco debe ser vaciado antes de 3 horas a 20°C o 1 hora a 30°C de aplicado el Sikadur®-32 Gel. En todo caso el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él.

#### **LIMPIEZA**

Limpie las herramientas con diluyente a la piroxilina.

---

## **INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

---

### **OBSERVACIONES**

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

---

### **PRECAUCIONES DE MANIPULACION**

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de gomas naturales o sintéticas y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

---

### **NOTAS LEGALES**

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

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

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 5**

**la misma que deberá ser destruida”**

## Anexo V.3: Chema Epox Adhesivo 32



**DESCRIPCIÓN** Pegamento epóxico gris compuesto por resinas epóxicas y cargas seleccionadas de dos componentes de alta adherencia y elevadas resistencias mecánicas. Asegura una unión perfecta entre concreto fresco y endurecido, concreto con metal y otros.  
Componentes: Parte "A" Resina Epóxica y Parte "B" Catalizador. Este pegamento una vez mezclado puede aplicarse como puente de adherencia o para preparar un mortero epóxico de reparación en elementos estructurales ( de concreto o como relleno de cangrejeras).

**USOS**

- Como puente de adherencia entre concreto fresco y endurecido.
- Unión de pre fabricados de concreto.
- Como anclaje
- Extensión de columnas
- Apoyos de nuevas vigas sobre estructuras antiguas
- Fijación de los refuerzos estructurales
- Para reparaciones, de elementos de concreto ( tubos y otros).
- Para pegar concreto nuevo a viejo y/o reemplazando los elementos deteriorados o desgastados, por ejemplo en la reparación de losas desgastadas.
- Para pegar diversos materiales del mismo tipo o totalmente diferentes como hierro o concreto, fibrocemento, madera y otros.
- Para reparaciones de grietas de volumen en elementos estructurales.
- Para resanar muros de ladrillo portantes que hayan sufrido rajaduras.

**VENTAJAS**

- Asegura una unión monolítica entre concretos de distintas edades.
- Alta resistencia a la humedad y a los ataques químicos.
- Producto de fácil aplicación.
- Alta adherencia sobre concreto, fierro, acero, piedra, madera, fibrocemento y otros.

### DATOS TÉCNICOS

	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS		CHEMA EPOX ADHESIVO 32	
Color	Parte "A"		Gris Oscuro	
	Parte "B"		Ambar	
	Mezcla A+B		Gris Oscuro	
Peso específico (Kg/gal)	Parte "A"		5.668	
	Parte "B"		3.699	
	Mezcla A+B		5.234	
Viscosidad (KU)	Mezcla A+B		108.5	
Pot life	Mezcla A+B		2h 10'	
Resistencia a la compresión (Kg/Cm2)	1 día		550	
	3 días		715	
	7 días		814	
Dureza Shore D	1 día		55	
	3 días		65	
	7 días		70	
Secado	Tacto		4h30'	
	Tacto duro		24h	
Rendimiento	Como Relleno de Anclaje	3.35 litros/Kit de 5 kg.		
	Como Película (1 mm de e.p.h)	4.45 m <sup>2</sup> /Kit de 5 kg.		
Proporción Mezcla en Volumen	Parte "A"		3	
	Parte "B"		1	
Proporción Mezcla en peso (Kg)	Parte "A"		4.11	
	Parte "B"		0.89	
	Total		5.00	

**PREPARACIÓN Y  
APLICACIÓN DEL  
PRODUCTO**

**IMPORTANTE:** Utilice guantes, lentes y mascarilla de protección antes de aplicar el producto

**PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE:**

- La superficie debe estar totalmente limpia, seca y libre de humedad, eliminándose el polvo, grasa, pintura y aceite de la superficie, debiendo dejarse sólo lo que esta estructuralmente sano. Una vez limpia se recomienda soplearla con aire comprimido.

**PREPARACIÓN DEL PRODUCTO:**

- Prepare la mezcla en recipiente de plástico, pero no hacerlo en el mismo envase metálico. Mezcle lo necesario a usar en el momento.
- Mezcle ambos componentes en volumen: 3 partes de A y 1 parte de B y bata ambas partes hasta obtener una mezcla homogénea de preferencia con un taladro de baja velocidad 350 RPM usando espas o paletas.
- Deje reposar unos minutos para eliminar burbujas y luego aplique con una brocha en el área de contacto.
- El color de las partes batidas debe ser uniforme, nunca agregarle ningún solvente.

**IMPORTANTE:**

- El tiempo abierto para vaciar el concreto es de 2 horas como máximo.
- Tiempo de trabajabilidad: 2 horas a 25° C
- Temperatura de aplicación: 5° C a 40° C

**APLICACIÓN DE LA MEZCLA DEL PRODUCTO:**

Aplique el CHEMA EPOX ADHESIVO 32 preparado como puente de adherencia con una brocha cubriendo bien la superficie de contacto antes de las 2 horas. El espesor de la capa debe ser alrededor 1mm, dependiendo de la rugosidad de la superficie.

---

**RENDIMIENTO**

Consumo aprox. 0.3 a 0.5 Kg/m<sup>2</sup>

---

**PRESENTACIÓN**

Kit de 1kg (Código: 02026005)  
kit de 5 kg (Parte A: 4.11kg Parte B: 0.89 kg) (Código: 02026004)

---

**ALMACENAMIENTO**

2 años mínimo en su envase original cerrado, en ambientes entre 10° C y 25° C.

---

**PRECAUCIONES Y  
RECOMENDACIONES**

Los componentes del epóxico pueden causar irritación.  
Para mayor información solicite la Hoja de Seguridad del producto.  
En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico).  
Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.  
No comer ni beber mientras manipula el producto.  
Lavarse las manos luego de manipular el producto.  
Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo.  
Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.  
En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua.  
Si es ingerido, no provocar vómitos; procurar ayuda médica inmediata.

