



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE
VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA
POLIESTER LIQUIDA”**

AUTOR: Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo

TUTOR: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

AMBATO - ECUADOR

Octubre - 2020

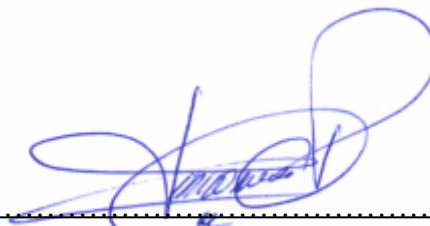
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA”** elaborado por el señor **Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo**, portador de cédula de ciudadanía: 1805227194, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Octubre 2020



A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and flourishes, is positioned above a horizontal dotted line.

Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo**, con C.I. 1805227194, declaro de todas las actividades y contenidos expuesto en el presente trabajo experimental con el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Octubre 2020



.....
Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo

CI: 1805227194

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Octubre 2020

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal dotted line.

Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo

CI: 1805227194

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIÉSTER LIQUIDA”**

Ambato, Octubre 2020

Para constancia firman:



Ing. M.Sc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a *Dios*, por haberme dado la vida y me permita el haber llegado hasta este momento tan importante que es mi formación profesional. A mi madre Flora, porque sé que ella me ayudó en las buenas y en las malas y lo sigue haciendo, además de haberme dado la vida, siempre confió en mí y nunca me abandonó, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre, a pesar de su ausencia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mi hermana Maricela, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento, y a todos mis hermanos porque los amo infinitamente, sin su amor no habiéramos logrado esta meta.

Para ustedes y por ustedes querida *FAMILIA*.

Nelson H. Chugchilan

AGRADECIMIENTO

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre que con su esfuerzo y dedicación me ayudo a culminar mi carrera universitaria y me dió el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis Hermanos que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojalá algún día yo me convierta en su fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino.

De igual forma, agradezco a mi Tutor de Tesis Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

De igual manera a mi gran amigo el Ing. Edwin Geovanny Villacis Villalba quien con sus consejos y experiencia me ayudó a llevar a cabo dicha investigación en las instalaciones de su querida empresa SECONSTRU.

A mis Profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

Nelson H. Chugchilan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
EXECUTIVE SUMMARY	xvii
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación	2
1.1.3. Fundamentación Teórica	4
1.1.3.1. Hormigón Tradicional	4
1.1.3.2. Agregados	4
1.1.3.2.1. Agregado Fino	5
1.1.3.2.2. Agregado Grueso	5
1.1.3.3. Pasta o Matriz	6
1.1.3.4. Ensayos de los agregados	6
1.1.3.4.1. Granulometría del agregado fino	7
1.1.3.4.2. Granulometría del agregado Grueso	7
1.1.3.4.3. Densidad aparente de los agregados	7
1.1.3.4.4. Densidad máxima de la mezcla	8
1.1.3.4.5. Densidad óptima de la mezcla	8
1.1.3.4.6. Densidad Saturada superficie Seca	8
1.1.3.4.7. Densidad Seca al horno	9

1.1.3.4.8.	Densidad Real de los agregados	9
1.1.3.4.9.	Capacidad de absorción de los agregados.....	10
1.1.3.5.	Dosificación por método de densidad óptima	10
1.1.3.6.	Dosificación por método del ACI.....	14
1.1.3.7.	Propiedades del Concreto.....	25
1.1.3.7.1.	Falso fraguado del hormigón	25
1.1.3.7.2.	Consistencia	25
1.1.3.7.3.	Trabajabilidad.....	26
1.1.3.7.4.	Homogeneidad.....	27
1.1.3.7.5.	Densidad del hormigón en estado fresco	27
1.1.3.7.6.	Densidad del hormigón en estado endurecido	27
1.1.3.7.7.	Resistencia a la compresión.....	27
1.1.3.7.8.	Resistencia a la Flexión.....	28
1.1.3.8.	Hormigón Polimérico.....	30
1.1.3.9.	Resina de poliéster	31
1.1.3.10.	Momento Curvatura	37
1.1.3.10.1.	Límites de deformación para el análisis Momento - Curvatura.....	37
1.1.3.10.2.	Curvatura	38
1.1.3.10.3.	Diagrama Momento - Curvatura.....	39
1.1.3.10.4.	Aplicaciones de la relación Momento – Curvatura.....	39
1.1.3.10.4.1.	Ductilidad por curvatura.....	39
1.1.3.10.4.2.	Diagramas esfuerzo deformación de los materiales	40
1.1.4.	Hipótesis.....	42
1.2.	OBJETIVOS.....	42
1.2.1.	Objetivo General	42
1.2.2.	Objetivos Específicos	42
CAPÍTULO II		43
METODOLOGÍA.....		43
2.1.	Nivel de Investigación	43
2.1.1.	Investigación exploratoria	43
2.1.2.	Investigación descriptiva	43
2.1.3.	Investigación Experimental.....	43
2.1.4.	Investigación de laboratorio.....	44

2.1.5.	Población	44
2.1.6.	Muestra	44
2.2.	Materiales y equipos	45
2.3.	Métodos	48
2.3.1.	Plan de recolección de datos	48
CAPÍTULO III		64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		64
3.1.	Análisis y discusión de resultados	64
3.1.1.	Proporción de remplazo para ensayo de resistencia a flexión (Vigas con resina) 67	
3.1.2.	Resultados probetas cilíndricas a compresión	69
3.1.3.	Resultados de vigas de hormigón convencional sometidas a resistencia de flexión 76	
3.1.4.	Resultados de vigas de hormigón polímero (con resina) sometidas a resistencia de flexión	87
3.1.5.	Cálculo del Diagrama Momento – Curvatura	99
3.2	Verificación de hipótesis	124
CAPITULO IV		125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		125
4.1	Conclusiones	125
4.2	Recomendaciones	127
BIBLIOGRAFÍA		128
ANEXOS		131
Anexo N°1.	Granulometría del agregado fino	131
Anexo N°2.	Granulometría del agregado Grueso	132
Anexo N°3.	Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino	133
Anexo N°4.	Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino	133
Anexo N°5.	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	134
Anexo N°6.	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	135
Anexo N°7.	Densidad real del cemento	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites especificaciones para agregado fino	7
Tabla 2. Datos requeridos para la dosificación por el método de la densidad óptima	11
Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento	12
Tabla 4. Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido	13
Tabla 5. Datos requeridos para la dosificación por el método del ACI	15
Tabla 6. Datos requeridos para la dosificación por el método ACI	15
Tabla 7. Descensos recomendados para diferentes tipos de construcción	16
Tabla 8. Tamaño máximo del ripio recomendado para diferentes tipos de construcción	17
Tabla 9. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón.....	17
Tabla 10. Relación agua/cemento en función de la resistencia.....	18
Tabla 11. Volumen de ripio por unidad de volumen de hormigón	19
Tabla 12. Cantidades de muestras totales ocupadas en kilogramos.....	21
Tabla 13. Descensos recomendados para diferentes tipos de construcción (ACI).....	21
Tabla 14. Tamaño máximo del ripio para cualquier tipo de construcción	22
Tabla 15. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón.....	22
Tabla 16. Relación Agua/Cementa en función de la resistencia	23
Tabla 17. Volumen de ripio por unidad de volumen de hormigón	24
Tabla 18. Clasificación de las consistencias según su asentamiento medido en el cono de Abrams.....	26
Tabla 19. Densidad en estado fresco de distintos hormigones.....	27
Tabla 20. Propiedades mecánicas y físicas de varios tipos de resinas poliéster	32
Tabla 21. Propiedades típicas de resina líquida	33
Tabla 22. Propiedades típicas de resina líquida	34
Tabla 23. Propiedades Físicas de resina líquida.....	34
Tabla 24. Muestras de elementos.....	44
Tabla 25. Materiales utilizados	45
Tabla 26. Equipos utilizados.....	46
Tabla 27. Plan de recolección de datos	48
Tabla 28. Plan de recolección de datos	49
Tabla 29. Cantidad de material para probetas a compresión $f'c=210\text{Kg/cm}^2$	64
Tabla 30. Cantidad de material para probetas a compresión $f'c=240\text{Kg/cm}^2$	64
Tabla 31. Cantidad de material para probetas a compresión $f'c=280\text{Kg/cm}^2$	65
Tabla 32. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=210\text{Kg/cm}^2$	65
Tabla 33. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=240\text{Kg/cm}^2$	66
Tabla 34. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=280\text{Kg/cm}^2$	67
Tabla 35. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=210\text{kg/cm}^2$	68
Tabla 36. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=240\text{kg/cm}^2$	68
Tabla 37. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=280\text{kg/cm}^2$	69
Tabla 38. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado.....	74
Tabla 39. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 210\text{kg/cm}^2$)	78
Tabla 40. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 240\text{kg/cm}^2$)	81
Tabla 41. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 280\text{kg/cm}^2$)	84
Tabla 42. Resultado de las vigas de hormigón convencional	85

Tabla 43. Resultado de ensayo a flexión ($f'c = 210\text{kg/cm}^2$)	89
Tabla 44. Resultado de ensayo a flexión ($f'c = 240\text{kg/cm}^2$)	93
Tabla 45. Resultado de ensayo a flexión ($f'c = 280\text{kg/cm}^2$)	96
Tabla 46. Resultado de las vigas de hormigón polímero	97
Tabla 47. Características del acero de refuerzo	104
Tabla 48. Resultados de la viga ($f'c=210\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura	108
Tabla 49. Resultados de la viga ($f'c=240\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura	109
Tabla 50. Resultados de la viga ($f'c=280\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura	110
Tabla 51. Características del acero de refuerzo	115
Tabla 52. Resultados de la viga con resina (dosificación para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura.....	116
Tabla 53. Resultados de la viga con resina (Para una dosificación $f'c=240\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura.....	117
Tabla 54. Resultados de la viga con resina (Para una dosificación $f'c=280\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura.....	118
Tabla 55. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto de Fluencia	119
Tabla 56. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto de Servicio.....	120
Tabla 57. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto Último	121
Tabla 58. Módulo de Ruptura obtenidos a partir del Momento Último.....	122
Tabla 59. Módulo de Ruptura obtenidos por el Ensayo Práctico y por el Método Matemático	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ensayo a flexión de una viga	29
Figura 2. Representación gráfica de la curvatura de una sección de Hormigón Armado	39
Figura 3. Modelo de Mander $\sigma - \xi$ para concreto confinado y no confinado	41
Figura 4. Modelo de Park $\sigma - \xi$ del acero	41
Figura 5. Probetas cilíndricas metálicas.....	50
Figura 6. Pesaje del cemento.....	51
Figura 7. Pesaje del agregado grueso y fino	51
Figura 8. Engrasado de los cilindros.....	52
Figura 9. Fundición del hormigón en la concretera	52
Figura 10. Pesaje de los cilindros con la mecla fresca.....	53
Figura 11. Almacenamiento en la cámara de curado	53
Figura 12. Esquema de colocación de aceros en viga.....	54
Figura 13. Preparación de encofrados metálicos.....	55
Figura 14. Colocación del hormigón en la viga	56
Figura 15. Esquema de colocación de aceros en viga.....	56
Figura 16. Curado de las vigas.....	57
Figura 17. Representación esquemática y sección transversal de la viga bajo carga.....	57
Figura 18. Esquema de colocación de aceros en viga.....	58
Figura 19. Tamizado y lavado de material pétreo.....	58
Figura 20. Secado de material pétreo.....	59
Figura 21. Pesado de material pétreo	59
Figura 22. Pesado de resina poliéster.....	60
Figura 23. Preparación de encofrados metálicos.....	60
Figura 24. Mezclado del hormigón polimérico.....	61
Figura 25. Fundición de vigas de hormigón polimérico	61
Figura 26. Desencofrado de vigas.....	62
Figura 27. Curado de las vigas.....	62
Figura 28. Representación gráfica y sección transversal después de dar carga a la viga.....	63
Figura 29. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=210\text{Kg}/\text{cm}^2$	66
Figura 30. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=240\text{Kg}/\text{cm}^2$	66
Figura 31. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=280\text{Kg}/\text{cm}^2$	67
Figura 32. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina.....	68
Figura 33. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina.....	69
Figura 34. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina.....	69
Figura 35. Resultado de compresión de probeta $F'c= 210\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 7 días	70
Figura 36. Resultado de compresión de probeta $F'c= 240\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 7 días	70
Figura 37. Resultado de compresión de probeta $F'c= 280\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 7 días	71
Figura 38. Resultado de compresión de probeta $F'c= 210\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 14 días	71
Figura 39. Resultado de compresión de probeta $F'c= 240\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 14 días	72
Figura 40. Resultado de compresión de probeta $F'c= 280\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 14 días	72
Figura 41. Resultado de compresión de probeta $F'c= 210\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días	73
Figura 42. Resultado de compresión de probeta $F'c= 240\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días	73
Figura 43. Resultado de compresión de probeta $F'c= 280\text{kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días	74

Figura 44. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=210$ kg/cm ²	75
Figura 45. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=240$ kg/cm ²	75
Figura 46. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=280$ kg/cm ²	76
Figura 47. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=210$ kg/cm ²	76
Figura 48. Ensayo a flexión viga 2 $F'c=210$ kg/cm ²	77
Figura 49. Ensayo a flexión viga 3 $F'c=210$ kg/cm ²	77
Figura 50. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=210$ kg/cm ²	78
Figura 51. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=210$ kg/cm ²	79
Figura 52. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=240$ kg/cm ²	79
Figura 53. Ensayo a flexión viga 2 $F'c=240$ kg/cm ²	80
Figura 54. Ensayo a flexión viga 3 $F'c=240$ kg/cm ²	80
Figura 55. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=240$ kg/cm ²	81
Figura 56. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=240$ kg/cm ²	82
Figura 57. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=280$ kg/cm ²	82
Figura 58. Ensayo a flexión viga 2 $F'c=280$ kg/cm ²	83
Figura 59. Ensayo a flexión viga 3 $F'c=280$ kg/cm ²	83
Figura 60. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=280$ kg/cm ²	84
Figura 61. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales $F'c=280$ kg/cm ²	85
Figura 62. Relación de Carga Máxima vs. Deformación (Resultados).....	86
Figura 63. Relación de Carga Máxima vs. Módulo de ruptura (Resultados).....	86
Figura 64. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $f'c=210$ kg/cm ²	87
Figura 65. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $f'c=210$ kg/cm ²	88
Figura 66. Ensayo a flexión viga polimérica 3 con dosificación para $f'c=210$ kg/cm ²	88
Figura 67. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=210$ kg/cm ²	90
Figura 68. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=210$ kg/cm ²	90
Figura 69. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $f'c=240$ kg/cm ²	91
Figura 70. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $f'c=240$ kg/cm ²	91
Figura 71. Ensayo a flexión viga polimérica 3 con dosificación para $f'c=240$ kg/cm ²	92
Figura 72. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=240$ kg/cm ²	93
Figura 73. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=240$ kg/cm ²	93
Figura 74. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $F'c=280$ kg/cm ²	94
Figura 75. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $F'c=280$ kg/cm ²	94
Figura 76. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $F'c=280$ kg/cm ²	95
Figura 77. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=280$ kg/cm ²	96

Figura 78. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$	96
Figura 79. Relación de Carga Máxima vs. Deformación (Resultados).....	97
Figura 80. Relación de Carga Máxima vs. Módulo de ruptura (Resultados).....	98
Figura 81. Diagrama de simbología de datos.....	99
Figura 82. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado $F'c=210\text{kg/cm}^2$	101
Figura 83. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado $F'c=240\text{kg/cm}^2$	102
Figura 84. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado $F'c=280\text{kg/cm}^2$	103
Figura 85. Acero comportamiento a tracción – Modelo de Park	104
Figura 86. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	108
Figura 87. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	109
Figura 88. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	110
Figura 89. Modelo de Mander para viga con resina dosificación de $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$...	112
Figura 90. Modelo de Mander para Vigas con resina dosificación de $F'c=240\text{kg/cm}^2$	113
Figura 91. Modelo de Mander para Vigas con resina para una dosificación de $F'c= 280\text{kg/cm}^2$	114
Figura 92. Acero comportamiento a tracción – Modelo de Park	115
Figura 93. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'c=210\text{kg/cm}^2$	116
Figura 94. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'c=240\text{kg/cm}^2$	117
Figura 95. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'c=240\text{kg/cm}^2$	118

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación consiste en trabajar con distintos hormigones convencionales y remplazar los materiales de agregado fino y agua por cantidades similares de resina poliéster líquida. Entonces, se espera que con estos nuevos hormigones poliméricos la resistencia a la flexión se incremente.

Para poder establecer las dosificaciones del hormigón convencional se utilizó el método del A.C.I, adicionalmente se corroboró con ensayos de laboratorio para cada uno de los materiales pétreos, los ensayos realizados fueron: ensayo de granulometría, densidad aparente, compactada y suelta, densidad real, capacidad de absorción, densidad real del cemento y el ensayo de asentamiento del hormigón. Con las probetas se realizó el ensayo a compresión a los 7, 14 y 21 días de curado obteniendo así las resistencias de 210, 240 y 280 kilogramos sobre centímetro cuadrado. Además, la resina ayuda al hormigón convencional a mejorar sus propiedades químicas y mecánicas, formando así el hormigón polimérico. Después con el nuevo hormigón obtenido se procedió a realizar el ensayo de resistencia a la flexión con carga aplicada a los tercios de la luz en cada una de las vigas elaboradas.

Finalmente se realizó mediante el método de Mander y Park el cálculo del diagrama Momento-Curvatura de cada viga tanto de hormigón normal como del polimérico, para realizar un análisis de cada una de las curvas obtenidas y establecer que existe un aumento en la resistencia a la flexión cuando se trabaja con resina pues el módulo de ruptura es mayor en comparación al de los otros especímenes.

EXECUTIVE SUMMARY

The present research work consists of working with different conventional concretes and replacing the fine aggregate materials and water with similar amounts of liquid polyester resin. Then, it is expected that with these new polymer concretes the flexural strength will increase.

In order to establish the dosages of conventional concrete, the A.C.I. method was used, additionally it was corroborated with laboratory tests for each of the stony materials, the tests carried out were: granulometry test, apparent density, compacted and loose, real density, capacity absorption, real density of the cement and the concrete slump test. With the specimens the compression test was carried out at 7, 14 and 21 days after curing, thus obtaining the strengths of 210, 240 and 280 kilograms per square centimeter. In addition, the resin helps conventional concrete to improve its chemical and mechanical properties, thus forming polymeric concrete. After that, with the new concrete obtained, the flexural strength test was carried out with a load applied to thirds of the span in each of the manufactured beams.

Finally, using the Mander and Park method, the calculation of the Moment-Curvature diagram of each beam of both normal and polymeric concrete was carried out, to perform an analysis of each of the curves obtained and establish that there is an increase in resistance to the flexion when working with resin since the modulus of rupture is higher compared to that of the other specimens.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

El empleo de materiales plásticos en la construcción ha sido evidenciado desde el año 1990, en la Universidad Politécnica de Valencia, España, la Ingeniera Adriana Castellese realizó un estudio de hormigones con resinas acrílicas para mejorar la resistencia, la investigación determinó tres tipos de hormigones. El primer hormigón consistía en añadir látex, resinas líquidas o monómeros a la mezcla de áridos y cemento mayormente utilizados en trabajos de reparación, acabados y recubrimiento de partes superiores en los puentes. El segundo hormigón es un material polimérico que consiste en sustituir el agua y cemento por un polímero (resinas termoestables, monómeros de vinilos o resinas de alquitrán modificado) de resina líquida sintética y agregados minerales. El tercer hormigón es un material de polímero impregnado, que consiste en realizar un relleno en vacío de los poros del hormigón convencional ya secado, no es muy aplicable por su costo y dificultad de aplicación. [1]

En el año 2016 en la ciudad de Caracas en la Universidad Católica Andrés Bello, se procedió a elaborar un hormigón polimérico constituido por polímero más sílice a un 12,5% de dosificación en un concreto, el cual alcanzó una alta resistencia a los 7 días, en relación al hormigón convencional, resultó ser más ligero y además permitía el paso de la luz solar contribuyendo así al ahorro de la energía eléctrica utilizada durante el día [2]

En la ciudad de Quito, Ecuador, en la Universidad Central del Ecuador, el Lic. Carlos Benítez realizó un estudio el cual consistía en mezclar la resina poliéster con cemento y polvo de mármol para la fundición de obras escultóricas, dicha investigación determinó que la resina ayudaba a solidificar rápidamente el polvo de mármol en una escultura, a diferencia del cemento gris el cual si no se dejaba pasar un tiempo de secado de 4 días, no tendría la resistencia suficiente y que el cemento

blanco por sus propiedades de resistencia permitía la ejecución de esculturas con detalles [3]

En la Universidad Técnica de Ambato, el Ingeniero Elvis Rogel realizó un estudio que consistía en evaluar la sustitución parcial y total del cemento por resina poliéster en un hormigón con la finalidad de determinar las propiedades mecánicas del mismo, se obtuvo que al ocupar un 25% de resina en el hormigón este disminuye su asentamiento en 5 centímetros en relación al hormigón convencional lo cual significa que es poco trabajable, al ocupar un 50% de resina el hormigón aumenta su asentamiento a 9.75 centímetros lo que indica que el hormigón es medianamente trabajable, al utilizar el 75% de resina el asentamiento es de 16 centímetros lo que significa que la mezcla de hormigón es muy trabajable, y al utilizar el 100% de resina en la mezcla en el asentamiento se evidencia un promedio de 20.7 centímetros que de igual forma es un hormigón muy trabajable. Además, al realizar los ensayos respectivos para cada porcentaje de resina en hormigón se evidenció que cada probeta elaborada mejoraba sus propiedades de tracción, compresión y flexión [4]

En la investigación realizada por la Ingeniera Christina Buenaño en la Universidad Técnica de Ambato, se realizó un concreto polimérico para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, el estudio determinó para alcanzar un concreto de alta resistencia, el porcentaje óptimo de resina poliéster es de 55%. El costo de un hormigón polimérico es mayor al de un concreto de alta resistencia, para lo cual se debe tener en cuenta su correcta aplicación en obra para un análisis de costo beneficio adecuado. Estos resultados favorables, permitirán abrir campo para obtener un material de alta resistencia a compresión con resina de poliéster, cuyas propiedades físicas y mecánicas son muy superiores a las del concreto tradicional [5]

1.1.2. Justificación

La resistencia del hormigón es importante en una construcción, ya que su incorrecta aplicación y fabricación puede poner en riesgo la vida de los habitantes de una edificación. Con el paso de los años se han buscado alternativas y nuevas tecnologías en el sector de la construcción, una de ellas es hallar un sustituto al cemento portland como ligante en el hormigón. Los materiales poliméricos, por su diversificación,

versatilidad, alto rendimiento, ligereza y procesabilidad se ajustan muy bien a este nuevo planteamiento y no es de extrañar que, desde el principio de los años ochenta, la producción mundial de plásticos ha superado en peso a la producción de acero. [6]

Los hormigones con polímeros son materiales compuestos “composites” los cuales tienen como objetivo combinar las propiedades de los materiales utilizados para mejorar la calidad y resistencia del hormigón, pueden alcanzar una resistencia de hasta cuatro veces más que la resistencia de un hormigón convencional consiste en reemplazar el ligante de cemento por resina líquida, que además de otorgar resistencia es un elemento impermeable. [6] [7]. En la ciudad de Ambato el Ingeniero Elvis Rogel realizó la sustitución parcial y total de la pasta de cemento con resina poliéster, llegando a obtener una resistencia promedio de 632.7 kg/cm², lo cual triplica al hormigón comercial y el más utilizado en ámbito constructivo ecuatoriano de 210kg/cm². [4]

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene como finalidad crear un hormigón polímero a base de resina poliéster líquida para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, además de contribuir a la disminución del consumo de energía eléctrica en el día mediante el paso de la luz solar por los elementos compuestos por este nuevo material.

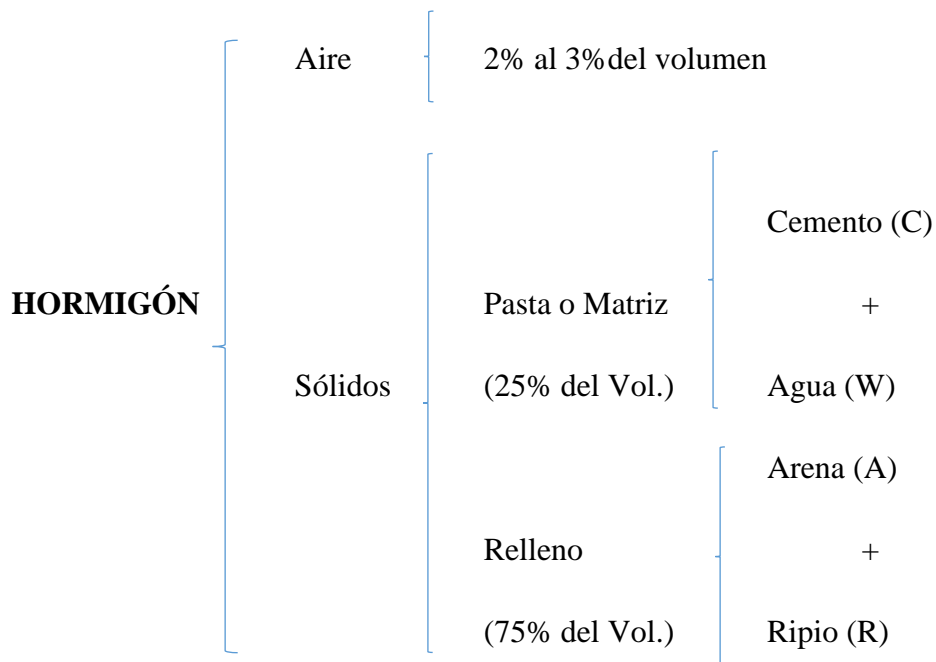
En la actualidad el incremento de materia prima plástica nos abre puertas para innovar en el campo de la construcción, creando así ya estructuras principales con el método de la Pultrusión dando una alta eficiencia en perfiles continuos con alto porcentaje de fibras unidireccionales y su producción den serie para la distribución masiva de perfiles.

A lo largo de los últimos años el número de aplicaciones de productos fabricados con resinas reforzadas ha aumentado. En la industria de los composites, el proceso de Pultrusión es una de las técnicas que más rápidamente se ha desarrollado. Actualmente, los materiales pultrusionados son muy utilizados para la manufactura de equipos como plataformas, suelos técnicos, escaleras, marcos de ventanas, estructuras y muchas otras aplicaciones, motivando un creciente interés de los consumidores.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Hormigón Tradicional

Llamado Concreto, es una piedra artificial formada al mezclar en proporciones adecuadas cuatro componentes (Agua, cemento, arena, ripio). Es el material de construcción más utilizado de todos los tiempos. [8] Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. A continuación, se muestra un esquema de la composición del hormigón convencional:



1.1.3.2. Agregados

Se emplea para definir al material pétreo que se utiliza en el hormigón, independientemente de su tamaño.

Con la tecnología moderna se establece que siendo este material el que mayor porcentaje de participación tendrá dentro de la unidad cúbica de concreto sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto

Los agregados del concreto ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen, agregados débiles podrían limitar la resistencia del concreto. Son estos elementos los que proporcionan una estabilidad volumétrica al concreto y durabilidad. Abarca a las arenas, gravas naturales y piedra triturada, y también los materiales especiales utilizados para producir hormigones ligeros y pesados. Pueden ser rodados cuyo uso se limita a hormigones de baja resistencia, y triturados empleados en hormigones de mediana y alta resistencia. [8]

Funciones de los Agregados

En el hormigón cumplen tres funciones que son:

- a) Bajar el costo del hormigón al reducir la cantidad de pasta
- b) Comunicar su resistencia a la compresión y a la abrasión del hormigón
- c) Reducir los cambios volumétricos durante el fraguado.

1.1.3.2.1. Agregado Fino

Se refiere a la fracción del agregado menor a 5mm, que pasa por el tamiz 3/8" y retenido en el tamiz N°200. Es el árido de mayor responsabilidad, las mejores arenas son las de río, ya que salvo algunas excepciones son cuarzo puro, las arenas que provienen de la trituración de granitos, basaltos y rocas análogas, son también excelentes.

La arena no debe contener sustancias perjudiciales para el hormigón, la humedad de la arena es de gran importancia en la dosificación de hormigones, sobre todo cuando se dosifica al volumen. Una buena arena tiene una densidad real mayor a 2.6 gr/cm^3 , y una resistencia a la compresión mayor a 1000 kg/cm^3 . [8]

1.1.3.2.2. Agregado Grueso

Se refiere a la fracción mayor de 5mm y es retenido en el tamiz N°4, siendo importante tener en cuenta que la resistencia está ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad, una buena grava tiene una densidad real mayor 2.6 gr/cm^3 , y una resistencia a la compresión mayor a 1000 Kg/cm^3 . [8]

1.1.3.3. Pasta o Matriz

La pasta tiene la función de llenar los vacíos que deja el árido, dar plasticidad al hormigón fresco, ya que actúa como un lubricante, le da impermeabilidad al hormigón endurecido y dar resistencia al hormigón, básicamente la pasta depende de las propiedades químicas del cemento, pero principalmente de la relación agua/cemento, que controla la calidad del hormigón. La resistencia del hormigón es función inversa de la relación agua/cemento. El comportamiento del hormigón como material de construcción está influenciado por las características de la pasta y las propiedades finales de la misma; sin desconocer el papel del agregado.

1.1.3.3.1. Agua para morteros y hormigones

Como norma general podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado de lechadas, morteros y hormigones, todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica, es decir, las que no produzcan o hayan producido en ocasiones anteriores eflorescencias, agrietamientos, corrosiones o perturbaciones en el fraguado y endurecimiento de las masas, es decir se debe utilizar agua apta para el consumo humano “agua potable”. La cantidad de agua esta, ante todo, directamente ligada a la reología de la mezcla, y finalmente a la microestructura del concreto.

En el concreto de alta resistencia, la dosis de agua esta drásticamente limitada por la acción del plastificante, y una vez que se añade a la mezcla es atribuida y está relacionada no solamente con la cantidad de cemento (relación agua/ cemento), sino también con la combinación de cementos y agregados (relación agua / aglomerantes) que están siempre presentes y que no son tan reactivos como el cemento mismo.

La razón de esto es estrictamente funcional, puesto que las propiedades del concreto brevemente curado están básicamente ligadas a su relación agua / cemento, mientras que las del concreto completamente curado están logadas a la relación agua / aglomerante. [8]

1.1.3.4. Ensayos de los agregados

1.1.3.4.1. Granulometría del agregado fino

Para un buen hormigón es recomendable utilizar un agregado fino en donde su granulometría esté comprendida dentro de los límites especificados en la norma NTE INEN 872 o en la ASTM C33. Si la relación agua cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso es correcta, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener efectos significativos en la resistencia. Entre más uniforme sea a granulometría, mayor será la economía. Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas N°50 y de N°100, afectan la textura superficial, la trabajabilidad y el sangrado del concreto. [8]

Tabla 1. Límites especificaciones para agregado fino

Tamiz INEN	Tamiz ASTM	Porcentaje que Pasa
9.50 mm	3/8"	100
4.75 mm	N°4	95 a 100
2.36 mm	N°8	80 a 100
1.18 mm	N°16	50 a 85
0.60 mm	N°30	25 a 60
0.30 mm	N°50	10 a 30
0.15 mm	N°100	2 a 10

Fuente: NTE INEN 872

1.1.3.4.2. Granulometría del agregado Grueso

Al igual que en la granulometría del agregado fino es preferible que en su conjunto posea cierta continuidad de tamaños en su composición granulométrica. Los efectos de la gradación de la grava producen sobre la trabajabilidad son mucho menores que los producidos por el agregado fino. La granulometría de un agregado grueso, de un tamaño máximo dado, puede variar dentro de un rango amplio sin producir efectos apreciables en los requerimientos de agua y cemento. [8]

1.1.3.4.3. Densidad aparente de los agregados

Es la relación entre la masa del agregado que ocupa el recipiente, para el volumen del recipiente. Se llama aparente debido a que quedan vacíos entre las partículas de agregado. Se determina mediante las especificaciones de la norma INEN 858 pudiendo ser suelta y compactada.

Densidad aparente suelta

Es la relación entre la masa del árido y un volumen que ocupe dicha masa. Para determinar la densidad aparente suelta se llena una muestra del árido en estado seco en un molde cilíndrico de metal sin ningún tipo de compactación y simplemente enrasado. Es necesario calcular o conocer el volumen del recipiente para una vez pesado el molde más la muestra calcular la densidad. [9] Se llena el recipiente teniendo el cuidado de verter el material desde una altura no mayor a 5cm arriba del borde del recipiente como lo especifica la norma citada.

Densidad aparente compactada

Es la relación entre la masa del árido y un volumen que ocupe dicha masa. Se diferencia de la densidad aparente suelta porque en esta propiedad es necesario compactar la muestra.

Según la norma NTE INEN 0858 se puede realizar un procedimiento por varillado, por sacudidas o por paladas. [10]

1.1.3.4.4. Densidad máxima de la mezcla

Consiste en determinar el porcentaje de agregado grueso y el complementario de agregado fino para que la mezcla de los dos agregados adquiera la máxima densidad posible, produciendo la menor cantidad de vacíos a ser ocupados por una mínima cantidad de pasta. Para determinar la densidad máxima de la mezcla se necesita un molde metálico en tres capas compactadas por el método de la varilla con diferentes porcentajes tanto de arena como de ripio.

1.1.3.4.5. Densidad óptima de la mezcla

Es un valor menor que la densidad máxima, se obtiene disminuyendo un 4% del porcentaje de agregados finos y por lo tanto un aumento en el mismo porcentaje de agregados gruesos, de tal manera que se obtenga una cantidad mayor de vacíos la misma que posteriormente será llenada por pasta de cemento y agua. [5]

1.1.3.4.6. Densidad Saturada superficie Seca

Según la norma NTE INEN 0856, es cuando no hay humedad libre o superficial, pero todos los poros internos de la partícula están llenos de agua. Para que la muestra

de áridos llegue a este estado, es necesario sumergirla en agua por 24 horas para después secar con una tela en el caso del árido grueso, y en una bandeja al sol en el caso del árido fino. [11]

1.1.3.4.7. Densidad Seca al horno

Según la norma NTE INEN 0857 es la masa de las partículas del árido cuando este se encuentra seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros impermeables y permeables, sin incluir los vacíos entre las partículas. [11] Toda la humedad externa e interna es eliminada por calentamiento a una temperatura de 270 °F o 110 °C.

1.1.3.4.8. Densidad Real de los agregados

La densidad real del árido fino y grueso debe ser mayor o igual a 2,6 gr/cm³ y se debe descartar a los agregados que tengan una densidad menor a 2,3 gr/cm³.

Para encontrar la densidad relativa del árido grueso se debe contar con la muestra SSS. Luego, se determina el volumen de la muestra por el método del desplazamiento de agua, ayudándose de una canastilla sumergida. Mientras que para encontrar estas propiedades en el agregado fino también se necesita una masa SSS. Después se coloca la muestra en un picnómetro graduado y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico.

Densidad real del agregado grueso

Según las especificaciones de la Norma NTE INEN 857, la densidad real del ripio (DRR) se determina como:

$$DRR = \frac{\text{Masa en SSS}}{\frac{\text{Masa en SSS} - M \text{ en el agua}}{\text{Densidad del agua}}}$$

Densidad real del agregado fino

Según las especificaciones de la Norma NTE INEN 857, la densidad real de la arena (DRA) se determina como:

$$DRA = \frac{\text{Masa en SSS}}{\text{Volumen de material}}$$

1.1.3.4.9. Capacidad de absorción de los agregados

Según lo indica la norma NTE INEN 0857 la capacidad de absorción medida en porcentaje es la cantidad de agua que el agregado puede absorber hasta alcanzar la condición de Superficie Saturada Seca. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CA\% = \frac{Masa\ en\ SSS - Masa\ en\ seco}{Masa\ en\ seco} * 100$$

Si el material está en condición SSS, se encuentra en equilibrio o en una condición especial, ya que no puede absorber más agua ni tampoco cederla, cuanto más alta es la capacidad de absorción del agregado, menor es su calidad.

Los agregados finos y gruesos tienen niveles de absorción que varían del 0.2% al 2% y del 0.2% al 4% respectivamente. Los contenidos de agua libre varían del 2% al 6% en el agregado fino y del 0.5% al 25 en el agregado grueso. [8]

1.1.3.5. Dosificación por método de densidad óptima

Las proporciones en que se mezclan los componentes del hormigón constituyen su dosificación. Hay varios métodos de dosificación de los cuales el método de El método de la densidad óptima es un procedimiento muy recomendado para la realidad de nuestro país, ya que permite utilizar la mínima cantidad posible de material cementante y agregados de calidad pobre.

Realizando los ensayos respectivos a los materiales para la mezcla se tienen los siguientes resultados que servirán como datos para encontrar la correcta dosificación.

Tabla 2. Datos requeridos para la dosificación por el método de la densidad óptima

DATOS	NOMENCLATURA Densidades en (Kg/dm ³)
Densidad real del cemento	DCR
Densidad real de la Arena	DRA
Densidad real del Ripio	DRR
Densidad aparente de la Arena (Suelta)	DAA
Densidad aparente del Ripio (Suelta)	DAR
Densidad aparente de la Arena (Compactada)	DAA _C
Densidad aparente del Ripio (Compactada)	DAR _C
Porcentaje Óptimo de Arena	POA
Módulo de Finura de la Arena	MFA
Porcentaje Óptimo de Ripio	POR
Densidad óptima de la mezcla	DOM
Capacidad de Absorción de la arena	CAA
Capacidad de Absorción del ripio	CAR
Capacidad de Humedad de la Arena	CHA
Capacidad de Humedad del Ripio	CHR

Fuente: Hormigón

Autor: Ing. Santiago Medina

a) Relación Agua/Cemento

La relación Agua/Cemento W/C se obtiene de la siguiente tabla desarrollada en los laboratorios de materiales de Universidad central del Ecuador, con información del Seminario de Investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.

Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días en MPa	Relación Agua/Cemento W/C
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón

Autor: Ing. Marco Garzón C.

b) Densidad Real de la mezcla (Agregados) (DRM)

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

c) Porcentaje óptimo de vacíos (POV)

Debe ser llenado con pasta de cemento y agua.

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

d) Cantidad de pasta (CP)

La cantidad de pasta será la necesaria para llenar los vacíos que deja el árido, añadiéndose una cantidad extra para cubrir todas las partículas de agregado presente (2%), además de darle al hormigón la trabajabilidad y plasticidad adecuadas y el asentamiento requerido.

Tabla 4. Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido

Asentamiento en centímetros	Cantidad de Pasta en %
0 – 3	POV + 2% + 3%(POV)
3 – 6	POV + 2% + 6%(POV)
6 – 9	POV + 2% + 8%(POV)
9 – 12	POV + 2% + 11%(POV)
12 - 15	POV + 2% + 13%(POV)

Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón

Autor: Ing. Marco Garzón C.

Para expresarla la CP en unidades de volumen (dm³) se lo multiplica por 1000 dm³

e) Cantidad de Cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

El resultado estará expresado en Kilogramos por cada metro cúbico de hormigón.

f) Cantidad de Agua (W)

$$W = \frac{W}{C} * C$$

El resultado estará expresado en litros por cada metro cúbico de hormigón.

g) Cantidad de Arena (A)

VH= Volumen de 1000dm³ de hormigón (1m³)

$$A = (VH - CP) * DRA * \frac{POA}{100}$$

El resultado estará expresado en Kilogramos por cada metro cúbico de hormigón.

h) Cantidad de Ripio (R)

VH= Volumen de 1000dm³ de hormigón (1m³)

$$R = (VH - CP) * DRR * \frac{POR}{100}$$

El resultado estará expresado en Kilogramos por cada metro cúbico de hormigón.

i) Dosificación al Peso

Tanto para el agua, arena o ripio se determinan mediante la siguiente expresión

$$\text{Dosificación al Peso } (W, A, R) = \frac{\text{Cantidad de material } (W, A, R)}{\text{Cantidad de Cemento}}$$

Obtenida la dosificación se puede determinar la cantidad deseada para cualquier volumen necesario.

Las dosificaciones anteriores se encuentran bajo la hipótesis de que los agregados están en la condición SSS, por lo que es necesario calcular la corrección por humedad. [12]

$$\text{Corrección por humedad} = \text{Masa } (A \text{ o } R) * \frac{100 + (CHA \text{ o } CHR)}{100 + (CAA \text{ o } CAR)}$$

1.1.3.6. Dosificación por método del ACI

Este método se basa en datos tabulados que han sido obtenidos experimentalmente luego de un gran número de mezclas de prueba.

Realizando los ensayos respectivos a los materiales para la mezcla se tienen los siguientes resultados que servirán como datos para encontrar la correcta dosificación.

Tabla 5. Datos requeridos para la dosificación por el método del ACI

DATOS	NOMENCLATURA Densidades en (Kg/dm ³)
Densidad real del cemento	DCR
Densidad real de la Arena	DRA
Densidad real del Ripio	DRR
Densidad aparente de la Arena (Suelta)	DAA
Densidad aparente del Ripio (Suelta)	DAR
Densidad aparente de la Arena (Compactada)	DAA _C
Densidad aparente del Ripio (Compactada)	DAR _C
Módulo de Finura de la Arena	MFA
Capacidad de Absorción de la arena	CAA
Capacidad de Absorción del ripio	CAR
Capacidad de Humedad de la Arena	CHA
Capacidad de Humedad del Ripio	CHR

Fuente: Hormigón

Autor: Ing. Santiago Medina

1. Datos necesarios para calcular la dosificación:

- Resistencia a compresión requerida a los 28 días $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 6. Datos requeridos para la dosificación por el método ACI

Densidad Real del Cemento: DRC	3.00 kg/dm ³
Densidad Real del Arena: DRA	2.50 kg/dm ³
Densidad Real del Ripio: DRR	2.55 kg/dm ³
Densidad Aparente del Arena (suelta): DAA	1.50 kg/dm ³
Densidad Aparente del Ripio (suelta): DAR	1.35 kg/dm ³
Densidad Aparente del Arena (compactada): DAA	1,65 kg/dm ³
Densidad Aparente del Ripio (compactada): DAR	1.45 kg/dm ³

Módulo de Finura del Arena	2.6
Capacidad de Absorción de la Arena: CAA	1.5%
Capacidad de Absorción del Ripio: CAR	2.3%
Contenido de Humedad de la Arena: CHA	1.1%
Contenido de Humedad del Ripio: CHR	0.8%

Fuente: A.C.I. 99

- Se selecciona la consistencia apropiada de la tabla a continuación, tomando en cuenta que el hormigón deberá ser lo más consistente rígido posible.

Tabla 7. Descensos recomendados para diferentes tipos de construcción

DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN		
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	DESCENSO EN (cm)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Muros y Zapatas de Cimentación en Hormigón Armado	2.50	7.50
Zapatas, Cajones y Muros de Subestructura	2.50	7.50
Vigas Y Muros de Hormigón Armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y Losas	2.50	7.50
Concreto Masivo, Construcciones Ciclópeas	2.50	7.50

Fuente. A.C.I. 99

En nuestro caso, asumiremos un asentamiento de 8cm que se ajusta además al rango de cualquier tipo de construcción, tomando en cuenta además que un hormigón con un asentamiento menor al escogido podría generar dificultad en cuanto a trabajabilidad.

- Seleccionamos el tamaño máximo del agregado grueso de la tabla siguiente.

Tabla 8. Tamaño máximo del ripio recomendado para diferentes tipos de construcción

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO GRUESO RECOMENDADO DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN				
DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN DEL ELEMENTO	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO SEGÚN LA CONSTRUCCIÓN			
	Muros, Vigas, Columnas	Muros de H. Simple	Losas con Mucho Refuerzo	Losas con Poco Refuerzo
cm	cm	cm	cm	cm
6.5 a 12.5	1.5 a 2	2	2 a 2.5	2 a 4
15 a 28	2 a 4	4	4	4 a 7.5
30 a 74	4 a 7.5	7.5	4 a 7.5	7.5
76 a mas	4 a 7.5	15	4 a 7.5	7.5 a 15

Fuente. A.C.I. 99

Para continuar con la dosificación seleccionamos un tamaño máximo de agregado grueso de **4cm**, que es el que además se ajusta a la mayoría de las selecciones específicas en la tabla y el más usual en nuestro medio constructivo.

Pero para el proyecto de tesis antes mencionado utilizaremos un agregado grueso de **19.0mm** = 2cm que es equivalente al ripio triturado comercial ¾”.

- La cantidad total de agua y aire atrapado por cada metro cubico de hormigón se obtienen de la tabla siguiente intersecando el asentamiento y el tamaño máximo de ripio seleccionados previamente.

Tabla 9. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE ARE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
DESCENSO (cm) EN EL CONO	AGUA (kg/m ³) PARA LOS TAMAÑOS ESCOGIDOS							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150.0 mm
HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO (hormigón normal)								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124

15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire incluido en el Hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el Hormigón	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0

Fuente. A.C.I. 99

De la forma indicada anteriormente, en la tabla se determina que la cantidad de agua es de 205 lt para 1 m³ de hormigón y el porcentaje de aire atrapado de 2% debiendo mencionar que estos datos se leen de la columna para un tamaño máximo de ripio de 2cm que es equivalente al ripio triturado comercial ¾”.

5. A continuación, se selecciona la relación agua/cemento para satisfacer la resistencia a compresión especificada.

Tabla 10. Relación agua/cemento en función de la resistencia
CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS EN CILINDROS ESTÁNDAR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RELACIÓN DE AGUA CEMENTO POR PESO	
	HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO	HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO
450	0.38	-
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.68	0.60
150	0.79	0.70

Fuente. A.C.I. 99

Para nuestra resistencia requerida de $f'c=210\text{kg/cm}^2$, interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación **W/C=0.67**.

Para nuestra resistencia requerida de $f'c=240\text{kg/cm}^2$, interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación **W/C=0.62**.

Para nuestra resistencia requerida de $f'c=280\text{kg/cm}^2$, interpolando entre los valores correspondientes tendremos una relación **W/C=0.57**.

6. Conociendo la cantidad de agua y la dosificación de esta (relación agua/cemento) se puede calcular la cantidad de cemento aplicando la ecuación indicada.

$$W = \frac{W}{C} * C$$

$$C = \frac{W}{W/C}$$

$$C = \frac{205 \text{ kg}}{0.67}$$

$$C = 307.81 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de hormigón}$$

7. La determinación del volumen de agregado grueso seco y compactado en función del tamaño máximo de ripio y del módulo de finura de la arena, para luego calcular la cantidad de ripio por cada metro cubico de hormigón.

Tabla 11. Volumen de ripio por unidad de volumen de hormigón

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN							
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	VOLUMEN AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO CON VARILLA X UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE LA ARENA						
	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3
cm							
0.95	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1.25	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
1.90	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
2.50	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
3.75	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
5.00	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
7.50	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
15.00	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Fuente. A.C.I. 99

Intersecando el dato del tamaño máximo del ripio (1.90 cm) con el módulo de finura de la arena (2.6), obtenemos un volumen de agregado grueso seco y compactado de **0.64m³** por cada metro cubico de hormigón.

$$R = VAR * DAR$$

$$R = 640dm^3 * 1.45kg/dm^3$$

$$R = 928.0 \text{ kg para } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}$$

8. Finalmente, se calcula la cantidad de arena

Σ de Volúmenes reales + Aire = Volumen del hormigón

$$(VRW + VRC + VRR + VRA + Aire = 1000dm^3)$$

$$(205dm^3 + \frac{307.81 \text{ kg}}{3.0 \frac{\text{kg}}{dm^3}} + \frac{928.0 \text{ kg}}{2.55 \frac{\text{kg}}{dm^3}} + VRA + \frac{2}{100} * 1000dm^3 = 1000dm^3)$$

$$VRA = 328.46 \text{ dm}^3$$

$$A = VRA * DRA$$

$$A = 328.46 \text{ dm}^3 * 2.5 \text{ kg/dm}^3$$

$$A = 821.14 \text{ kg para } 1 \text{ m}^3 \text{ de hormigón}$$

Tabla 12. Cantidades de muestras totales ocupadas en kilogramos

CANTIDAD DE MATERIAL		
ELEMENTOS	MATERIAL	CANTIDAD EN Kg
CILINDROS	AGUA	10.26
	CEMENTO	16.66
	ARENA	40.10
	GRAVA	46.50
VIGAS	AGUA	33.42
	CEMENTO	54.19
	ARENA	130.51
	GRAVA	201.72
	RESINA PLÁSTICA	75.00
TOTALES		
	AGUA	43.68
	CEMENTO	70.85
	ARENA	170.61
	GRAVA	248.22
	RESINA PLÁSTICA	75.00

Fuente: Nelson Chugchilan

a) Consistencia del hormigón

Se selecciona la consistencia apropiada de la tabla siguiente

Tabla 13. Descensos recomendados para diferentes tipos de construcción (ACI)

DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN		
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	DESCENSO EN (cm)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Muros y Zapatas de Cimentación en Hormigón Armado	2.50	7.50
Zapatas, Cajones y Muros de Subestructura	2.50	7.50
Vigas Y Muros de Hormigón Armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y Losas	2.50	7.50
Concreto Masivo, Construcciones Ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: A.C.I 99

b) Tamaño máximo del agregado grueso

Tabla 14. Tamaño máximo del ripio para cualquier tipo de construcción

TAMAÑO MÁXIMO AGREGADO GRUESO RECOMENDADO DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN				
DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN DEL ELEMENTO	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO SEGÚN LA CONSTRUCCIÓN			
	Muros, Vigas, Columnas	Muros de H. Simple	Losas con Mucho Refuerzo	Losas con Poco Refuerzo
cm	cm	cm	cm	cm
6.5 a 12.5	1.5 a 2	2	2 a 2.5	2 a 4
15 a 28	2 a 4	4	4	4 a 7.5
30 a 74	4 a 7.5	7.5	4 a 7.5	7.5
76 a mas	4 a 7.5	15	4 a 7.5	7.5 a 15

Fuente: A.C.I 99

c) Cantidad de agua y aire

Tabla 15. Requerimiento de agua y aire atrapado en el hormigón

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE ARE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
DESCENSO (cm) EN EL CONO	AGUA (kg/m3) PARA LOS TAMAÑOS ESCOGIDOS							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150.0 mm
HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO (hormigón normal)								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire incluido en el Hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el Hormigón	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0

Fuente: A.C.I 99

d) Relación Agua cemento

Tabla 16. Relación Agua/Cementa en función de la resistencia

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS EN CILINDROS ESTÁNDAR		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RELACIÓN DE AGUA CEMENTO POR PESO	
	HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO	HORMIGÓN CON AIRE INCLUIDO
450	0.38	-
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.68	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: A.C.I 99

e) Cantidad de Cemento (W)

$$C = \frac{W}{\frac{W}{C}}$$

El resultado estará expresado en kilogramos por cada metro cúbico de hormigón.

f) Cantidad de Ripio (R)

La determinación del volumen de agregado grueso seco y compactado en función del tamaño máximo del ripio y del módulo de finura de la arena.

Tabla 17. Volumen de ripio por unidad de volumen de hormigón

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN							
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO	VOLUMEN AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO CON VARILLA X UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE LA ARENA						
	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3
cm							
0.95	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1.25	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
1.90	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
2.50	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
3.75	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
5.00	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
7.50	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
15.00	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Fuente: A.C.I 99

El resultado será un volumen aparente y estará expresado en m³ por cada metro cúbico de hormigón.

Para obtener el volumen requerido para un metro cúbico de hormigón se aplica la fórmula.

$$R = VAR * DAR$$

El resultado estará expresado en kilogramos por cada metro cúbico de hormigón

g) Cantidad de Arena (A)

$$\sum \text{de volúmenes reales} + \text{aires} = \text{Volumen del hormigón}$$

$$(VRW + VRC + VRR + VRA) + \text{aire} = 1000 \text{ dm}^3$$

$$VRA = 1000 \text{ dm}^3 - \text{aire} - VRW - VRC - VRR$$

El resultado será un volumen real y estará expresado en m³ por cada metro cúbico de hormigón.

Para obtener el volumen requerido para un metro cúbico de hormigón se aplica la fórmula.

$$A = VRA * DRA$$

El resultado estará expresado en kilogramos por cada metro cúbico de hormigón

h) Dosificación al Peso

Tanto para el agua, arena o ripio de determinan mediante la siguiente expresión

$$\text{Dosificación al Peso } (W, A, R) = \frac{\text{Cantidad de material } (W, A, R)}{\text{Cantidad de Cemento}}$$

Obtenida la dosificación se puede determinar la cantidad deseada para cualquier volumen necesario.

1.1.3.7. Propiedades del Concreto

Entre las principales características de un buen hormigón están las siguientes: Posee una buena resistencia a la compresión; Buen comportamiento a fatiga; Bajo costo en relación con sus características mecánicas; Excelente comportamiento frente al fuego; necesita mínimo mantenimiento.

1.1.3.7.1. Falso fraguado del hormigón

Se produce un endurecimiento prematuro al ser mezclado con agua para obtener la pasta de cemento, para evitar esto es necesario aumentar el tiempo de amasado, lo que permite romper la cristalización producida y devolver al hormigón la plasticidad requerida.

1.1.3.7.2. Consistencia

La consistencia de un hormigón fresco es la propiedad según la cual opone resistencia a la deformación. Varía con muchos factores como son, la cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos. La consistencia se determina a partir de un ensayo en el que se comprueba el asiento que presenta el cono de Abrams (INEN 1578 - ASTM C143). Se consideran cinco tipos de consistencia: Seca: usada en elementos que se compactan por apisonado. Plástica: Usada en zapatas y losas. Blanda: Pilares, jácenas, muros y losas armadas. Fluida: forjados losas muy armadas y muros armados de poco espesor. [10]

Tabla 18. Clasificación de las consistencias según su asentamiento medido en el cono de Abrams

CLASIFICACIÓN DE LAS CONSISTENCIAS MEDIDO EN EL CONO DE ABRAMS				
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigón de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión
Seca	20 a 35	Pavimentos	Pavimentado con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35 a 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	50 a 100	Pavimentos, losas, muros, vigas, secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Húmeda	100 a 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy Húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Bombeo, tubo-embudo, tremie	Normalmente no adecuados para vibrarse

Fuente: Nelson Chughchilan

1.1.3.7.3. Trabajabilidad

También llamada docilidad, es la facilidad que tiene un hormigón para ser amasado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga, depende de la cantidad de agua de amasado, el contenido de árido fino, áridos redondeados, contenido y finura del cemento.

Es necesario una correcta dosificación y selección de materiales para tener la trabajabilidad deseada sin comprometer alguno de sus procesos o propiedades.

1.1.3.7.4. Homogeneidad

Decir que un hormigón debe ser homogéneo indica que debe ser uniformemente heterogéneo, es decir, que en cualquier parte de su masa los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista en el diseño de la mezcla. La homogeneidad puede perderse por segregación o por decantación. [7] [10]

1.1.3.7.5. Densidad del hormigón en estado fresco

Es la cantidad de peso por unidad de volumen, varía según la clase de agregados y con la forma de colocación en obra. [7] Es un índice de la uniformidad del hormigón durante su ejecución.

Tabla 19. Densidad en estado fresco de distintos hormigones

Tipo de Hormigón	Densidad (Kg/m ³)
Hormigones ligeros	200 a 1500
Hormigón simple	2200 a 2300
Hormigón armado	2400
Centrifugado	2400 a 2500
Proyectado	2500 a 2600
Pesados	5000

Fuente: Nelson Chughchilan

1.1.3.7.6. Densidad del hormigón en estado endurecido

La densidad se define como el peso por unidad de volumen en estado endurecido, depende de la densidad real y de la proporción en que participan cada uno de los materiales constituyente. Para hormigones convencionales su valor varía entre 2200 kg/m³ y 2400 kg/m³ experimentando ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera pudiendo representar una variación de 7% de su densidad inicial.

1.1.3.7.7. Resistencia a la compresión

Se define como el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la

rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión. [13]

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de encofrado o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

Por estas razones se deben tomar todas las medidas para que el proceso de fabricación de muestras sea lo más homogéneo posible siguiendo todas las indicaciones incluidas en normas. [5]

En la mayoría de los países la edad normativa en la que se mide la resistencia mecánica del concreto es la de 28 días, aunque existe la tendencia de medirlo a los 7 días. Las edades más usuales para medir la resistencia pueden ser 1, 3, 7, 14, 21, 90 y 360 días. La resistencia del concreto depende principalmente de la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: La resistencia de la pasta hidratada y endurecida, la resistencia de las partículas del agregado, la resistencia de la interface pasta-agregado.

Existen distintos factores que influyen en la resistencia mecánica del concreto como son: Contenido de cemento, Relación agua-cemento y contenido de aire, influencia de los agregados, tamaño máximo del agregado, fraguado del concreto y edad del concreto.

1.1.3.7.8. Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión del concreto es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el

Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios).

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%. [14]

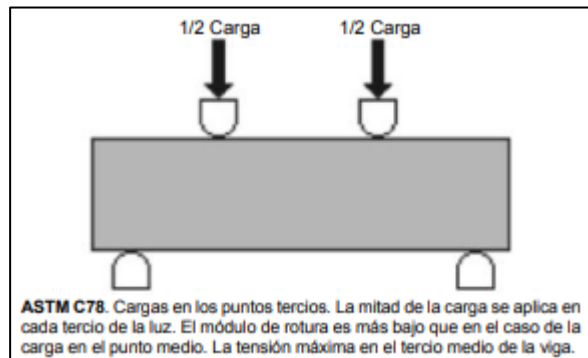


Figura 1. Esquema de ensayo a flexión de una viga

Fuente: ASTM C78

Las vigas probetas deben ser fabricadas adecuadamente en el campo. Las mezclas para pavimentos de concreto son secas, con asentamiento (revenimiento) de $\frac{1}{2}$ a $2\frac{1}{2}$ pulgadas (1,25 a 6,25 cm), se consolidan por vibración de acuerdo con la norma ASTM C31 y se golpean los laterales para liberar las burbujas de aire. Para asentamientos más altos, después de aplicarles golpes con varilla, se golpean los moldes para liberar las burbujas de aire y se agita o pincha a lo largo de los laterales para garantizar su consolidación. Nunca permita que se sequen las superficies de la viga en ningún momento.

Problemas con la flexión

Los ensayos de flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimientos de curado de las probetas. Las vigas son muy pesadas y pueden ser dañadas cuando se manipulan y transportan desde el lugar de trabajo hasta el laboratorio. Permitir que una viga se seque dará como resultado más bajas resistencias. Las vigas deben ser curadas de forma normativa, y ensayadas mientras se encuentren húmedas. Un período corto de secado puede producir una caída brusca de la resistencia a flexión. [14]

1.1.3.8. Hormigón Polimérico

El hormigón polimérico se obtiene cuando se sustituye de una manera total el ligante de cemento por un ligante exclusivamente polimérico. Normalmente como polímero se utiliza una resina de curado a temperatura ambiente. Las resinas poliméricas funcionan como catalizador y acelerador de la mezcla y pueden ser: poliéster, acrílicas, epóxicas o metacrilato. La parte mineral es la parte que compone la masa y suele ser arena,

marmolina, cuarzos, carbonatos de calcio o arenas sílicas.

En la actualidad el concreto polimérico se emplea en el área de la construcción para la elaboración de pisos industriales, mesones para baños y cocinas, saunas, tanques para almacenamiento de agua , tubería para aguas industriales, fosas colectoras, secciones estructurales en la industria minera, esculturas, ductos y elementos prefabricados; igualmente se usa en aplicaciones eléctricas tales como: aisladores para transmisión de alta tensión, soporte para aislamiento de bujes, núcleos sólidos para aislamiento, entre otras. [5]

El hormigón polimérico es en esencia una mezcla constituida por dos fases: una continua que es la resina y otra dispersa que es el árido. Unas de las ventajas principales de los hormigones polímeros son:

- Rapidez en el endurecimiento
- Alta rigidez estática y dinámica
- Facilidad de fabricación en formas complicadas sin necesidad de mecanizado
- Bajos coeficientes de dilatación y conductividad térmica
- Buenas propiedades mecánicas
- Buena absorción de vibraciones
- Facilidad para dar color a la masa
- Gran resistencia al impacto

Los principales problemas surgen por las propiedades visco-elásticas del polímero, lo que significa un módulo de elasticidad no demasiado alto. Presencia de fluencia y susceptibilidad a la temperatura. También se puede decir que puede verse afectado adversamente por la exposición a condiciones continuas de humedad. [15] [16]

La fabricación de estos materiales necesita de plantas muy equipadas, razón por la cual nunca será posible fabricar hormigón polímero in situ para una obra en concreto. Por ejemplo fabricar un suelo directamente. [15]

1.1.3.9. Resina de poliéster

Las resinas de poliéster son compuestos químicos termoplásticos derivados de la destilación del petróleo. Están clasificadas dentro de la familia de los plásticos, denominados técnicamente polímeros. Tienen una buena resistencia a la compresión térmica, mecánica y química.

La resina poliéster es el termoestable más utilizado para la formulación de materiales compuestos en el Ecuador. El poliéster se obtiene por la reacción de ácidos orgánicos disfuncionales con un alcohol disfuncional. Los ácidos utilizados incluyen maleico, fumárico, ftálico y tereftálico. Esta resina es muy versátil, de fácil manipulación, tiene amplia disponibilidad en el mercado y ofrece una excelente resistencia a la corrosión. La resina se solidifica mediante una reacción química inducida por un agente externo llamado curado. Para iniciar el curado se necesita la presencia de un catalizador y un acelerante, el acelerador promueve la descomposición del iniciador por la ruptura del enlace de peróxido para formar dos radicales libres. El curado de una resina de poliéster se inicia cuando se añade el iniciador, la velocidad de la reacción depende de la temperatura y la reactividad de la resina el catalizador. Se produce una reacción exotérmica que puede alcanzar una temperatura de 160°C. Durante este proceso se presentan 3 etapas: [17]

Gelificación: La resina pasa de un estado líquido viscoso a un gel blando.

Endurecimiento: La resina pasa de un gel blando a sólido.

Maduración: La resina adquiere todas sus propiedades mecánicas químicas.

Tabla 20. Propiedades mecánicas y físicas de varios tipos de resinas poliéster

Tipo de Poliéster	Ortoftálico de reactividad Alta
Resistencia a la tracción [Mpa]	54
Módulo de elasticidad [Gpa]	3.6
Deformación [%]	2
Resistencia a la compresión [Mpa]	130
Módulo a la compresión [Gpa]	3.7
Resistencia a la flexión [Mpa]	136
Módulo a la flexión [Gpa]	3.9
Máxima temperatura de uso [°C]	110
Dureza Barcol	48
Gravedad específica	1.21
Absorción de agua durante 24 horas [mg]	30

Fuente: Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación
 Autor: Ing. Héctor Guillermo Villacis Salazar

A continuación, se presenta las características y propiedades de la resina a utilizar en este trabajo experimental.

Descripción

Polylite 33200 comprende una serie de resinas poliéster no saturado, modificado con un sistema polimérico especial. Estas resinas son rígidas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad media y están pre aceleradas, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%. PolyLite 33200-01 es recomendada para trabajar en lugares de alta temperatura ambiente. [18]

Aplicaciones Sugeridas

- Fabricación de partes automotrices de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Fabricación de embarcaciones marinas.
- Aplicación con pistola de presión de aspersion, o por modelo manual.
- En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio.

Características Principales

- Excelente humectación de la fibra de vidrio.
- Excelente resistencia hidrolítica.
- Muy buena aceptación de cargas minerales.
- Exotermia moderada.
- Sin pegajosidad (tack) residual, con muy buena adherencia entre laminados.
- Resistencia superior en temperaturas moderadamente altas comparada contra resinas convencionales de usos generales.
- Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial, minimizando el fotografiado de la fibra de vidrio sobre el gel coat.
- Rápido ciclos de curado.
- Cumple con la Norma FMVSS 302 de inflamabilidad para vehículos y autobuses de pasajeros.

Tabla 21. Propiedades típicas de resina líquida

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	58 - 63	RQMPEA 0041
Número ácido en solución (máximo)	mgKOH/ g muestra	25	RQMPEA 0026
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	300 - 400	RQMPEA 0002
Índice de Tixotropía (3/6) / (3/60) (mínimo)	s/u	2.7	RQMPEA 0006
Estabilidad @ 105°C	horas	4	RQMPEA 0118
Tiempo de vida mínima en almacenamiento	meses	3	

Fuente: Especificaciones de catálogo PolyLite 33200

Tabla 22. Propiedades típicas de resina líquida

Propiedades	Unidades	Especificaciones		Métodos de Análisis
		Polylite 33200-01	Polylite 33200-25	
Color resina líquida	s/u	NA	Gris-azul oscuro	RQMPEA 0019
Tiempo de gelado	minutos	15 – 18	20 – 30	RQMPEA 0066
Temperatura de exotermia	°C	140 – 170	Registro	RQMPEA 0066
Tiempo de curado	minutos	21 – 35	Registro	RQMPEA 0066

*100 g de resina + 1ml de MEKP (Butanox M-50) @25°C

Fuente: Especificaciones de catálogo PolyLite 33200

Tabla 23. Propiedades Físicas de resina líquida

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	40	ASTM D 2583-95
HDT (Heat Distortion Temperature)	°C	73.5	ASTM D 648-01
Absorción de agua			
2hrs @ 100°C	%	0.9142	ASTM D 570-98
24hrs @ 23°C	%	0.1770	
Resistencia a la flexión	Psi	12097.9	ASTM D 790-00
Módulo de flexión	kPsi	587.2	ASTM D 790-00
Resistencia a la tensión	Psi	5654.7	ASTM D 638-01
Módulo de tensión	kPsi	501.9	ASTM D 638-01
Elongación hasta ruptura	%	1.2	ASTM D 638-01

Fuente: Especificaciones de catálogo PolyLite 33200

Condiciones de curado

Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina. Se puede curar a temperatura ambiente durante la noche o aplicar un pos curado de 2-4 horas a 60°C. Niveles de peróxido debajo de 0.8% resultan en largo gelado y curado, por lo que no se recomiendan. [18]

Almacenamiento

Para asegurar una máxima estabilidad y mantener las propiedades óptimas de la resina PolyLite 33200, esta deberá ser almacenada en tambores cerrados, manteniéndolos por debajo de los 25°C (77°F), lejos de fuentes de calor y luz solar.

Todo almacén deberá cumplir con los códigos locales de incendios y construcciones. Los tambores en existencia deberán ser almacenados lejos de toda fuente de flama y combustión. Los niveles de inventario deberán guardar un mínimo razonable, con una política de inventarios de primeras entradas – primeras salidas. [18]

Para el proyecto experimental se utilizó la resina PolyLite 33200. Estas resinas son rígidas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad media y están pre aceleradas, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%.

Aplicaciones Sugeridas

- Fabricación de partes automotrices de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Fabricación de embarcaciones marinas.
- Aplicación con pistola de presión de aspersion, o por modelo manual.
- En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio.

Características Principales

- Excelente humectación de la fibra de vidrio.
- Excelente resistencia hidrolítica.
- Muy buena aceptación de cargas minerales.
- Exotermia moderada.
- Sin pegajosidad (tack) residual, con muy buena adherencia entre laminados.
- Resistencia superior en temperaturas moderadamente altas comparada contra resinas convencionales de usos generales.
- Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial, minimizando el fotografiado de la fibra de vidrio sobre el gel coat.
- Rápido ciclos de curado.

1.1.3.10. Módulo de Ruptura

En este punto se realiza la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de las vigas, analizando la carga máxima soportada, las deformaciones máximas y el módulo de ruptura de las vigas ensayadas.

El punto de comparación a utilizar con respecto a las otras vigas con resina es el módulo de ruptura, con el cual podremos verificar significativamente el incremento proporcionado por la resina.

Cálculo del módulo de ruptura

Existen dos formas de realizar este cálculo dependiendo el tipo de falla por flexión que produzca este ensayo:

- a. Si la falla a flexión se ejecuta en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la viga se aplica la ecuación.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

- b. Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera.

$$MR = \frac{3 * P * a}{b * d^2}$$

Donde:

a: Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm.

En el caso del presente trabajo la falla por flexión se produjo en el tercio medio por lo que para el cálculo se realizó con la ecuación 1, obteniéndose de esta manera el módulo de rotura.

1.1.3.11. Momento Curvatura

1.1.3.11.1. Límites de deformación para el análisis Momento - Curvatura

Fluencia: El límite de deformación se toma cuando existe la primera fluencia en el acero de refuerzo trabajando en tracción ($\xi_s = 0.002$) [19]

Límite de Servicio en Compresión: El límite de deformación debe ser una estimación conservadora de la deformación cuando inicia el desprendimiento. Bajo este límite no es necesario reparar lo cual es compatible con el criterio de desempeño para el límite de servicio. Una deformación del concreto de ($\xi_s = 0.004$) es un límite conservador que está bajo el desprendimiento. [19]

Límite de Servicio en Tensión: Varios análisis realizados indican que para elementos estructurales que soportan cargas axiales una deformación máxima del acero de ($\xi_s = 0.015$) durante la respuesta sísmica corresponde a grietas residuales de un ancho de 1mm, y para miembros que no soportan carga axial es apropiado tomar una deformación pico de de ($\xi_s = 0.010$) . Una grieta residual de 1mm de espesor no necesita ninguna acción remedial en ambientes normales. [19]

Control de Daño en Compresión: El límite de deformación del concreto confinado para este nivel de daño se toma cuando se produce la fractura del estribo, deformación que puede ser estimada con la siguiente expresión. [19]

$$\xi_c = 0.004 + 1.4 \frac{Pv * f_y h * \xi_{su}}{f'_{cc}}$$

Donde:

ξ_c : Deformación unitaria del concreto confinado

P_v : Relación volumétrica del acero transversal

F_{yh} : Límite de fluencia del acero de confinamiento

ξ_{su} : Deformación última del acero

f'_{cc} : Esfuerzo de compresión del hormigón confinado

Control de Daño en Tensión: El nivel de deformación dependerá de la relación volumétrica y el espaciamiento longitudinal del refuerzo transversal. Finalmente, el deslizamiento entre el acero de refuerzo y el concreto en la sección crítica, y los efectos de cambio de tensión resultan en deformaciones más bajas que las pronosticadas por la hipótesis de “secciones planas”. Basados en estas consideraciones, la curvatura de la sección analizada debe basarse en una deformación del acero de ($\xi_s = 0.6\xi_{su}$) [19]

Límite de Deformación Último: Se produce cuando la sección ya no es capaz de soportar carga gravitacional, la sección se ve afectada por la disminución de su resistencia en más del 20% de la resistencia máxima lograda. Ocurre cuando el acero llega a una deformación de ($\xi_{su} = 0.09$) [19]

1.1.3.11.2. Curvatura

Es la relación entre la deformación específica del concreto y la distancia desde la fibra más comprimida del concreto al eje neutro, correspondiente a dicha deformación.

$$\Phi = \frac{\xi_c}{c}$$

Donde:

Φ : Curvatura

ξ_c : Deformación específica del concreto

c : Distancia desde la fibra más comprimida del concreto al eje neutro

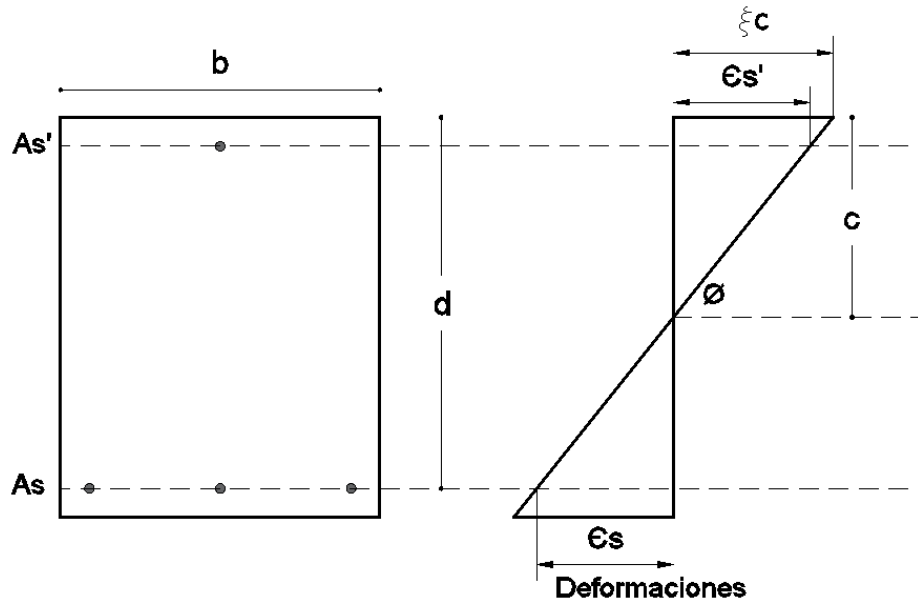


Figura 2. Representación gráfica de la curvatura de una sección de Hormigón Armado

Fuente: Medina, W. “Guía de Diseño de Hormigón Armado”

1.1.3.11.3. Diagrama Momento - Curvatura

Se realiza para saber cuál es la capacidad de ductilidad de curvatura y la máxima capacidad a flexión de los elementos estructurales, para luego hacer una comparación entre estos valores y las demandas obtenidas en el diseño sismo-resistente de una estructura. En el análisis no lineal, es fundamental conocer la relación $M-\emptyset$ para encontrar la rigidez de cada una de las ramas del diagrama histerético que se utiliza para definir la no linealidad del material. La relación $M-\emptyset$ es la base del análisis no lineal dinámico y del análisis no lineal estático. [19]

1.1.3.11.4. Aplicaciones de la relación Momento – Curvatura

1.1.3.11.4.1. Ductilidad por curvatura

En general, la ductilidad se puede definir como la propiedad de los materiales de experimentar deformaciones sin llegar a romperse debida a la aplicación de una carga mantenida en el tiempo. Desde un punto vista estructural, un elemento estructural dúctil es aquel que ha sido diseñado intencionadamente para admitir

deformaciones inelásticas tras muchos ciclos de carga debidos a la acción sísmica, sin que esto implica una degradación significativa ni de su resistencia ni de su rigidez. La ductilidad local o ductilidad a nivel de sección se determina mediante un diagrama momento curvatura, siendo esta el coeficiente entre el valor de curvatura última y el de curvatura en el momento de la primera plastificación de la armadura. Un diagrama momento-curvatura se debe basar en el comportamiento lo más real posible de los materiales que constituyen la sección. [20]

La ductilidad del elemento se mide por medio de la relación Momento-Curvatura calculando la razón de ductilidad de curvatura:

$$\mu_y = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

Donde.

μ_y : Ductilidad de curvatura

ϕ_u : Curvatura última

ϕ_y : Curvatura cedente

Este parámetro (razón de ductilidad de curvatura), en definitiva, determina la capacidad de rotación plástica (θ_p) frente a un incremento de momentos flectores, caso que se presenta en un sismo. Los gráficos Momento-Curvatura de una sección transversal de columna de concreto reforzado alcanzan su importancia al ser una forma de observar el desempeño de dicho elemento y de medir su ductilidad cuando esté sujeto a cargas, en este caso momentos flectores que se incrementan hasta llegar a la falla, combinados con cargas axiales [19]

1.1.3.11.4.2. Diagramas esfuerzo deformación de los materiales

Se utilizará modelos complejos como el propuesto por Mander para el hormigón tanto confinado como no confinado, y un modelo del acero que contemple endurecimiento post fluencia con el cual se encontrarán valores más altos de ϕ_u que serán más cercanos a la realidad. [19]

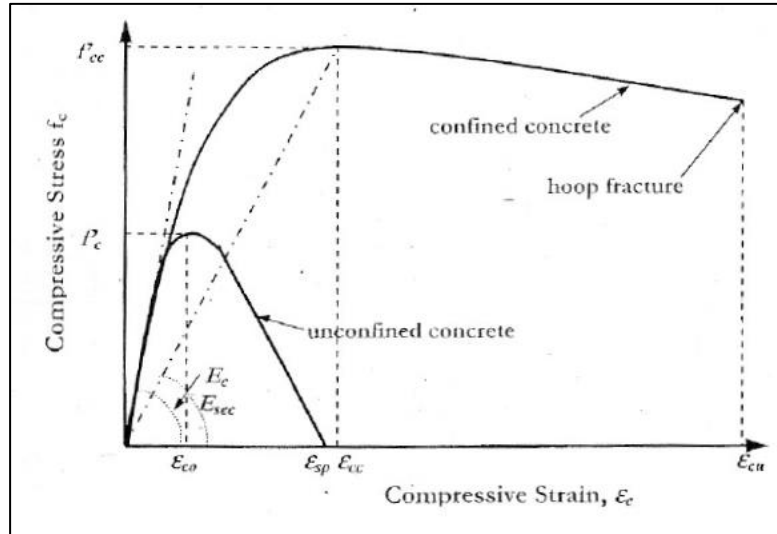


Figura 3. Modelo de Mander $\sigma - \xi$ para concreto confinado y no confinado
 Fuente: PRIESTLEY "Displacement-Based Seismic Design of Structures"

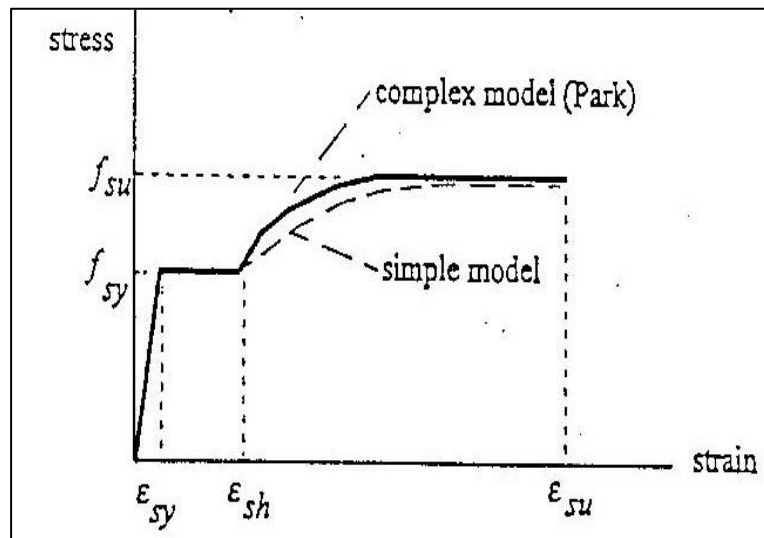


Figura 4. Modelo de Park $\sigma - \xi$ del acero
 Fuente: PRIESTLEY "Displacement-Based Seismic Design of Structures"

1.1.4. Hipótesis

Hi: Hipótesis Alternativa **Ho:** Hipótesis Nula

Hi: Existe una variación apreciable en la resistencia a flexión de vigas convencionales comparado con vigas reforzadas con resina poliéster líquida

Ho: No existe una variación apreciable en la resistencia a flexión de vigas convencionales comparado con vigas reforzadas con resina poliéster líquida

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Experimentar y realizar un estudio comparativo de la resistencia a flexión de vigas convencionales con vigas reforzadas con resina poliéster líquida

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar vigas de hormigón armado tradicional y ensayarlas a flexión
- Medir la resistencia a la flexión de vigas reforzadas con resina poliéster líquida

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.

2.1. Nivel de Investigación

Los tipos de investigación que se emplearán en esta tesis son del tipo: exploratoria y descriptiva, experimental y de laboratorio. Se detallan a continuación.

2.1.1. Investigación exploratoria

Es de carácter Exploratoria porque las condiciones que abarca aun no son determinantes, debido a que no se conoce los resultados que se van a tener en el análisis comparativo de la resistencia a flexión entre las vigas de hormigón armado comunes y las vigas compuestas con resina. Este tipo de investigación aporta al planteamiento del problema, formulación de hipótesis de la investigación de mayor rigor científico.

2.1.2. Investigación descriptiva

Es de carácter descriptiva porque se va a detallar el efecto que produce la incorporación de la resina líquida al hormigón en comparación con un hormigón convencional detallando como es y cómo se manifiesta el comportamiento con el ensayo a flexión.

2.1.3. Investigación Experimental

Es una investigación experimental ya que es una realidad que no existe en el presente ámbito constructivo pero que puede existir en el futuro. Desde hace varios años el hormigón ha sido elaborado con su parte de relleno (arena y ripio) y de su parte de pasta o matriz (agua y cemento), sin haber grandes cambios más que el empleo de aditivos para adecuar al concreto a ambientes o situaciones específicas, pero aún con limitaciones. Es por esta razón que se experimentará con la adición de resina de

poliéster como aglomerante en lugar del cemento y se verificará que resistencia a flexión puede resultar con una cantidad óptima de polímero.

2.1.4. Investigación de laboratorio

Es una investigación de laboratorio ya que se realizará en un ambiente controlado, en este caso la recolección de información para desarrollar trabajo investigativo se realizará en el laboratorio de ensayo de materiales, se trabajará con probetas de hormigón polimérico y se las someterá a ensayos de. Los ensayos se realizarán bajo las respectivas normas INEN y ASTM según corresponda.

2.1.5. Población

El presente estudio tiene como población a los hormigones convencionales de resistencia 210, 240 y 280 kg/cm² y hormigones con la inclusión de la resina líquida, material que es elaborado con procesos químicos, siendo en este caso la resina líquida Polylyte 33200 la más favorable para realizar la investigación.

2.1.6. Muestra

Se tomó distintos pesos de los materiales dependiendo de la dosificación calculada para cada resistencia del hormigón tanto para el ensayo a compresión de los cilindros (9 cilindros por cada resistencia) y para el ensayo a flexión de las vigas (3 vigas por cada resistencia).

Tabla 24. Muestras de elementos

CILINDROS	NÚMERO
Cilindros para ensayos a compresión	27
VIGAS	
Vigas de hormigón convencional	9
Vigas con resina líquida	9

Fuente: Nelson Chugchilan

2.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados en el desarrollo de esta tesis se detallan a continuación.

Tabla 25. Materiales utilizados

ENSAYO	MATERIALES	NORMATIVA
Ensayo de Granulometría para agregado fino y grueso	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua ➤ Grava 	NTE INEN 696
Densidad de los agregados	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua ➤ Arena ➤ Grava 	NTE INEN 858 ASTM C127 – ASTM C128
Ensayo de compresión del concreto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua ➤ Arena ➤ Grava ➤ Cemento 	INEN 1576 – ASTM C31 y C39
Ensayo de flexión del concreto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua ➤ Arena ➤ Grava ➤ Cemento ➤ Resina poliéster ➤ Acero de refuerzo $\phi 10$ y $\phi 8$ 	ASTM C78
Ensayo del cono de Abrams	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua ➤ Arena ➤ Grava ➤ Cemento 	INEN 1578 – ASTM C143

Fuente: Nelson Chughilan

Tabla 26. Equipos utilizados

ENSAYO	NOMBRE DE EQUIPO	CODIGO	UBICACIÓN	MODELO	FABRICANTE	VOLTAJE	POTENCIA	ESTADO	NORMATIVA
Ensayo de Granulometría para agregado fino y grueso	Balanza mecanica	3643285	Lab. de Suelos	808-02	OHAUS	No aplica	No aplica	Bueno	NTE INEN 696
	Juego de Tamices	S/N	Lab. de Suelos	S/N	HUMBOLDT	No aplica	No aplica	Bueno	
	Recipientes metálicos	S/N	Lab. de Suelos	S/N	S/N	No aplica	No aplica	Bueno	
	Tamizadora	5651286	Lab. de Suelos	15-D0407/BZ	CONTROLS	110/220V	400 W aprox.	Bueno	
Densidad de los agregados	Recipiente de medida metálico	S/N	Lab. de Suelos	S/N	PLAPASA	No aplica	No aplica	Bueno	NTE INEN 858
	Varilla de compactación	S/N	Lab. de Suelos	S/N	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Regular	
	Balanza de presicion	1000G	Lab. de Suelos	5161 0,1G	LAB-COMERCIAL	110/220V	1000 g	Bueno	
	Canastilla metalica	S/N	Lab. de Suelos	S/N	S/N	No aplica	No aplica	Regular	
	H3381 PICNOMETROS	S/N	Lab. de Suelos	S/N	HUMBOLDT	No aplica	No aplica	Regular	
	Herramientas menores	S/N	Lab. de Suelos	S/N	stanley	No aplica	No aplica	Regular	
Ensayo de compresión del concreto	Maquina universal de compresión		Lab. de Suelos						INEN 1576 – ASTM C31 y C39
	Cilindros metálicos	S/N	Lab. de Suelos	2019	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Bueno	

	Concretera	1600	Lab. de Suelos	2018	SECONSTRU	No aplica	13 HP	Bueno	
	Herramientas menores	S/N	Lab. de Suelos	S/N	stanley	No aplica	No aplica	Regular	
Ensayo de flexión del concreto	Equipo para pruebas de Flexión de Vigas de Concreto		Lab. GADMA					Bueno	ASTM C78
	Cilindros metálicos	S/N	Lab. de Suelos	2019	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Bueno	
	Concretera	1600	Lab. de Suelos	2018	SECONSTRU	No aplica	13 HP	Bueno	
	Herramientas menores	S/N	Lab. de Suelos	S/N	stanley	No aplica	No aplica	Regular	
Ensayo del cono de Abrams	Cono de Abrams	S/N	Lab. de Suelos	S/N	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Regular	INEN 1578 – ASTM C143
	Varilla metálica punta redondeada	S/N	Lab. de Suelos	S/N	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Regular	
	Bandeja metálica	S/N	Lab. de Suelos	S/N	SECONSTRU	No aplica	No aplica	Bueno	
	Herramientas menores	S/N	Lab. de Suelos	S/N	stanley	No aplica	No aplica	Regular	

Fuente: Ficha técnica de los equipos de Laboratorios de Suelos

2.3. Métodos

2.3.1. Plan de recolección de datos

Tabla 27. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICA	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Para determinar un porcentaje de resina de poliéster en un concreto polimérico para alcanzar una alta resistencia a la flexión.
¿A quiénes?	De 27 probetas cilíndricas de concreto polimérico elaboradas hormigón convencional, y 6 vigas elaboradas con hormigón y resina líquida
¿Sobre qué aspectos?	Sobre la mejora en resistencia a flexión de las probetas
¿Quién?	El Sr. Nelson Hermógenes Chugchilan Chimborazo, autor del presente trabajo experimental y el Ing. Mg. Carlos Navarro
¿Cuándo?	Ensayos de laboratorio del 15 noviembre – 2019 al 15 de febrero de 2020. Procesamiento y análisis de información desde febrero - abril de 2020.
¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 28. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS BÁSICA	EXPLICACIÓN
¿Técnicas de recolección?	<p>Siguiendo la siguiente normativa:</p> <p>NTE INEN 696 “Práctica para determinar la granulometría de agregados fino y grueso”</p> <p>NTE INEN 858 “Práctica para determinar la densidad de agregados fino y grueso”</p> <p>INEN 1578 – ASTM C143 “Práctica para determinar la consistencia del hormigón ensayo de cono de Abrams”</p> <p>ASTM C31 “Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”</p> <p>ASTM C470 “Especificación estándar para moldes para elaborar cilindros de concreto para ensayo”</p> <p>ASTM C172 “Práctica Normalizada para Muestreo de Concreto Recién Mezclado”</p> <p>INEN 1763 “Hormigón de cemento hidráulico muestreo”</p> <p>ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”</p> <p>ASTM C78 “Método estándar de prueba de resistencia a la flexión de probetas de concreto”</p>

Fuente: Nelson Chughilan

Básicamente para el ensayo a flexión de las vigas se divide en 3 fases las mismas que son:

Fase 1. Elaboración de probetas para ensayo de compresión

En primera instancia se procederá a determinar la dosificación de los agregados para la elaboración del hormigón juntamente con la resina poliéster, la cantidad de acero a utilizar en el armado de la viga dependerá del diseño sismo resistente.

Se realizarán tres tipos de dosificaciones, una dosificación para un hormigón de 210 kg/cm², un hormigón de 240 kg/cm² y un hormigón de 280 kg/cm², cada uno con un porcentaje de resina poliéster líquida.

➤ **Probetas cilíndricas metálicas**



Figura 5. Probetas cilíndricas metálicas
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Pesaje de Cemento

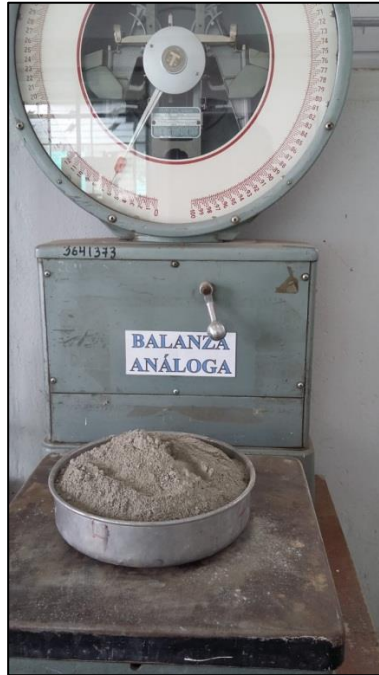


Figura 6. Pesaje del cemento
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Pesaje de agregados



Figura 7. Pesaje del agregado grueso y fino
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Probetas cilíndricas metálicas

Se inicia preparación, limpieza y frotación de aceite quemado en el interior del encofrado para que no exista ninguna adherencia del hormigón al momento del desencofrado.



Figura 8. Engrasado de los cilindros

Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Fundición del hormigón

Luego de tener los materiales ya pesados con dosificación ya calculadas anteriormente en el laboratorio para un hormigón de 240kg/cm^2 , procedemos a fundir con la ayuda de la concretera.



Figura 9. Fundición del hormigón en la concretera

Fuente: Nelson Chugchilan

- Pesaje de las muestras cilíndricas en estado fresco

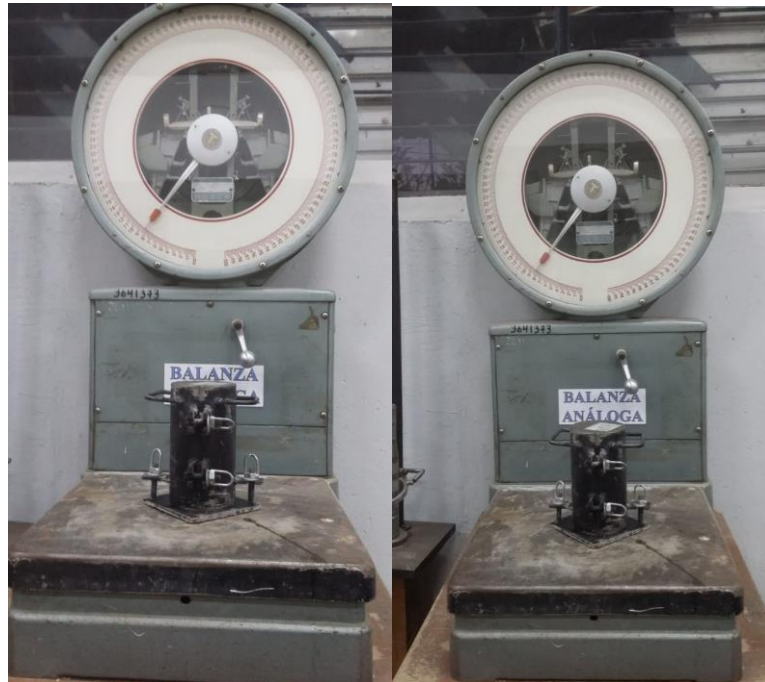


Figura 10. Pesaje de los cilindros con la mecla fresca
Fuente: Nelson Chugchilan

- Almacenar en la cámara de curado



Figura 11. Almacenamiento en la cámara de curado
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Desencofrado de probetas

Después de haber dejado transcurrir 48 horas de la fundición de las probetas y haber dejado reposar en un espacio óptimo se procede a desencofrar.

➤ Curado de probetas

De acuerdo a la norma ASTM C31 para obtener mejores resultados se los procede a curar introduciéndolas en agua (cámara de curado), las cuales se las dejo curar durante 7, 14 y 28 días en los cuales alcanzará su máxima resistencia.

Fase 2. Elaboración de vigas para ensayo a flexión

Se elaboraron vigas de 75 x 15 x 15 cm de concreto armado con 4 varillas corrugada de N°10, con estribos del N°8 separados cada 15cm colocados de acuerdo con la Figura.

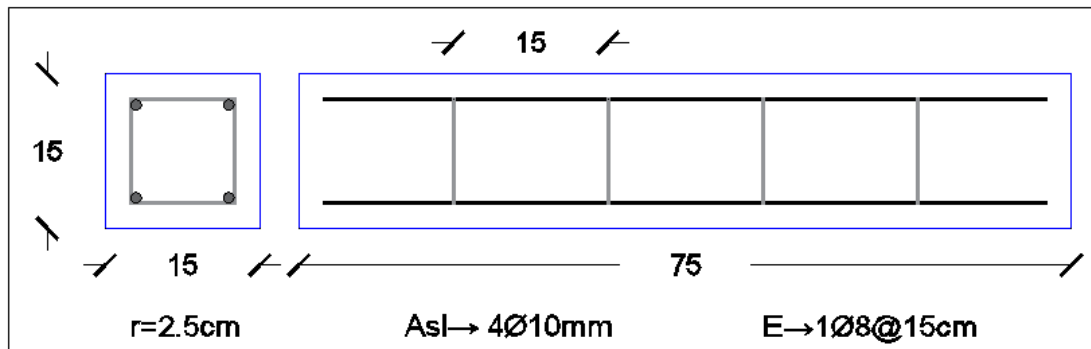


Figura 12. Esquema de colocación de aceros en viga
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Preparación de encofrados metálicos



Figura 13. Preparación de encofrados metálicos
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Pesaje de los materiales

Se procederá de igual manera a pesar las cantidades exactas de materiales calculados de cemento, arena y ripio para cada una de las dosificaciones.

➤ Fundición de vigas

Se fundirá el hormigón de la misma manera con la concreteira. Se le coloca una capa de hormigón de aproximadamente 3cm, sobre la cual se procede a colocar el armazón de la viga.



Figura 14. Colocación del hormigón en la viga
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Desencofrado de vigas

Después de haber dejado transcurrir 48 horas de la fundición de las vigas y haber dejado reposar en un espacio óptimo se procede a desencofrar.



Figura 15. Esquema de colocación de aceros en viga
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Curado de vigas

De acuerdo a la norma ASTM C31 para obtener mejores resultados se los procede a curar introduciéndolas en agua (cámara de curado), las cuales se las dejo curar durante 28 días en los cuales alcanzará su máxima resistencia.



Figura 16. Curado de las vigas
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Ensayo a flexión

Pasado el tiempo de curado de las probetas elaboradas, se procederá a realizar el ensayo a flexión y el análisis comparativo de las resistencias obtenidas en cada una de las probetas.

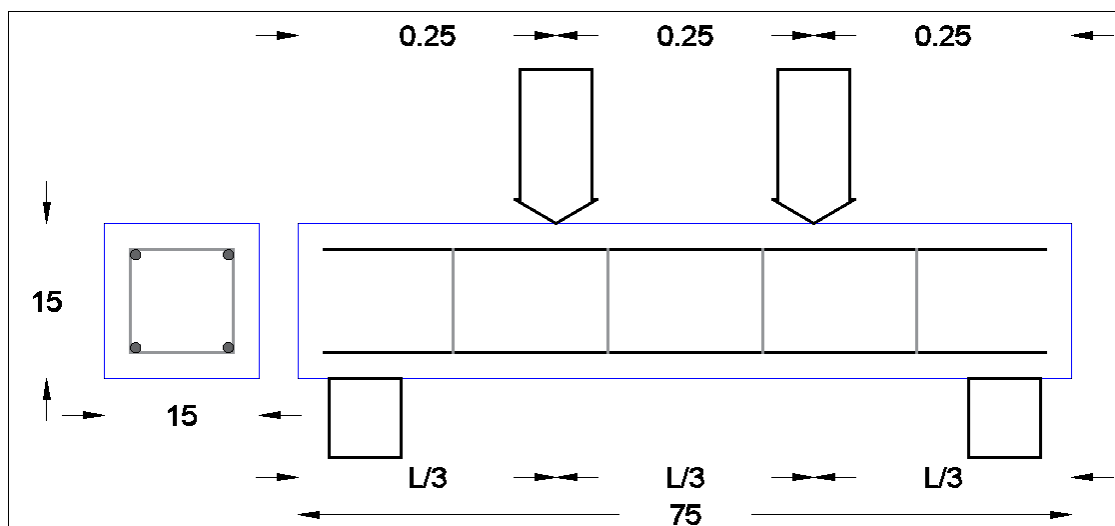


Figura 17. Representación esquemática y sección transversal de la viga bajo carga.
Fuente: Nelson Chugchilan

Fase 3. Elaboración de vigas con resina para ensayo a flexión

Se realizará el mismo procedimiento de la fase 2 a excepción que estas será vigas de resina líquida + agregado grueso + acero de refuerzo, es decir el porcentaje de agua+cemento+arena será remplazado por la resina.

Se elaboraron vigas de 75 x 15 x 15 cm de hormigón polimérico con 4 varillas corrugada de N°10, con estribos del N°8 separados cada 15cm colocados de acuerdo con la Figura.

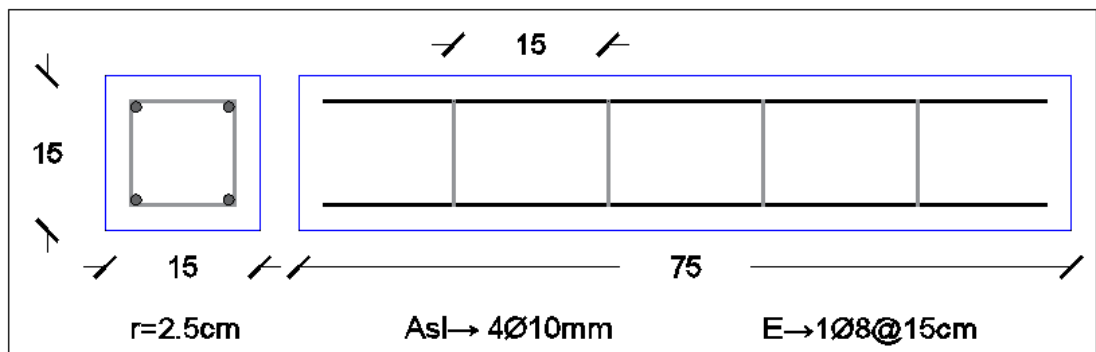


Figura 18. Esquema de colocación de aceros en viga

Fuente: Nelson Chugchilan

- Tamizado y lavado de ripio triturado 3/4"



Figura 19. Tamizado y lavado de material pétreo

Fuente: Nelson Chugchilan

- Secado de material pétreo (“ripio”)



Figura 20. Secado de material pétreo
Fuente: Nelson Chugchilan

- Pesado de material pétreo de acuerdo a la dosificación mencionada en el capítulo anterior.



Figura 21. Pesado de material pétreo
Fuente: Nelson Chugchilan

- Pesado de resina poliéster.



Figura 22. Pesado de resina poliéster
Fuente: Nelson Chugchilan

- Preparación de encofrados metálicos, sellado de aberturas con silicona.



Figura 23. Preparación de encofrados metálicos
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Mezclado del hormigón polimérico.

Se realizará una mezcla homogénea y rápida del hormigón polimérico, de acuerdo a la dosificación indicada con sus medidas en kg.



Figura 24. Mezclado del hormigón polimérico
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Fundición de vigas de hormigón polimérico.

Se fundirá el hormigón polimérico. Se le coloca una sola capa de hormigón polimérico, debido a su rápido endurecimiento de acuerdo a la reacción química creada por el MEG.



Figura 25. Fundición de vigas de hormigón polimérico
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Desencofrado de vigas

Después de haber dejado transcurrir 48 horas de la fundición de las vigas y haber dejado reposar en un espacio óptimo se procede a desencofrar.



Figura 26. Desencofrado de vigas.
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Curado de vigas

Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina. Se puede curar a temperatura ambiente durante la noche o aplicar un pos curado de 24-48 horas a 60oC.



Figura 27. Curado de las vigas
Fuente: Nelson Chugchilan

➤ Ensayo a flexión

Pasado el tiempo de curado de las probetas elaboradas, se procederá a realizar el ensayo a flexión y el análisis comparativo de las resistencias obtenidas en cada una de las probetas.



Figura 28. Representación gráfica y sección transversal después de dar carga a la viga.

Fuente: Nelson Chugchilan

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

Cantidad de material para ensayo de resistencia a compresión

Con esas dosificaciones se elaboraron 27 probetas cilíndricas de diámetro 10mm y altura de 20mm, distribuidas en 9 probetas por cada resistencia de 210, 240 y 280 kg/cm² y para los 7, 14 y 28 días de ensayo. La elaboración de la mezcla se la realizó con una concretera por lo tanto se consideró un 15% de desperdicio.

Tabla 29. Cantidad de material para probetas a compresión $f'c=210\text{Kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA CILINDROS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 210Kg/cm²	
Material	Cantidad en Kg para las 9 probetas de hormigón
W	3.42
C	5.14
A	13.71
R	15.50

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 30. Cantidad
probetas a
 $f'c=240\text{Kg/cm}^2$

de material para
compresión

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA CILINDROS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 240Kg/cm²	
Material	Cantidad en Kg para las 9 probetas de hormigón
W	3.42
C	5.49
A	13.42
R	15.50

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 31. Cantidad de material para probetas a compresión $f'c=280\text{Kg}/\text{cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA CILINDROS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 280kg/cm²	
Material	Cantidad en Kg para las 9 probetas de hormigón
W	3.42
C	6.03
A	12.97
R	15.50

Fuente: Nelson Chugchilan

Cantidad de material en muestra patrón para ensayo de resistencia a flexión

Con las dosificaciones se elaboraron 9 probetas de hormigón armado de 15cm x 15cm de sección y longitud de 75cm, distribuidas en 3 probetas por cada resistencia de 210, 240 y 280 kg/cm² para los 28 días de ensayo. La elaboración de la mezcla se la realizó con una concretera por lo tanto se consideró un 15% de desperdicio.

Tabla 32. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=210\text{Kg}/\text{cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 210Kg/cm²	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón
W	11.93
C	17.92
A	47.81
R	54.03

Fuente: Nelson Chugchilan

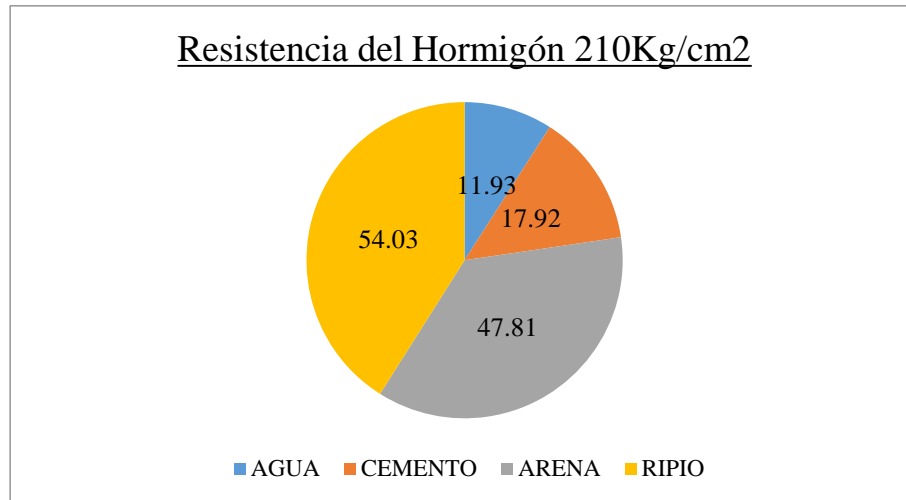


Figura 29. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=210Kg/cm^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Tabla 33. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=240Kg/cm^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 240Kg/cm²	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón
W	11.93
C	19.13
A	46.80
R	54.03

Autor: Nelson Chugchilan

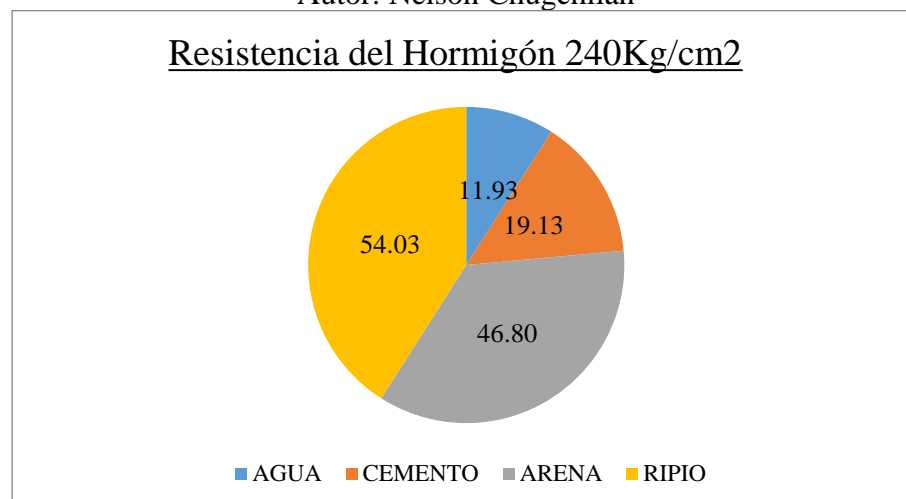


Figura 30. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=240Kg/cm^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Tabla 34. Cantidad de material para vigas a flexión $F'c=280\text{Kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 280Kg/cm^2	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón
AGUA	11.93
CEMENTO	21.01
ARENA	45.23
RIPIO	54.03

Autor: Nelson Chugchilan

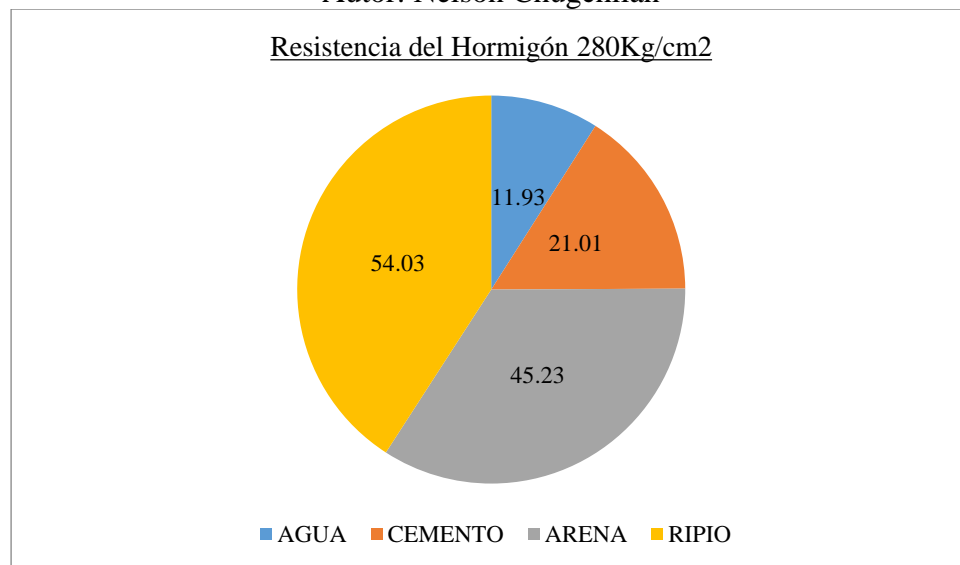


Figura 31. Diagrama de cantidad de material para vigas a flexión $F'c=280\text{Kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

3.1.1. Proporción de remplazo para ensayo de resistencia a flexión (Vigas con resina)

Con las dosificaciones se elaboraron 9 probetas de hormigón polímero de $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ de sección y longitud de 75cm , distribuidas en 3 probetas por cada resistencia de 210, 240 y 280 kg/cm^2 para los 28 días de curado. La elaboración de la mezcla se la realizó por motivos experimentales utilizando el acero de refuerzo, agregado grueso y resina líquida (Polylite 33200), debido a que la resina individualmente presenta un alto resistencia a la flexión de 850 kg/cm^2 aproximadamente según los catálogos del fabricante. Y el hormigón convencional presenta de una resistencia a la flexión de 10 a 15% $f'c$. Por lo tanto, se ha optado por esta variante de resina líquida y grava para analizar sus resultados y comportamiento. Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina para su respectivo curado.

Tabla 35. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=210\text{kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón polímero
RESINA	25
RIPIO	48
MEG	0.17

Autor: Nelson Chugchilan

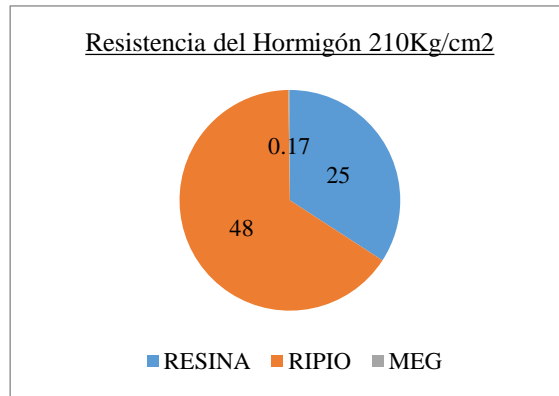


Figura 32. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina

Autor: Nelson Chugchilan

Tabla 36. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=240\text{kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón polímero
RESINA	25
RIPIO	51
MEG	0.17

Autor: Nelson Chugchilan

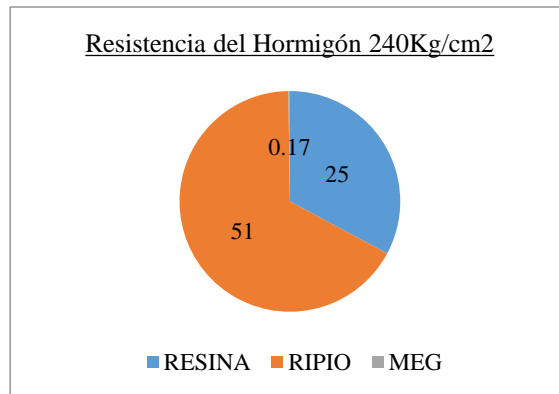


Figura 33. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina
 Autor: Nelson Chugchilan

Tabla 37. Cantidad de material para vigas a flexión con resina $f'c=280\text{kg/cm}^2$

DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN PARA VIGAS A UNA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	
Material	Cantidad en Kg para las 3 vigas de hormigón polímero
RESINA	25
RIPIO	54.03
MEG	0.17

Fuente: Nelson Chugchilan

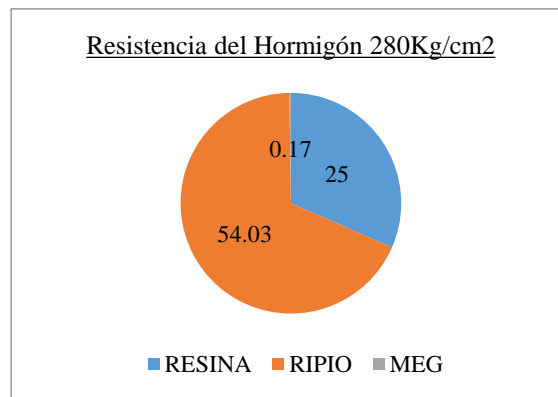


Figura 34. Diagrama de cantidad de material para vigas con resina
 Fuente: Nelson Chugchilan

3.1.2. Resultados probetas cilíndricas a compresión

Al realizar los ensayos de las probetas cilíndricas a compresión se evidenció que la dosificación es la correcta ya que alcanzaron la resistencia esperada.

Ensayo a los 7 días

Se realizó el promedio de cada una de las probetas de 210Kg/cm^2 , en las siguientes gráficas se muestran los resultados.

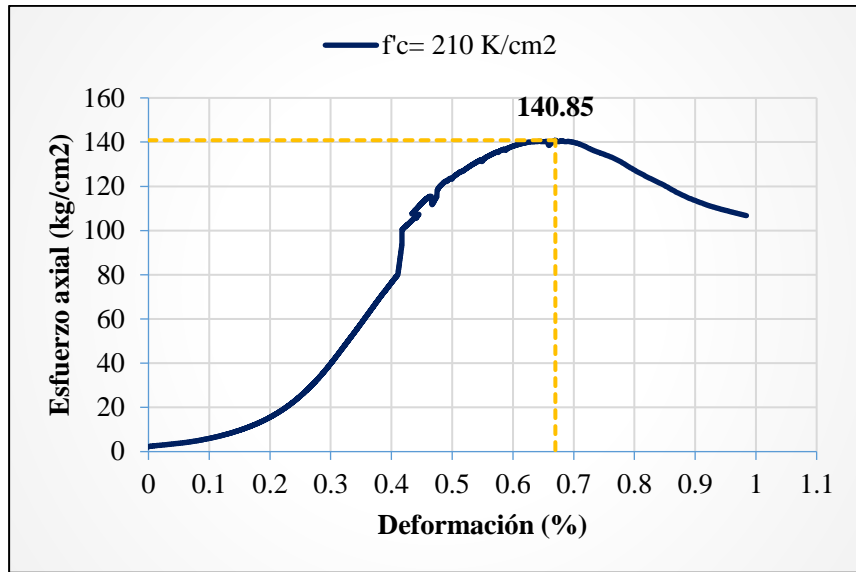


Figura 35. Resultado de compresión de probeta $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 140.85 kg/cm^2 . Correspondiente al 67.1% de la resistencia 210 kg/cm^2

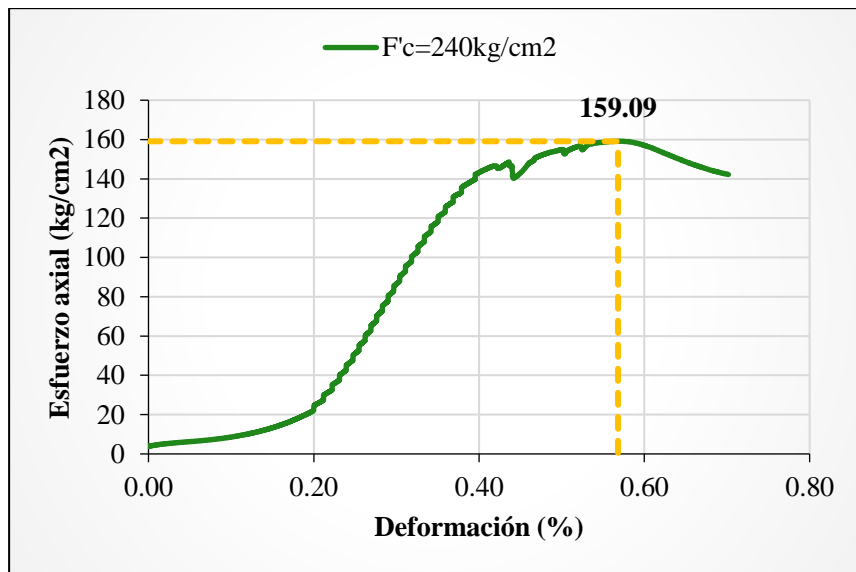


Figura 36. Resultado de compresión de probeta $F'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 159.09 kg/cm^2 . Correspondiente al 66.30% de la resistencia 240 kg/cm^2

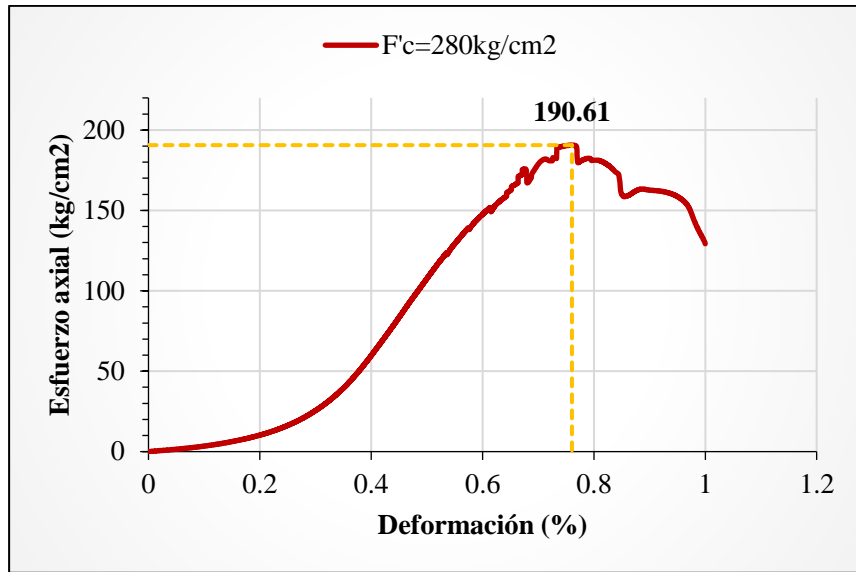


Figura 37. Resultado de compresión de probeta $F'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 190.61 kg/cm^2 . Correspondiente al 68.1% de la resistencia 280 kg/cm^2

Ensayo a los 14 días

Se realizó el promedio de cada una de las probetas de 240 Kg/cm^2 , en las siguientes gráficas se muestran los resultados.

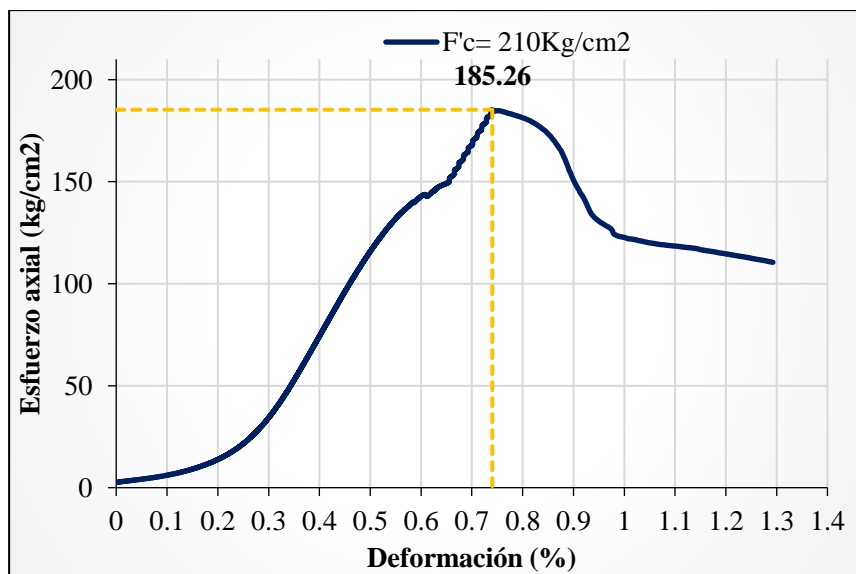


Figura 38. Resultado de compresión de probeta $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 14 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 185.26 kg/cm². Correspondiente al 88.22% de la resistencia 210 kg/cm²

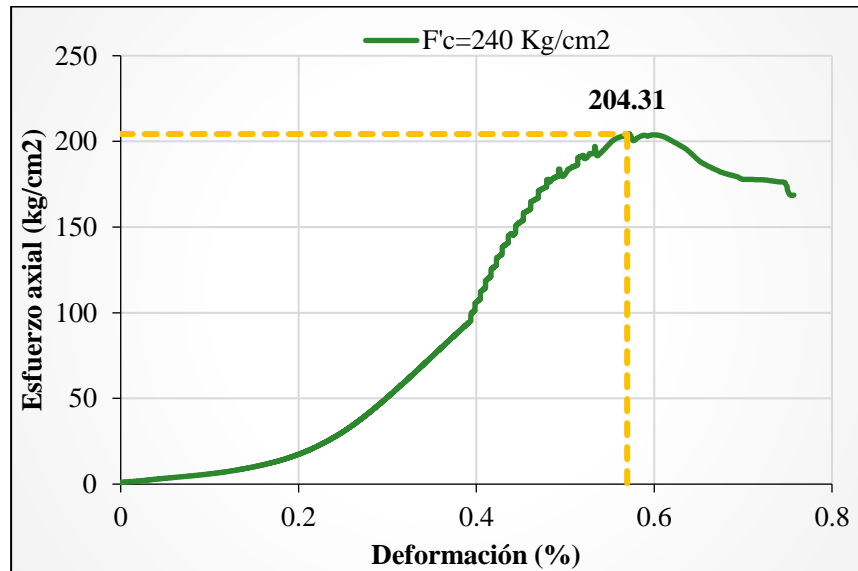


Figura 39. Resultado de compresión de probeta $F'c= 240\text{kg/cm}^2$ a los 14 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 204.31 kg/cm². Correspondiente al 85.13% de la resistencia 240 kg/cm²

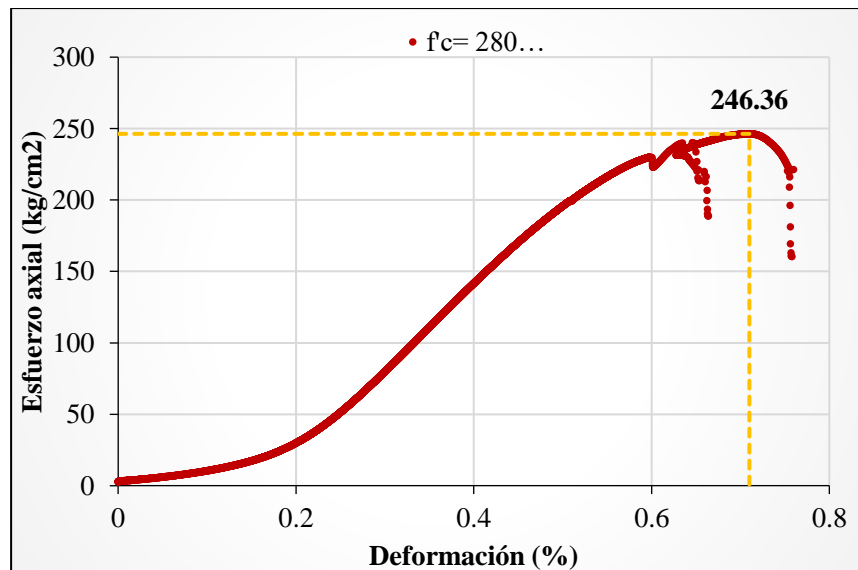


Figura 40. Resultado de compresión de probeta $F'c= 280\text{kg/cm}^2$ a los 14 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 246.36 kg/cm². Correspondiente al 87.98% de la resistencia 280 kg/cm²

Ensayo a los 28 días

Se realizó el promedio de cada una de las probetas de 240Kg/cm^2 , en las siguientes gráficas se muestran los resultados.

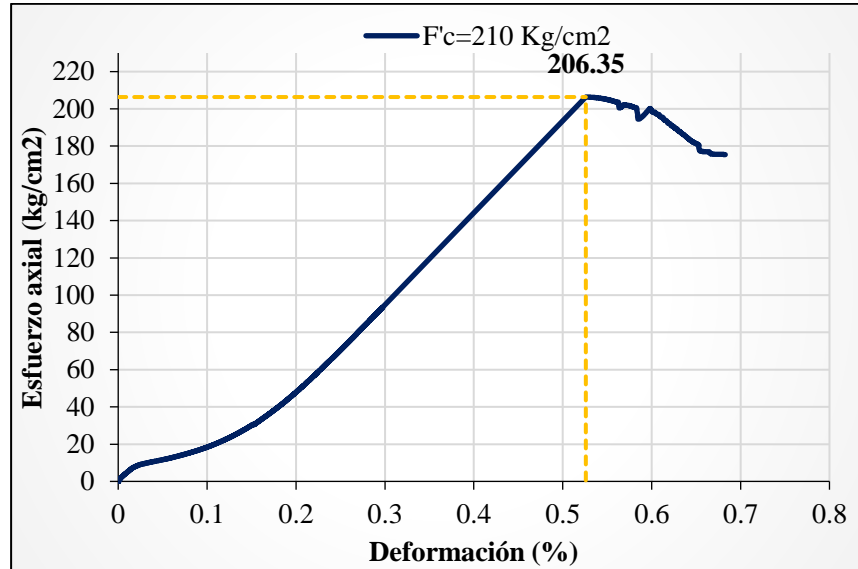


Figura 41. Resultado de compresión de probeta $F'c= 210\text{kg/cm}^2$ a los 28 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 206.35kg/cm^2 . Correspondiente al 98.26% de la resistencia 210kg/cm^2

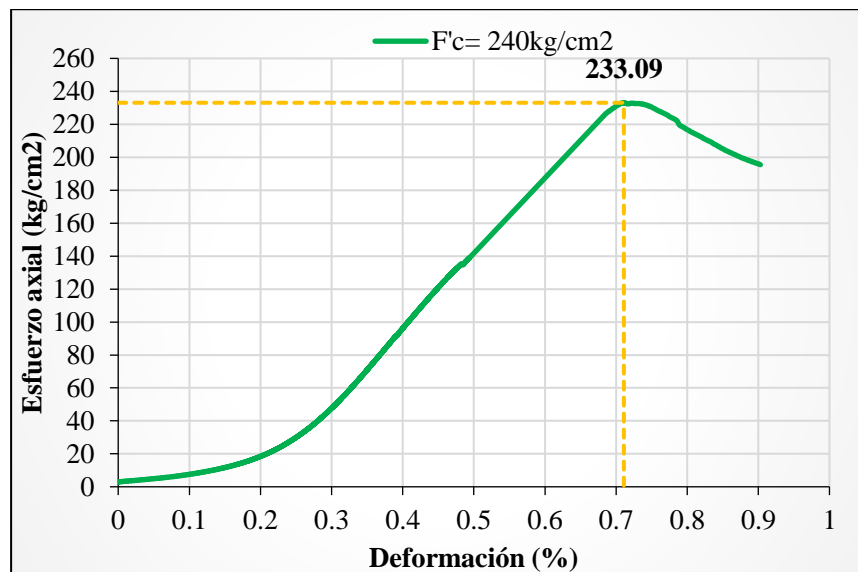


Figura 42. Resultado de compresión de probeta $F'c= 240\text{kg/cm}^2$ a los 28 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 233.09 kg/cm². Correspondiente al 97.12% de la resistencia 240 kg/cm²

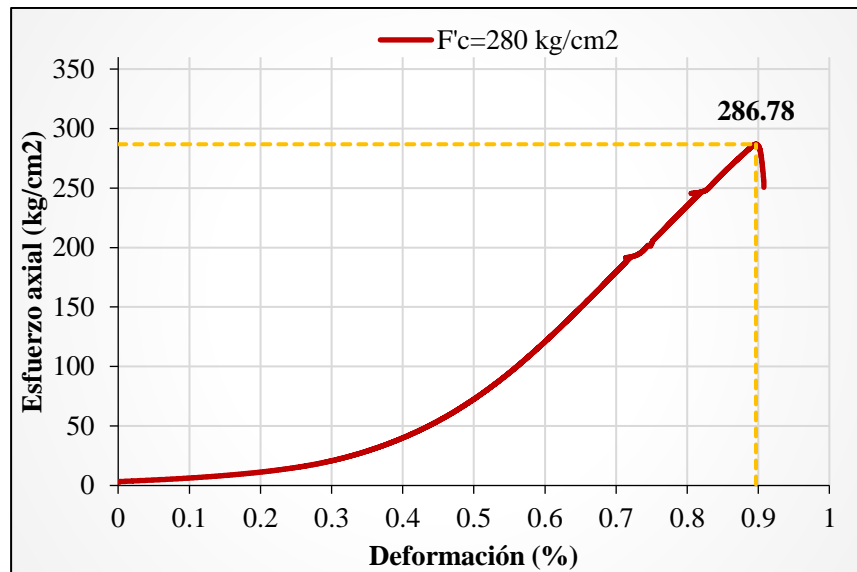


Figura 43. Resultado de compresión de probeta F'c= 280kg/cm² a los 28 días

Autor: Nelson Chugchilan

La resistencia a la compresión dio un resultado de 286.78 kg/cm². Correspondiente al 102.4% de la resistencia 280 kg/cm²

Verificando los resultados de los ensayos a compresión se puede observar que dentro de los rangos establecidos según la edad de curado y el porcentaje de resistencia esperada todas las probetas cumplen con en el rango esperado.

Tabla 38. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado

EDAD (días)	RESISTENCIA (kg/cm ²)		F'c= 210 kg/cm ²	F'c= 240 kg/cm ²	F'c= 280 kg/cm ²
	Lim. Inferior (%)	Lim. Superior (%)			
0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
3	45 %	55 %	47.0 %	46.0 %	49.0 %
7	65 %	75 %	67.1 %	66.3 %	68.1 %
14	80 %	90 %	88.2 %	85.1 %	88.0 %
28	95 %	105 %	98.3 %	97.1 %	102.4 %

Autor: Nelson Chugchilan

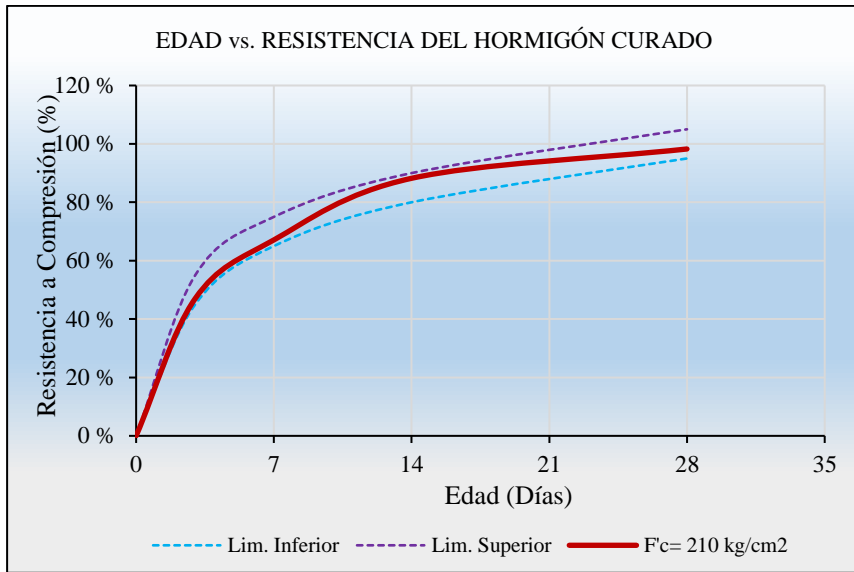


Figura 44. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=210$ kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

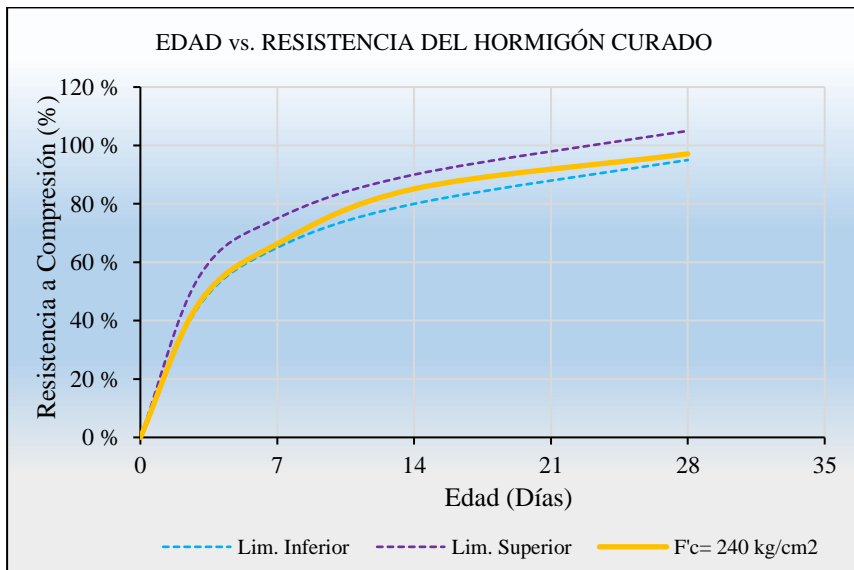


Figura 45. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=240$ kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

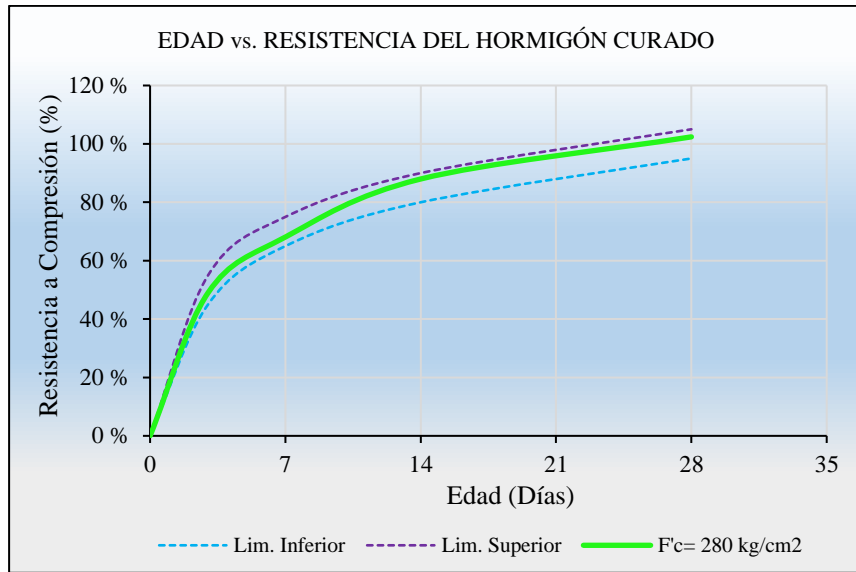


Figura 46. Relación edad vs. Resistencia del hormigón curado $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

3.1.3. Resultados de vigas de hormigón convencional sometidas a resistencia de flexión

Vigas con resistencia $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

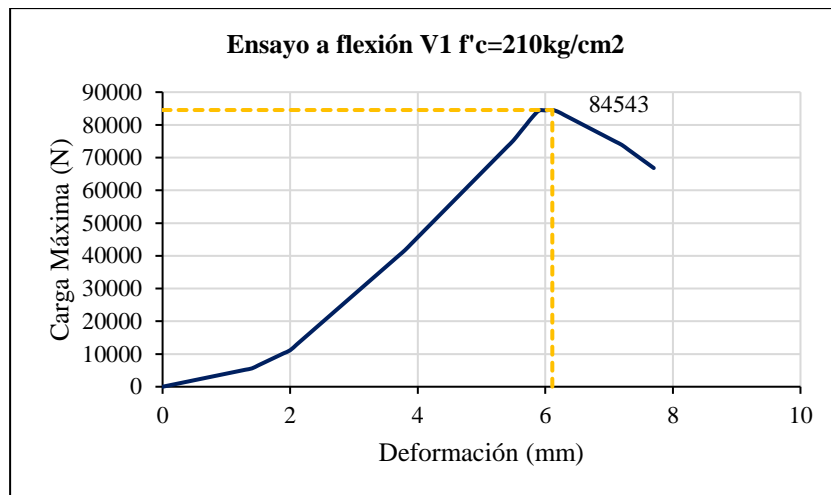


Figura 47. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

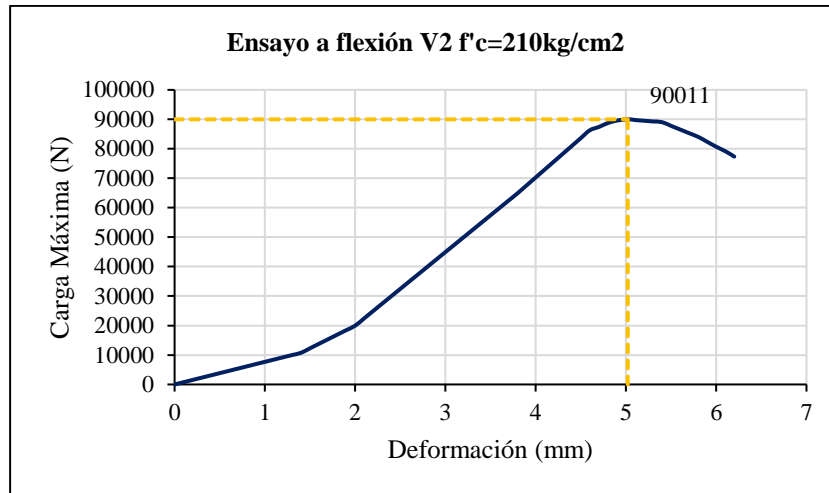


Figura 48. Ensayo a flexión viga 2 F'c=210 kg/cm2
 Autor: Nelson Chugchilan

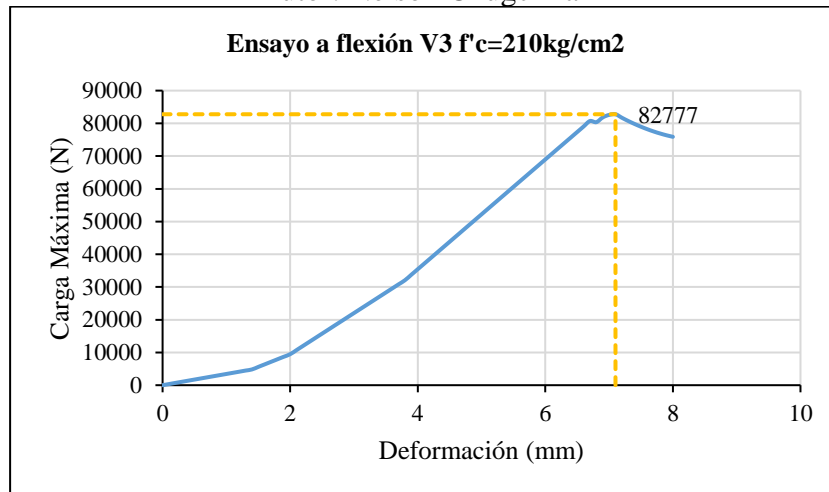


Figura 49. Ensayo a flexión viga 3 F'c=210 kg/cm2
 Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura de viga Nro. V1 de hormigón convencional.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{84543 [N] * 585[mm]}{148 [mm] * (150.1 mm)^2}$$

$$MR = 14.83 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 14.83 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 39. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 210kg/cm^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
Nº-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	84543	6.11	148	150.1	14.83
V2	90011	5.02	149	150.2	15.66
V3	82777	7.12	150.8	151.5	13.99
PROMEDIO	85777	6.08	149.2	150.6	14.83

Fuete: Nelson Chugchilan

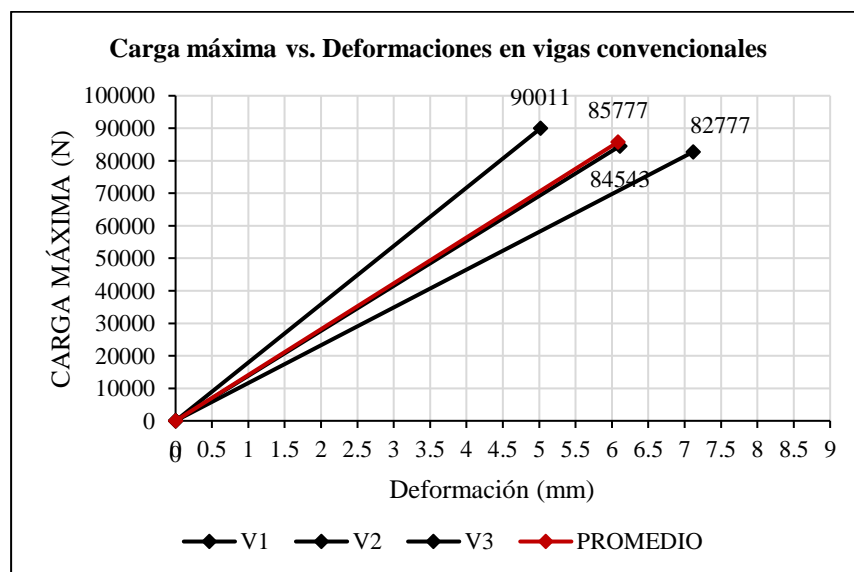


Figura 50. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales

$F'c=210 kg/cm^2$

Autor: Nelson Chugchilan

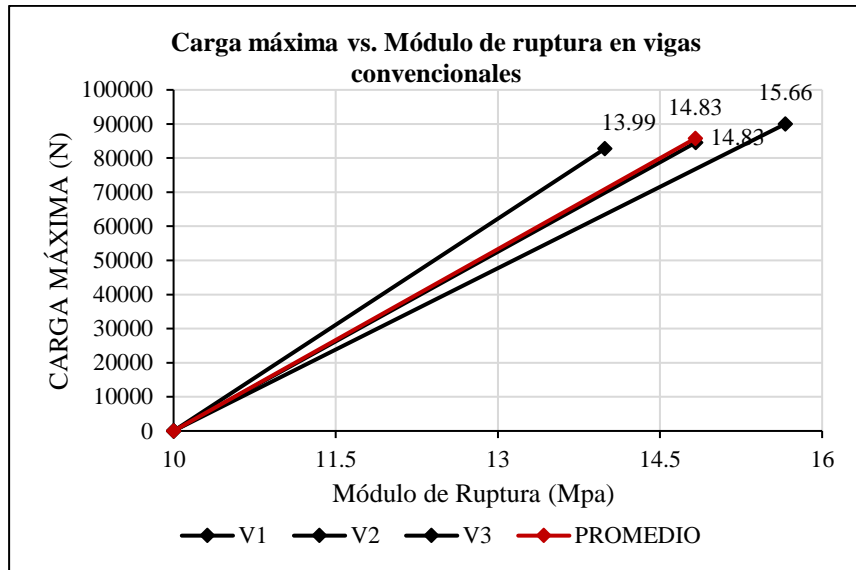


Figura 51. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales
 $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado convencional, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 85777 Newtons con una Deformación Máxima de 6.08 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 14.83 MPa.

Vigas con resistencia $F'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

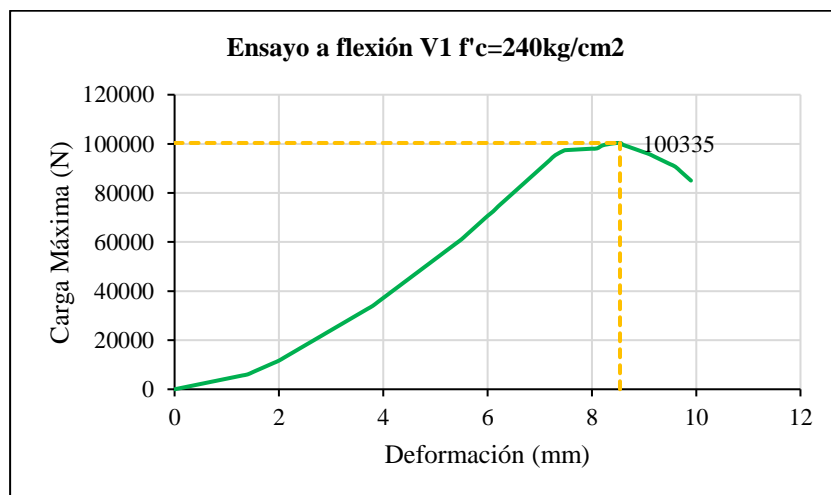


Figura 52. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=240 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

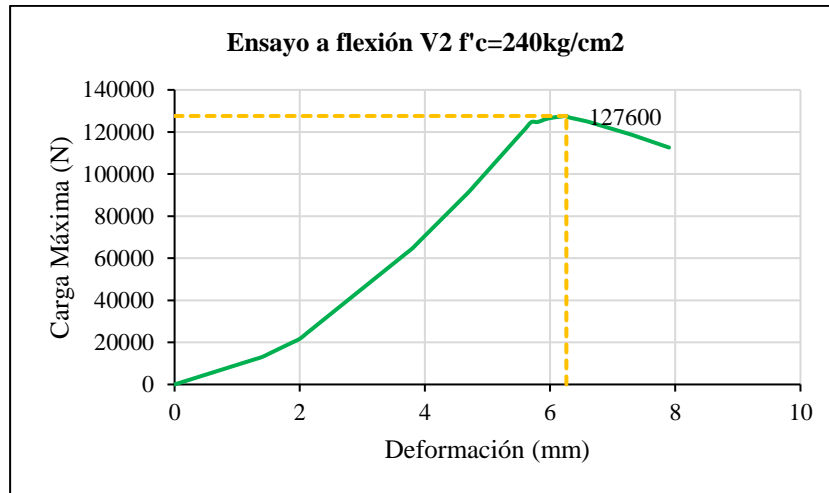


Figura 53. Ensayo a flexión viga 2 F'c=240 kg/cm2
Autor: Nelson Chugchilan

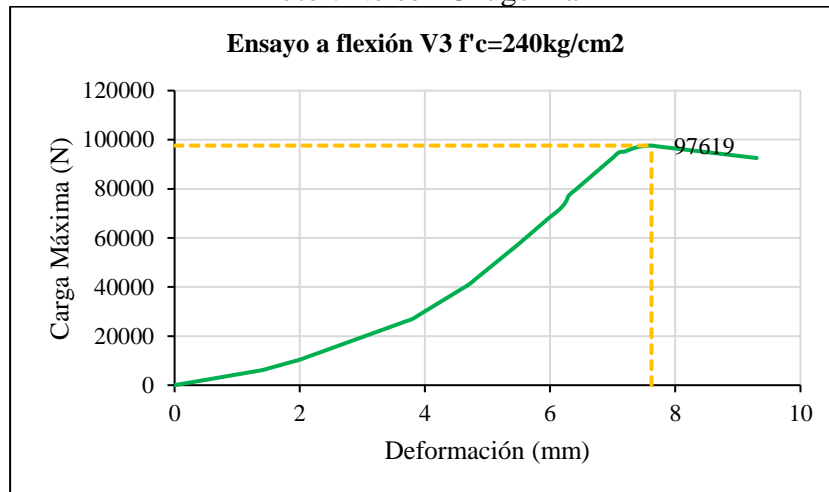


Figura 54. Ensayo a flexión viga 3 F'c=240 kg/cm2
Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura de viga Nro. V1 de hormigón convencional.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{100335 [N] * 585 [mm]}{148 [mm] * (149.8 mm)^2}$$

$$MR = 17.60 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 17.60 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 40. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 240kg/cm^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
Nº-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	100335	8.537	148	149.8	17.6
V2	127600	6.264	149.6	150	22.2
V3	97619	7.618	150	151.5	16.5
PROMEDIO	108518	7.50	149.2	150.4	18.77

Fuete: Nelson Chugchilan

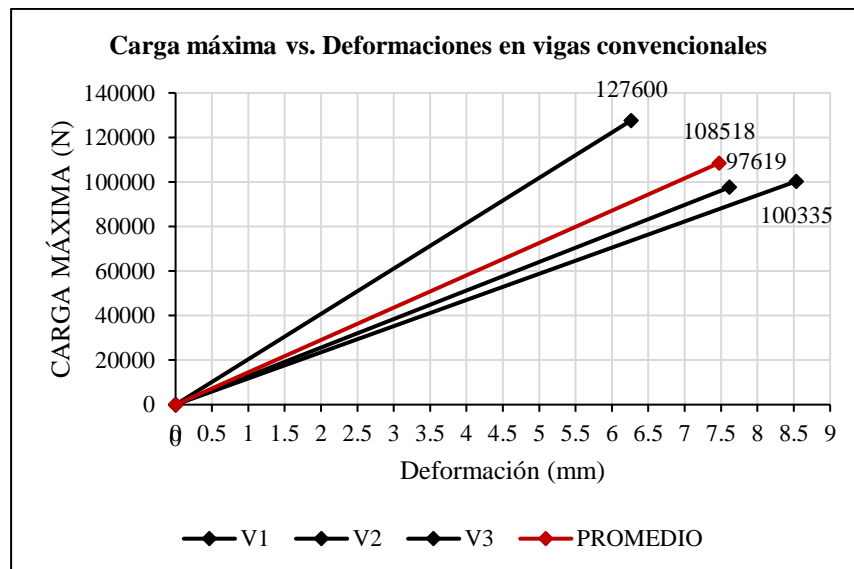


Figura 55. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales

$F'c=240 kg/cm^2$

Autor: Nelson Chugchilan

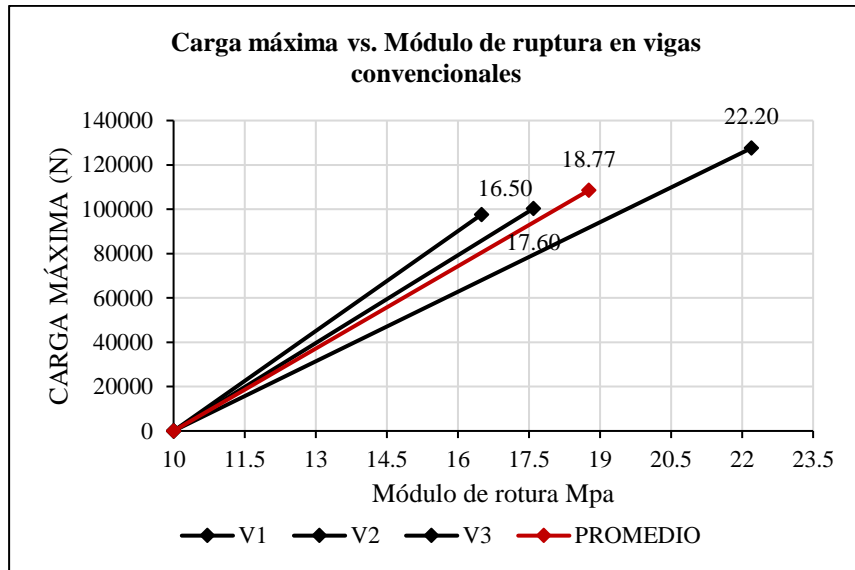


Figura 56. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales
 $F'c=240 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado convencional, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 108518 Newtons con una Deformación Máxima de 7,50 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 18.76 MPa.

Vigas con resistencia $F'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

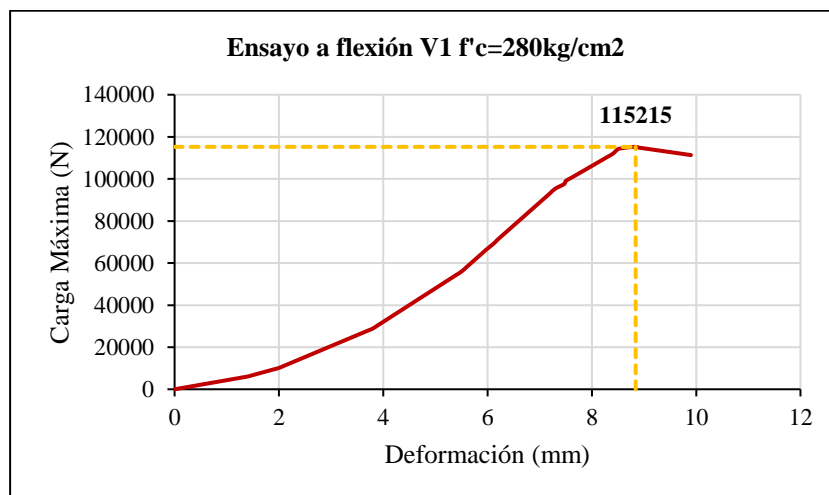


Figura 57. Ensayo a flexión viga 1 $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

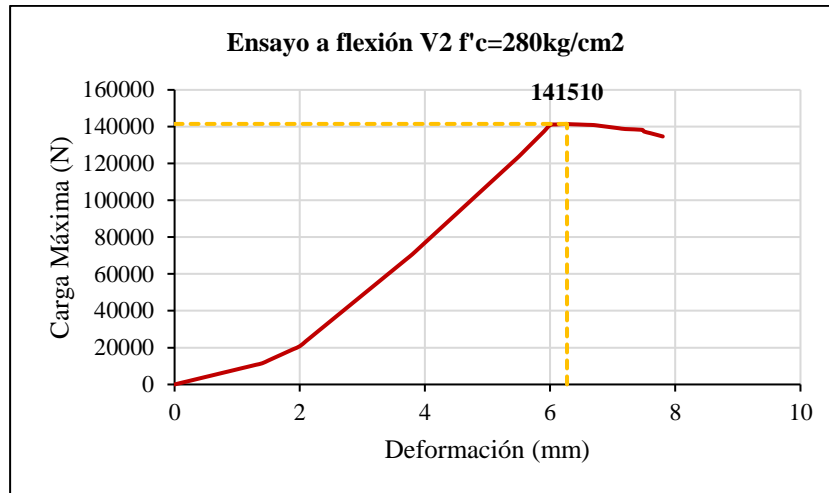


Figura 58. Ensayo a flexión viga 2 F'c=280 kg/cm2
Autor: Nelson Chugchilan

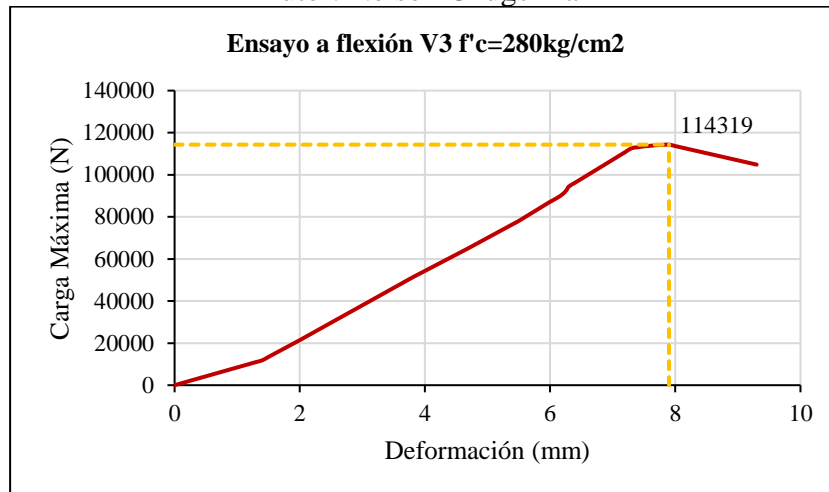


Figura 59. Ensayo a flexión viga 3 F'c=280 kg/cm2
Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura de viga Nro. V1 de hormigón convencional.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{115215 [N] * 585 [mm]}{149 [mm] * (149.6 mm)^2}$$

$$MR = 20.21 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 20.21 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 41. Resultado de ensayo a flexión ($f'c= 280kg/cm^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
N°-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	115215	8.837	149	149.6	20.21
V2	141510	6.274	149	150.2	24.62
V3	114319	7.918	150.8	151.5	19.32
PROMEDIO	123681	7.68	149.6	150.4	21.38

Fuete: Nelson Chugchilan

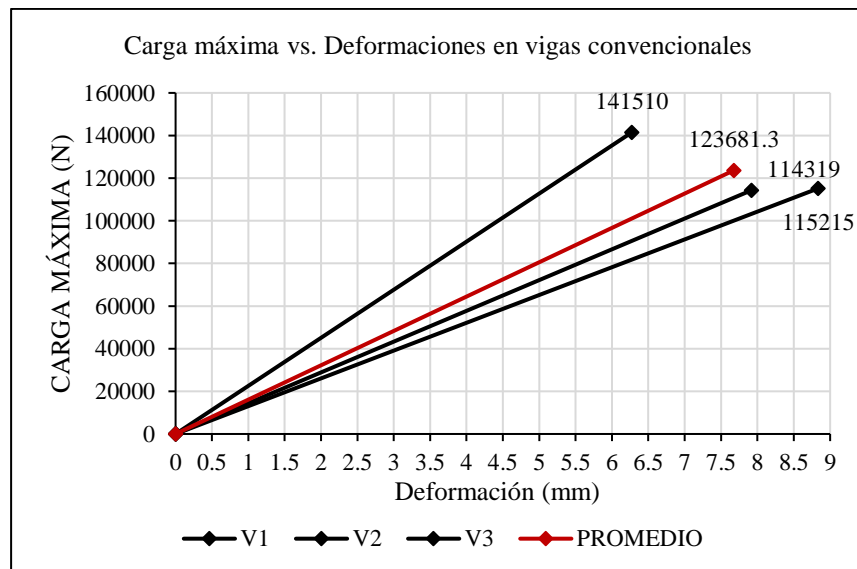


Figura 60. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales
 $F'c=280 kg/cm^2$

Autor: Nelson Chugchilan

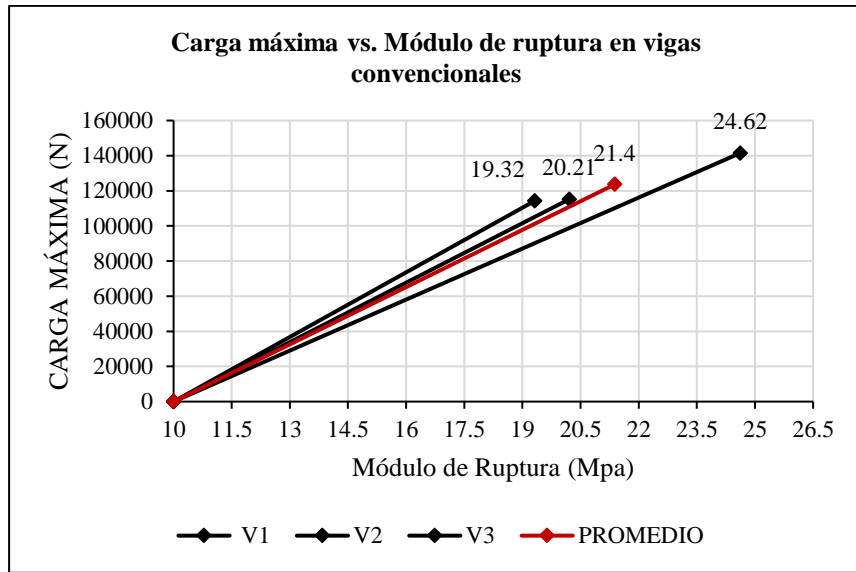


Figura 61. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas convencionales
 $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón armado convencional, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 123681.3 Newtons con una Deformación Máxima de 7.7 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 21.38 MPa.

Resultados de las vigas de hormigón convencional

Tabla 42. Resultado de las vigas de hormigón convencional

CARGA MÁXIMA vs. DEFORMACIÓN vs. MÓDULO DE RUPTURA			
VALORES	V1 $F'c=210\text{kg/cm}^2$	V2 $F'c=240\text{kg/cm}^2$	V3 $F'c=280\text{kg/cm}^2$
Carga máxima (N)	85777	108518	123681.33
Deformación (mm)	6.08	7.473	7.68
Módulo de Ruptura (Mpa)	14.83	18.77	21.38

Fuente: Nelson Chugchilan

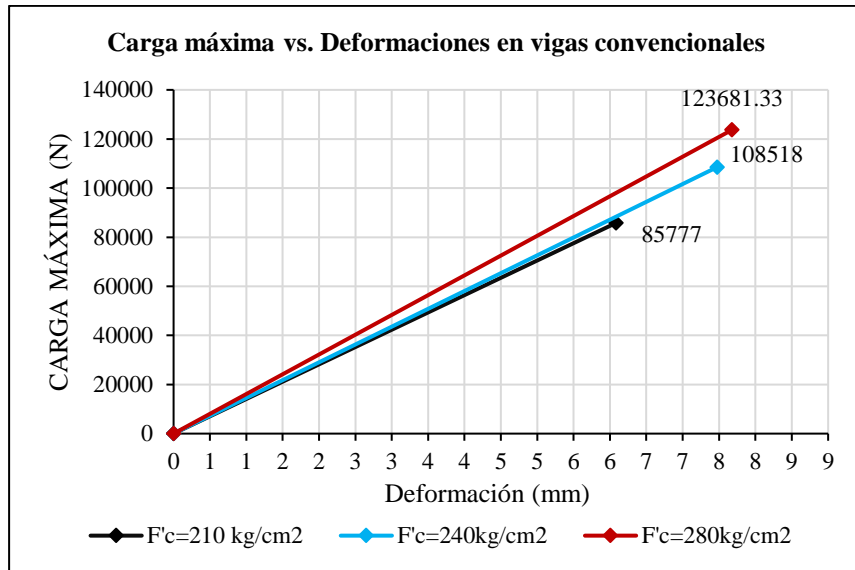


Figura 62. Relación de Carga Máxima vs. Deformación (Resultados)
Autor: Nelson Chugchilan

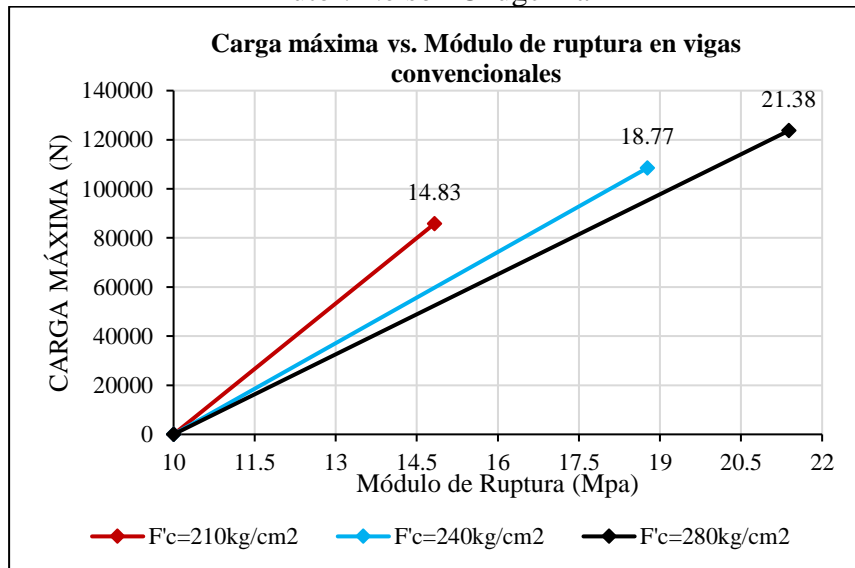


Figura 63. Relación de Carga Máxima vs. Módulo de ruptura (Resultados)
Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Como resultados de todos los ensayos a flexión en las vigas patrón se puede observar las distintas cargas máximas que soportaron con su respectiva deformación alcanzada. Entendiéndose que mientras más alta sea su $f'c$ mayor carga va a soportar hasta llegar a sufrir la flexión, así mismo mayor va a ser su deformación. De igual manera mientras mayor sea su $f'c$ mayor va a ser la tensión máxima para soportar (módulo de ruptura). El módulo de rotura suele variar entre el 10% al 15% de la resistencia a la compresión, una relación aproximada dependiendo del tipo, las dimensiones y el volumen de agregado grueso utilizado. El módulo de rotura es

mayor al esperado, por lo cual se considera que los materiales utilizados han favorecido de tal modo que el comportamiento del concreto no ha disminuido radicalmente. En todos los casos la relación flexión/compresión es mayor al 15% lo que indicaría un buen comportamiento ante la flexión.

Fallas o Colapso de la viga

En todas las vigas, al inicio aparecen un cierto número de fallas, las cuales empiezan a crecer. Las primeras en aparecer son las fallas de flexión que, al llegar al acero, son absorbidas por los estribos cerca de los apoyos. Debido al tipo de construcción de la viga, las fallas principales que se generan son por tensión diagonal, las cuales se caracterizan por su aparición y rápido crecimiento y son las causantes de la falla de la estructura de concreto.

3.1.4. Resultados de vigas de hormigón polímero (con resina) sometidas a resistencia de flexión

Vigas poliméricas con dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

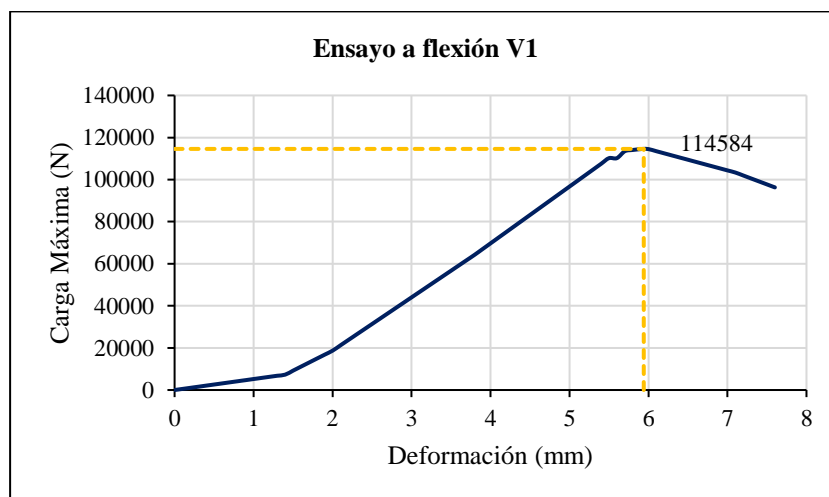


Figura 64. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Autor: Nelson Chughilan

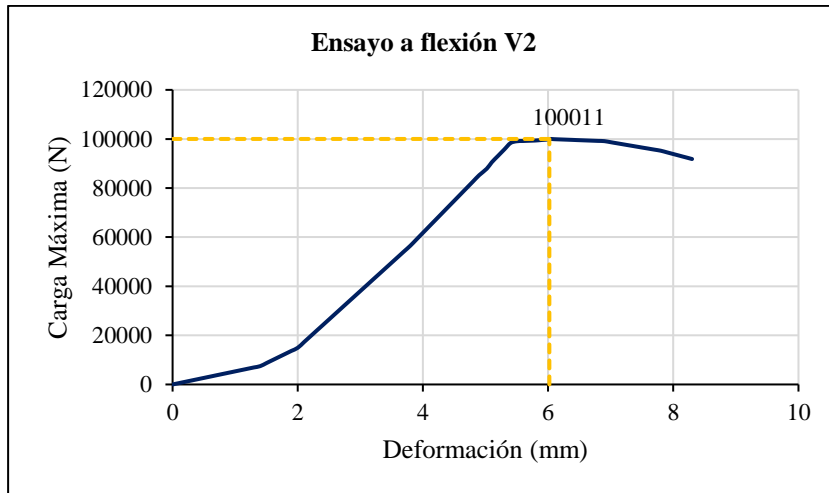


Figura 65. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $f'c=210$ kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

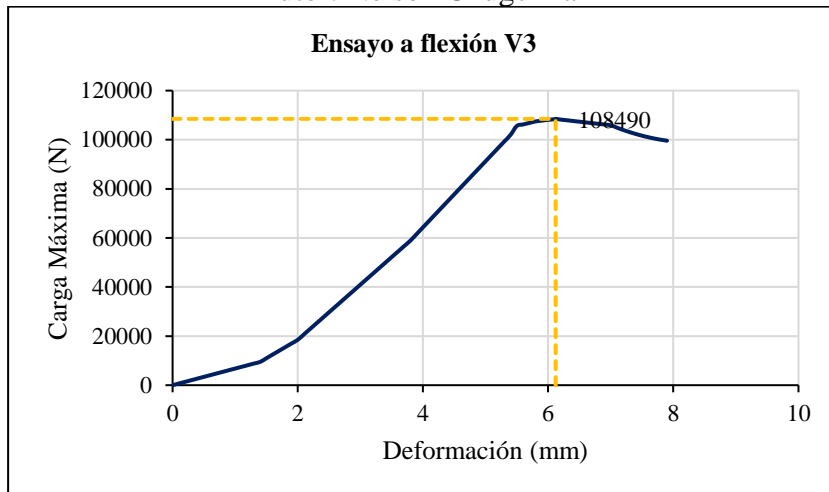


Figura 66. Ensayo a flexión viga polimérica 3 con dosificación para $f'c=210$ kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura

- a. Si la falla a flexión se ejecuta en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la viga se aplica la ecuación.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{114543 [N] * 585[mm]}{148 [mm] * (150.1 mm)^2}$$

$$MR = 20.09 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 20.09 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 43. Resultado de ensayo a flexión ($f'_c = 210 \text{kg/cm}^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
Nº-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	114543	5.94	148	150.1	20.09
V2	100011	6.02	149	150.2	17.4
V3	108490	6.12	150	151.9	18.34
PROMEDIO	107681	6.03	149	150.7	18.61

Fuete: Nelson Chughilan

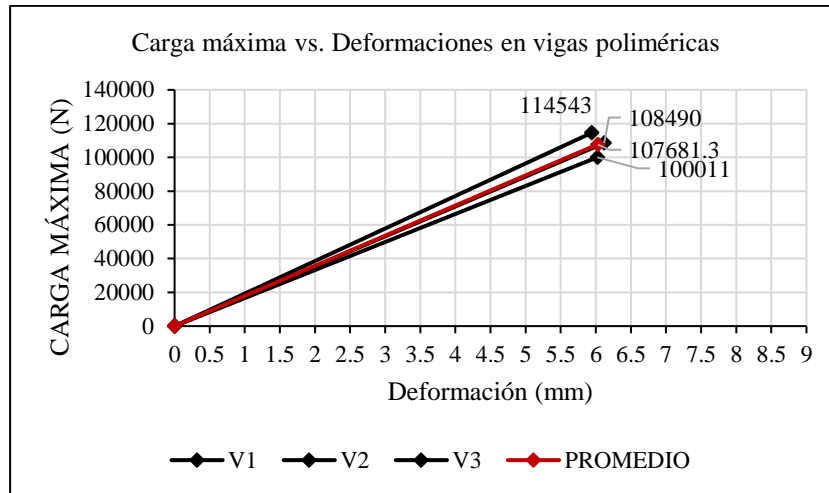


Figura 67. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

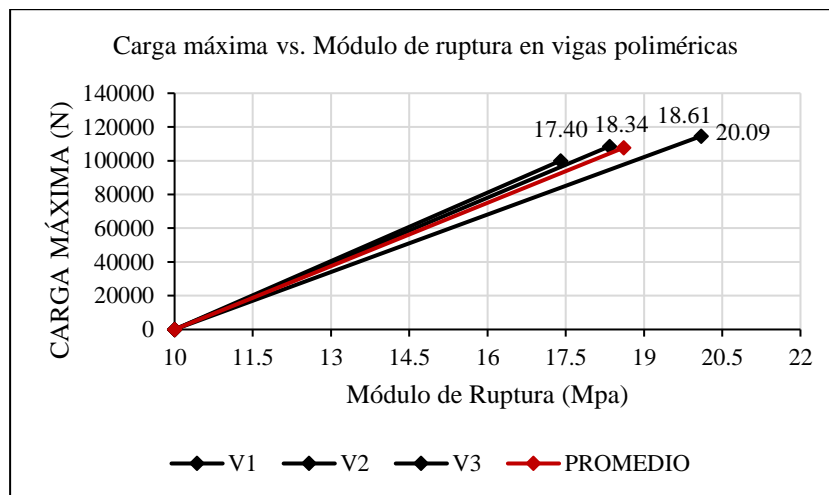


Figura 68. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón polimérico, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 107681 Newtons con una Deformación Máxima de 6.03 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 18.61 MPa.

Vigas poliméricas con dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

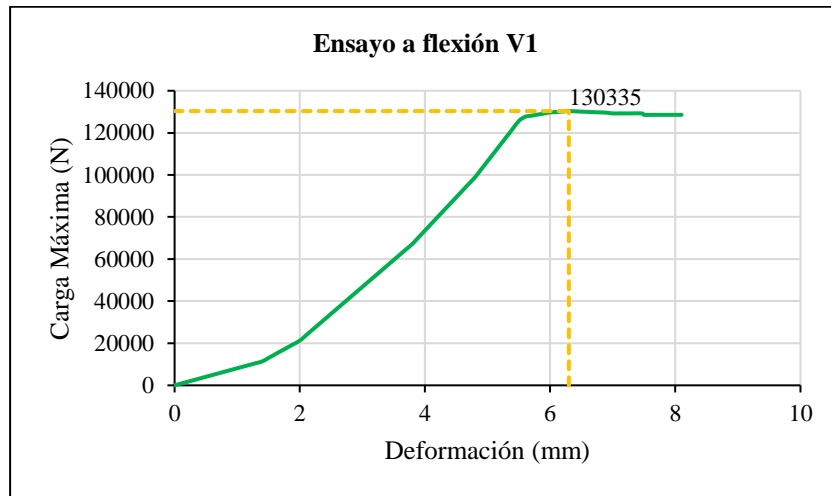


Figura 69. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$
Autor: Nelson Chugchilan

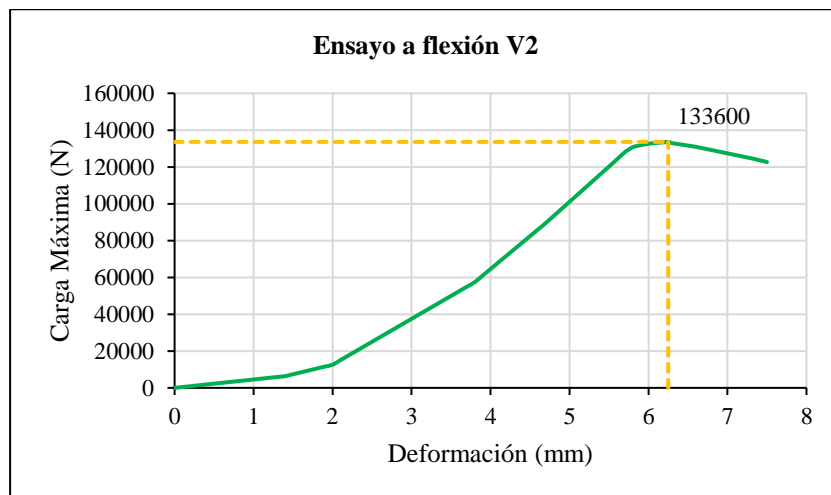


Figura 70. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$
Autor: Nelson Chugchilan

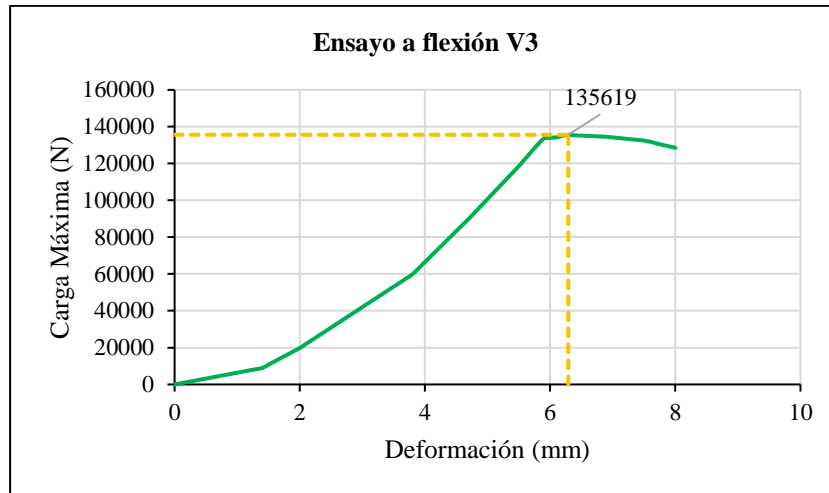


Figura 71. Ensayo a flexión viga polimérica 3 con dosificación para $f'c=240$ kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura de viga Nro. V1 de hormigón convencional.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{130335 [N] * 585 [mm]}{148.8 [mm] * (149.6 mm)^2}$$

$$MR = 22.86 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 22.86 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 44. Resultado de ensayo a flexión ($f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
Nº-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	130335	6.3	148.8	149.6	22.86
V2	133600	6.25	149	150.2	23.24
V3	135619	6.28	150	151.9	22.92
PROMEDIO	133185	6.28	149.3	150.6	23.01

Fuete: Nelson Chugchilan

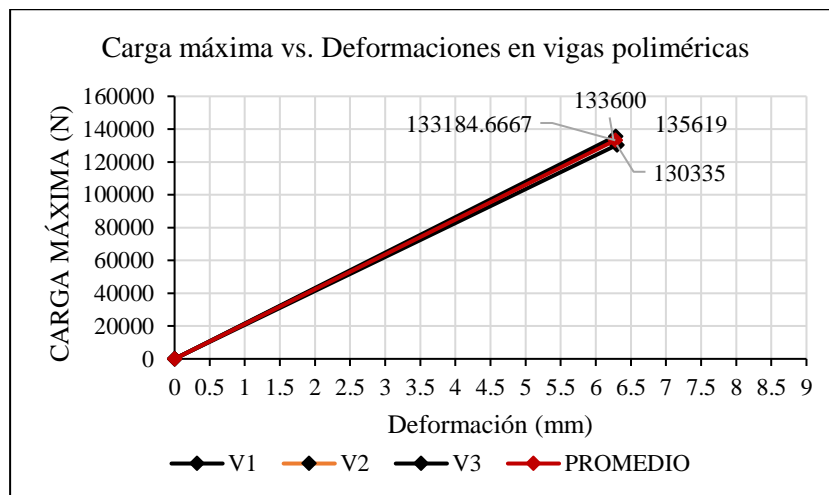


Figura 72. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

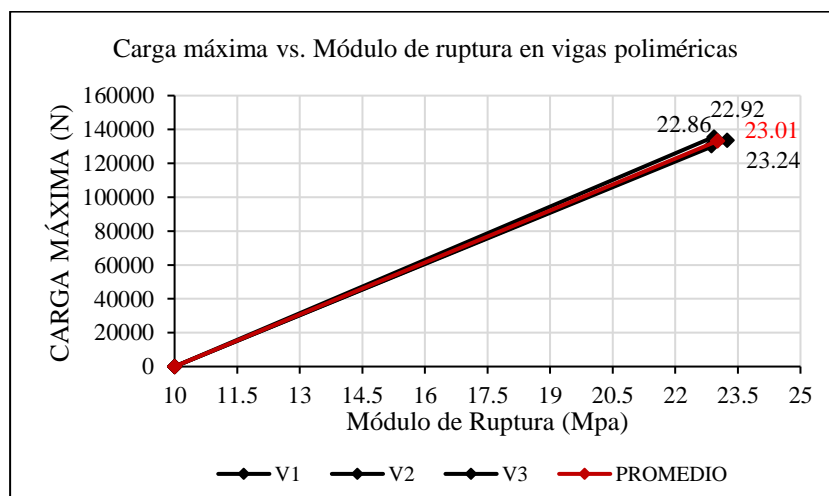


Figura 73. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón polimérico, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 133185 Newtons con una Deformación Máxima de 6.28 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 23.01 MPa.

Vigas poliméricas con dosificación para $F'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

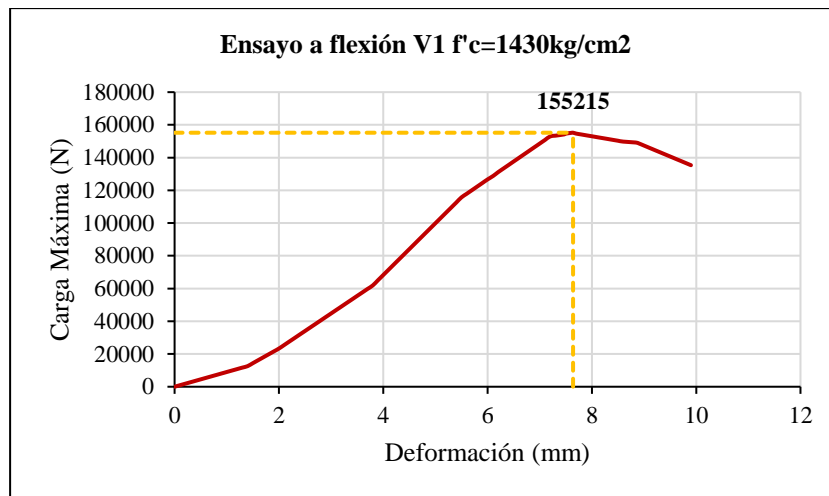


Figura 74. Ensayo a flexión viga polimérica 1 con dosificación para $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Autor: Nelson Chugchilan

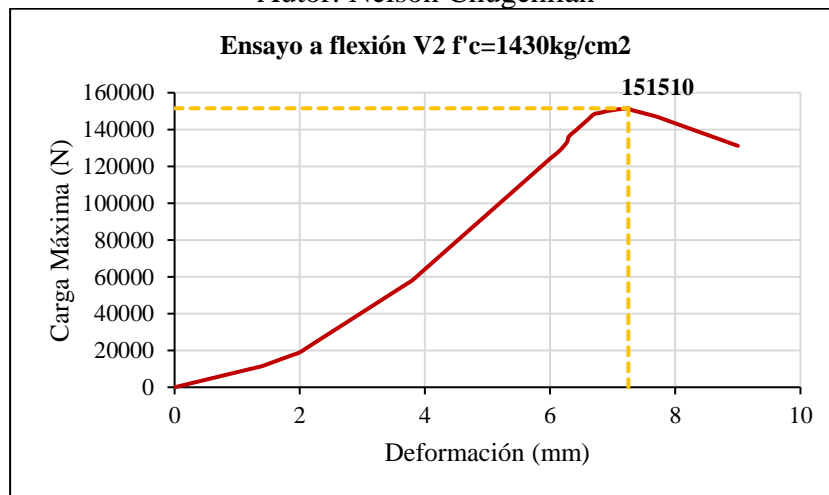


Figura 75. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $F'c=280 \text{ kg/cm}^2$

Autor: Nelson Chugchilan

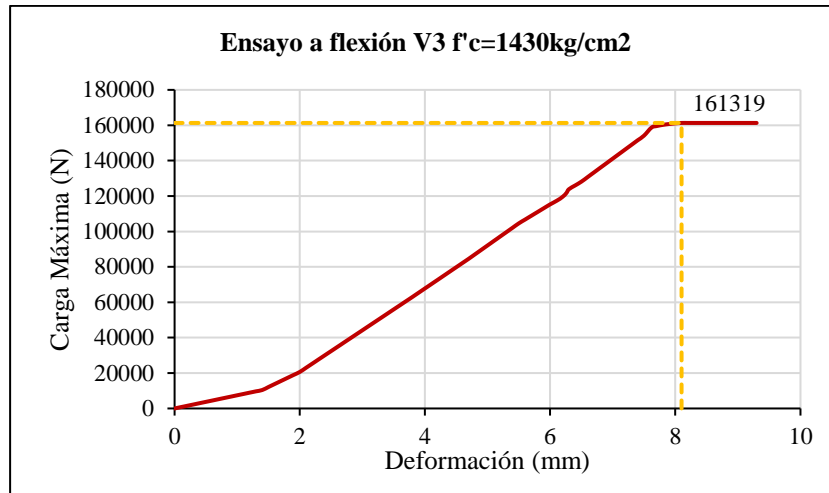


Figura 76. Ensayo a flexión viga polimérica 2 con dosificación para $F'c=280$ kg/cm²

Autor: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura de viga Nro. V1 de hormigón convencional.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura (MPa)

P: Carga máxima aplicada, según lo indique la máquina de ensayo (N)

l: Luz libre entre apoyos de la probeta (mm)

b: Ancho promedio de la probeta (mm)

d: Altura promedio de la probeta (mm)

$$MR = \frac{155215 [N] * 585 [mm]}{148 [mm] * (150.1 mm)^2}$$

$$MR = 27.23 \frac{N}{mm^2}$$

$$MR = 27.23 MPa$$

El cálculo de Modulo de Ruptura para las vigas Nro. V2, V3, el método es repetitivo.

Tabla 45. Resultado de ensayo a flexión ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$)

VIGAS DE HORMIGÓN CONVENCIONAL					
CARGA MÁXIMA		DEFORMACIONES	ANCHO	ALTURA	MODULO RUPTURA
Nº-	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)
V1	155215	7.64	148	150.1	27.23
V2	151510	7.25	149	150.2	26.36
V3	161319	8.1	150.5	151.6	27.27
PROMEDIO	156015	7.66	149.2	150.6	26.95

Fuete: Nelson Chugchilan

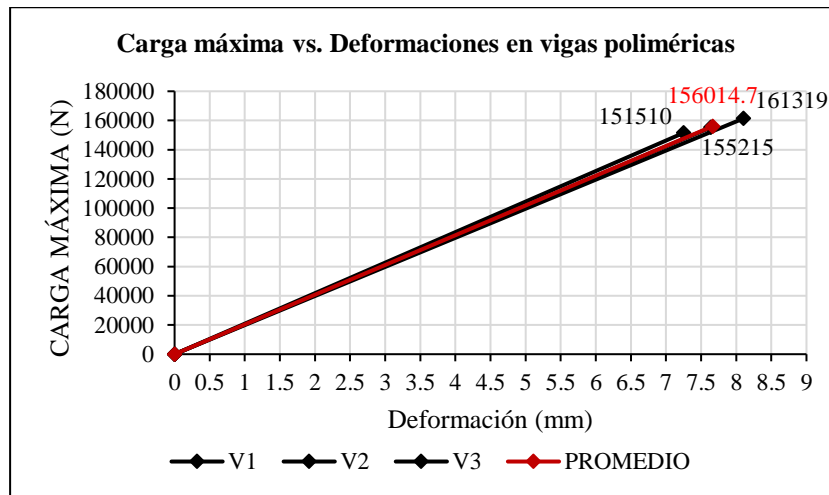


Figura 77. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

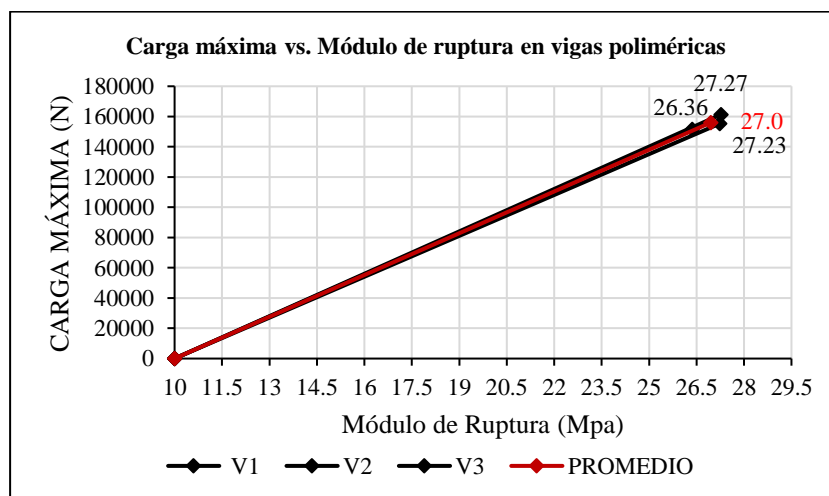


Figura 78. Relación de Carga Máxima vs. Deformación en vigas poliméricas para una dosificación $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

Una vez ensayadas a flexión las vigas de hormigón polimérico, se procede a tabular los resultados con los cuales se realiza un promedio para obtener una Carga Máxima promedio que soportara la viga la cual es de 156014 Newtons con una Deformación Máxima de 7.66 mm y un Módulo de ruptura equivalente a 26.95 MPa.

Resultados de las vigas de hormigón Polímero

Tabla 46. Resultado de las vigas de hormigón polímero

CARGA MÁXIMA vs. DEFORMACIÓN vs. MÓDULO DE RUPTURA			
VALORES	V1 F'c=210kg/cm ²	V2 F'c=240kg/cm ²	V3 F'c=280kg/cm ²
Carga máxima (Nw)	107681.33	133184.66	156014.67
Deformación (mm)	6.03	6.28	7.66
Módulo de ruptura (Mpa)	18.61	23.01	26.95

Fuente: Nelson Chugchilan

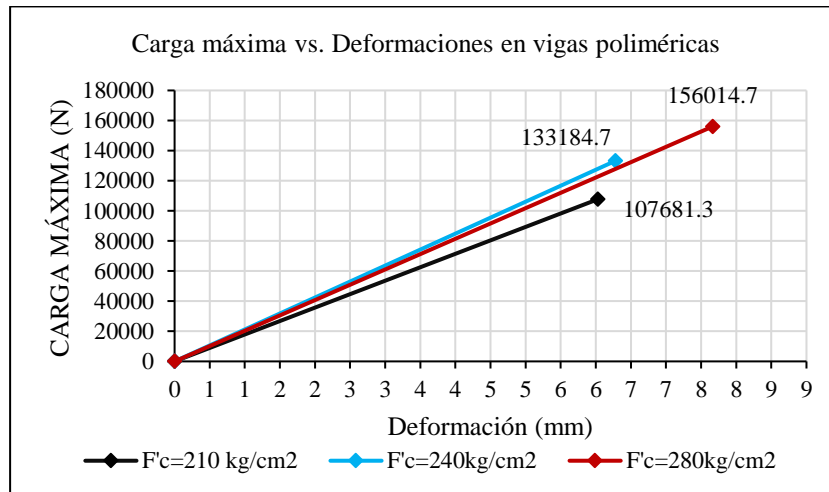


Figura 79. Relación de Carga Máxima vs. Deformación (Resultados)

Autor: Nelson Chugchilan

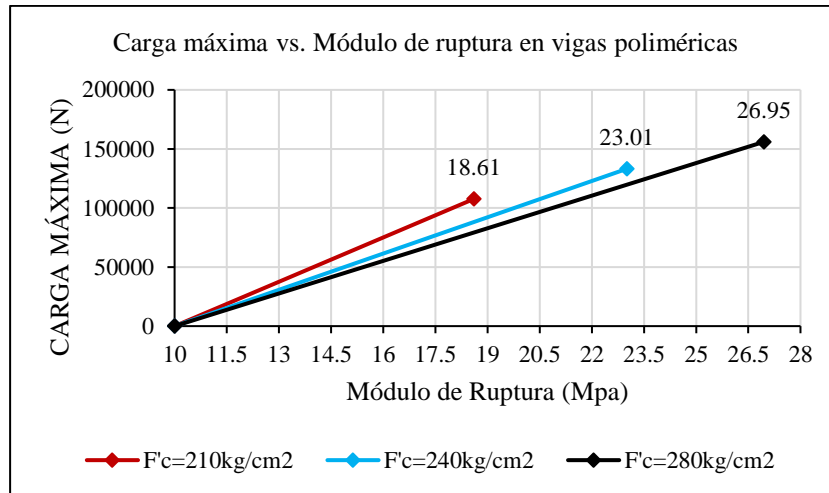


Figura 80. Relación de Carga Máxima vs. Módulo de ruptura (Resultados)
 Autor: Nelson Chugchilan

3.1.5. Cálculo del Diagrama Momento – Curvatura

Vigas de hormigón convencional

El diagrama Momento Curvatura $M - \phi$ de una sección de hormigón armado se obtiene en función de los modelos constitutivos del hormigón y del acero. Además de que depende de la geometría y del refuerzo longitudinal y transversal.

Modelo de Mander $\sigma - \xi$ para concreto confinado y no confinado

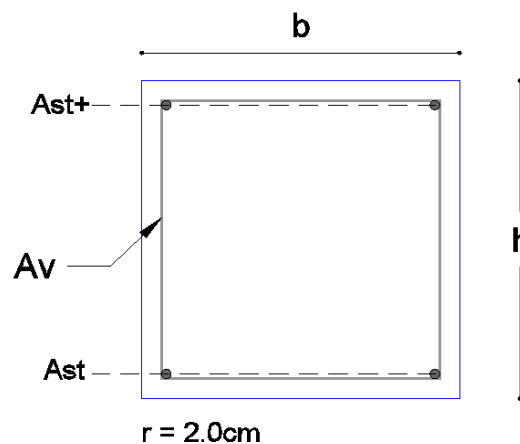


Figura 81. Diagrama de simbología de datos.

Autor: Nelson Chugchilan

Datos de la sección

$b = 15\text{cm}$; Base de la viga

$h = 15\text{cm}$; Altura de la viga

$r = 2.0\text{ cm}$; Recubrimiento libre

$A_{st+} = 1.570\text{cm}^2$; Área de acero longitudinal superior

$A_{st-} = 1.570\text{cm}^2$; Área de acero longitudinal inferior

$A_v = 0.503\text{ cm}^2$; Área de un ramal de estribo

N° ramales = 2 ; Número de ramales del estribo

$S = 15\text{m}$; Separación de los estribos

$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20.58 \text{ MPa}$; Resistencia a la compresión del hormigón

$F'c = 240 \text{ kg/cm}^2 = 23.52 \text{ MPa}$; Resistencia a la compresión del hormigón

$F'c = 280 \text{ kg/cm}^2 = 27.44 \text{ MPa}$; Resistencia a la compresión del hormigón

$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 411.60 \text{ MPa}$; Límite de fluencia del acero

$C_e = 0.85$ efectividad de confinamiento

a. Ancho del núcleo de confinamiento

$$b' = b - r = 13 \text{ cm}$$

$$b' = 15 \text{ cm} - 2 \text{ cm} = 13 \text{ cm}$$

b. Cuantía volumétrica del estribo

$$P_v = \frac{N^\circ * A_b}{S * b'} = \frac{2 * 0.503}{15 * 13} = 0.00516$$

c. Presión radial máxima efectiva de confinamiento

$$F_l = 0.5(C_e * P_v * F_y h) = 0.5(0.85 * 0.00516 * 411.60 \text{ MPa}) = 0.903 \text{ MPa}$$

d. Esfuerzo máximo de compresión del concreto confinado

$$F'_{cc(210)} = F'_{cc(210)} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 F_l}{F'_{cc(210)}}} - \frac{2 F_l}{F'_{cc(210)}} - 1.254 \right)$$

$$F'_{cc(210)} = 20.58 \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94(0.903)}{20.58}} - \frac{2(0.903)}{20.58} - 1.254 \right) = 26.25 \text{ MPa}$$

$$F'_{cc(210)} = 267.85 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F'_{cc(240)} = F'_{cc(240)} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 F_l}{F'_{cc(240)}}} - \frac{2 F_l}{F'_{cc(240)}} - 1.254 \right)$$

$$F'cc_{(240)} = 23.52 \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94(0.903)}{23.52}} - \frac{2(0.903)}{23.52} - 1.254 \right) = 29.26 MPa$$

$$F'cc_{(240)} = 298.53 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$F'cc_{(280)} = F'cc_{(280)} \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94Fl}{F'cc_{(280)}}} - \frac{2Fl}{F'cc_{(280)}} - 1.254 \right)$$

$$F'cc_{(280)} = 27.44 \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94(0.903)}{27.44}} - \frac{2(0.903)}{27.44} - 1.254 \right) = 33.24 MPa$$

$$F'cc_{(280)} = 339.22 \frac{Kg}{cm^2}$$

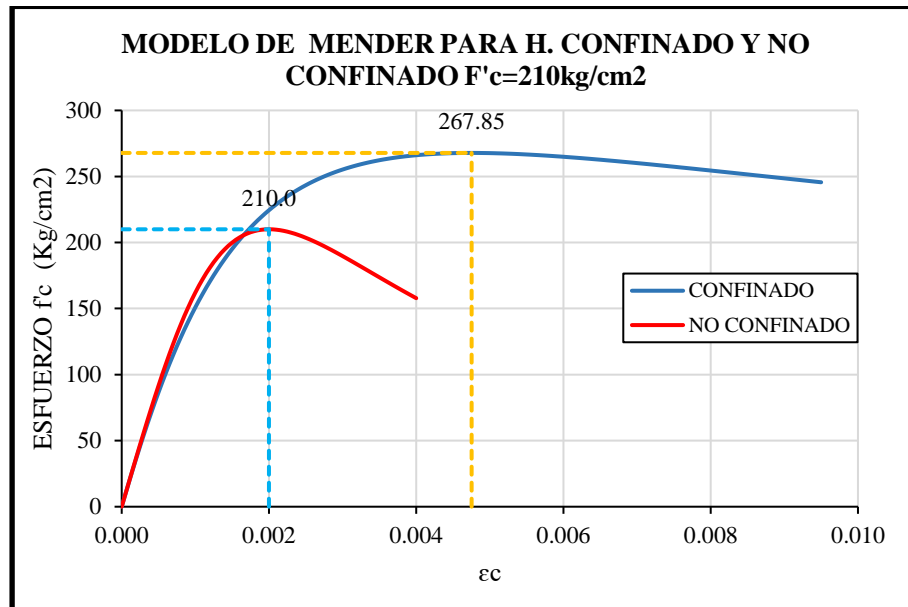


Figura 82. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado $F'c=210kg/cm^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 267.8 Kg/cm^2 cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.00475 mm/mm .

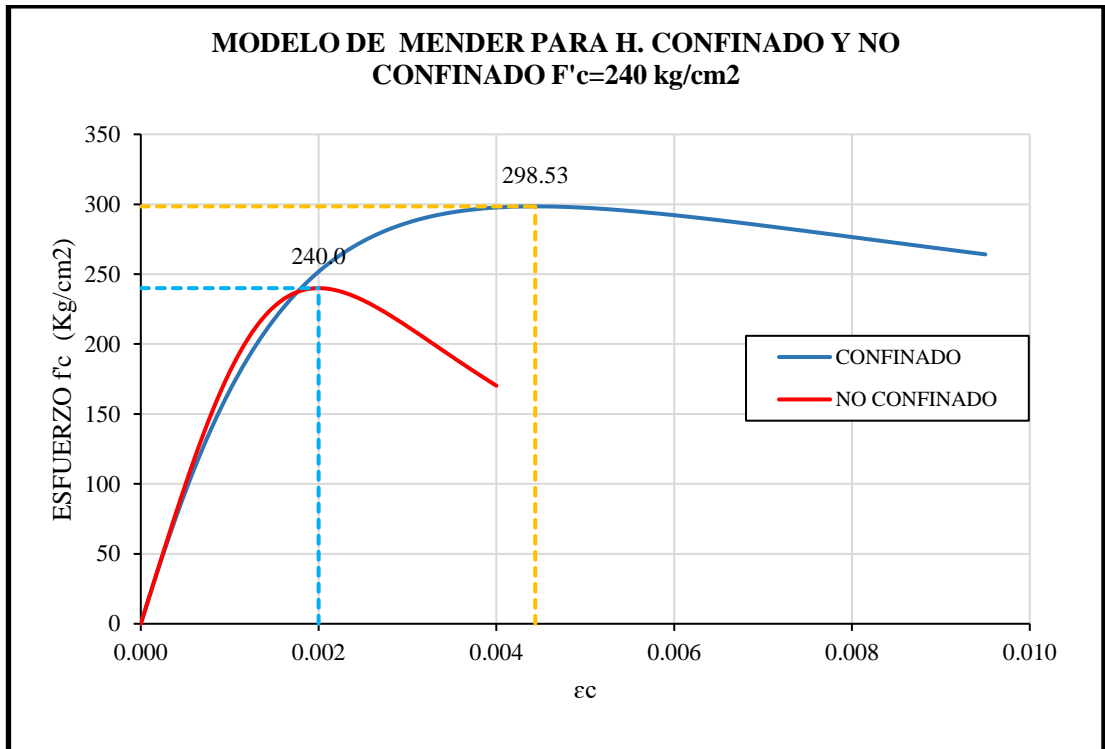


Figura 83. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado $F'_c=240\text{kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 298.53 Kg/cm^2 cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.004437 mm/mm .

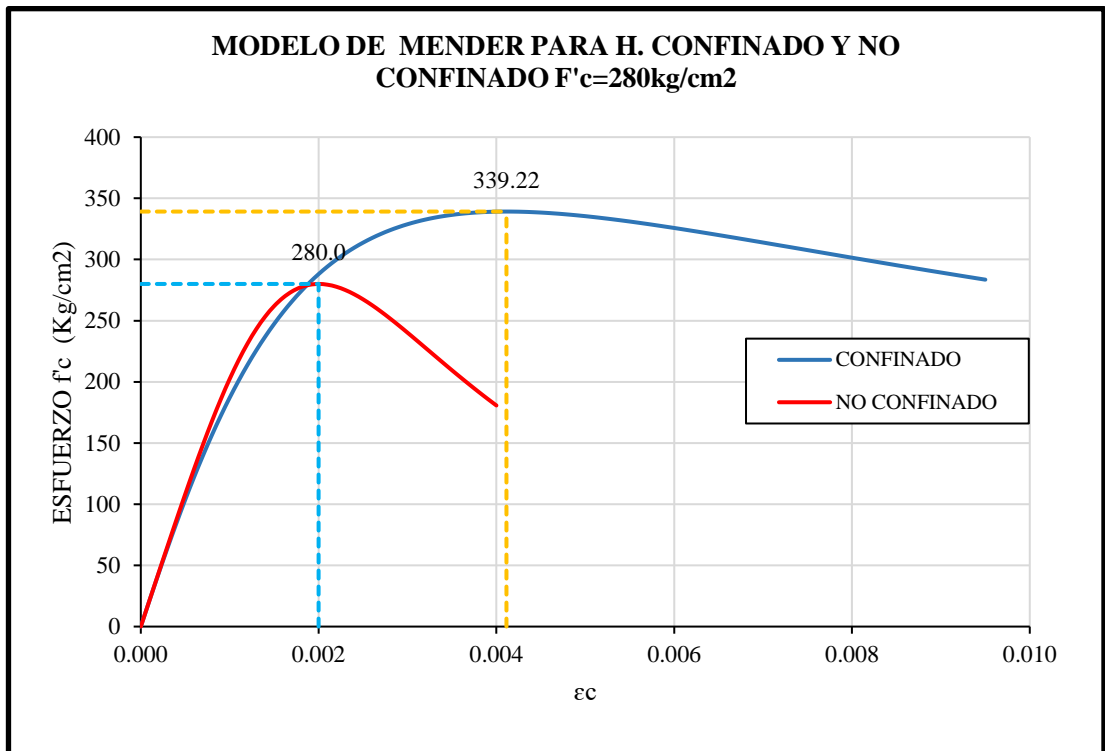


Figura 84. Modelo de Mander para h. Confinado y no confinado F'c=280kg/cm²
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 339.22 Kg/cm² cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.0041 mm/mm.

Modelo de Park $\sigma - \xi$ para comportamiento de acero a tracción

Dado que el comportamiento del acero no está en función del F'c sino por las características propias del acero de refuerzo. Por lo tanto, el modelo de Park será el mismo para todas las vigas.

Tabla 47. Características del acero de refuerzo

ACERO NORMALIZADO	
ϵ_{sy} (mm/mm)	0.002
ϵ_{sh} (mm/mm)	0.01
ϵ_{su} (mm/mm)	0.09
f_{sy} (kg/cm ²)	4200
f_{su} (Kg/cm ²)	6327
E_s (Kg/cm ²)	2100000

Fuente: Nelson Chugchilan

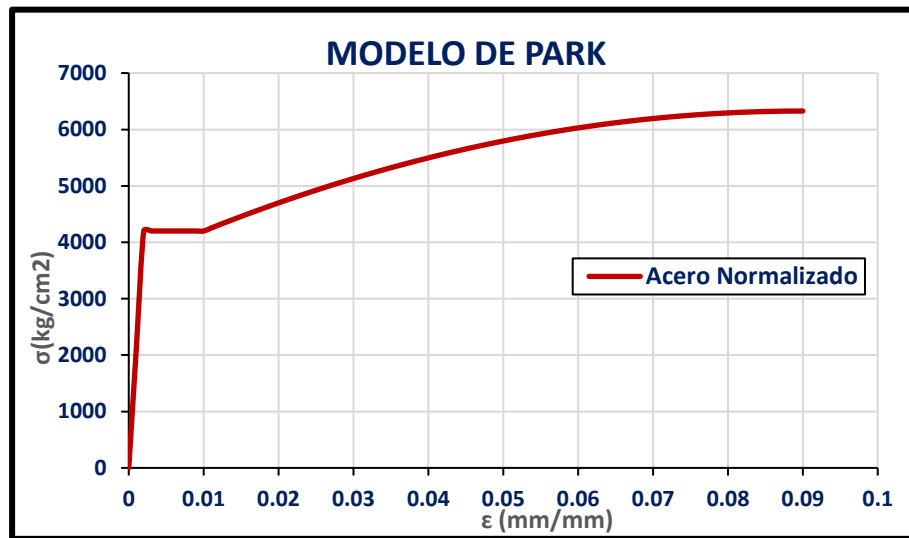


Figura 85. Acero comportamiento a tracción – Modelo de Park
Autor: Nelson Chugchilan

Diagrama Momento - Curvatura

Para determinar los límites de deformación que conforman el diagrama Momento – Curvatura se realizaron una serie de cálculos de igual similitud para cada una de las resistencias f'_c ya que sus secciones y armado de acero no cambiaron.

Datos

$$A_{st+} = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$A_{st-} = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 412.02 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ módulo de elasticidad del acero}$$

$$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20.58 \text{ Mpa}$$

$$E = 189837.04 \text{ kg/cm}^2 \text{ módulo de elasticidad del hormigón}$$

$$d = 12.7 \text{ cm}$$

$$r = 2.3 \text{ cm ; recubrimiento} = r_{\text{libre}} - \phi_{\text{estribo}} - \phi_{\text{long}}/2$$

$$F_{su} = 6327 ; \text{ Esfuerzo de fluencia máxima del acero}$$

Paso 1. Elegir un valor de deformación unitaria del concreto

$$\xi_c = 0.002 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

Paso 2. Asumir un valor para el centro del eje neutro

$$c > r_{\text{libre}} + \phi_{\text{estribo}} + \phi_{\text{long}}$$

$$c > 2.8 \text{ cm}$$

Nota: Al asumir puede ser un valor menor al calculado

Paso 3. Cálculo de "a"

$$a = \beta * c = 0.85 * 2.8 \text{ cm} = 2.38$$

Paso 4. Deformación del acero en tensión

$$\frac{\xi_s}{d - c} = \frac{\xi_c}{c}$$

$$\xi_s = \frac{\xi_c(d - c)}{c} = 0.0071$$

Paso 5. Deformación del acero en compresión

$$\frac{\xi_c}{c} = \frac{\xi_{s'}}{c - r}$$

$$\xi_{s'} = \frac{\xi_c(c - r)}{c} = 0.00036$$

Paso 6. Esfuerzo del acero en tensión

$$\text{Si: } \xi_{sy} < \xi_s \leq \xi_{sh}$$

$$\text{Entonces: } f_s = f_{sy}$$

$$\text{Si: } \xi_s \leq \xi_{sy}$$

$$\text{Entonces: } f_s = E_s \cdot \xi_s$$

$$\text{Si: } \xi_{sh} < \xi_s \leq \xi_{su}$$

$$\text{Entonces: } f_s = f_{su} + (f_{sy} - f_{su}) \cdot ((\xi_{su} - \xi_s) / (\xi_{su} - \xi_{sh}))^2$$

$$\text{Por lo tanto: } F_s = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 7. Esfuerzo del acero en compresión

$$\text{Si: } \xi_{sy} < \xi_{s'} \leq \xi_{sh}$$

$$\text{Entonces: } f_{s'} = f_{sy}$$

$$\text{Si: } \xi_{s'} \leq \xi_{sy}$$

$$\text{Entonces: } f_{s'} = E_s \cdot \xi_{s'}$$

$$\text{Si: } \xi_{sh} < \xi_{s'} \leq \xi_{su}$$

$$\text{Entonces: } f_{s'} = f_{su} + (f_{sy} - f_{su}) \cdot ((\xi_{su} - \xi_{s'}) / (\xi_{su} - \xi_{sh}))^2$$

Por lo tanto

$$f'_{s'} = E_s \cdot \xi_{s'} = 2100000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.00036 = 750 \text{ Kg/cm}^2$$

Paso 8. Fuerza de tensión del acero

$$T = F_{sy} \cdot A_s = 6597.36 \text{ Kg}$$

Paso 9. Fuerza de compresión del acero

$$C_{s'} = F_{s'} \cdot A_{s'} = 1178.1 \text{ Kg}$$

Paso 10. Fuerza de compresión del hormigón

$$C_c = (0.85 \cdot f'_{c'}) \cdot (a \cdot b) = 6372.45 \text{ Kg}$$

Paso 11. Fuerza total de compresión

$$C = Cs' + Cc = 7550.55 \text{ Kg}$$

Paso 12. Verificar equilibrio de sección

$$\text{Tensión} = \text{Compresión}$$

$$6597.36 \text{ kg} = 7550.55 \text{ kg} : \text{ No se encuentra en equilibrio, cambiar el valor de } c$$

De esta manera se realiza una serie de iteraciones hasta que la sección se encuentre en equilibrio. Para desarrollo de este trabajo se utilizó el software Excel como método de ayuda.

Una vez equilibrada la sección se procede a calcular tanto la Curvatura como el momento.

Los valores que lograron equilibrar la sección para el límite de fluencia fueron

$$\xi_s = 0.002 \text{ mm/mm}$$

$$\xi_c = 0.00056 \text{ mm/mm}$$

$$c = 2.762848 \text{ cm}$$

$$a = 2.35 \text{ cm}$$

$$C_c = 6287.90 \text{ Kg}$$

$$C'_s = 309.46 \text{ Kg}$$

$$T = 6597.36 \text{ Kg}$$

$$C = 6597.36 \text{ Kg}$$

Paso 13. Cálculo de la Curvatura

Para el límite de fluencia f_y

$$\varphi = \frac{\xi_c}{c} = \frac{0.00056}{2.76} = 0.000203 \text{ cm}^{-1}$$

Paso 14. Cálculo del Momento

Para el límite de fluencia f_y

$$M = Cc * \left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs' * (d - r)$$

$$M = 75691.39 \text{ Kg} * \text{cm}$$

A continuación, se muestran los resultados del cálculo para el diagrama Momento Curvatura para las vigas de hormigón convencional

Tabla 48. Resultados de la viga ($f'_c=210\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	$\emptyset \text{ cm}^{-1}$	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.002	0.00056	2.76285	2.35	6287.90	309.46	6597.36	6597.36	0.000202689	75691.39
SERVICIO EN TENSIÓN	0.01	0.00250	2.54719	2.17	5797.09	800.30	6597.36	6597.39	0.000981473	75670.50
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.0159	0.00400	2.54690	2.16	5796.43	1279.12	7075.54	7075.54	0.001570537	80643.18
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.054	0.01326	2.50417	2.13	5699.18	3566.25	9261.45	9265.43	0.005295168	103403.09
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESIÓN	0.0579	0.01419	2.49836	2.12	5685.95	3715.66	9401.61	9401.61	0.005678702	104817.03
ULTIMA	0.09	0.02151	2.45083	2.08	5577.78	4366.74	9938.45	9944.53	0.008776615	110442.14

Fuente: Nelson Chugchilan

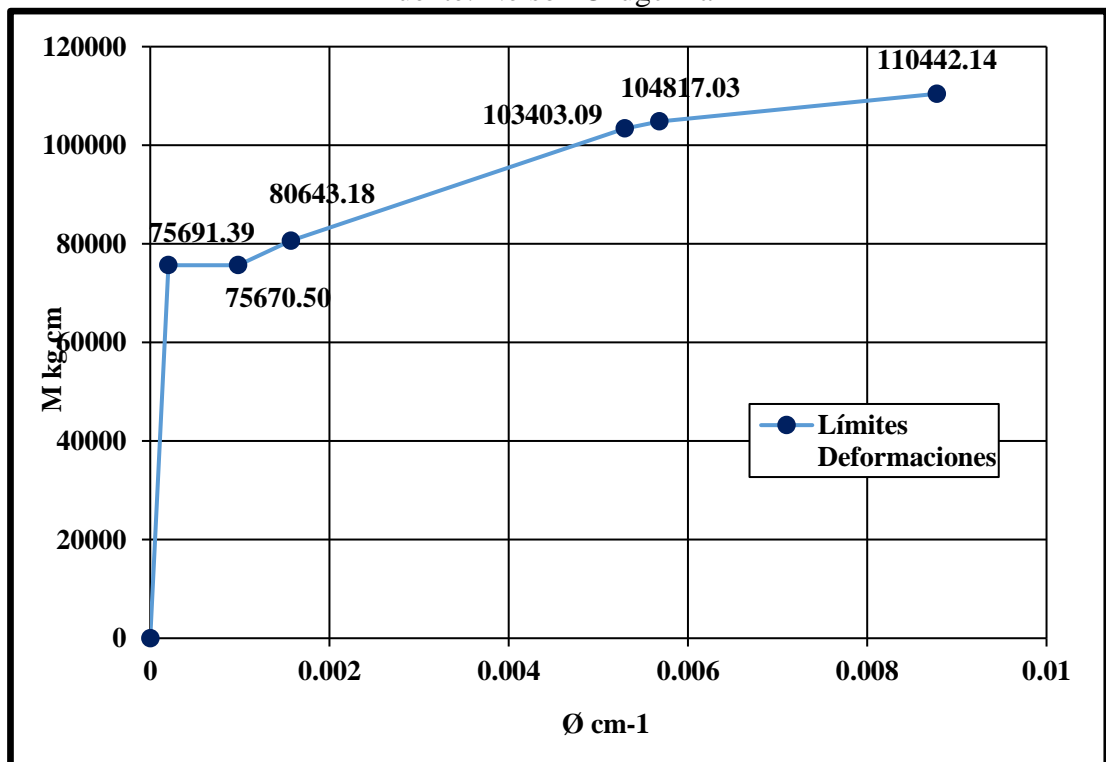


Figura 86. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 49. Resultados de la viga ($f'c=240\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	$\emptyset \text{ cm}^{-1}$	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.0020	0.00048	2.47013	2.10	6424.82	108.66	6533.48	6533.48	0.00019361	75980.4203
SERVICIO EN TENSIÓN	0.0100	0.00235	2.40639	2.05	6259.02	342.57	6601.38	6601.59	0.00097615	76651.0841
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.0241	0.00400	1.80505	1.53	4694.94	2979.34	7674.28	7674.28	0.002216	87009.1693
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.0540	0.01087	2.12927	1.81	5538.23	3722.29	9260.52	9260.52	0.00510504	104035.624
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESIÓN	0.0639	0.01314	2.16735	1.84	5637.28	3944.43	9581.71	9581.71	0.00606296	107422.894
ULTIMA	0.0900	0.01900	2.21440	1.88	5759.66	4174.65	9938.45	9934.31	0.00858019	111143.495

Fuente: Nelson Chugchilan

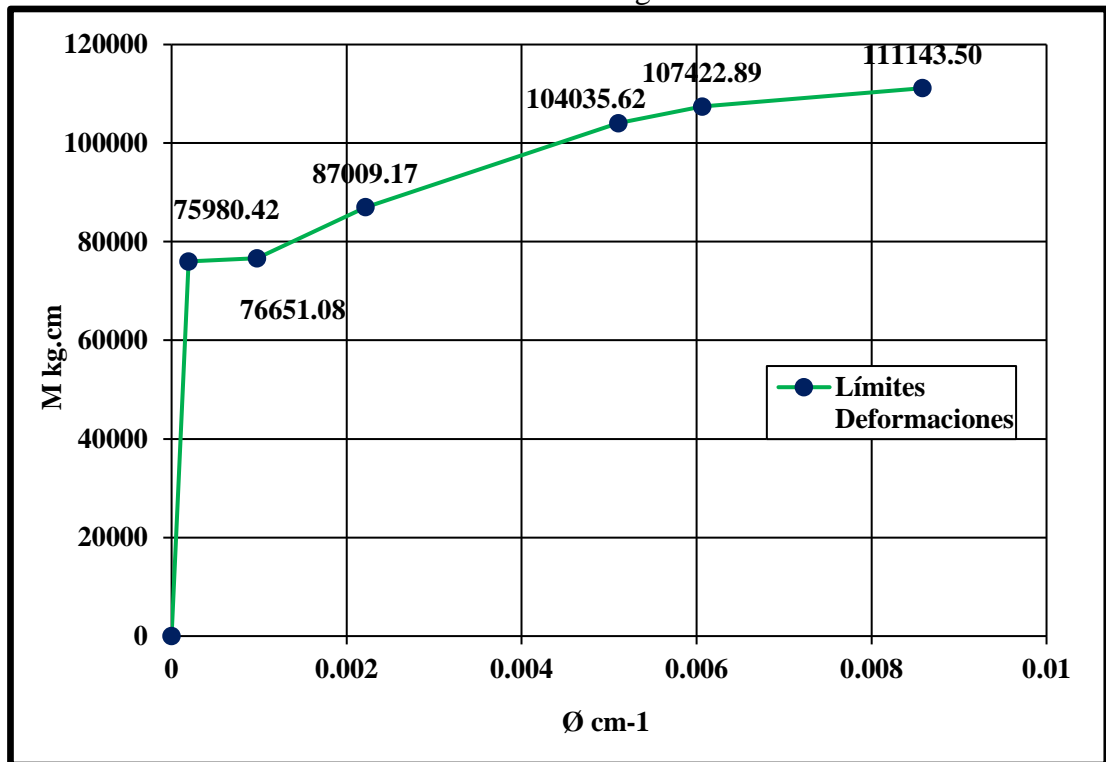


Figura 87. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 50. Resultados de la viga ($f'c=280\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	\emptyset cm-1	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.002	0.000058	0.35058452	0.30	1063.85	5533.51	6597.36	6597.36	0.00016544	70900.8845
SERVICIO EN TENSIÓN	0.01	0.000956	1.11140506	0.94	3372.56	3224.80	6597.36	6597.36	0.00086017	74776.4046
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.02505932	0.004	1.74814815	1.49	5304.76	2432.08	7736.83	7736.83	0.00228814	88722.7662
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.054	0.0106	2.08244367	1.77	6319.18	2944.40	9263.58	9263.58	0.00509017	105282.607
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESI	0.06036402	0.01204384	2.11243298	1.80	6410.18	3069.77	9479.94	9479.94	0.00570141	107579.864
ULTIMA	0.09	0.01869	2.18369702	1.86	6626.43	3313.78	9938.45	9940.21	0.00855888	112469.13

Fuente: Nelson Chugchilan

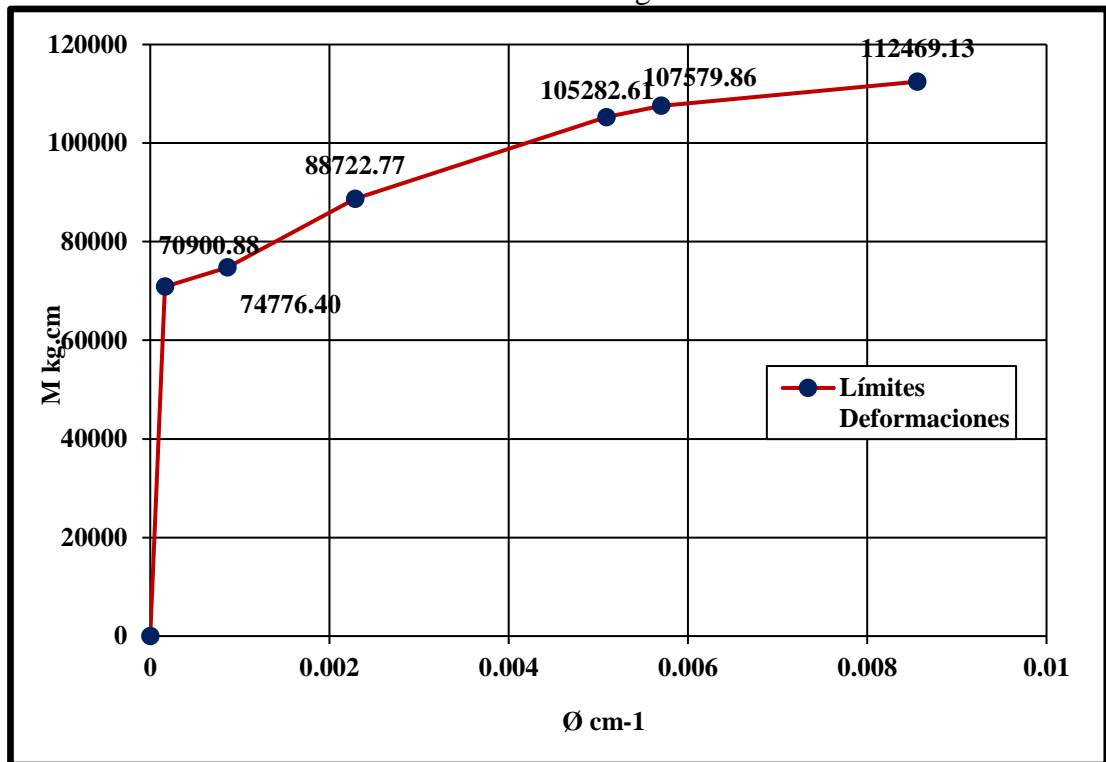


Figura 88. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

VIGAS DE HORMIGÓN POLIMÉRICO (Con resina líquida)

Modelo de Mander $\sigma - \xi$ para concreto confinado y no confinado

Datos de la sección

$b = 15\text{cm}$; Base de la viga

$h = 15\text{cm}$; Altura de la viga

$r = 1\text{cm}$; Recubrimiento libre

$A_{st+} = 1.57\text{cm}^2$; Área de acero longitudinal superior

$A_{st-} = 1.57\text{cm}^2$; Área de acero longitudinal inferior

$A_v = 0.503\text{ cm}^2$; Área de un ramal de estribo

$N^\circ \text{ ramales} = 2$; Número de ramales del estribo

$S = 15\text{m}$; Separación de los estribos

$f'_c = 1325\text{ kg/cm}^2 = 130\text{ MPa}$; Resistencia a la compresión del hormigón polimérico

$f_y = 4200\text{ kg/cm}^2 = 412.02\text{ MPa}$; Límite de fluencia del acero

$C_e = 0.85$ efectividad de confinamiento

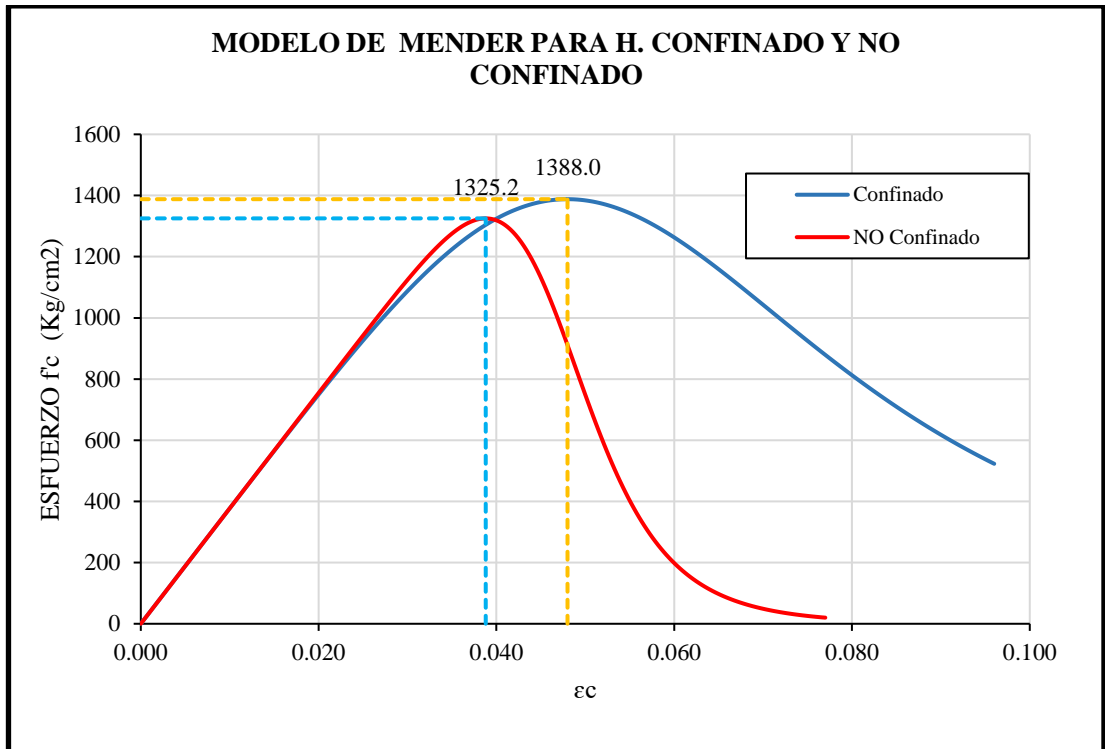


Figura 89. Modelo de Mander para viga con resina dosificación de $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 1388 Kg/cm^2 cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.048 mm/mm .

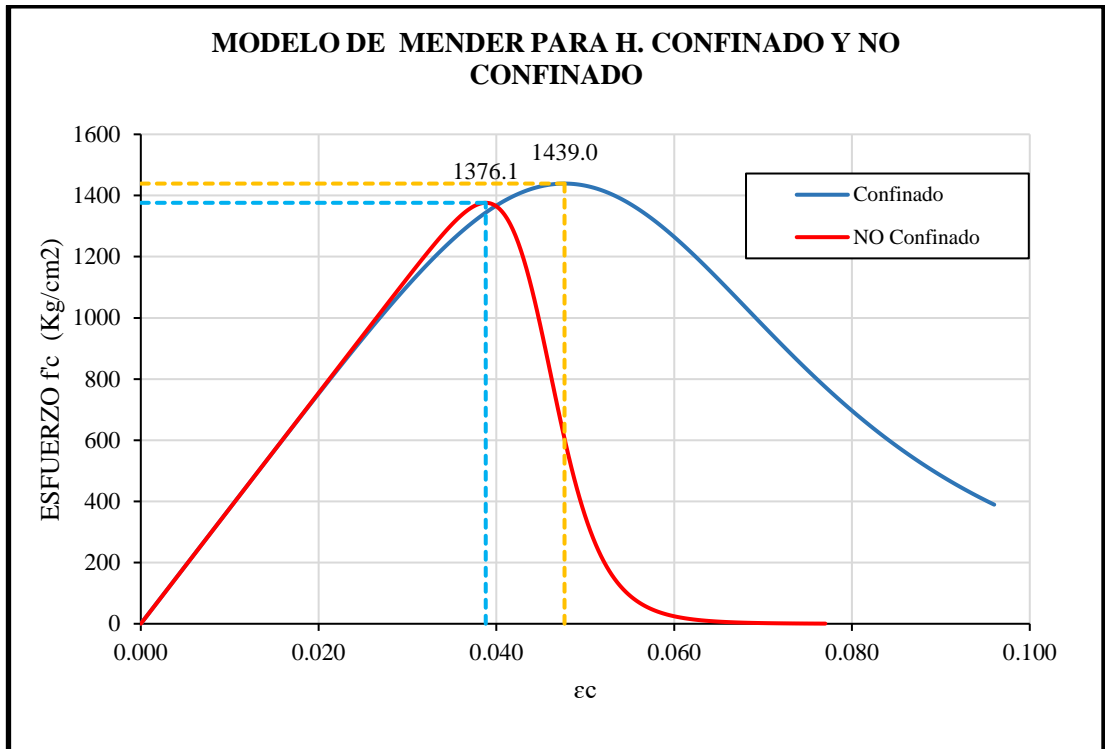


Figura 90. Modelo de Mander para Vigas con resina dosificación de $F'c=240\text{kg/cm}^2$
 Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 1439 Kg/cm^2 cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.0476 mm/mm .

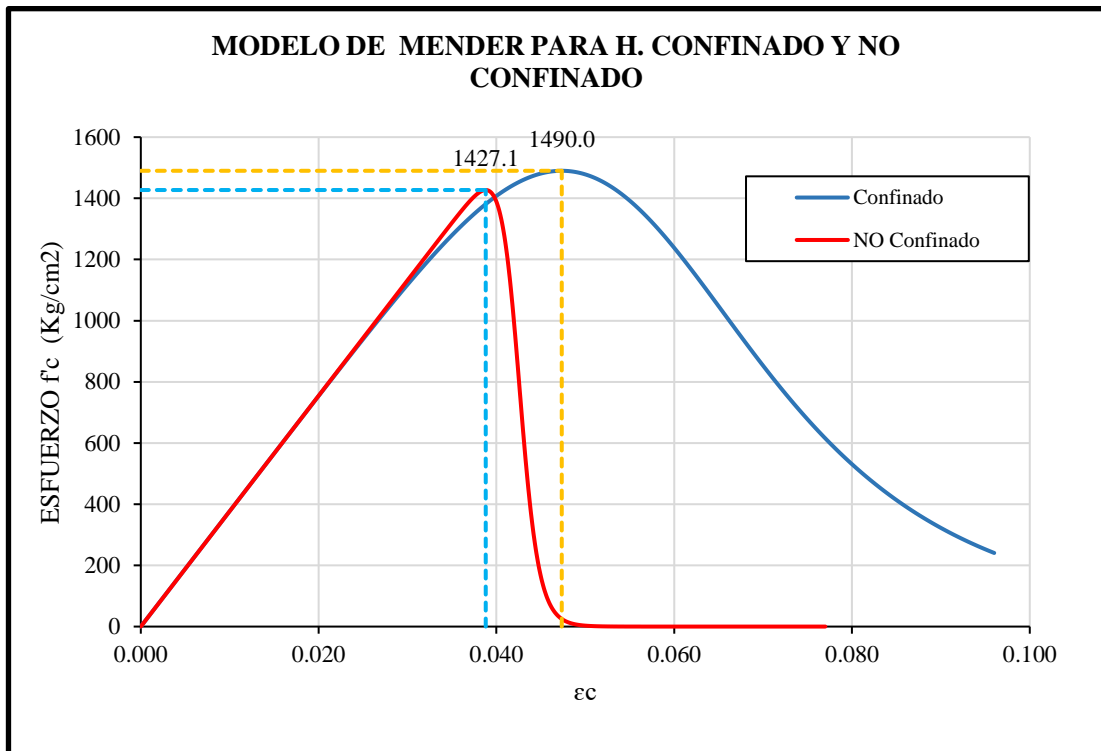


Figura 91. Modelo de Mander para Vigas con resina para una dosificación de $F'c=280\text{kg/cm}^2$

Autor: Nelson Chugchilan

Análisis:

La viga de hormigón armado llega a alcanzar en su núcleo de hormigón una resistencia de aproximadamente 1490 Kg/cm^2 cuando la deformación unitaria del concreto simple asociada al esfuerzo máximo confinante de 0.04735 mm/mm .

Modelo de Park $\sigma - \xi$ para comportamiento de acero a tracción

Dado que el comportamiento del acero no está en función del $F'c$ sino por las características propias del acero de refuerzo. Por lo tanto, el modelo de Park será el mismo para todas las vigas.

Tabla 51. Características del acero de refuerzo

ACERO NORMALIZADO	
ϵ_{sy} (mm/mm)	0.002
ϵ_{sh} (mm/mm)	0.01
ϵ_{su} (mm/mm)	0.09
f_{sy} (kg/cm ²)	4200
f_{su} (Kg/cm ²)	6327
E_s (Kg/cm ²)	2100000

Fuente: Nelson Chugchilan

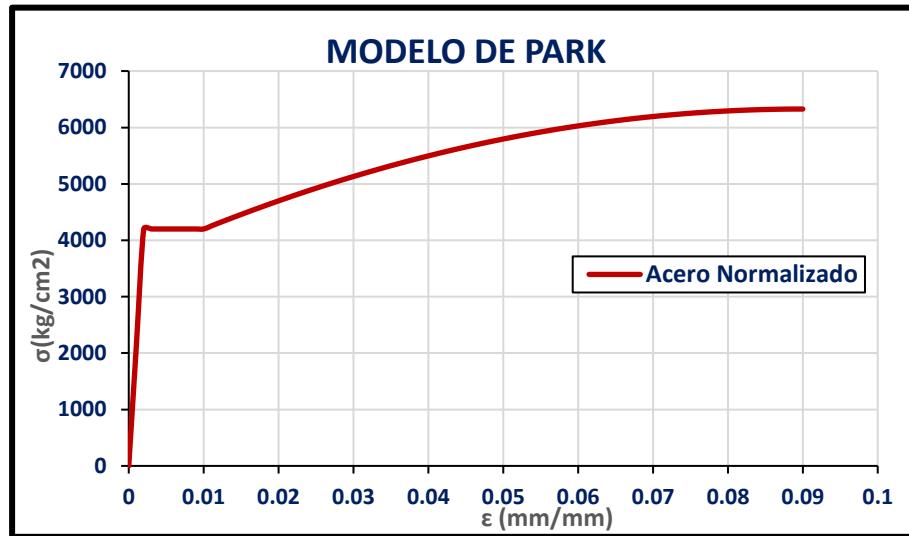


Figura 92. Acero comportamiento a tracción – Modelo de Park
Autor: Nelson Chugchilan

Diagrama Momento – Curvatura

Datos

$$A_{st+} = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$A_{st-} = 1.57 \text{ cm}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 412.02 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ módulo de elasticidad del acero}$$

$$F'_c = 1325 \text{ kg/cm}^2 = 130 \text{ Mpa}$$

$$E = 37729.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ módulo de elasticidad de la resina}$$

$$d = 12.7 \text{ cm}$$

$r = 2.3\text{cm}$; recubrimiento = $r_{\text{libre}} - \phi_{\text{estribo}} - \phi_{\text{long}}/2$

$F_{su} = 6327$; Esfuerzo de fluencia máxima del acero

El proceso de cálculo es el mismo que el de las vigas de hormigón convencional. Los resultados son los siguientes

Tabla 52. Resultados de la viga con resina (dosificación para un $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	ϕ cm-1	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.002	0.00001	0.08261	0.07	1186.44	5410.92	6597.36	6597.36	0.000162205	71299.70
SERVICIO EN TENSIÓN	0.01	0.00029	0.35952	0.31	5163.28	1434.08	6597.36	6597.36	0.000806633	79699.15
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.04143	0.00400	1.11809	0.95	16057.61	-7350.46	8707.15	8707.15	0.003577523	119856.50
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESIÓN	0.05329	0.00597	1.27848	1.09	18361.07	-9125.97	9235.10	9235.10	0.004666146	128298.95
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.054	0.00608	1.28618	1.09	18471.68	-9211.49	9260.19	9260.19	0.004727164	128693.67
ULTIMA	0.09	0.01275	1.57653	1.34	22641.54	-12703.09	9938.45	9938.45	0.008087375	140265.02

Fuente: Nelson Chugchilan

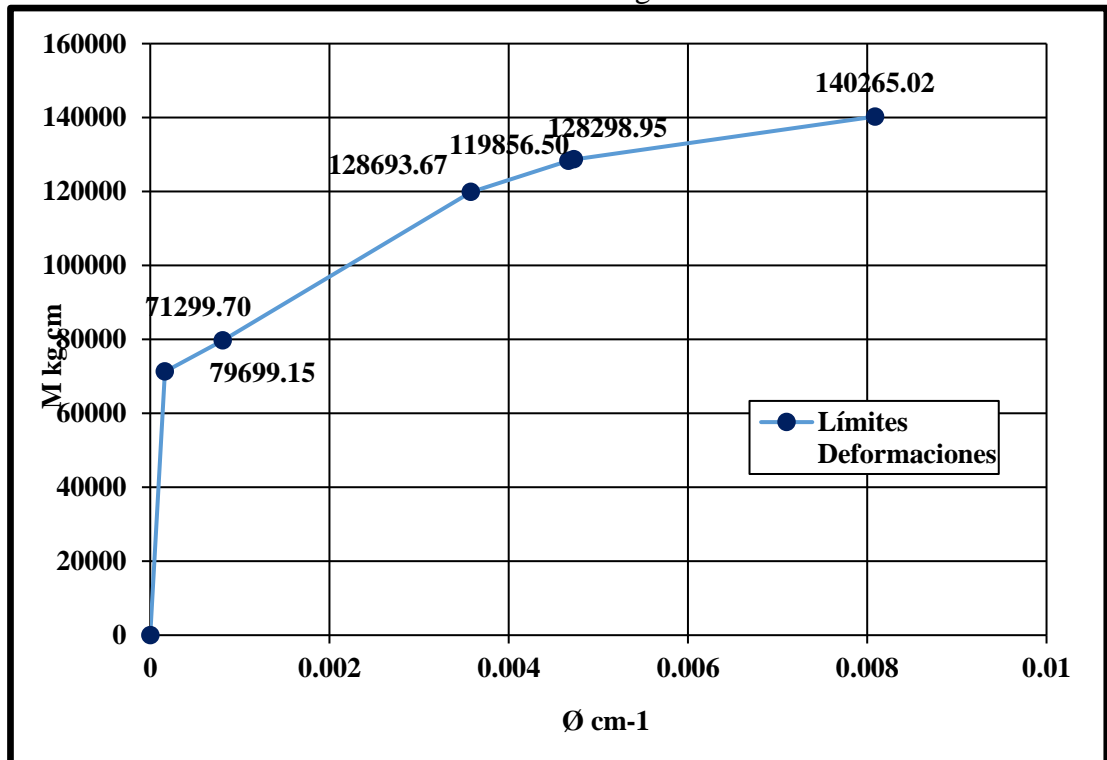


Figura 93. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 53. Resultados de la viga con resina (Para una dosificación $f'c=240\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	$\emptyset \text{ cm}^{-1}$	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.0020	0.00001	0.07602	0.06	1133.80	5439.36	6573.16	6573.16	0.00015785	70931.9969
SERVICIO EN TENSIÓN	0.0100	0.00029	0.35065	0.30	5229.55	1370.93	6600.48	6600.48	0.00081278	79893.608
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.0420	0.00400	1.10324	0.94	16453.75	-7715.79	8737.97	8737.97	0.00362568	121003.678
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESIÓN	0.0536	0.00590	1.25795	1.07	18761.11	-9513.30	9247.82	9247.82	0.00468691	129297.605
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.0540	0.00596	1.26232	1.07	18826.18	-9564.19	9261.98	9261.98	0.00472148	129524.897
ULTIMA	0.0900	0.01255	1.55470	1.32	23186.81	-13248.36	9938.45	9938.45	0.00807229	141368.908

Fuente: Nelson Chugchilan

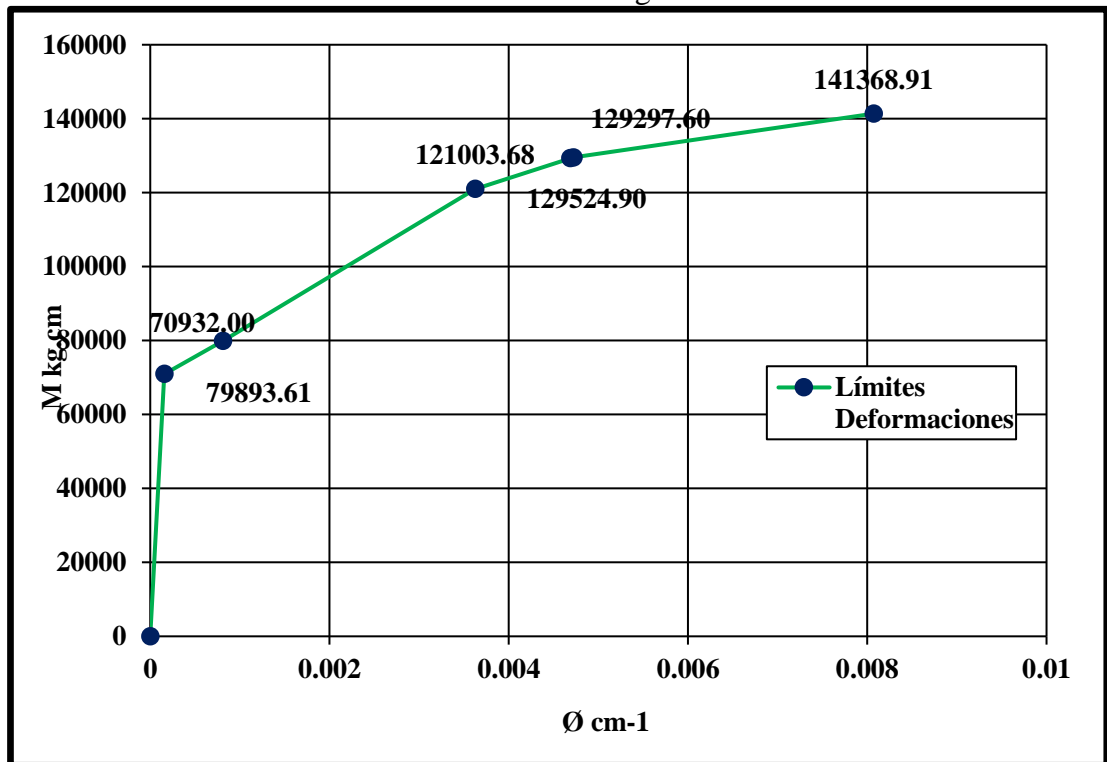


Figura 94. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

Tabla 54. Resultados de la viga con resina (Para una dosificación $f'c=280\text{kg/cm}^2$) para el diagrama Momento - Curvatura

DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA										
LÍMITE DE DEFORMACIÓN	Es	Ec	c	a	Cc	Cs'	T	C	$\emptyset \text{ cm}^{-1}$	M [Kg.cm]
INICIO	0	0	0.00000	0	0	0	0	0	0	0
FLUENCIA	0.0020	0.00001	0.07545	0.06	1167.01	5430.35	6597.36	6597.36	0.00015904	71259.2422
SERVICIO EN TENSIÓN	0.0100	0.00001	0.07018	0.06	1085.45	5444.49	6529.94	6529.94	0.00015674	70375.488
SERVICIO EN COMPRESIÓN	0.0426	0.00400	1.08901	0.93	16843.09	-8075.19	8767.90	8767.90	0.00367305	122129.751
CONTROL DE DAÑO EN COMPRESIÓN	0.0540	0.00583	1.23836	1.05	19152.99	-9892.28	9260.70	9260.70	0.00470864	130282.889
CONTROL DE DAÑO EN TENSIÓN	0.0540	0.00584	1.23898	1.05	19162.55	-9899.84	9262.71	9262.71	0.00471354	130315.653
ULTIMA	0.0900	0.01236	1.53355	1.30	23718.40	-13779.95	9938.45	9938.45	0.00805974	142453.557

Fuente: Nelson Chugchilan

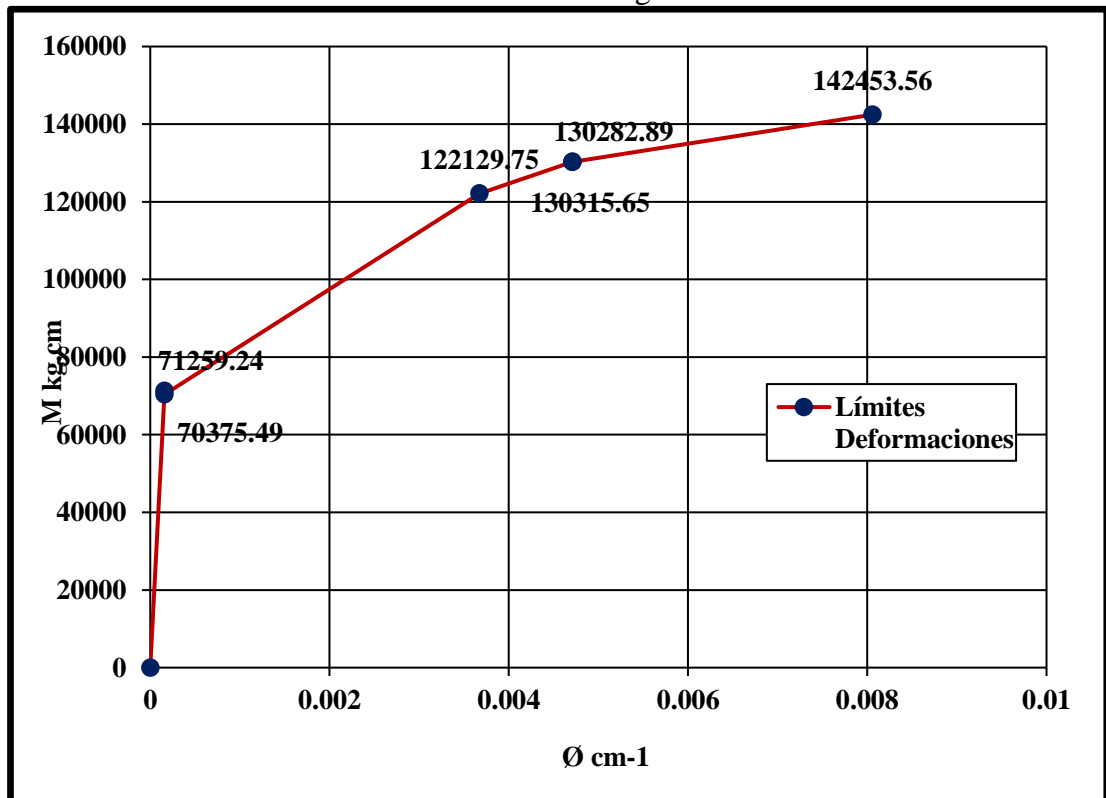


Figura 95. Diagrama Momento - Curvatura para viga de hormigón Polimérico para una dosificación de $f'c=240\text{kg/cm}^2$

Fuente: Nelson Chugchilan

Puntos notables del diagrama Momento - Curvatura

En el diagrama Momento - Curvatura se acostumbra a establecer tres puntos notables que son: agrietamiento (A), fluencia (Y), ultimo (U), a más de estos tres puntos es necesario considerar el punto de servicio (S), mediante estos límites podemos evaluar el desempeño de la sección.

Agrietamiento (A).

El punto A se da cuando el hormigón alcanza su máximo esfuerzo a la tracción este punto es despreciado debido a que representa valores muy bajos tanto de momento como de curvatura.

Fluencia (Y).

Por la condición anteriormente explicada se toma como primer punto a la fluencia, originada cuando el acero longitudinal trabajando a tracción es decir empieza a fluir. De acuerdo con el modelo de Mander para el acero este punto se produce cuando $\xi_s = 0.002$.

Tabla 55. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto de Fluencia

VIGA	Φ_y (cm ⁻¹)	My (Kg.cm)
Viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.000202689	75691.39
Viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.000193613	75980.42
Viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	0.000165438	70900.88
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.000162205	71299.70
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.000157848	70931.99694
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=2180\text{kg/cm}^2$	0.000159036	71259.24224

Fuente: Nelson Chugchilan

Servicio (S).

El punto de servicio marca la diferencia entre si la sección requiere o no ser reparada. Desde este punto la sección no ha perdido resistencia significativa, y por lo tanto puede continuar soportando cargas gravitacionales o laterales. Este límite debe ser calculado en base a la comparación de deformaciones de tensión y de tracción; dicho de otra forma, el límite de servicio se toma como el menor valor de curvatura correspondiente a una deformación del hormigón en compresión de $\xi_{cs} = 0.004$ o una deformación del acero en tensión de $\xi_s = 0.010$ para elementos que no estén sujetos a carga axial.

Tabla 56. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto de Servicio

VIGA	Φ_s (cm ⁻¹)	Ms (Kg.cm)
Viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.000981473	75670.50
Viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.000976152	76651.08
Viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	0.000860172	74776.4
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.000806633	79699.15
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.000812783	79893.61
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=2180\text{kg/cm}^2$	0.000156737	70375.49

Fuente: Nelson Chughilan

Ultimo (U).

Un estado límite último verdadero se referiría a la inhabilidad del elemento a soportar cargas impuestas, como cargas gravitacionales en vigas. A criterio de quien

realiza la propuesta, el primer límite de estado último se tomará cuando el acero llegue a una deformación igual a $\xi_{su}=0.09\text{mm/mm}$.

Tabla 57. Resultados del Diagrama Momento – Curvatura del Punto Último

VIGA	Φ_u (cm ⁻¹)	Mu (Kg.cm)
Viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.008776615	110442.14
Viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.008580195	111143.50
Viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	0.008558880	112469.13
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.008087375	140265.02
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=240\text{kg/cm}^2$	0.008072287	141368.91
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=2180\text{kg/cm}^2$	0.008059744	142453.56

Fuente: Nelson Chugchilan

Cálculo del módulo de ruptura

Tomando en consideración los valores de Mu de las vigas podemos obtener el Módulo de Ruptura (MR) el cual determina la Capacidad a flexión de un elemento.

$$MR = \frac{Mu * c}{I}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Tabla 58. Módulo de Ruptura obtenidos a partir del Momento Último

VIGA	Mu (Kg.cm)	MR (Mpa)
Viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	110442.14	19.25
Viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	111143.50	19.38
Viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	112469.13	19.61
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=210\text{kg/cm}^2$	140265.02	24.45
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=240\text{kg/cm}^2$	141368.91	24.65
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=2180\text{kg/cm}^2$	142453.56	24.84

Fuente: Nelson Chugchilan

Comparación de Resultados Ensayo Practico vs. Método Matemático.

Una vez obtenido los resultados tanto de los ensayos prácticos y el cálculo matemático procedemos a comparar los resultados enfocados en la máxima capacidad a flexión de las vigas que es uno de los parámetros importantes del Diagrama M-Ø.

Tomando en consideración el Módulo de Ruptura el cual determina la capacidad a la flexión de las vigas a continuación se ilustra la comparación de resultados.

Tabla 59. Módulo de Ruptura obtenidos por el Ensayo Práctico y por el Método Matemático

VIGA	MR (Mpa)	MR (Mpa)
	Ensayo Práctico	Método Matemático
Viga de hormigón Convencional $f'c=210\text{kg/cm}^2$	14.83	19.25
Viga de hormigón Convencional $f'c=240\text{kg/cm}^2$	18.77	19.38
Viga de hormigón Convencional $f'c=280\text{kg/cm}^2$	21.38	19.61
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=210\text{kg/cm}^2$	18.61	24.45
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=240\text{kg/cm}^2$	23.01	24.65
Viga de hormigón Polimérico (Con resina) $f'c=2180\text{kg/cm}^2$	26.95	24.84

Fuente: Nelson Chugchilan

Los resultados obtenidos tanto del Ensayo como del Método matemático varían en su resultado por un valor aceptable, esta variación se da por los siguientes factores.

- El resultado del Módulo de Ruptura del Método matemático es producto de una serie de cálculos, los cuales anteriormente se definieron y como ya se explicó está en función de los modelos constitutivos del hormigón y del acero, además del método de resolución.
- El resultado del Módulo de Ruptura en el Ensayo Práctico es el resultado del promedio de las tres vigas ensayadas los cuales variaran de acuerdo con las condiciones de ejecución en el momento del ensayo.

3.2 Verificación de hipótesis

Una vez realizado los ensayos de las vigas de hormigón convencional y las vigas con resina poliéster líquida, procedemos a calcular la curva de desempeño posteriormente se analiza e interpreta los resultados con los cuales se determina que la resina es un material que trabaja muy bien como un material de reforzamiento estructural, toda vez que se incrementa la capacidad de carga.

La hipótesis alternativa que se planteó en esta investigación es: “Existe una variación apreciable en la resistencia a flexión de vigas convencionales comparado con vigas reforzadas con resina poliéster líquida”.

Con el remplazo total de cemento, agua y arena por resina líquida en las vigas poliméricas, la resistencia a la flexión superó el límite de las vigas convencionales. aumentando considerablemente su módulo de rotura. existiendo un incremento del 30% para las vigas de hormigón convencional con resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$, un incremento del 3.2% para las vigas de hormigón convencional con resistencia $f'c=240\text{kg/cm}^2$ una reducción del 8.3% para las vigas de hormigón convencional con resistencia $f'c=280\text{kg/cm}^2$. y para las vigas de hormigón polimérico con resina líquida existe un incremento del. Por lo tanto, si existe un incremento apreciable de la resistencia a flexión en las vigas. Aceptándose la hipótesis alternativa.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se encontró al realizar el ensayo de granulometría que la muestra está bien graduada pues se encuentra dentro de los límites establecidos en NTE INEN 696. Dando como resultado un módulo de finura para el agregado fino de 2.60-
- La densidad aparente suelta del agregado fino es 1.50 kg/dm^3 y del agregado grueso de 1.35 kg/dm^3 , mientras que la densidad compactada del agregado fino es 1.65 kg/dm^3 y la del agregado grueso es de 1.45 kg/dm^3 . Con estos datos se procedió a realizar la correcta dosificación.
- La densidad real del agregado fino 2.5 gr/cm^3 y la del agregado grueso de 2.55 gr/cm^3 , tratándose de un agregado grueso y fino aceptables. La capacidad de absorción del agregado fino es de 1.50% encontrándose dentro del rango permisible de 0.2 a 2%. La capacidad de absorción del agregado grueso es de 2.30% encontrándose dentro del rango permisible de 0.2 a 5%.
- El diseño de la mezcla de concreto, utilizando el método del A.C.I cumplió a cabalidad con los requisitos que exigía el método tal y como se puede observar en los resultados, lo cual brindó seguridad y fiabilidad a las proporciones de los agregados utilizados.
- Los resultados a compresión de las probetas con dosificación para un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a 7, 14 y 21 días son: 140.85, 185.26 y 206.35 kg/cm^2 respectivamente. Los resultados a compresión de las probetas con dosificación para un $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ a 7, 14 y 21 días son: 159.09, 204.31 y 233.09 kg/cm^2 respectivamente. Los resultados a compresión de las probetas con dosificación para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a 7, 14 y 21 días son: 190.61, 246.36 y 286.78 kg/cm^2 respectivamente. Concluyendo que todas las dosificaciones realizadas son las correctas ya que los resultados se encuentran dentro de las curvas límites de compresión
- En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las vigas de hormigón convencional para las dosificaciones de 210, 240 y 280 kg/cm^2 se obtiene una carga máxima de 85777Nw, 108518Nw y 123681Nw respectivamente comprobando así que mientras más alta sea su $f'c$ mayor carga va a soportar hasta llegar a sufrir la flexión, así mismo mayor va a ser su deformación. Y así mismo

mayor será la tensión máxima para soportar (módulo de ruptura) dando como resultados 14.83Mpa, 18.77Mpa y 21.38Mpa respectivamente. El módulo de rotura suele variar entre el 10% al 15% de la resistencia a la compresión, una relación aproximada dependiendo del tipo, las dimensiones y el volumen de agregado grueso utilizado. El módulo de rotura es mayor al esperado, por lo cual se considera que los materiales utilizados han favorecido de tal modo que el comportamiento del concreto no ha disminuido radicalmente. En todos los casos la relación flexión/compresión es mayor al 15% lo que indicaría un buen comportamiento ante la flexión.

- En base a los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las vigas de hormigón polimérico para las dosificaciones realizadas de 210, 240 y 280 kg/cm² se obtiene una resistencia a la compresión de 1325, 1376 y 1430kg/cm² respectivamente y una carga máxima de 107681Nw, 133184Nw y 156014Nw respectivamente comprobando así que mientras mayor sea el porcentaje de resina aplicado mayor carga va a soportar hasta llegar a sufrir la flexión, así mismo mayor va a ser su deformación. Y así mismo mayor será la tensión máxima para soportar (módulo de ruptura) dando como resultados 18.61Mpa, 23.01Mpa y 26.95Mpa respectivamente. En todos los casos la relación flexión/compresión es mayor al 14% lo que indicaría un buen comportamiento ante la flexión.

- En base a los resultados obtenidos en el incremento en la capacidad de carga de las vigas poliméricas; de la resistencia a la compresión y flexión, se puede inferir en este caso, que las propiedades mecánicas de la resina son la mayor responsable del incremento en la capacidad de carga. Por otro lado, una ventaja adicional de la resina puede ser la mayor capacidad de deformación que ofrece antes de fallar, ya que esto favorece un comportamiento plástico de las estructuras de concreto.

- Comparando los módulos de ruptura de las vigas de hormigón convencional y las vigas de hormigón con resina existe un incremento del 125%, 122% y 126%. Por lo tanto, la sustitución del agregado fino, cemento y agua incrementa la resistencia a la flexión en comparación con una viga de hormigón armado.

- En todas las vigas, al inicio aparecen un cierto número de fallas, las cuales empiezan a crecer. Las primeras en aparecer son las fallas de flexión que, al llegar al acero, son absorbidas por los estribos cerca de los apoyos. Debido al tipo de construcción de la viga, las fallas principales que se generan son por tensión

diagonal, las cuales se caracterizan por su aparición y rápido crecimiento y son las causantes de la falla de la estructura de concreto.

- Los resultados de los puntos notables del diagrama M-Ø dependen mucho de los modelos con los que se hayan trabajado tanto del hormigón como del acero.
- Comparando los resultados de los ensayos de las vigas versus los resultados del diagrama M- Ø, se observa que tanto el módulo de ruptura proporcionado por el ensayo y el momento último proporcionado por el diagrama M- Ø en la viga reforzada con resina líquida son los más altos en comparación con los otros especímenes por lo cual podemos concluir q tienen mayor resistencia a la flexión.
- Analizando los valores de los diagramas de M- Ø se puede determinar que existe una diferencia de Momento último (Mu) incrementando un 127%, entre los dos tipos de vigas convencional y polimérica, lo cual determina que la viga con menor resistencia a la flexión es la de hormigón convencional dado que su Momento ultimo (Mu) es menor.
- El sistema de hormigón polimérico con resina líquida debería ser una buena opción a optar, debido a sus diversas ventajas tales como su estética y su alto desempeño en materia de incremento de resistencia tanto a flexión como a compresión.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la dosificación para un 115% de lo que se desea obtener pues siempre existen desperdicios al momento de preparar la mezcla sobre todo cuando se realiza en concreteira y además así se puede enrasar los moldes de manera adecuada.
- Se recomienda utilizar menos porcentaje de catalizador MEG para la fabricación hormigón polímero de elementos que vayan a trabajar a flexión, ya que retarda el fraguado pero incrementa la resistencia a la flexión.
- Se recomienda seguir todas las normas de los ensayos de agregados para obtener resultados confiables y compararlos con resultados de investigaciones previas, pues estos valores son los parámetros necesarios para llevar a cabo la dosificación del concreto polimérico por el método ya sea de la densidad óptima o del ACI.

- Se recomienda utilizar equipo de seguridad (mascarilla, gafas protectoras, guantes) para protegerse olor intenso de la resina de poliéster y para prevenir irritaciones en la piel al elaborar concreto polimérico.
- Se recomienda que en futuros trabajos experimentales se realice un análisis costo- beneficio exponiendo al concreto polimérico y al concreto convencional para demostrar las ventajas de usar este nuevo material.
- No es recomendable realizar el reforzamiento con fibras en elementos en los cuales el hormigón haya sufrido daños severos o el acero presente ruptura.
- Se recomienda que para calcular el Diagrama M-Ø del hormigón polimérico se recomienda utilizar modelos más complejos tanto como para el acero y para el hormigón, con los cuales se obtendrán resultados más reales.
- Se recomienda incursionar a los profesionales dentro del área investigativa para adquirir conocimiento sobre los avances tecnológicos dentro del área de la construcción civil, ya que existen muchas técnicas y materiales nuevos con los cuales se puede solucionar inconvenientes en menor tiempo y con mejores resultados.

BIBLIOGRAFÍA

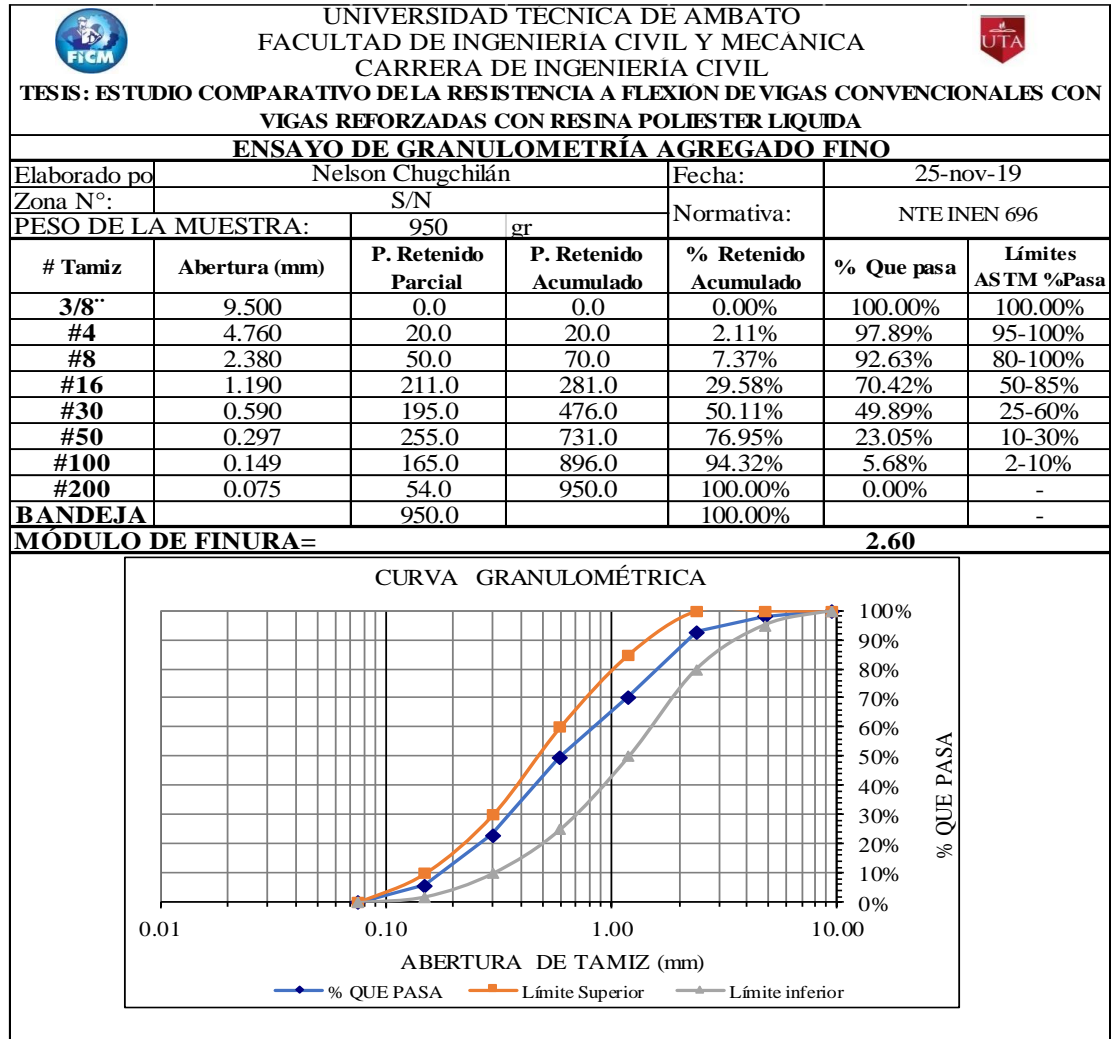
- [1] A. Castellese, Hormigón de ultra-alta resistencia con resinas - Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2011.
- [2] A. F. a. K. Sánchez, Utilización de los plásticos en edificación y obras públicas, Universidad Católica Andrés Bello, 2016.
- [3] A. B. a. R. Carlos, Sistematización teórico-práctica del proceso de fundición en polvo de marmol, aplicado a la escultura en la Facultad de Artes de la Universidad Central del Ecuador, Quito, 2017.
- [4] R. A. E. Fernando, Determinación de las propiedades mecánicas de un hormigón con sustitución parcial y total del cemento por una resina de poliéster, Ambato, 2017.
- [5] B. Cristina, Determinación de un porcentaje de resina de poliéster en un concreto polimérico para alcanzar una alta resistencia a compresión, Ambato, 2018.
- [6] I. I. a. U. Polit, Los hormigones con polímeros en la construcción, 2015.

- [7] N. Miguel, «Usos y aplicaciones de la resina de poliéster,» 2018. [En línea]. Available: https://www.nazza.es/blog/8_Usos-resina-poliester.html. [Último acceso: 2019 06 30].
- [8] I. S. Medina, Hormigón, Ambato, 2016.
- [9] I. E. d. N. N. I. 0858, Áridos. Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos, Quito, 2010.
- [10] I. E. d. N. N. I. 1762, Hormigón, definiciones y terminología, Quito, 2014.
- [11] I. E. d. N. N. I. 0856, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad Específica) y absorción del árido fino, Quito, 2010.
- [12] J. Porrero, Manual de concreto estructural. 1ra Edición, Caracas: PAG Marketig, 2014.
- [13] Y. Gharagozlou, «INSTRON, Resistencia a la compresión,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength..> [Último acceso: 10 01 2020].
- [14] CIP-16, «El concreto en la práctica, resistencia a la flexión del concreto,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf> . [Último acceso: 01 02 2020].
- [15] C. P. M. J. T. E. Valencia M, «Caracterización fisiomecánica de concreto polimérico basado en resina de poliéster,» *Revista Científica Guillermo de Ockham*, vol. N°8.
- [16] Hegardt, «Hormigón Polímero "Características y Propiedades",» 2012. [En línea]. Available: <http://www.hegardt.es/area-tecnica/a5-que-es-el-hormigon-polimero>. [Último acceso: 22 03 2020].
- [17] I. H. G. V. Salazar, Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación, Quito, 2011.
- [18] Reichhold, «Boletín Técnico, PolyLite 33200 "Resina Poliéster Química Especial",» 2007. [En línea]. Available: <http://www.plastiformas.com.mx/pdf/resinas/33200-01.pdf>. [Último acceso: 12 01 2020].
- [19] I. C. D. M. Robalino, ESTUDIO DE LA RELACIÓN MOMENTO – CURVATURA COMO HERRAMIENTA PARA ENTENDER EL COMPORTAMIENTO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO, Ambato, 2012.
- [20] S. R. Morales, Diagramas momento-curvatura para secciones de hormigón armado. Determinación del valor de ductilidad local de una sección de hormigón armado. Empleo del programa matlab en aplicaciones estructurales a nivel seccional, España, 2015.

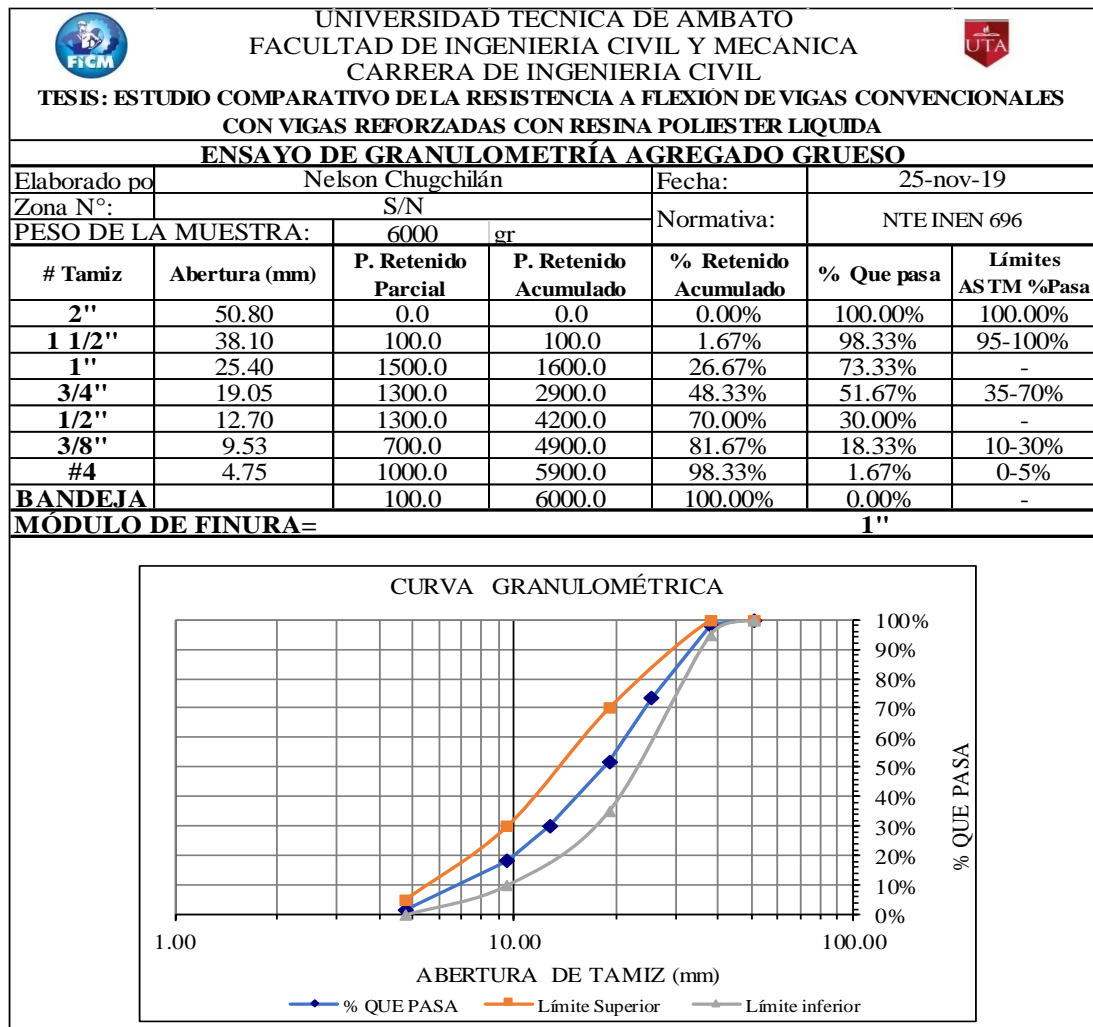
- [21] IBERDROLA, De la producción y distribución de energía eléctrica; Acciones para su control, Bilbao.
- [22] B. OCDE, «Consumo de energía eléctrica (Kwh per cápita),» 2014. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC..> [Último acceso: 02 02 2020].
- [23] E. Comercio, «Ciclo de vida de la electricidad deja huellas ambientales,» 14 10 2014. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/electricidad-energia-huellas-ambiente-ecuador.html>. [Último acceso: 25 01 2020].
- [24] I. E. d. N. N. I. 0858, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso, Quito, 2010.
- [25] G. M., Seminario de Graduación, investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón. Universidad Central del Ecuador, Quito, 2010.

ANEXOS

Anexo N°1. Granulometría del agregado fino





Anexo N°2. Granulometría del agregado Grueso



Anexo N°3. Densidad aparente compactada del agregado grueso y fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Elaborado por:	Nelson Chugchilán			
Norma:	INEN 858			
Fecha:	26 de noviembre de 2019			
Masa recipiente:	10.00 Kg			
Volumen Recipiente:	20.30 dm ³			
Agregado	Masa Agregado + Recipiente (Kg)	Masa Agregado (Kg)	Peso Unitario (Kg/dm ³)	Peso unitario Promedio (Kg/dm ³)
GRUESO	39.00	29.00	1.43	1.45
	40.00	30.00	1.48	
FINO	43.20	33.20	1.64	1.65
	43.80	33.80	1.67	

Anexo N°4. Densidad aparente suelta del agregado grueso y fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Elaborado por:	Nelson Chugchilán			
Norma:	INEN 858			
Fecha:	26 de noviembre de 2019			
Masa recipiente:	10.00 Kg			
Volumen Recipiente:	20.30 dm ³			
Agregado	Masa Agregado + Recipiente (Kg)	Masa Agregado (Kg)	Peso Unitario (Kg/dm ³)	Peso unitario Promedio (Kg/dm ³)
GRUESO	37.61	27.61	1.36	1.35
	37.20	27.20	1.34	
FINO	40.75	30.75	1.52	1.50
	40.15	30.15	1.49	

Anexo N°5. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
Elaborado por:	Nelson Chugchilán			
Norma:	NTE INEN 857			
Fecha:	27 de noviembre de 2019			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1191.00	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1059.00	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4810.00	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3260.00	
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00	
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3619.00	
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2201.00	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1418.00	
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2.55	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	31.50	30.60
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	157.46	173.28
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	125.96	142.68
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	154.60	170.10
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	123.10	139.50
CA=(M9-M11)/M11	Capacidad de absorción	%	2.32%	2.28%
	Capacidad de absorción promedio	%	2.30%	

Anexo N°6. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
Elaborado por:	Nelson Chugchilán			
Norma:	NTE INEN 857			
Fecha:	27 de noviembre de 2019			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	150.00	
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	376.36	
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	785.00	
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	408.64	
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	649.00	
M6=M5-M1	Masa de 500cm ³ de agua	gr	499.00	
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.00	
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	90.36	
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	226.36	
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	90.54	
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.50	
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	24.90	20.80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	111.80	89.40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	86.90	68.60
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	110.50	88.40
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	85.60	67.60
CA=(M9-M11)/M11	Capacidad de absorción	%	1.52%	1.48%
	Capacidad de absorción promedio	%	1.50%	

Anexo N°7. Densidad real del cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS CONVENCIONALES CON VIGAS REFORZADAS CON RESINA POLIESTER LIQUIDA				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
Elaborado por:	Nelson Chugchilán			
Norma:	NTE INEN 857			
Fecha:	28 de noviembre de 2019			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	24.90	20.80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	111.80	89.40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	86.90	68.60
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	110.50	88.40
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	85.60	67.60
CA=(M9-M11)/M11	Capacidad de absorción	%	1.52%	1.48%