UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA METODOLOGÍCA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO

Pucallpa - Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 002-2024

GRADUANDO : **Bach. DANNY JULIUS PEREZ NACIMIENTO**

TEMA : "PROPUESTA METODOLOGÍCA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

ASESOR : MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION		X		
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL	X			
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA	X			
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS	X			
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO	X			
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD	X			
* A LA PROFESION		X		

EVALUACION

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:
PUNTAJE : 25 / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : **UNANIMIDAD**
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

MG. HORACIO SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

DR. DAVID ABEL GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
MIEMBRO

DR. FERNANDO RAFAEL LEAN
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 12 DE ENERO DEL 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

TESIS TITULADO : "PROPUESTA METODOLOGÍCA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI".

ELABORADO POR : Bach. DANNY JULIUS PEREZ NACIMIENTO

APROBADO POR :

Mg. HORACIO SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Dr. DAVID ABEL GONZÁLEZ MANRIQUE DE LARA
MIEMBRO

Dr. FERNANDO RAFAEL LEAN
MIEMBRO

Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

N° V/0667-2023 .

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"**PROPUESTA METODOLÓGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI**"

Autor(es)	:	**PEREZ NASCIMIENTO, DANNY JULIUS**
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Mg. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%,** verificado en el Sistema Antiplagio URKUND/OURIGINAL,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 06/11/2023

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO

Autor de la tesis titulada : PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI

Sustentada el año 2024

Asesor(a): Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 12 / 01 / 2024

Email: dannyjulios.12@gmail.com Firma:

Teléfono: 979891277 DNI: 74486963

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios que es el mayor ingeniero, a mis padres que son las personas que me motivan y me fortalecen a seguir adelante, a mis hermanos por su apoyo incondicional y a todos los profesores que me apoyaron en mi formación profesional; espero hacerlos sentir orgullosos.

Danny Julius

AGRADECIMIENTO

En esta etapa concluida de mi maravillosa carrera profesional, quiero agradecer a quienes hicieron realidad este sueño, para aquellas personas que me encaminaron en todo momento y fueron mi apoyo, inspiración y fortaleza para lograr este objetivo. En especial para mis padres y hermanos, por el apoyo incondicional, por sus consejos que fueron fundamental para poder alcanzar esta meta y sobre todo por enseñarme a ser una persona con principio y valores.

Mi agradecimiento también es para los catedráticos de la Facultad de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali, por sus magistrales enseñanzas que recibí en sus clases y que contribuyeron en mi formación profesional.

Mi agradecimiento sincero al Ing. Ronald Joseph Purca Sucasaca, que me brindo sus enseñanzas y conocimientos para poder desarrollar esta investigación. Mi gratitud al asesor Mg. Devyn Omar Donayre Hernandez por sus instrucciones y el tiempo que dedico para mejorar el nivel de este trabajo de investigación.

Para todo ellos, gracias infinitas.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la aplicabilidad de la metodología de diseño por flexión de concreto armado en vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali. La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, el nivel de la investigación es descriptivo, experimental y exploratorio, y diseño experimental. La muestra está conformada por 4 vigas que fueron ensayadas en el laboratorio de estructura de la Pontificia Universidad Católica del Perú. La arena utilizada para las muestras se clasifico como una arena mal graduada, de peso específico de 2.296 g/cm^3, peso unitario suelto de 1456.55 kg/m^3, peso unitario compactado de 1548.23 kgf/m^3 y módulo de fineza de 1.05. El diseño de mezcla se realizó para una resistencia a la compresión a los 28 días de f'c=210 kgf/cm^2 y para obtener un control de la evolución de la resistencia a la compresión, se sometieron a ensayos a la compresión, obteniendo una resistencia promedio de 228.23 kgf/cm^2. El peso del mortero fue de 2033 kgf/m^3, que es un valor inferior a los 2300 kgf/m^3. El módulo de elasticidad del mortero se obtuvo a partir de datos experimentales de otras investigaciones, en reemplazo de $E_c=15{,}000\sqrt{f'c}$, se empleó $E_c=10{,}043\sqrt{f'c}+24{,}941$. Se calibró los parámetros de la ecuación de Hognestad para obtener la curva esfuerzo deformación del mortero, considerando que la curva alcanza el máximo esfuerzo f'c cuando la deformación del mortero es de $\varepsilon_o=0.0029$. Se comparó los resultados del ensayo a flexión de vigas de mortero y concreto armado de sección de 125x200mm, de f'c= 250 kg/cm^2, obteniendo los diagramas de carga-deflexión y el patrón de agrietamiento, de la misma forma se grafica los diagramas momento-curvatura para caracterizar el comportamiento de las vigas. Finalmente se propone una metodología para el diseño de vigas de mortero armado y se concluye que, si es aplicable utilizar la metodología de diseño a flexión de vigas de concreto armado en vigas de mortero armado, dejando en línea de investigación el control de agrietamiento.

Palabras clave: Resistencia a la flexión, Viga de mortero, Concreto armado.

ABSTRACT

The objective of this research work is to evaluate the applicability of the design methodology for reinforced concrete flexural design in reinforced mortar beams in the department of Ucayali. The research is applied, with a quantitative approach, the research level is descriptive, experimental and exploratory, and experimental design. The sample is made up of 4 beams that were tested in the structure laboratory of the Pontificia Universidad Católica del Perú. The sand used for the samples was classified as a poorly graded sand, with a specific weight of 2.296 g/cm^3, loose unit weight of 1456.55 kg/m^3, compacted unit weight of 1548.23 kg/m^3 and fineness modulus of 1.05. The mix design was made for a 28-day compressive strength of f'c=210 kgf/cm^2 and to control the evolution of the compressive strength, it was subjected to compressive tests, obtaining an average strength of 228.23 kgf/cm^2. The weight of the mortar was 2033 kgf/m^3, which is a value lower than 2300 kgf/m^3. The modulus of elasticity of the mortar was obtained from experimental data from other investigations, replacing $E_c=15{,}000\sqrt{f'c}$, was used $E_c=10{,}043\sqrt{f'c}+24{,}941$. The parameters of Hognestad equation were calibrated to obtain the stress-strain curve of the mortar, considering that the curve reaches the maximum stress f'c when the deformation of the mortar is $\varepsilon_o=0.0029$. The results of the flexural test of mortar and reinforced concrete beams of 125x200mm section, f'c= 250 kg/cm^2, were compared, obtaining the load-deflection diagrams and the cracking pattern, in the same way the moment-curvature diagrams are plotted to characterize the behavior of the beams. A methodology for the design of reinforced mortar beams is proposed and it is concluded that it is applicable to use the flexural design methodology for reinforced concrete beams in reinforced mortar beams, leaving the cracking control as a line of research.

Keywords: Flexural strength, Mortar beam, Reinforced concrete.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **vi**

AGRADECIMIENTO ..... **vii**

RESUMEN ..... **viii**

ABSTRACT ..... **ix**

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... **x**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xiv**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xvi**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **xx**

ÍNTRODUCCIÓN ..... **xxi**

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **1**

1.1 DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA 1

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3

1.2.1 Problema General 3

1.2.2 Problemas Específicos 3

1.3 OBJETIVOS 3

1.3.1 Objetivo General 3

1.3.2 Objetivos Específicos 3

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 3

1.4.1 A nivel internacional 4

1.4.2 A nivel nacional 4

1.4.3 A nivel local 4

1.4.4 Justificación económica 5

1.4.5 Justificación social 5

1.4.6 Justificación ambiental 5

1.4.7 Justificación metodológica 5
1.5 LIMITACIONES Y ALCANCES 6
1.5.1 Limitaciones 6
1.5.2 Alcances 6
1.6 HIPÓTESIS 8
1.6.1 Hipótesis General 8
1.6.2 Hipótesis Específicas 8
1.7 SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES 8
1.7.1 Variable Dependiente 8
1.7.2 Variable Independiente 8
1.8 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES 9
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO 10
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 10
2.1.1 Antecedentes Internacionales 10
2.1.2 Antecedentes Nacionales 11
2.1.3 Antecedentes Locales 14
2.2 BASES TEÓRICAS 15
2.2.1 Materiales 15
2.2.2 Métodos de diseño 16
2.2.3 Propiedades mecánicas del concreto 19
2.2.3.1 Relación esfuerzo – deformación del concreto a compresión 19
2.2.4 Propiedades mecánicas del acero 22
2.2.5 Diseño por flexión 23
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 34
3.1 METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS 34
3.1.1 Tipo de investigación 34

3.1.2 Nivel de investigación 34
3.1.3 Diseño de investigación 34
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA 35
3.2.1 Población 35
3.2.2 Muestra 35
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 36
3.3.1 Técnicas 36
3.3.2 Instrumentos 36
3.4 PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 37
3.5 TRATAMIENTO DE DATOS 37
CAPITULO IV. RESULTADOS 38
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES 38
4.1.1 Cemento portland 38
4.1.2 Agregados finos 39
4.1.3 Agua 48
4.2 DISEÑO DE MEZCLA 49
4.2.1 Procedimiento utilizado para el diseño de mezcla de mortero 49
4.2.2 Aplicación del diseño de mezcla de mortero 50
4.2.3 Hoja de diseño de mezcla 56
4.3 ELABORACIÓN DE MUESTRAS 59
4.3.1 Elaboración de Mortero en laboratorio 59
4.3.2 Elaboración de probetas cilíndricas 60
4.3.3 Elaboración de vigas 61
4.4 PESO UNITARIO 64
4.5 ENSAYOS DE LOS MATERIALES 66
4.5.1 Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión. 66

4.5.2 Ensayo de determinación del módulo de elasticidad 69
4.5.3 Ensayos para obtener la curva esfuerzo deformación 72
4.5.4 Ensayos de tracción simple del acero corrugado 76
4.5.5 Ensayos a la flexión 78
CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS 91
5.1 Característica del mortero 91
5.2 Módulo de rotura 91
5.3 Módulo de Elasticidad 93
5.3.1 Alcances de la Norma E.060 Concreto Armado 93
5.3.2 Elección del módulo de elasticidad a utilizarse en esta investigación 94
5.3.1 Comparación del módulo de elasticidad 98
5.4 Modelo teórico para el grafico de curva esfuerzo deformación del mortero 98
5.4.1 Obtención del valor de la deformación unitaria del mortero (εo y εcu) 98
5.4.2 Modelo matemático para el grafico de la curva esfuerzo-deformación 99
5.5 Diagrama momento curvatura teórico y experimental 102
5.6 Metodología de diseño de vigas de mortero armado 107
CONCLUSIONES 118
RECOMENDACIONES 120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA 121
ANEXOS 125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables **9**

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del cemento Portland tipo I de la marca APU **39**

Tabla 3. Coordenadas de la ubicación de la cantera **40**

Tabla 4. Limites granulométricos para el agregado fino **41**

Tabla 5. Granulometría del agregado fino **42**

Tabla 6. Módulo de finura del agregado fino **43**

Tabla 7. Peso específico del agregado fino **44**

Tabla 8. Absorción del agregado fino **45**

Tabla 9. Peso unitario suelto del agregado fino **45**

Tabla 10. Peso unitario compactado del agregado fino **46**

Tabla 11. Contenido de humedad del agregado fino **48**

Tabla 12. Resumen de las propiedades del agregado fino **48**

Tabla 13. Propiedades del agregado fino **50**

Tabla 14. Resistencia a la compresión promedio **51**

Tabla 15. Asentamiento según el tipo de estructura **51**

Tabla 16. Cantidad aproximada de agua de diseño para diferentes valores de asentamiento, tamaño máximo de agregado y contenido de aire **52**

Tabla 17. Contenido de aire atrapado **53**

Tabla 18. Relación agua/cemento por resistencia **54**

Tabla 19. Valores para el diseño de mezcla en seco por 1m3 ..... **55**

Tabla 20. Clasificación del concreto según su peso unitario **64**

Tabla 21. Peso unitario de especímenes de mortero **65**

Tabla 22. Ensayo de compresión de mortero a edad de 7 días **67**

Tabla 23. Ensayo de compresión de mortero a edad de 14 días **67**

Tabla 24. Ensayo de compresión de mortero a edad de 28 días **67**

Tabla 25. Resumen de resultados de ensayo a la compresión **68**

Tabla 26. Promedio de las cargas para el ensayo de módulo de elasticidad del mortero a los 28 días..... **70**

Tabla 27. Módulo de elasticidad a los 28 días de curada del mortero **71**

Tabla 28. Resumen de los valores obtenidos en el ensayo del módulo de elasticidad..... **72**

Tabla 29. Valores obtenidos en el ensayo para obtener la curva esfuerzo-deformación del mortero **73**

Tabla 30. Resumen de los valores de la deformación última del mortero **75**

Tabla 31. Ensayo de tracción en aceros de 8mm..... **77**

Tabla 32. Resumen de las características de las vigas **79**

Tabla 33. Diseño de mezcla utilizado para las vigas de mortero **91**

Tabla 34. Comparación del módulo de elasticidad del mortero **98**

Tabla 35. Deformación unitaria del mortero no confinado correspondiente a f'c **99**

Tabla 36. Cálculo de fuerza de compresión, volumen de presión y momento respecto al eje neutro **111**

Tabla 37. Recálculo de fuerza de compresión, volumen de presión y momento respecto al eje neutro **113**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ucayali que muestra la zona donde hay ausencia de agregado grueso para la elaboración de concreto.....2

Figura 2. Curva esfuerzo – deformación del concreto en compresión 19

Figura 3. Idealizaciones de la curvar esfuerzo – deformación del concreto 20

Figura 4. Modulo tangente y secante del concreto en compresión 21

Figura 5. Esfuerzo – deformación del acero 22

Figura 6. Viga simplemente apoyada sometidas a cargas concentradas.....24

Figura 7. Variación de esfuerzos y deformaciones por el incremento de momento aplicada 24

Figura 8. Diagrama momento – curvatura de una sección.....26

Figura 9. Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga 28

Figura 10. Distribución de las deformaciones para los diversos tipos de falla por flexión 30

Figura 11. Diagrama momento – curvatura para los diversos tipos de falla por flexión.....30

Figura 12. Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión..31

Figura 13. Esfuerzos y deformaciones en una sección rectangular con falla balanceada.....32

Figura 14. Agregado fino del Rio Ucayali.....39

Figura 15. Ubicación de la cantera Rio Ucayali.....40

Figura 16. Tamizado manual de la arena.....41

Figura 17. Curva granulométrica del agregado fino 42

Figura 18. Tara llena de muestra a baño maría usando la arena.....44

Figura 19. Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.....46

Figura 20. Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.....47

Figura 21. Materiales para la mezcla respectivamente pesados.....59

Figura 22. Colocación de los materiales al trompo eléctrico 59

Figura 23. Verificación de la consistencia del mortero 60

Figura 24. Moldes aceitados con petróleo en el interior 60

Figura 25. Moldes llenados con mezcla de mortero 61

Figura 26. Pobretas dentro del pozo para el curado respectivo 61

Figura 27. Encofrado de las 4 vigas 62

Figura 28. Habilitación de acero longitudinal y amarre de estribos 63

Figura 29. Materiales utilizados para la elaboración de la mezcla para las vigas 63

Figura 30. Vigas llenadas con mezcla de mortero y concreto reforzado con varillas de acero 64

Figura 31. Peso unitario de 14 probetas de mortero 65

Figura 32. Pobreta cilíndrica de mortero en la máquina de prueba a la compresión 68

Figura 33. Pobreta cilíndrica de mortero con falla a la rotura 68

Figura 34. Evolución de la resistencia a la compresión 69

Figura 35. Ensayo a la compresión para la determinación del módulo de elasticidad 70

Figura 36. Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático 72

Figura 37. Especímenes de 4”x8” para el ensayo que muestre la curva esfuerzo - deformación 73

Figura 38. Muestra 1: Curva esfuerzo - deformación del mortero 74

Figura 39. Muestra 2: Curva esfuerzo - deformación del mortero 74

Figura 40. Muestra 3: Curva esfuerzo - deformación del mortero 75

Figura 41. Ensayo para obtener la curva esfuerzo-deformación 76

Figura 42. Curva esfuerzo - deformación del acero de refuerzo de 8mm 77

Figura 43. Varilla de acero corrugado de 8mm después del ensayo de tracción simple 78

Figura 44. Detalle del acero de refuerzo de los especímenes ensayados 79

Figura 45. Aparato de ensayo, dispositivos y ubicación de los LVDT 80

Figura 46. Viga montada, instrumentada y conectada al sistema de adquisición de data 81

Figura 47. Gata Hidráulica aplicando la carga puntual hasta la falla de la viga 81

Figura 48. Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-1 82

Figura 49. Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-2 83

Figura 50. Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-3 84

Figura 51. Curva Carga vs Deflexión de la viga VC-Control 85

Figura 52. Consolidado de las 04 graficas de la curva Carga vs Deflexión.....86

Figura 53. Muestra de Viga VM-1 después de ejecutar el ensayo 86

Figura 54. Muestra de Viga VM-2 después de ejecutar el ensayo 87

Figura 55. Muestra de Viga VM-3 después de ejecutar el ensayo 87

Figura 56. Muestra de Viga VC-Control después de ejecutar el ensayo 88

Figura 57. Mapeo de fisuras de VM-1 Cara Frontal 88

Figura 58. Mapeo de fisuras de VM-1 Cara Posterior 89

Figura 59. Mapeo de fisuras de VM-2 Cara Frontal 89

Figura 60. Mapeo de fisuras de VM-2 Cara Posterior 89

Figura 61. Mapeo de fisuras de VM-3 Cara Frontal 89

Figura 62. Mapeo de fisuras de VM-3 Cara Posterior 89

Figura 63. Mapeo de fisuras de VC-Control Cara Frontal 90

Figura 64. Mapeo de fisuras de VC-Control Cara Posterior 90

Figura 65. Medición de las grietas de la viga ensayada con el fisurómetro.....90

Figura 66. Valores de λ para concretos livianos con base en la densidad de equilibrio 92

Figura 67. Valor del módulo de rotura para el mortero.....92

Figura 68. Ecualización propuesta en la presente investigación, donde Ec se relaciona con f'c 96

Figura 69. Comparación de los valores del módulo de elasticidad propuesta con la ecuación de la norma E.060 97

Figura 70. Modelo esfuerzo-deformación propuesto para el mortero.....100

Figura 71. Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 1 100

Figura 72. Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 2 101

Figura 73. Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 3 101

Figura 74. Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-1 103
Figura 75. Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-2 104
Figura 76. Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-3 105
Figura 77. Diagrama Momento - Curvatura de la viga VC-Control 106
Figura 78. Comparacion de diagramas momento - curvatura 107
Figura 79. Geometría de la viga, diagrama de deformaciones unitarias, diagrama de fuerzas internas.....108
Figura 80. Dimensiones y geometría de una viga rectangular 109
Figura 81. Diagramas de deformaciones y de fuerzas interna de la viga rectangular 110
Figura 82. Reubicación del eje neutro.....114
Figura 83. Diagramas de deformaciones y de fuerzas interna de la viga rectangular 115
Figura 84. Diseño final de la viga.....115

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....126

Anexo 2. Diagrama Momento-Curvatura teórico utilizando código VBA en Excel……..127

Anexo 3. Formulario para el armado de la tabla de cálculo de esfuerzos de compresión, volumen de presiones y momento respecto al eje neutro 130

Anexo 4. Ficha técnica del cemento portland APU tipo I.....131

Anexo 5. Ensayos para caracterizar el agregado fino.....133

Anexo 6. Diseño de mezcla de mortero f'c=210 kg/cm2 138

Anexo 7. Ensayo de resistencia a la compresión de pobreta de 6"x12.....141

Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión de pobreta de 4"x8"**.....** 142

Anexo 9. Ensayo de modulo elástico del mortero 145

Anexo 10. Ensayo para determinar la curva esfuerzo – deformación 147

ÍNTRODUCCIÓN

Actualmente, en algunos distritos del departamento de Ucayali, debido a la escasez de agregados gruesos y altos costos de flete, se viene utilizando la metodología de diseño de concreto armado en elementos estructurales, donde la mezcla de concreto es reemplazada por mortero, asumiendo en este proceso, que su desempeño estructural será el mismo. El conocimiento sobre el diseño de edificaciones utilizando el mortero en la elaboración de elementos estructurales es escaso, y merece ser atendido a través de investigaciones científicas, de esa manera poder ajustar y validar metodologías de diseño en base a datos experimentales.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación, se tiene como finalidad evaluar la aplicabilidad de la metodología de diseño por flexión de vigas de mortero armado, de esta manera, conocer del comportamiento estructural de este material.

La evaluación se realizará mediante ensayos del mortero tanto en estado fresco como en estado endurecido, se compararán resultados de la resistencia nominal a flexión de vigas de manera analítica y experimental, además de describir otros aspectos como la caracterización del agregado fino, el diseño de mezcla, la resistencia a la compresión, el peso unitario, el módulo de elasticidad, la curva esfuerzo-deformación, el patrón de agrietamiento y la deflexión en el centro de luz.

En el capítulo I, se describe y se fundamenta el problema central que origina la presente investigación, además, se indica los objetivos, la justificación e importación, las limitaciones y alcances, las hipótesis y las variables.

En el capítulo II, se muestra el marco teórico, donde se indica la descripción de los antecedentes de la investigación, en el contexto local, nacional e internacional. Se describe las características sobre los materiales, los métodos de diseño, las propiedades de los elementos y se detalla el diseño a flexión del concreto.

En el capítulo III, se expone la metodología de la investigación, que comprende en la descripción de los tipos, niveles y diseño de la investigación, asimismo los métodos utilizados

para la determinación de la población y la muestras, finalmente se describe las técnicas e instrumentos de datos para el procesamientos y tratamiento de los datos

En el capítulo IV, se realiza un estudio de las propiedades físicas y mecánicas del agregado. Se presentan el diseño de mezcla del mortero, se especifica las elaboraciones de las muestras y se detalla los ensayos experimentales.

En el capítulo V, se desarrolla un análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, donde se describe las ecuaciones numéricas para caracterizar el comportamiento del elemento de mortero armado.

En el capítulo VI, se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos de la presente investigación en relación a las hipótesis planteadas inicialmente.

En la parte final del trabajo, se encuentran los anexos, que consigna los informes de los ensayos de los materiales realizados en los diferentes laboratorios, estos documentos permitieron el desarrollo de este informe.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y fundamentación del problema

En el departamento de Ucayali, existen lugares donde hay ausencia de agregado grueso (Ver figura 1), donde la elaboración del concreto armado se realiza sin agregado grueso. Estos lugares están ubicados en llanuras amazónicas donde no se logra conseguir materiales pétreos adecuados para las mezclas de concreto. Esto sumado al crecimiento poblacional y a la necesidad de acceso a servicios básicos, se han venido construyendo edificaciones de categoría esencial como colegios, hospitales, tanques elevados, etc. Teniendo como principales materiales al mortero y refuerzo de acero.

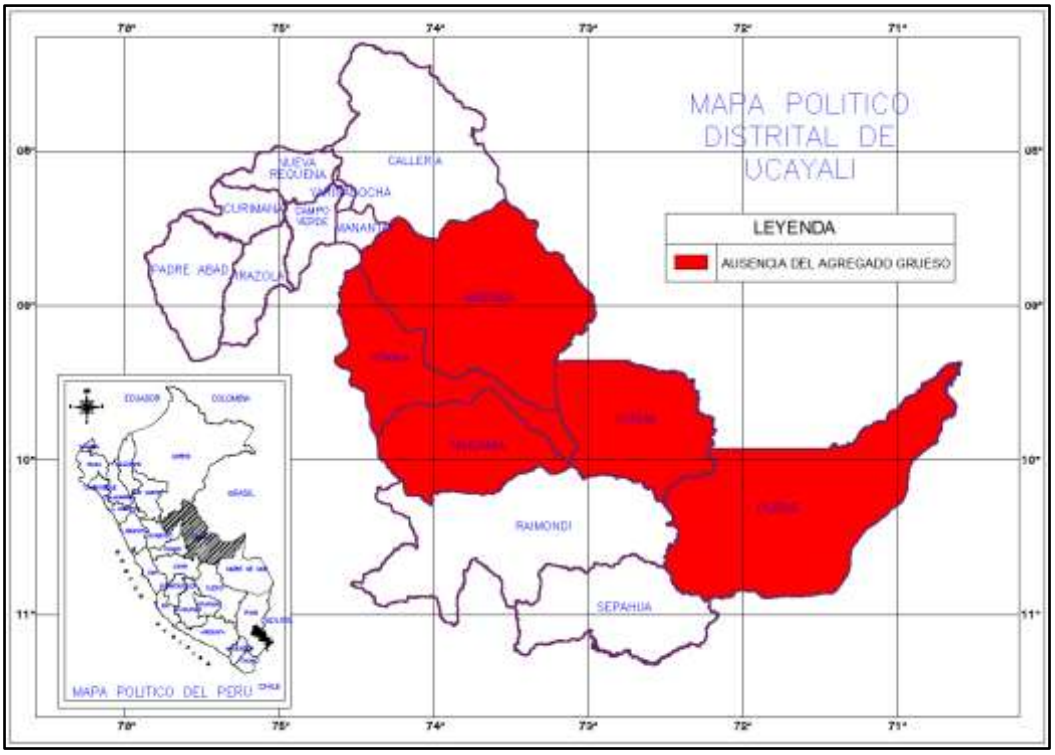
La norma técnica E.060 Concreto Armado, no indica que se pueda emplear mortero como material sustituyente para la mezcla de concreto aun cuando, en probetas de concreto, se pueda alcanzar la misma resistencia a compresión. No obstante, se sabe que las estructuras durante su vida útil se encontrarán sometidas a diferentes tipos de esfuerzos tales como compresión, flexión, corte, torsión o una combinación de éstos. De este modo, resultaría limitante caracterizar el desempeño general del mortero tan solo con este tipo de ensayos.

Actualmente, el criterio de reemplazar la mezcla de concreto por mortero, ha llevado a que los ingenieros empleen la metodología de diseño de concreto armado para el mortero de manera indistinta. Sin embargo, al no estar adecuadamente estudiado y no encontrarse dentro de un marco normativo, el empleo del mortero en elementos estructurales, podría haber permitido la ejecución de estructuras vulnerables. Por tal motivo, se hace necesario estudiar el comportamiento del mortero armado frente a diferentes tipos de esfuerzos, para comprobar su confiabilidad antes de ser usado en el diseño estructural.

En ese sentido, el presente trabajo busca, en particular, proponer una metodología para el diseño por flexión para vigas de mortero con refuerzo de acero, a partir de los resultados experimentales de ensayos a flexión obtenidos en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Por tanto, se compararán resultados de la resistencia nominal a flexión de vigas de manera analítica y experimental, lo que permitirá aportar al conocimiento del comportamiento de este material. Cabe señalar que con este trabajo también se busca incentivar futuras investigaciones del desempeño del “mortero armado” frente a otros tipos de solicitaciones o ensayos.

Figura 1.

Mapa de Ucayali que muestra la zona donde hay ausencia de agregado grueso para la elaboración de concreto



1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

- ¿Es aplicable la metodología de diseño a flexión de concreto armado en vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál es el diseño de mezcla para obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kgf/cm^2 en el departamento de Ucayali?
- ¿Cómo es la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo a la rotura de 210 kgf/cm^2?
- ¿Cuál es la resistencia a flexión teórica y experimental en viga de mortero armado?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Proponer una metodología de diseño a flexión para vigas de mortero armado

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el diseño de mezcla para obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kgf/cm^2 en el departamento de Ucayali.
- Determinar la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo de rotura de 210 kgf/cm^2.
- Determinar teórica y experimentalmente la resistencia a flexión de vigas de mortero armado.

1.4 Justificación e importancia

Actualmente el conocimiento sobre el diseño de edificaciones utilizando el concreto sin agregado grueso es escaso, y merece ser atendido a través de investigaciones científicas, de esa manera poder ajustar y validar metodologías de diseño en base a datos

experimentales. El utilizar solo mortero en reemplazo de la mezcla de concreto común, exige conocer las propiedades de este material, tales como su peso unitario, módulo de fineza, tamaño máximo, módulo de elasticidad, entre otras propiedades.

Conocer las propiedades del mortero y los materiales que lo componen nos va a permitir conocer el comportamiento que podría tener a nivel de sección, elemento y estructura, no obstante, conllevaría a un mejor entendimiento de su comportamiento frente a diferentes tipos de solicitación.

1.4.1 A nivel internacional

La norma ASTM C-270 (American Society for Testing and Materials) designa los tipos de morteros con las letras M, S, N, y O especificados por proporción por propiedades, siendo el tipo M, una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que los otros tipos de mortero empleándose para albañilería armada sujeta a grandes cargas de compresión, altas cargas laterales y vibraciones. Sin embargo, esta normativa no tiene alcance sobre el empleo del mortero como material de reemplazo de la mezcla de concreto, que se podría emplear para la construcción de elementos estructurales.

1.4.2 A nivel nacional

La norma técnica de edificación E.060 Concreto Armado no indica la utilización del mortero como material de reemplazo de la mezcla de concreto, por lo tanto, es importante conocer los alcances y limitaciones que tendrá el material, realizando estudios experimentales acerca de su comportamiento junto al refuerzo de acero. Por lo que, es necesario evaluar la posibilidad de extender los alcances y limitaciones del empleo de este material en elementos estructurales.

1.4.3 A nivel local

El presente trabajo de investigación responde a la necesidad de evaluar el comportamiento del mortero armado frente a la flexión pura, utilizando la arena

gruesa del rio Ucayali como único agregado para la elaboración de mortero, teniendo en cuenta que existen y se vienen construyendo edificaciones con este material en distintas provincias del departamento de Ucayali.

1.4.4 Justificación económica

La construcción de infraestructura vulnerable ante un sismo, implicaría inherentemente pérdidas económicas asociadas no solo a la reparación y/o rehabilitación de las mismas, sino también de posibles pérdidas humanas. Por tanto, conocer el comportamiento del mortero armado sometido a flexión coadyuvaría a tener una mejor concepción al momento de diseñar los elementos estructurales.

1.4.5 Justificación social

La investigación servirá como referencia para mejorar el diseño de proyectos de edificaciones en el departamento de Ucayali. Esto podría contribuir a tener edificaciones menos vulnerables y con posibilidad a garantizar la continuidad de servicios y minimizar los daños a la propiedad pública y privada.

1.4.6 Justificación ambiental

La investigación tiene como finalidad evaluar la competencia del mortero empleado como material sustituto de la mezcla de concreto para elementos sometidos a flexión, es decir, de obtener resultados favorables en el estudio, se tendría un indicador que, al ser complementado con otros estudios, podría conllevar al aprovechamiento de los agregados de la zona como es el caso de la arena gruesa en el departamento de Ucayali.

1.4.7 Justificación metodológica

El presente trabajo de investigación propone verificar la metodología de diseño por flexión de vigas de concreto armado en vigas de mortero armado. La verificación se realizará mediante ensayos de flexión simple, comparado la

resistencia a flexión experimental con la teórica, además de describir la deflexión en el centro de luz y el patrón de agrietamiento ante cargas monotónicas sucesivas hasta llegar a la falla, de esta forma comprobar la aplicabilidad del diseño por flexión en vigas de mortero armado.

Los resultados de esta investigación podrían ser utilizados para complementar el estudio experimental de otros efectos tales como corte, torsión o combinación de estos.

1.5 Limitaciones y alcances

1.5.1 Limitaciones

La presente investigación está limitada a:

a) Los parámetros del cemento empleados para el diseño de mezcla fueron obtenidos de tablas especificada por el proveedor de la gama.

b) Para el diseño de mezcla se utilizará agua potable y no se realizará ensayo químico del mismo.

c) El porcentaje de vacío requerido para el diseño de mezcla fueron obtenido mediante resultados experimentales de otras investigaciones.

d) Solo se utilizó un tipo de longitud y sección de viga para los ensayos en esta investigación.

e) No se va a estudiar el efecto de corte en el estudio de las vigas de concreto y mortero.

1.5.2 Alcances

Los alcances de esta investigación son las siguientes:

a) La arena gruesa fue extraída del rio Ucayali.

b) Para la calificación de la arena gruesa se empleó las especificaciones para agregado fino de la norma técnica peruana NTP 400.037.

c) Para el estudio del agregado fino se realizó pruebas granulometría (NTP 400.012), contenido de humedad (NTP 339.185), peso unitario (NTP 400.017) peso específico y absorción (NTP 400.022)

d) El cemento utilizado fue Pórtland tipo I.

e) El diseño de mezcla fue realizado para un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días de f'c=210 kgf/cm^2. Debido a que es la especificación mayormente utilizada en estructuras de concreto armado. Se utilizará como referencia el método del Comité ACI 211.

f) El revenimiento del mortero para las condiciones de trabajabilidad se trabajó entre los valores de 3 a 4 pulgadas.

g) Las muestras de las vigas fueron reforzadas con barra longitudinal de 8mm y barra transversal de 6mm.

h) Para poder tener un control de la evolución de la resistencia a la compresión, se realizaron 9 ensayos a compresión, de probetas de mortero de 6"x12", que se realizaron a los 7, 14 y 28.

i) Para determinar el módulo de elasticidad se elaboraron 5 muestras de mortero de dimensiones de 6"x12" con resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2 y se utilizó el método de ensayo indicado en la norma ASTM C-469

j) Para determinar la curva esfuerzo deformación se elaboraron 7 muestras de mortero de dimensiones de 4"x8" con resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2 siguiendo lo establecido en la norma ASTM C-469

k) Los ensayos a flexión de vigas fueron en total 4**,** tres corresponde a las muestras mortero armado y una, para el concreto armado, dichas vigas tienen una resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2, y en ambos casos el ensayo se realizó a los 28 días.

l) Para determinar la resistencia a la flexión de concreto en vigas se utilizó la norma técnica peruana NTP 339.078

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

- Se puede aplicar una metodología de diseño a flexión para vigas de mortero armado.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- El diseño de mezcla permite obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kgf/cm^2 en el departamento de Ucayali.
- Se puede caracterizar la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo de rotura de 210 kgf/cm^2.
- Se puede predecir adecuadamente la resistencia a flexión teórica y experimental en vigas de mortero armado.

1.7 Sistema de variables, dimensiones e indicadores

1.7.1 Variable Dependiente

Diseño a flexión de vigas de mortero armado

1.7.2 Variable Independiente

- Compresión simple del mortero
- Curva esfuerzo-deformación del mortero
- Resistencia a la flexión simple del mortero

1.8 Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente					
Compresión simple del mortero	Describe la medición de la resistencia a la compresión del mortero	Es la capacidad que tiene el mortero para poder soportar cargas por unidad de área.	Calidad del concreto	Resistencia a la Rotura	kgf/cm^2
Curva esfuerzo-deformación del mortero	Es una representación gráfica de los esfuerzos en función a la deformación que experimenta un material más allá de su rango elástico.	Representa el comportamiento y la característica del mortero cuando es sometido a una fuerza deformadora.	Comportamiento experimental del mortero simple	Esfuerzos a compresión	kgf/cm^2
				Deformación unitaria	µm/m
Resistencia a la flexión simple	Describe la capacidad que tiene el elemento para soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.	Es una propiedad que tiene el material para manifestar los esfuerzos internos a tracción cuando es sometido a cargas.	Comportamiento experimental del mortero armado	Deflexión al centro de luz	mm
				Deformación unitaria en compresión y tracción	µm/m
				Carga	kg
Variable Dependiente					
Diseño a flexión de viga de mortero armado	Representa el dimensionamiento de una sección que es capaz de resistir en el estado límite de resistencia.	Elemento que cumpla la condición de ser resistente y rígido antes las cargas que actúan sobre la viga.	Resistencia nominal a flexión	Área de acero transversales	cm^2

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Gómez (2006), en su investigación titulada “Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de san Cristóbal, Alta Verapaz”, presentada en la Universidad de San Carlos de Guatemala para optar el título de Ingeniero Civil, llega a las siguientes conclusiones;

La resistencia a compresión del mortero de levantado en campo es menor 6.7% con respecto a la resistencia obtenida en laboratorio, refleja la importancia del curado. El f´m alcanzado por los prismas a compresión a 28 días es de 22.1 kg/cm2 área bruta y 34.7 kg/cm2 área neta.

Comparando el esfuerzo de adherencia con otros resultados obtenidos en la sección de estructuras este valor se encuentra a un 53% del valor medio (pp.69-70).

Arriola Donis (2009), en su investigación titulada “Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería”, presentada en la Universidad de San Carlos de Guatemala para optar el título de Ingeniero Civil, concluye lo siguiente;

Las proporciones diseñadas en morteros que contienen cal, obtienen mejores resultados respecto a la retención de agua, comparados con aquellos que no contienen adiciones de este material, retrasando el inicio de su fraguado y aumentando su tiempo en estado plástico.

La utilización de cal en los morteros, disminuye la adherencia entre este y la unidad de mampostería, esto se debe a la incidencia del contenido de humedad que presente la unidad de mampostería al momento de elaborar el muro. (p.107).

Sarwary, M., Yildirim, G., AL-DAHAWI, A., Anil, Ö., Khiavi, K., Toklu, K., & Şahmaran, M. (2019), en su investigación titulada “Autodetección de daños por flexión en vigas de mortero” publicada por Revista de Materiales de ACI, llegaron a las siguientes conclusiones;

De acuerdo con los estudios experimentales completados, se concluyó que incluso cuando se usaron refuerzos de cortante inadecuados y altos, las vigas con soporte CF fallaron por flexión con comportamiento dúctil. Sin embargo, la falla por corte fue más pronunciada para los especímenes que contenían CNT, que se encontró que tenían mayor fragilidad, rigidez y menor capacidad de disipación de energía en comparación con los especímenes con CF. Independientemente del tipo de material a base de carbono utilizado en la dosificación de la mezcla, con la configuración de medición propuesta, el daño por flexión impartido intencionalmente fue fácilmente monitoreado para especímenes de vigas reforzadas a gran escala con diversos grados. Cuando el grado de daño impartido (desplazamiento medio) fue bajo, los haces incorporados con CF y CNT tuvieron éxito en términos de autodetección, aunque este comportamiento fue más evidente para las muestras con CF. Sin embargo, después de alcanzar un cierto punto del nivel de desplazamiento de la mitad del tramo (especialmente dentro de la región plástica donde comenzó la fluencia en los refuerzos de tracción y los anchos de las grietas de corte y flexión aumentaron considerablemente), la correlación con la capacidad de detección y la ocurrencia del daño comenzaron a ser menos concordantes entre sí. (p.219).

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Carranza Rivas (2010), en su investigación titulada “Ferrocemento: Estudio del mortero reforzado con malla de alambre y sus aplicaciones” presentada en la

Universidad Nacional de Ingeniería para optar el título de Ingeniero Civil, llega a las siguientes conclusiones;

Los morteros curados por 28 días con relaciones Cemento/ Agregado 1/2, 1/3 y 1/4 dieron resistencias a la compresión promedio de 495 Kg/cm2, 432 Kg/cm2 y 320 Kg/cm2 respectivamente y debido a su resistencia alcanzadas a su temprana edad (408, 312 y 235 kg/cm2 a los 7 días respectivamente), se pueden desencofrar a temprana edad (las cuales dependen del tiempo de estructura a las condiciones de servicio).

El módulo de elasticidad estático del mortero usado en el ferrocemento, se comparó con la formula teórica del módulo de elasticidad del concreto para una muestra con similar resistencia a la compresión y estas fueron inferiores en un 60 %, 58% y 56 % al módulo de elasticidad del concreto para las muestras con relación C/A = 1/2, 1/3 y 1/4 respectivamente.

El módulo de rotura de los especímenes de ferrocemento en el ensayo de flexión se incrementó desde un 1 O% hasta un 43% respecto a la muestra de mortero patrón sin reforzar. (p.86).

Casas Tuanama (2015), en su investigación titulada “El módulo de elasticidad en morteros de cemento con arenas de las canteras de la ciudad de Iquitos” presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para optar el título de Ingeniero Civil, concluye que;

El coeficiente que relaciona el módulo de elasticidad y la resistencia del mortero a compresión varía muy poco respecto al coeficiente establecido en las fórmulas para concretos convencionales.

Las propiedades del mortero fresco son diferentes al del concreto convencional, así se ve que su peso unitario es 12% menor que del concreto normal, tiene un contenido de aire, cuyo valor es el doble con respecto al concreto

convencional, debido a la porosidad del agregado, y una considerable exudación que se presenta por el tipo de material fino que se asienta en el fondo del recipiente, liberando gran cantidad de agua, y es contrarrestado por el rápido fraguado debido a la cantidad de cemento utilizado en la mezcla.

Los coeficientes de Poisson calculados en las tres probetas de mortero, dieron como resultado valores situados dentro del rango de valores para el caso de concreto convencional, es decir, entre 0.18 y 0.20. (pp.105-106).

Ñaupa Tello (2017), en su investigación titulada “Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción” presentada en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan para optar el título de Ingeniero Civil, llega a las siguientes conclusiones;

El mortero sin contracción es un excelente material para reforzamiento de vigas por aumento de sección ya que las resistencias a la flexión para vigas reforzadas y ensayadas a: las 24 horas se alcanzó una resistencia promedio a la flexión de 41.72 $kgf/cm2$, los 7 días se alcanzó una resistencia promedio a 57.44 $kgf/cm2$, los 14 días se alcanzó una resistencia a la flexión de 72.31 $kgf/cm2$, los 28 días se alcanzó una resistencia a la flexión de 77.33 $kgf/cm2$, ello equivale a 89%, 122%, 154%, 165% de las vigas control ensayadas a los 28 días (Mr = 46.99 Kgf/cm2) respectivamente.

El concreto es un material que presenta una resistencia a la tracción por el orden del 10% al 15%, en ese sentido la resistencia a compresión a 28 días es de $f'c$ = 308.84 $Kg/cm2$, por lo que los promedios de vigas reforzadas con mortero sin contracción y ensayadas a las 24 horas, 7 días, 14 días, 28 días alcanzan el 13.5%, 18.6%, 23.4%, 25%. Concluyéndose que mortero sin contracción influye significativamente aumentando la resistencia a la flexión de vigas.

Las vigas reforzadas con mortero sin contracción alcanzaron el monolitismo consecuentemente se garantiza adherencia y la adecuada transferencia de esfuerzos. (pp.171-172).

2.1.3 Antecedentes Locales

Pérez Zumaeta & Ochoa Ramírez (2021), en su investigación titulada "Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un mortero adicionado con ceniza de cascara de arroz con respecto a un mortero patrón de calidad f'c=175 kg/cm2", presentada en la Universidad Nacional de Ucayali para optar el título de Ingeniero Civil, llegan a las siguientes conclusiones;

Se consiguió demostrar la hipótesis general: "La resistencia a la compresión y consistencia de un mortero adicionado con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz mejora con respecto a la resistencia a la compresión y consistencia de un mortero patrón de calidad f'c=175 kg/cm2", pues las resistencias a la compresión y consistencias obtenidas en los morteros adicionados con ceniza de cáscara de arroz fueron superiores a las del mortero patrón:

- Para una adición al mortero de 2.5% de ceniza de cáscara de arroz, hay un incremento, a los 7 días de 10.49%, a los 14 días de 6.17% y a los 28 días de 4.92%, con respecto al mortero patrón.
- Para una adición al mortero de 5% de ceniza de cáscara de arroz, hay un incremento, a los 7 días de 15.47%, a los 14 días de 11.22% y a los 28 días de 7.31%, con respecto al mortero patrón.
- Para una adición al mortero de 7.5% de ceniza de cáscara de arroz, hay un incremento, a los 7 días de 22.95%, a los 14 días de 16.85% y a los 28 días de 12.24%, con respecto al mortero patrón.

- El Slump disminuyo en los morteros con adición de ceniza de cáscara de arroz con respecto al mortero patrón, lo que mejoro su consistencia en todas las dosificaciones.

Se consiguió demostrar la sub-hipótesis a): “La resistencia a la compresión que alcanza el mortero adicionado con ceniza de cáscara de arroz al 2.5%, 5% y 7.5% será mayor en todos los casos con respecto a la resistencia alcanzada por el mortero patrón”, pues las resistencias a la compresión obtenidas en los morteros adicionados con ceniza de cáscara de arroz, en todos los casos fueron superiores a las del mortero patrón. (p.133).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Materiales

- **Mortero**

El mortero es un concreto sin agregado grueso. Este material está compuesto por cemento, agregado fino, aire y agua. Esta mezcla dosificada adecuadamente y con buenas prácticas constructivas, pueden adquirir resistencia especificada por el diseñador estructural.

Al momento de mezclar el cemento con el agua se produce una reacción química, que, al ser juntado con las partículas de los agregados, forman un material heterogéneo. En casos especiales se le puede añadir sustancias llamadas aditivos, que logran mejorar o modificar algunas propiedades del mortero.

Este material se caracteriza por tener buena resistencia a la compresión, pero tiene una baja resistencia a la tracción, de este modo, para un mejor comportamiento a tracción de le combina con el acero corrugado, formando el mortero armado. Una vez que el mortero es elaborado, se le coloca en un molde, para darle la forma buscada, y desde ese entonces ya comienza a ganar resistencia.

- **Acero corrugado**

Es una barra corrugada de acero laminado, que se le adhiere al concreto para mejorar su resistencia, estas barras logran poseer gran ductilidad y permiten ser cortadas y dobladas con gran facilidad, están diseñados especialmente para la construcción de elementos estructurales de concreto armado

El mortero cuenta con una buena resistencia la compresión y para complementarlo se le colocan barras de acero corrugado. Las barras proporcionan ductilidad y capacidad a los elementos de mortero armado para resistir a esfuerzos de tracción que solo el mortero no es capaz de soportar.

Las barras de acero corrugado más predominantes en el mercado peruano son los de grado 60 (ASTM A615). Estos aceros corrugados deberán contar con un esfuerzo de fluencia (fy) mayor que 420 MPa (4200kg/cm2).

Para la realización de los especímenes elaborados en la presente investigación, se utilizó el acero fy=4200kg/cm2 de diámetro 6mm y 8mm.

2.2.2 Métodos de diseño

Actualmente existen dos métodos para el diseño de concreto armado, el primero es el diseño elástico o por cargas de servicio y el segundo es el diseño a la rotura o por resistencia ultima. El diseño por cargas de servicio fue muy utilizado a mediados del siglo y el diseño de resistencia ultima está adquiriendo impulso en estos últimos años.

El diseño elástico se basa en la hipótesis de que es posible predecir la distribución del concreto y el esfuerzo en el refuerzo de acero cuando son sometidos a cargas de servicio. Se asume que el comportamiento de ambos materiales son elásticos. Para el diseño, se debe conseguir que los esfuerzos no excedan los esfuerzos admisibles, que es una fracción de la resistencia a compresión del concreto y del esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

El diseño elástico considera una de estas distribuciones y con el pasar del tiempo, estas condiciones que no son consideradas, pueden ocasionar fallas. Es importante considerar el tipo de falla ya sea dúctil o frágil para el diseño de estructuras que están bajo determinadas solicitaciones y orientarlo a la falla más conveniente. El método elástico no considera el tipo de falla y la carga que ocasiona la rotura del elemento, por consecuencia, el factor de seguridad no es conocido.

El diseño por rotura o carga ultima está fundamentada en la predicción de la carga que genera la falla del elemento estudiado y lo analiza para determinar el modo de colapso del mismo. En este método, se toma en consideración el comportamiento inelástico del acero y el concreto, en consecuencia, se estima de mejor forma la capacidad de carga del elemento estudiado. Las ventajas de utilizar este método es que permite controlar el modo de falla de estructuras complejas, permite obtener diseños más eficientes ya que son analizados en el rango inelástico, permite evaluar la ductilidad de la estructura. La desventaja es que este procedimiento se basa solo en criterios de resistencia, sin embargo, se debe garantizar que las condiciones de servicios no presenten excesivas deflexiones, ni agrietamientos críticos, por lo que es conveniente utilizar este método en composición con otros procedimientos, de tal forma se verifique un adecuado comportamiento de los elementos cuando están sometidos a cargas de servicio.

- **Método de diseño propuesto por el código ACI**

El código del ACI, en la última edición del 2019, nos presenta dos métodos de diseños, en la que da mayor énfasis al diseño por rotura y el diseño elástico. En el presente trabajo de investigación se desarrollará el método de diseño por resistencia.

El diseño por resistencia presenta factores de seguridad que pueden ser determinados. El código ACI determina estos factores de seguridad por medio de

dos mecanismos; amplificación de las cargas de servicio y la reducción de la resistencia teórica del elemento estructural.

Las cargas de servicio se determinan utilizando los códigos, reglamentos o normas y el análisis estructural se analiza bajo la hipótesis de un comportamiento elástico de la estructura. El código ACI clasifica las cargas en: permanentes, sobrecarga, sismo, viento, empuje del suelo, etc. y plantea expresiones para calcular la carga última de diseño. La carga ultima de diseño se define como la suma de diversas cargas actuantes en la estructura multiplicada por un factor de amplificación, este factor es una probabilidad que existe de que la carga calculada supere en la realidad.

El código ACI nos proporciona que la reducción de la resistencia teórica de los elementos estructurales de concreto armado sea un medio para incrementar el factor de seguridad en el diseño. La resistencia nominal o también llamado resistencia teórica es determinada haciendo usos de los principios que son presentados en la misma norma. El proceso constructivo y la naturaleza del concreto armado forjan que la resistencia calculada teóricamente, no sea similar a lo real. Los factores de reducción de resistencia nos muestran que es una fracción de la resistencia nominal, y esta dispone de un elemento determinado con una cierta certeza probabilística.

En conclusión, el método que propone el código ACI consiste en determinar las cargas de servicios para luego ser amplificada acordes a las combinaciones de cargas. Luego del diseño de la estructura, esta debe ser verificada para las condiciones de servicios de los elementos que son: el control de fisuras y el control de deflexiones; de ser necesario, el diseño original deberá ser replanteado.

2.2.3 Propiedades mecánicas del concreto

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

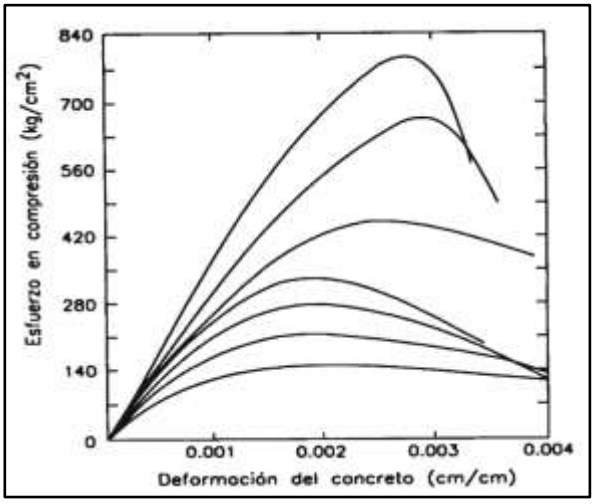
Para graficar la curva esfuerzo – deformación del concreto existen varias propuestas. Estas se basan de acuerdo a los ensayos a compresión simple axial de probetas de 6”x12” de concreto, además se realizan ajustes para que puedan idealizar de forma conservadora el comportamiento del concreto no confinado en sus distintas etapas.

Cuando se aplica perpendicularmente una carga axial al concreto, esta tiende a deformarse por el efecto de poisson, y se fisura cuando el esfuerzo supera a la adhesión entre los materiales del concreto. Si seguimos incrementando la carga, las grietas se vuelven inestables hasta un punto de que el elemento ya no sea capaz de soportar más carga.

En la figura 2 se muestra la curva esfuerzo – deformación del concreto para diversas resistencias a la compresión, tiene una forma inicial casi lineal y se extiende hasta 1/3 del f’c aproximadamente, seguidamente de adapta a la forma de una parábola invertida cuyo vértice da a lugar al máximo esfuerzo en compresión.

Figura 2.

Curva esfuerzo – deformación del concreto en compresión

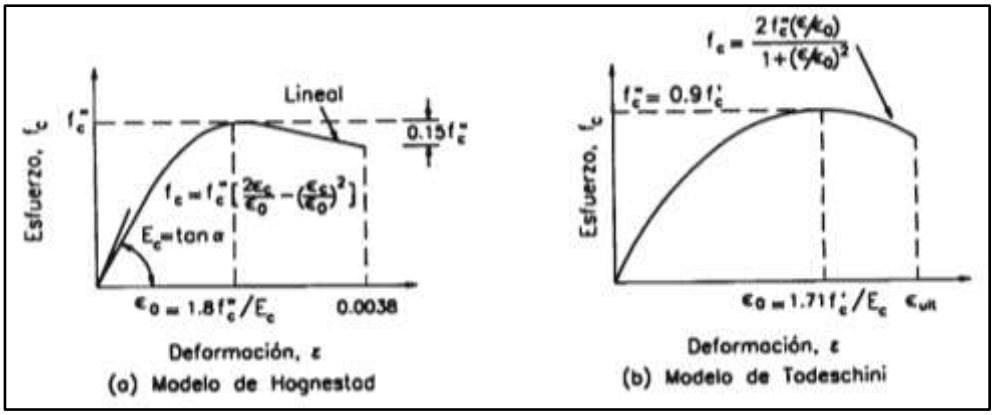


Fuente: Harmsen (2002)

Hognestad y Todeschini propusieron idealizaciones de la deformación del concreto la cual se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Idealizaciones de la curvar esfuerzo – deformación del concreto



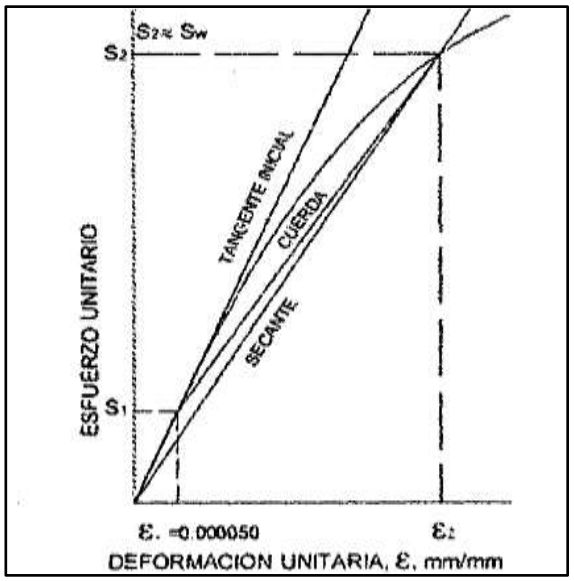
Fuente: Harmsen (2002)

El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que nos permite medir la deformación en el rango elástico, y está a función del ángulo de la línea esfuerzo-deformación. Este parámetro mide la rigidez o resistencia a la deformación del material y es calculada a través del modelo secante y modelo tangente.

El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto de ella. En particular, el módulo tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina módulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero con otro cualquiera de la curva. El módulo secante es más fácil de determinar que el módulo tangente, por ello, es el más utilizado.

Figura 4.

Modulo tangente y secante del concreto en compresión



Fuente: Harmsen (2002)

El comité ACI emplea el módulo de elasticidad secante del concreto y propone:

$$E_C = 0.14w^{1.5}\sqrt{f'c}$$

Donde:

E_c: Módulo de elasticidad del concreto

w: Peso unitario del concreto en kg/m3 (para valores entre 1440 y 2480 kg/m3)

f'c: Resistencia a la compresión del concreto

El módulo de elasticidad para concreto normales, con pesos unitarios de 2300 kg/m3 aproximadamente se utiliza la siguiente formula:

$$E_C = 15100\sqrt{f'c}$$

Para la norma E.060 en el capítulo 8, propone que el módulo de elasticidad del concreto para pesos unitarios normales se debe considerar la siguiente expresión:

$$E_C = 15000\sqrt{f'c}$$

2.2.4 Propiedades mecánicas del acero

- **Relación esfuerzo – deformación del acero**

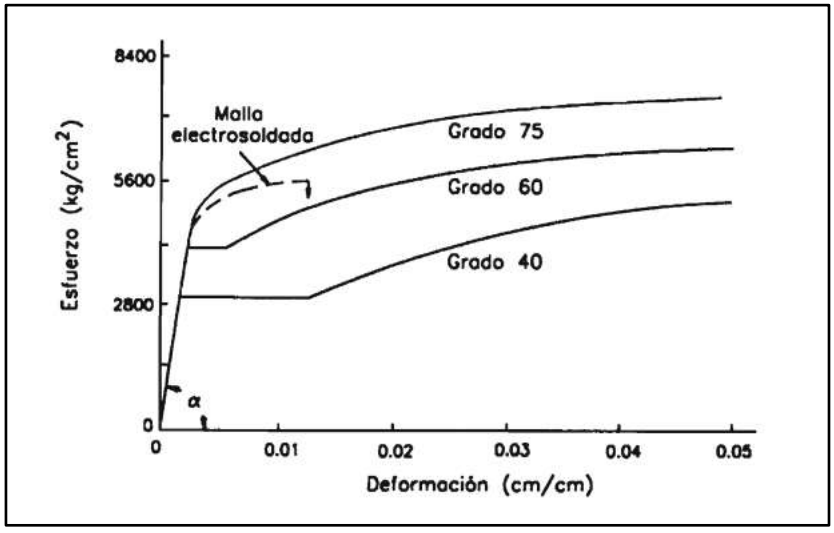
Las principales características para determinar los rangos de una barra de acero son el punto de fluencia fy y el módulo de elasticidad Es.

Se pudo comprobar tanto en lo teórico como en lo experimental la influencia que tiene el acero en la ductilidad de secciones de concreto armado. Otrazzi y Muñoz investigaron sobre la influencia de la plataforma de fluencia y el endurecimiento del acero, donde lograron demostrar que los diagramas de momento – curvatura para cuantías moderada de acero, logran tener la misma forma que los diagramas de esfuerzo deformación del acero. En esa investigación también concluyeron que los aceros que tienen grandes plataformas de fluencia y sin endurecimiento, proveen gran ductilidad de la curvatura.

La curva esfuerzo deformación del acero para diversos grados se puede apreciar en la figura 5. Como se observa en la fase elásticas, los aceros se comportan idénticamente y en la fase inelástica, las curvas se dispersan.

Figura 5.

Esfuerzo – deformación del acero



Fuente: Harmsen (2002)

El código ACI indica que el esfuerzo a fluencia fy debe representarse como el esfuerzo que corresponde a una deformación de 0.0035 pulg/pulg tal como indica la figura 5. La norma E. 060, en el capítulo 8, determina que el módulo de elasticidad de la barra de acero es de:

$$E_S = 200000\ MPa$$

2.2.5 Diseño por flexión

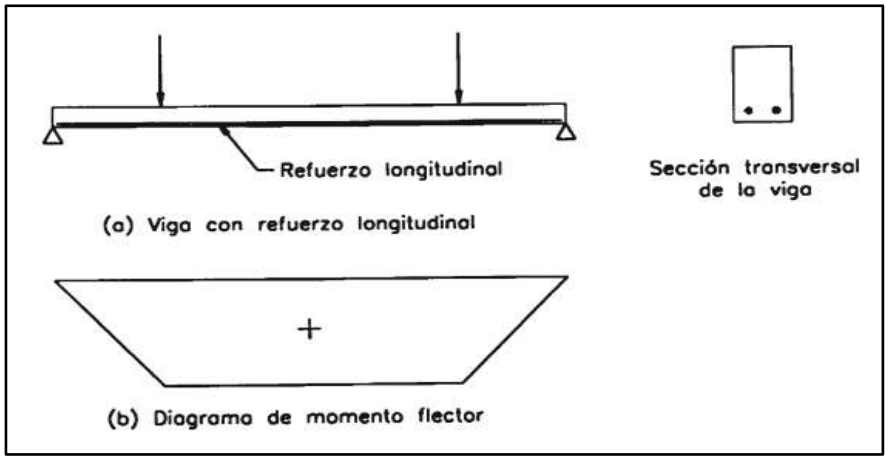
Harmsen (2002). Es imprescindible comprender claramente este fenómeno para luego deducir las expresiones a usar tanto en el análisis como en el diseño. El análisis implica fundamentalmente la determinación del momento resistente de una sección completamente definida. El diseño es el proceso contrario: dimensionar una sección capaz de resistir el momento aplicado. Si bien es cierto ambos usan los mismos criterios, los procedimientos a seguir son diferentes y serán expuestos por separado. (p. 77)

- **Comportamiento de una viga de concreto armado sometido a flexión**

En la figura se muestra una viga de sección rectangular, simplemente apoyada y esta reforzada en la zona inferior. La viga se encuentra sometida a la acción de dos cargas concretas iguales, eso genera que el diagrama de momento flector mostrada en la figura 6 en la parte inferior, donde se interpreta que la fibra superior esta comprimida y la inferior, traccionada.

Figura 6.

Viga simplemente apoyada sometidas a cargas concentradas



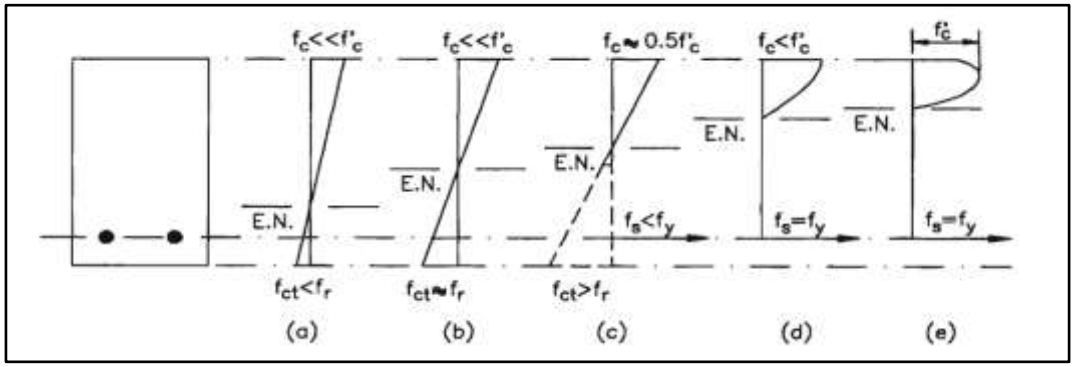
Fuente: Harmsen (2002)

Si se incrementan las cargas hasta que falle por flexión, la sección central de viga, donde la fuerza cortante es nula, empieza a experimentar las siguientes etapas:

Primera etapa: La carga extrema es pequeña: En esta etapa los esfuerzos de compresión y tracción no logran superar la resistencia del concreto, en consecuencia, no se presentan rajaduras, En la figura 7(a) se muestra la distribución de esfuerzo de la sección.

Figura 7.

Variación de esfuerzos y deformaciones por el incremento de momento aplicada



Fuente: Harmsen (2002)

Segunda etapa: En esta etapa la tensión en el concreto esta por alcanzar su resistencia a tracción. Aquí el concreto absorbe el esfuerzo ocasionado por su deformación. Aun no se presenta rajaduras, y el acero con el concreto se deforman igual por la adherencia que existen entre ellos, estos materiales están relacionado a través de la relación modular n, donde fs es el esfuerzo en el acero y ft el esfuerzo del concreto.

$$\mathbf{f_s = n\, f_t}$$

La sección de la viga experimenta un comportamiento elástico, en la figura 7(b) se muestra la distribución de esfuerzo.

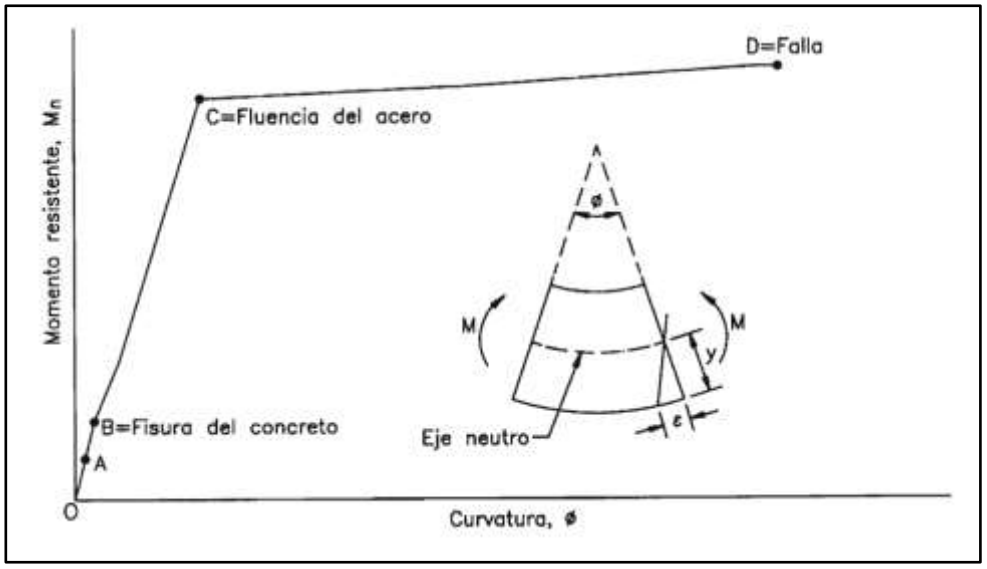
Tercera etapa: En esta etapa la sección alcanza el momento crítico Mcr, donde empiezan a desarrollarse las primeras rajaduras en la zona central de la viga. El eje neutro asciendo conforme aumenta la carga. En la figura 7(c) se muestra la distribución de esfuerzo. El concreto se agrieta por el motivo que no resiste a esfuerzos de tracción y es absorbido por el acero de refuerzo. La distribución de esfuerzo del concreto es casi lineal. Los esfuerzos del concreto alcanzan hasta 0.5 f'c. Conforme se aumenta la carga, las fisuras van ensanchando y se dirigen hacia el je neutro. Si la carga es retirada, las rajaduras se cerrarán, pero si nuevamente se carga, estas reaparecerán inmediatamente.

Cuarta etapa: En esta etapa el acero de refuerzo alcanza la fluencia, aunque el concreto no alcanza su máxima resistencia. En la figura 7(d) se muestran los esfuerzos en el concreto adoptan una distribución parabólica. La deflexión se incrementa ligeramente y las fisuras se ensanchan. Conforme aumentan la carga, el acero de refuerzo entra a la fase de endeudamiento por deformación, donde finalmente la concreta falla por aplastamiento.

Los cuatros fases descritas se puede ver diferenciadas en el diagrama momento curvatura mostrada en la figura 8.

Figura 8.

Diagrama momento – curvatura de una sección



Fuente: Harmsen (2002)

La curvatura se define con la siguiente ecuación:

$$ø = \frac{\varepsilon}{y}$$

Donde:

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

Se asume que la distribución de las deformaciones es lineal, donde ε e y son directamente proporcionales, por lo tanto, la curvatura (ø) es constante para cada momento resistente.

En la figura 8 se interpreta por tramos, donde el tramo OB corresponde a dos primeras etapas explicado con anterioridad, aquí la pendiente es constante y corresponde a la rigidez de la sección bruta de la viga. El concreto no presenta rajaduras y la sección está trabajando eficientemente. Para el tramo BC, se observa que la pendiente disminuye, para lo cual es coherente por la pérdida de rigidez de la viga. En el tramo CD corresponde al comportamiento de la viga antes que alcance la falla o el colapso. En ese último tramo el acero alcanza la fluencia, en

consecuencia, la pendiente es mínima. Se aprecia que las deformaciones son grandes para bajos incrementos de momento.

En caso que la viga no cuente con acero de refuerzo, se presentaría la falla inmediatamente después que el concreto alcance su capacidad para resistir esfuerzos de tensión, es decir, al fisurarse. La ventaja del acero de refuerzo en la viga es que incrementa su resistencia y su ductilidad.

- **Hipótesis básicas para el estudio de elementos sometidos a flexión según el código ACI.**

El código ACI indica las hipótesis básicas para el análisis y diseño de elementos sometidos a flexión y se detalla a continuación:

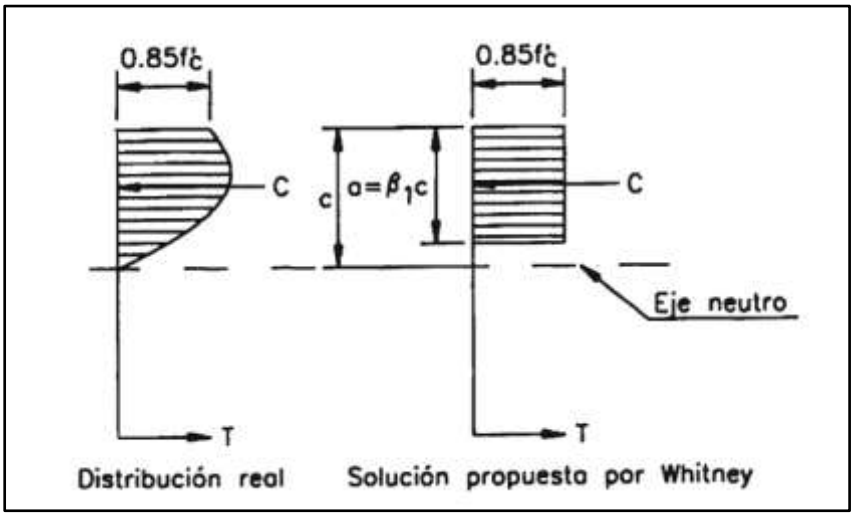
- Las deformaciones del concreto y del acero de refuerzo son directamente proporcionales a su distancia al eje neutro de la sección a excepción para las vigas con gran peralte, en estos casos, se va a asumir una distribución no lineal de distribuciones.
- La deformación unitaria del concreto cuando alcanza la falla es de 0.003 según los ensayos en laboratorio, en algunos ensayos se obtuvo deformaciones superiores a 0.008 bajo a condiciones especiales. Para concretos normales este valor puede variar entre 0.003 y 0.004.
- El esfuerzo en el acero de refuerzo antes que alcance la fluencia se puede determinar con el producto de su módulo de elasticidad por su deformación unitaria. Cuando las deformaciones son mayores a la fluencia, el esfuerzo del acero será igual a fy.
- Se deprecia la resistencia a la tensión del concreto.
- La distribución de esfuerzos de compresión del concreto deberá ser asumida de tal modo de ser coherentes con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

- De acuerdo lo mencionado en el punto anterior, Whitney propuso una distribución rectangular del esfuerzo, donde el valor de β es de 0.85 en caso que la resistencia a compresión del concreto sea menor que 280 kg/cm2, en caso contrario, β_1 deberá disminuir en 0.05 por cada incremento de 70 kg/cm2 en la resistencia a la compresión del concreto.
- Para ningún caso β deberá ser menor que 0.65, ya que los ensayos demostraron que, para concretos de alta resistencia, una reducción excesiva de β conlleva a diseños pocos conservadores.
- La propuesta de Whitney, que es una distribución de esfuerzos rectangular coincide con la distribución de esfuerzos no lineal.

En la figura 9 podemos apreciar las características propuesta por Whitney donde se muestra la distribución real y la solución propuesta.

Figura 9.

Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión de la viga



Fuente: Harmsen (2002)

- **Tipos de falla de los elementos sometidos a flexión**

Los elementos que son sometidos a esfuerzos a flexión, por lo general fallan por compresión del concreto, pero el concreto puede fallar antes o después que el acero alcance la fluencia. Esta naturaleza de falla se puede determinar por la cuantía de refuerzo y son de tres tipos:

Falla por tensión: El acero fluye, por lo tanto, el elemento pone a la vista una falla dúctil. Se logra apreciar grandes deflexiones y rajaduras antes que el elemento colapse, eso alerta a los usuarios acerca de un peligro inminente. Estas secciones también pueden ser llamadas sub reforzadas.

Falla por compresión: El concreto falla repentinamente antes que el acero fluya. Estas secciones también pueden ser llamadas sobre reforzadas. No se tiene un comportamiento dúctil y el tipo de colapso no es conveniente. Para el análisis y diseño de elementos estructurales se evita este tipo de falla.

Falla balanceada: Se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria ultima y a la vez el acero fluye. Esta falle es frágil y no es deseada.

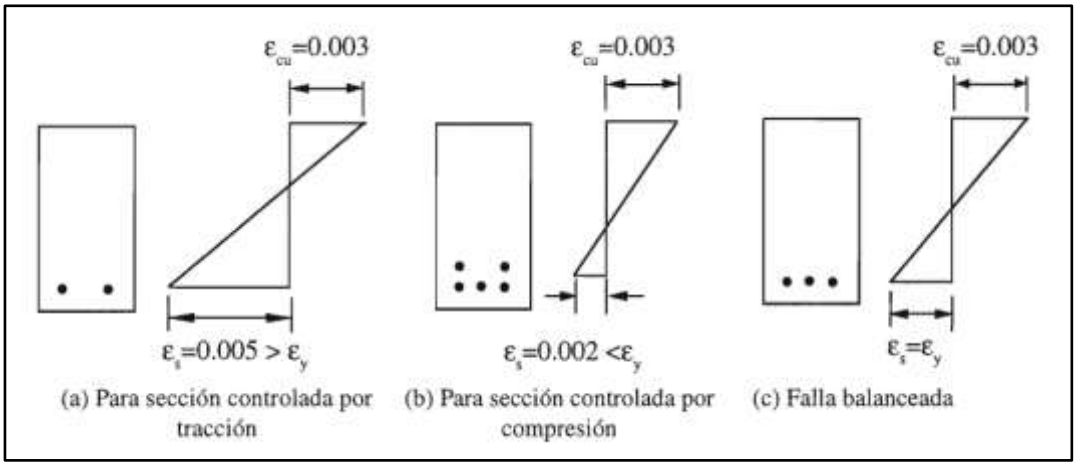
Existe una garantía de acero la cual ocasiona una falla balanceada, y es denominada cuantía balanceada ρ_b. En caso que la sección tiene una cantidad mayor de acero, esta fallara por compresión, pero si tiene una cantidad menor fallara por tracción. El código ACI recomienda por seguridad que las secciones se diseñen para fallar por tracción y ante ello, limita la cantidad de la cuantía de refuerzo de acero a 0.75 ρ_b.

Se muestra en la figura 10 la distribución de deformaciones para los tres tipos de falla y en la figura 11 el diagrama de momentos – curvatura para los casos mencionados, donde se puede apreciar la ductilidad que cada tipo de falla

experimentan, como son las secciones sub reforzadas hasta la de mayor capacidad resistente de las secciones sobre reforzadas.

Figura 10.

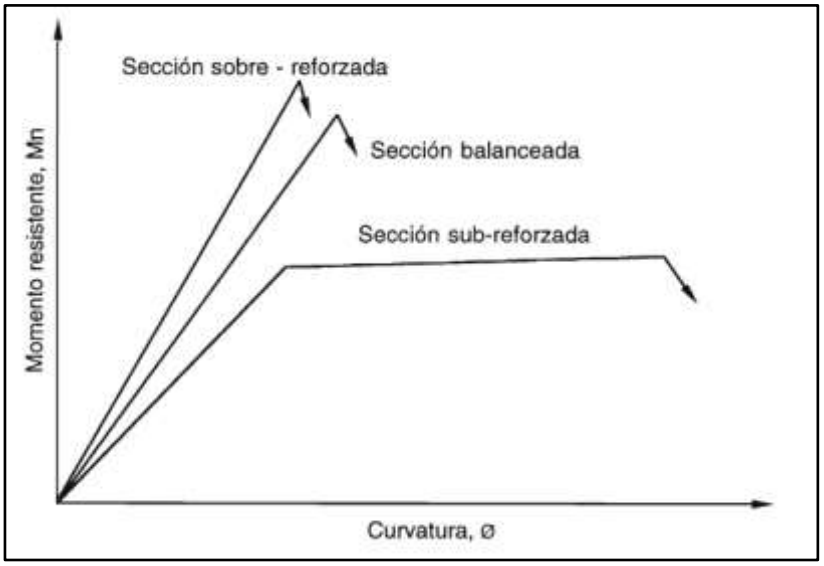
Distribución de las deformaciones para los diversos tipos de falla por flexión



Fuente: Harmsen (2002)

Figura 11.

Diagrama momento – curvatura para los diversos tipos de falla por flexión



Fuente: Harmsen (2002)

- **Análisis de elementos de sección rectangular con refuerzo en tracción sometidos a flexión.**

Para poder determinar el momento resistente de una sección, lo primero que se debe verificar es que si el refuerzo de acero alcanzo o no el esfuerzo la fluencia. Los elementos que son sometidos a esfuerzos de flexión son diseñados para fallar por tensión, ya que es un tipo de colapso más conveniente. De esa manera se presente el procedimiento de análisis para este tipo de caso.

- **Análisis de una sección rectangular con comportamiento dúctil**

De acuerdo a la distribución de esfuerzos mostrado en la figura 12, se puede establecer la siguiente condición de equilibrio:

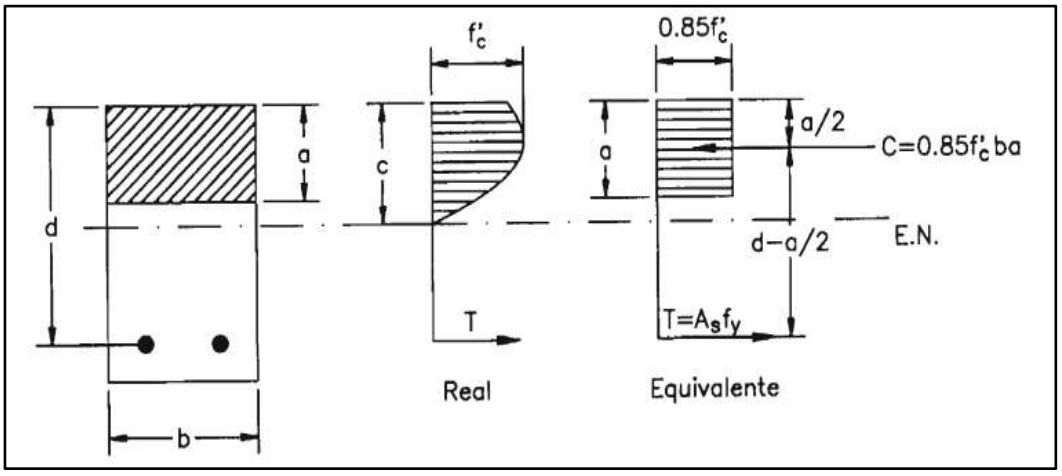
$$(0.85f'c)b * a = A_s * f_y$$

Despejando el valor de “a” se obtiene:

$$a = \frac{A_s * f_y}{(0.85f'c)b}$$

Figura 12.

Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión.



Fuente: Harmsen (2002)

Del mismo grafico se obtiene el momento último, que es producto del momento resistente con un factor de reducción de resistencia, para el caso de diseño a flexión se considera un valor de 0.90.

$$M_u = \emptyset M_n = \emptyset A_s * f_y(d - \frac{a}{2})$$

Con las dos últimas ecuaciones se puede determinar la cantidad de acero de refuerzo que va a requerir la viga en un primer proceso iterativo. Existen otras ecuaciones donde nos permite calcular directamente el área de acero.

$$A_s = \frac{2 * M_u}{\emptyset f y * (d + \sqrt{d^2 + g})}$$

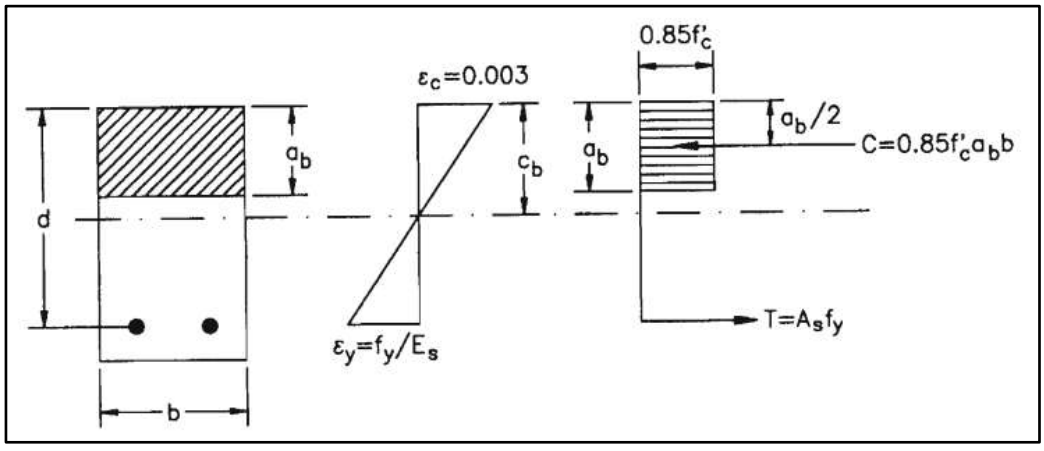
$$g = \frac{2 * M_u}{0.85 \emptyset f' c * b}$$

Determinación de la cuantía balanceada

Se muestra en la figura 13 las características de una sección rectangular con falla balanceada. En el diagrama de deformaciones, se puede plantear por semejanza de triángulos la siguiente relación:

Figura 13.

Esfuerzos y deformaciones en una sección rectangular con falla balanceada



Fuente: Harmsen (2002)

$$\frac{0.003}{c} = \frac{\varepsilon_y}{d+c} = \frac{f_y/Es}{d-c}$$

Se despeja el valor de “c” y se reemplaza Es=2000000 kg/cm2

$$c = \frac{0.003dEs}{f_y + 0.003Es} = \frac{6300d}{f_y + 6300}$$

Se conoce que a= β, por lo tanto, se obtiene:

$$a = \beta c = \frac{A_s * f_y}{(0.85f'c)b} * \frac{d}{d} = \left(\frac{A_s}{bd}\right) * \frac{f_y d}{(0.85f'c)} = (\rho_b)\frac{f_y d}{(0.85f'c)}$$

Despejando el valor de la cuantía balanceada y reemplazando el valor de “c” en la última ecuación se obtiene la siguiente formula:

$$\rho_b = \frac{(0.85f'c)\beta c}{f_y d} = \frac{(0.85f'c)\beta}{f_y d} * \frac{6300d}{f_y + 6300} = \frac{(0.85\beta f'c)}{f_y} * \frac{6300}{f_y + 6300}$$

La sección de viga con la cuantía balanceada es antieconómica, por lo que en la práctica se procura usar cuantías menores a $0.5\rho_b$.

Cuantía mínima de refuerzo

En algunos casos, las secciones de los elementos estructurales tienen dimensiones mayores, de tal forma, resisten cargas que le son aplicadas y eso se debe ya sea por razones arquitectónicas o funcionales. Las cuantías para el refuerzo de acero disminuyen, y la falla se presenta por superar el momento crítico, y ocurre una falla frágil. Para poder evitar es conveniente establecer una cuantía mínima de acero, de tal manera, garantice que el momento crítico de la sección sea superior al momento resistente.

El reglamento nacional de edificaciones E.060 nos indica la expresión para el cálculo del área de acero mínimo en tracción para vigas de secciones rectangulares con la siguiente ecuación:

$$A_{s\,min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} bd$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Metodología y técnicas utilizadas

3.1.1 Tipo de investigación

El enfoque de investigación será de tipo cuantitativo, ya que los estudios y análisis se va a desarrollar en diferentes procedimientos basados en la medición y se fundamenta en datos numéricos que se va a obtener por medio de los ensayos experimentales desarrollados en el laboratorio. Los resultados serán descritos en tablas y gráficos.

3.1.2 Nivel de investigación

El nivel es descriptica, experimental y exploratorio.

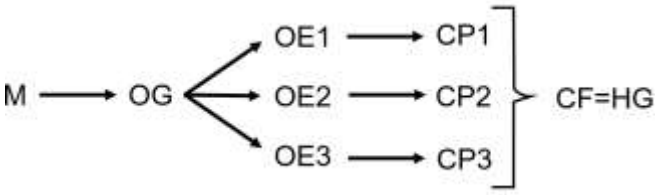
- Descriptiva: Se va a describir y caracterizar el comportamiento de vigas de mortero armado ante flexión pura.
- Exploratorio: Se va comparar el comportamiento ante esfuerzos de flexión entre vigas de mortero armado y una viga de concreto armado convencional.
- Experimental: Se va a realizar ensayos a compresión y a flexión simple para determinar el comportamiento de la viga de mortero armado.

3.1.3 Diseño de investigación

El diseño que se va a desarrollar en la presente investigación será de índole experimental, ya que se va a manejar variables independientes que son la compresión simple del mortero, la curva esfuerzo–deformación del mortero y la resistencia a la flexión simple. Variables que han sido escogidas dentro del alcance del presente trabajo, para evaluar el comportamiento de una variable dependiente que será el diseño a flexión de viga de mortero armado. Para fines de establecer una comparación, se estudiará el comportamiento de vigas de mortero armado con

una de concreto armado convencional, con las mismas dimensiones y reforzamiento.

Esquema



Dónde:

M= Muestra de elementos en estudio

OG= Objetivo general

OE= Objetivo especifico

CP= Conclusión parcial

CF= Conclusión final

HG= Hipótesis general

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población según Briones (2002) menciona que la “Población o universo es el conjunto de unidades que componen el colectivo en el cual se estudiará el fenómeno expuesto en el proyecto de investigación” (p. 57). Se planteó trabajar con 4 vigas de resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2, el cual fue determinado a criterio del autor.

3.2.2 Muestra

En la presente investigación se ha planteado 3 muestras de vigas de mortero armado y 1 de concreto armado, se propuso que las dimensiones para la realización

de ensayos en vigas sean de 200mm de alto, 125mm de ancho y 1600mm de largo, dichas vigas tienen una resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2 y se realizaron los ensayos a los 28 días de curado. Con anterioridad se elaboraron 14 probetas de 6”x12” y 7 probetas de 4”x8” que está distribuido de la siguiente manera: 9 especímenes de 6”x12” para el ensayo a compresión; 5 especímenes de 6”x12” para el ensayo del módulo de elasticidad y 7 especímenes de 4”x8” para determinar el diagrama esfuerzo-deformación del mortero. los especímenes fueron elaborados siguiendo los procedimientos de la norma técnica NTP 339.183.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas

Fuentes primarias:

Las fuentes primarias son los ensayos realizados por el Laboratorio de Estructura Antisísmicas en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Cotera” de la Universidad Nacional de Ingeniería y el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto “Geotécnica y Servicios E.I.R.L.”

Fuentes secundarias:

Se Recopiló información de estudios realizados por otros estudiantes y profesionales tales como revisiones bibliografías, tesis doctorales, tesis magistrales, normas técnicas y demás bibliografía relevante.

3.3.2 Instrumentos

- Prensa Hidráulica
- Maquina Tokyokoki Seizosho
- Potenciómetro
- Fisurómetro

- Microsoft Excel (versión educativa)

3.4 Procedimientos de recolección de datos

- Para el desarrollo de la investigación se recolectó revisiones bibliografías, tesis doctorales, tesis magistrales, normas técnicas y demás bibliografía relevante.
- Se realizó ensayos de la caracterización de la arena fina para obtener un diseño de mezcla de mortero de resistencia a la compresión de 210 kgf/cm^2 con respecto a las normas NTP 400.037, NTP 400.012, NTP 339.185, NTP 400.017, NTP 400.022
- Se ejecutó los ensayos a la compresión en base a los establecido en la norma técnica peruana NPT 339.034, para luego registrar la información necesaria.
- Se determinó el módulo de elasticidad y el diagrama esfuerzo deformación de especímenes de mortero a los 28 días de curado siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C-469.
- Se presenta el ensayo de tracción simple en acero de 8mm siguiente el método de ensayo de la norma técnica peruana NTP 350.405.
- Los ensayos a flexión se van a realizar con un sistema de carga controlada. Las muestras serán simplemente apoyadas con una luz la cual será sometida a cargas monotónica de dos puntos, de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 339.078.

3.5 Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos se utilizará hojas calculo con el programa Excel con la finalidad de realizar los cálculos necesarios para obtener las respuestas experimentales de la curva momento-curvatura de las vigas a ensayar, con el fin de comparar y proponer una metodología de diseño a flexión de viga de mortero armado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se va a describir las propiedades de los materiales utilizados para la elaboración del mortero, el diseño de mezcla, la elaboración de las probetas, los ensayos experimentales, además se describe la información disponible de los ensayos realizados en el laboratorio, de esa forma, estudiar el comportamiento en flexión pura en vigas de mortero con refuerzo de acero para finalmente realizar un tratamiento y manejo de la información obtenida.

4.1 Características de los materiales

4.1.1 Cemento portland

Para la elaboración de los especímenes para la realización de ensayos se utilizó el cemento Portland Tipo GU marca APU, que se obtiene de la molienda del Clinker Tipo I y adiciones especiales, este cemento cumple con la Norma Técnica Peruana NTP 334.082 y la Norma Técnica Americana ASTM C-1157. Este cemento portland es utilizado para construcciones generales, cuando no se requiera propiedades especiales.

Se seleccionó esta marca por la siguiente razón: en los lugares donde se elaboran el concreto armado sin agregado grueso (Ver figura 1) se utiliza el cemento Portland Tipo GU, debido a que es de menor costo comparado con el cemento Portland Tipo I. En esta investigación se da a conocer el comportamiento del mortero simple y armado con los materiales utilizados en la actualidad, de tal forma que sus propiedades descrita en esta investigación puedan ser válidos para evaluar las construcciones existentes y ser utilizadas para el diseño de estructuras a base de mortero en las diferentes localidades del departamento de Ucayali.

En la tabla 2 se muestran las propiedades físicas y químicas del cemento Portland, con esos datos se realizará un correcto diseño de mezcla de mortero, de esa formar, lograr la resistencia a la compresión requerida de f'c=210 kg/cm2.

Tabla 2

Propiedades físicas y químicas del cemento Portland Tipo GU de la marca APU

Cemento Portland Tipo GU		
Densidad	g/ml	3.03
Contenido de aire	%	4.63
Expansión autoclave	%	0.01
Superficie específica	m2/kg	366
Fraguado Vicat	min	128
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm2	272
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm2	320
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm2	369

Fuente: ficha técnica del Cemento APU (UNACEM).

4.1.2 Agregados finos

Para el diseño de mezcla del mortero solo se utilizó un tipo de agregado fino, que es la arena fina, que fue extraído de las orillas del Rio Ucayali.

Para seleccionar el agregado fino, se tuvo que observar que la arena este limpia, que las partículas estén duras, compactadas y resistentes, libre de polvos, plantas, o materias orgánicas que puedan ser dañinas para las muestras de la presente investigación.

Figura 14.

Agregado fino del Rio Ucayali



- **Fuente de abastecimiento**

La fuente de abastecimiento donde se utilizó el agregado fino es de la orilla del Rio Ucayali, se eligió este agregado por su fácil extracción y por su demanda en diferentes pueblos ribereños al Rio Ucayali.

El banco de materiales está ubicado en el distrito de Callería, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali y sus coordenadas de ubicación es la siguiente:

Tabla 3

Coordenadas de la ubicación de la cantera

Coordenadas GPS	Cantera Rio Ucayali
Latitud	8°21'39.6"S
Longitud	74°31'09.2"W

Figura 15.

Ubicación de la cantera Rio Ucayali.



Fuente: Google Earth.

- **Granulometría**

La norma NTP 400.037 detalla la granulometría del agregado fino, donde una buena granulometría deberá encontrarse entre los valores que se indica en la Tabla 4.

Tabla 4

Limites granulométricos para el agregado fino

Limites Granulométricos para el Agregado Fino			
Diámetro del tamiz		Límite superior	Límite inferior
mm	pulg.		
9.5 mm	3/8	100%	100%
4.75 mm	#4	100%	95%
2.36 mm	#8	100%	80%
1.18 mm	#16	85%	50%
0.6 mm	#30	60%	25%
0.3 mm	#50	30%	5%
0.15 mm	#100	10%	0%

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037-2018

Para el presente trabajo de investigación, los requisitos granulométricos para el agregado fino conciernen para arena fina, a consecuencia, de que este material se extrae de manera natural y es utilizado para la elaboración de morteros.

Figura 16.

Tamizado manual de la arena



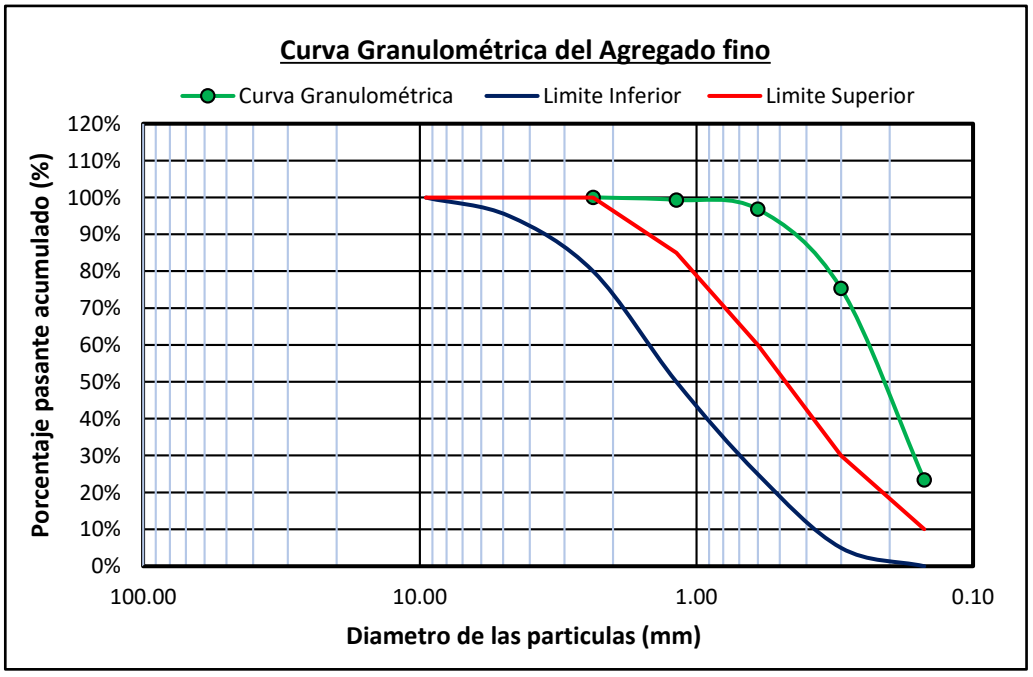
Tabla 5

Granulometría del agregado fino

Agregado fino				
Cantera:		"Rio Ucayali"		
Descripción:		Arena fina		
Peso inicial de la muestra:		500g		
Diámetro del tamiz mm	pulg.	Peso retenido (gr)	Peso retenido (%)	Pasante acumulado (%)
2.36 mm	#8	0.00	0.00%	100.00%
1.18 mm	#16	3.60	0.72%	99.28%
0.6 mm	#30	12.20	2.44%	96.84%
0.3 mm	#50	107.50	21.50%	75.34%
0.15 mm	#100	259.80	51.96%	23.38%
fondo	fondo	116.90	23.38%	0.00%
Total		500.00	100.00%	

Figura 17.

Curva granulométrica del agregado fino.



La curva granulométrica nos indica que el agregado fino no se encuentra dentro de los parámetros que establece la norma NTP 400.037, por lo tanto, corresponde a una arena fina mal graduada, por lo que va a influir para la elaboración en el diseño de mezcla del mortero.

- **Módulo de fineza**

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", ¾", 1 ½" y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea de 1 a 2. (Gutiérrez de López, 2003, p. 19)

En la tabla 6 se muestran los resultados del módulo de finura del agregado fino obtenidas en el laboratorio.

Tabla 6

Módulo de finura del agregado fino

Módulo de Finura del Agregado fino				
Diámetro del tamiz		**Peso retenido (gr)**	**Peso retenido (%)**	**Pasante acumulado (%)**
mm	**pulg.**			
2.36 mm	#8	0.00	0.00%	0.00%
1.18 mm	#16	3.60	0.72%	0.72%
0.6 mm	#30	12.20	2.44%	3.16%
0.3 mm	#50	107.50	21.50%	24.66%
0.15 mm	#100	259.80	51.96%	76.62%
fondo	fondo	116.90	23.38%	100.00%
Total		500.00	100.00%	
	Suma =			105.16%
Módulo de Finura (MF)				**1.05**

Los datos obtenidos en el laboratorio nos indica que el módulo que finura del agregado fino es de 1.05 y es clasificado como una arena fina.

- **Peso específico**

El peso específico se define como el peso del volumen absoluto del agregado, esta característica se utiliza para establecer la condición de volumen ocupado por el agregado en la mezcla del mortero y se calcula por la relación entre el peso y el volumen de la masa.

En la tabla 7 se muestran los resultados de los ensayos de peso específico del agregado fino obtenidas en el laboratorio.

Tabla 7

Peso específico del agregado fino.

Peso específico del Agregado Fino		
Descripción	**Muestra Promedio**	
Peso Mat. Sat. Sup. Seca en aire (Wsa)	1467.20	g
Peso Mat. Sat. Sup. Seca en agua (Wa)	835.90	g
Peso material seco en estufa a 105° (Ws)	1449.50	g
Peso específico de masa (Pem)	2.296	g/cm3
Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pesss)	2.324	g/cm3
Peso específico aparente (Pea)	2.362	g/cm3

El agregado fino tiene un peso específico de 2.296 g/cm3 que es un valor optimo ya que está en el rango de 2.00 a 2.50 por lo tanto es clasificado como un agregado de peso específico normal.

Figura 18.

Tara llena de muestra a baño maría usando la arena



- **Absorción**

Pasquel Carbajal (1993). Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire

atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias. (p. 76)

Tabla 8

Absorción del agregado fino

Absorción del Agregado Fino		
Descripción	**Muestra Promedio**	
Peso muestra saturada superficialmente seca en aire (Wsa)	1467.20	g
Peso en el aire de la muestra secada en estufa (Ws)	1449.50	g
Absorción	1.221	%

El agregado fino tiene una absorción de 1.221% que es un porcentaje optimo ya que un agregado fino de buena calidad muestra valores menores al 5%.

- **Peso unitario suelto**

Es el peso suelto del material en su estado suelto que ocupa un determinado volumen. Por lo tanto, es el resultado de dividir el peso entre el volumen total del agregado fino incluyendo los vacíos. El valor del peso unitario suelto varía entre 1400 y 1600 kg/m3.

En la tabla 9 se muestran los resultados de los ensayos de peso unitario suelto obtenidos en el laboratorio.

Tabla 9

Peso unitario suelto del agregado fino

Peso Unitario Suelto		
Descripción	**Muestra Promedio**	
Peso del molde más la muestra (A)	13.118	kg
Peso del molde (B)	5.190	kg
Volumen del molde (V)	0.005443	m3
Peso unitario suelto	1456.55	kg/m3

El agregado fino tiene un peso unitario suelto de 1456.55 kg/m3 que es un valor optimo ya que están en el rango de un agregado normal.

Figura 19.

Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino



- **Peso unitario compactado**

El peso compactado del material que ocupa un determinado volumen. Por lo tanto, es el resultado de dividir el peso compactado del agregado fino y el volumen del molde que lo ocupa. El valor del peso unitario compactado varía entre 1500 y 1700 kg/m3.

En la tabla 10 se muestran los resultados de los ensayos de peso unitario compactado del agregado fino.

Tabla 10

Peso unitario compactado del agregado fino

Peso Unitario Compactado		
Descripción	**Muestra**	**Promedio**
Peso del molde más la muestra (A)	13.617	kg
Peso del molde (B)	5.190	kg
Volumen del molde (V)	0.005443	m3
Peso unitario compactado	1548.23	kg/m3

El agregado fino tiene un peso unitario compactado de 1548.23 kg/m3 que es un valor optimo ya que están en el rango de un agregado normal.

Figura 20.

Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino



- **Contenido de humedad**

Pasquel Carbajal (1993). Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica que contribuye a incrementar el agua de mezcla, razón por la que se debe tomar en cuenta con la absorción para efectuar las correcciones en el proporciona miento de las mezclas. (p. 77)

En la tabla 11 se muestran los resultados de los ensayos de contenido de humedad del agregado fino obtenido en el laboratorio.

Tabla 11

Contenido de humedad del agregado fino

Contenido de Humedad		
Descripción	**Muestra 1**	**Muestra 2**
Peso de tara	22.90 g	24.60 g
Peso húmedo + tara	129.30 g	172.00 g
Peso seco + tara	127.10 g	168.90 g
Peso del agua	2.20 g	3.10 g
Peso seco	104.20 g	144.30 g
Contenido de humedad (%)	2.10 %	2.50 %
Contenido de humedad promedio (%)	**2.30 %**	

- **Resumen de las propiedades del agregado fino**

En la tabla 12 se muestra el resumen de los datos de las propiedades físicas del agregado fino (arena fina) obtenidas en el laboratorio.

Tabla 12

Resumen de las propiedades del agregado fino

Propiedades del Agregado Fino		
Peso especifico	2.296 g/cm3	Peso específico normal
Peso unitario suelto	1456.55 kg/m3	Peso específico normal
Peso unitario compactado	1548.23 kg/m3	Peso específico normal
Módulo de fineza	1.05	Arena fina
% Absorción	1.22%	Valor optimo menos a 5%
% Humedad	2.30%	Material casi húmedo

4.1.3 Agua

En la presente investigación se va a utilizar agua potable suministrada por la empresa EMAPACOP S.A. la cual servirá para la elaboración de las probetas y vigas de mortero, el agua utilizada cumple con los requerimientos establecidos en la norma NTP 339.088.

4.2 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla del mortero en el departamento de Ucayali no está muy estudiado o existe poca información de ello, por lo tanto, realizaremos un diseño para poder tener un mejor control de los materiales.

Para el diseño de mezcla se utilizó el método tradicional, que consiste en la mezcla del cemento, agua, agregado fino, aire atrapado, para finalmente obtener el mortero

Para realizar el diseño de mezcla, la ACI (American Concrete Institute) nos proporciona un procedimiento, en la cual consiste en utilizar unas series de tablas que se obtuvieron en forma empírica, de tal forma que nos permite determinar las cantidades necesarias de cada elemento que forman parte de la mezcla tanto en peso y en volumen, en referencia para un metro cubico de concreto, con la finalidad que del concreto sea adecuado y sea utilizado para un único uso específico.

Para el presente trabajo de investigación, se realizó un diseño de mezcla para un mortero de resistencia a la compresión de f'c=210kg/cm2, por el motivo de que esta resistencia es la más utilizada en la elaboración de los elementos estructurales.

4.2.1 Procedimiento utilizado para el diseño de mezcla de mortero

El orden de pasos para el diseño de mezcla establecido por el método ACI 211.

- ✓ Paso 1: Determinación de la resistencia a la compresión promedio requerida (f'cr) partiendo de la resistencia en compresión especificada (f'c).
- ✓ Paso 2: Elección del asentamiento (slump).
- ✓ Paso 3: Estimación del volumen agua de diseño.
- ✓ Paso 4: Estimación del contenido de aire.
- ✓ Paso 5: Selección de la relación agua-cemento
- ✓ Paso 6: Calculo del factor cemento.
- ✓ Paso 7: Cálculo de volumen del agregado fino.
- ✓ Paso 8: Cálculo del peso en estado seco del agregado fino

- ✓ Paso 9: Presentación del diseño de mezcla en estado seco.
- ✓ Paso 10: Ajustes de la cantidad agregados por humedad y absorción
- ✓ Paso 11: Calculo de proporciones en peso, en volumen y por tanda

4.2.2 Aplicación del diseño de mezcla de mortero

Información de los materiales

La información de las propiedades de los materiales que constituye la mezcla de mortero utilizadas en esta investigación se muestra en la Tabla 13, estas propiedades servirán para realizar una adecuada dosificación de la mezcla.

Tabla 13

Propiedades del agregado fino

Propiedades del Agregado Fino		
Peso especifico	2.296	g/cm3
Peso unitario suelto	1456.55	kg/m3
Peso unitario compactado	1548.23	kg/m3
Módulo de fineza	1.05	
% Absorción	1.22	%
% Humedad	2.30	%

Paso 1: Resistencia promedio requerida partiendo de la resistencia en compresión especificada.

Según el Comité ACI recomienda para los casos en que no se cuente con registros de ensayos de resistencia a la compresión para el cálculo de la desviación estándar, la resistencia a la compresión especificada del concreto (f'c) utilizada para la dosificación del mortero se deberá utilizar la siguiente tabla.

Tabla 14

Resistencia a la compresión promedio.

Resistencia a la compresión especificada (kg/cm2)	Resistencia a la compresión promedio requerida (kg/cm2)
f'c < 210	f'cr = f'c + 70
210 < f'c < 350	f'cr = f'c + 84
f'c > 350	f'cr = f'c + 98

Fuente: Comité 211 del ACI.

$$f'cr = f'c + 84$$

$$f'cr = 210+84 = 294 \text{ kg/cm2}$$

En la presente investigación se trabajará con una resistencia a compresión especificado de 210 kg/cm2 por lo tanto se utilizará una resistencia a compresión promedio requerida de 294 kg/cm2.

Paso 2: Elección del asentamiento.

La dosificación de los materiales debe lograr una mezcla con una distribución uniforme. El análisis del asentamiento del mortero en estado fresco se realiza a través de la prueba del Slump usando el procedimiento descrito en la Norma Técnica N.T.P 339.035, la finalidad es comprobar un asentamiento o fluidez seleccionado.

Tabla 15

Asentamiento según el tipo de estructura

Tipo de Estructura	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentación simples y calzadas	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y Pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

*El asentamiento puede incrementarse al utilizar aditivos, pero sin modificar la relación A/C ni generando segregación o exudación

Fuente: Pasquel Carbajal (1993)

El valor del asentamiento para el diseño de mezcla es de 3 a 4”.

Paso 3: Estimación del volumen agua de diseño.

En la Tabla 16 se estima una base preparada recomendada por el Comité 211 del ACI donde nos permite estimar la cantidad de agua, para concretos elaborado con y sin aire incorporado; tomando en cuenta la consistencia que se desea adquirir para la mezcla y los diferentes tamaños máximos de agregados.

Tabla 16

Cantidad aproximada de agua de diseño para diferentes valores de asentamiento, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.

Agua en lt/m3 para diferentes valores de asentamientos, tamaño máximo de agregado y contenido de aire.

Concreto sin aire incorporado

Asentamiento	Tamaño máximo nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	220	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Concreto con aire incorporado								
Asentamiento	Tamaño máximo nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Comité 211 del ACI.

En la tabla 16 no considera para la selección de agua de diseño las propiedades del agregado, ya que las incidencias del perfil, la textura y la granulometría influyen la cantidad requerida de agua de mezclado por lo que puede estar por encima o por debajo de los valores requeridos.

La cantidad seleccionada de agua para el diseño de mezcla del presente trabajo de investigación es de 186 litros, esta cantidad de agua estimada será

corregida posteriormente de acuerdo al contenido de humedad y porcentaje de absorción del agregado.

Paso 4: Estimación del contenido de aire.

Para la determinación del aire atrapado se tomará en cuenta lo nombrado por la norma NTP 400.037. En la tabla 17 se muestra el porcentaje aproximado para diferentes tamaños máximos nominales de agregado.

Tabla 17

Contenido de aire atrapado

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%

Fuente: Comité 211 del ACI

El valor del aire atrapado se consideró un porcentaje aproximado del 1.5% del volumen de la mezcla, esta estimación se debe a la cantidad de finos.

Paso 5: Determinación de la relación agua-cemento.

El criterio de la relación a/c es por resistencia y por durabilidad, para la cual el valor elegido será el menor de ellos, con ello garantizamos el cumplimiento de las especificaciones. La relación a/c tiene que satisfacer los requerimientos tanto en resistencia como en durabilidad. En la Tabla 18 se muestra la relación agua-cemento para diferentes calidades de concreto.

Tabla 18

Relación agua/cemento por resistencia.

Relación Agua/Cemento por Resistencia		
f'cr (28 días)	**Concreto sin aire incorporado**	**Concreto con aire incorporado**
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Comité 211 del ACI

El f'cr calculado para el diseño de mezcla es de 294 kg/cm, por lo tanto, la relación a/c para mortero sin aire incorporado es de 0.364.

Paso 6: Cálculo del factor cemento.

Una vez que tengamos el valor del volumen de agua y la relación agua-cemento, se procede a calcular el factor cemento con la siguiente formula:

$$\text{Contenido de cemento (kg/m3)} = \frac{\text{Agua de mezclado (lt/m3)}}{\text{Relación a/c (para } f'cr)}$$

$$\text{Contenido de cemento (kg/m3)} = \frac{186\ \text{(lt/m3)}}{0.364}$$

$$\boxed{\text{Contenido de cemento (kg/m3)} = 510.50}$$

$$\text{Volumen de cemento (m3)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento (kg/m3)}}$$

$$\text{Volumen de cemento (m3)} = \frac{510.50\ \text{(kg)}}{3110\ \text{(kg/m3)}}$$

$$\boxed{\text{Volumen de cemento (m3)} = 0.164}$$

Paso 7: Cálculo de volumen del agregado fino.

El comité 211 del ACI nos brinda el cálculo el volumen absoluto del agregado fino mediante la siguiente fórmula matemática para distintas relaciones a/c.

Vol. agregado fino (m3) = 1 - (Vol. agua + Vol. aire + Vol. cemento)

Vol. agregado fino (m3) =1 - (0.186+ 0.015 + 0.164)

Vol. agregado fino (m3) = 0.635

Paso 8: Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.

Para el cálculo del peso en estado seco se realizará mediante la siguiente formula.

Peso agregado fino (kg/m3) = (Vol. agregado fino) x (Peso específico del agregado fino)

Peso agregado fino (kg/m3) = 0.635m3 x 2296kg/m3

Peso agregado fino (kg/m3) = 1457.96

Paso 9: Presentación de los diseños en estado seco

En la tabla 19 se dará a conocer las dosificaciones en peso seco para el diseño de mezcla de la presente investigación.

Tabla 19

Valores para el diseño de mezcla en seco por 1m3.

Componentes	Diseño de mezcla en estado seco por 1 m3
Cemento (kg/m3)	510.50
Agua de diseño (lt/cm3)	186.00
Agregado fino (kg/m3)	1462.41

Paso 10: Ajustes de la cantidad del agregado por humedad y absorción

Por lo general el agregado fino utilizado para la preparación del mortero se encuentran húmedos, por lo que incrementa el porcentaje de agua cuando están en peso seco, tanto agua absorbida como superficial. Si el agregado fino se encuentra húmedo, aportara un porcentaje de agua a la pasta, por consiguiente, aumentara la relación a/c y la trabajabilidad, por lo que causara la disminución de la resistencia la compresión. Por lo tanto, la mezcla debe ser ajustada tomando en cuenta estos efectos.

- **Cálculo de los pesos de los agregados húmedos**

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(1 + \frac{Wf}{100}\%\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = 1457.96 \times \left(1 + \frac{2.3\%}{100}\right)$$

$$\boxed{\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = 1491.49}$$

- **Cálculo de agua efectiva**

$$\text{Agua en agregado fino (kg/m3)} = (\text{Peso A. fino seco}) \times \left(\%Wf - \frac{Af}{100}\%\right)$$

$$\text{Agua en agregado fino (kg/m3)} = 1491.49 \times \left(\frac{2.30}{100} - \frac{1.22}{100}\right)$$

$$\boxed{\text{Agua en agregado fino (kg/m3)} = 16.09}$$

$$\text{Agua efectiva (lts)} = (\text{Agua de diseño}) - (\text{Agua en Agregado fino})$$

$$\text{Agua efectiva (lts)} = 186 - (16.09)$$

$$\boxed{\text{Agua efectiva (lts)} = 169.91}$$

4.2.3 Hoja de diseño de mezcla

Diseño de Mezcla de Mortero f'c=210 kg/cm2

1. Descripción

1.1 Cantera	:	Cantera del Rio Ucayali
1.2 Ubicación	:	Puerto de Pucallpa
1.3 Resistencia especifica	:	f'c= 210 kg/cm2
1.4 Resistencia requerida	:	f'cm= 210+84 kg/cm2

2. Materiales

2.1 Cemento	:	Cemento Apu tipo I
2.1.1 Peso especifico	:	3110 kg/m3
2.2 Agregado fino		
2.2.1 Módulo de finura	:	1.05
2.2.2 Peso especifico	:	2296 kg/m3
2.2.3 Porcentaje de absorción	:	1.22 %

2.2.4 Peso unitario suelto	:	1457	kg/m3					
2.2.5 Peso unitario compactado	:	1548	kg/m3					
2.2.6 Contenido de humedad	:	2.30	%					

3. Datos para la dosificación

3.1 Asentamiento o Slump	:	3" - 5"						
3.2 Estimación del agua	:	186	lts					
3.3 Relación Agua/Cemento (A/C)	:	0.36						
3.5 Contenido de aire atrapado	:	1.50	%					
3.6 Factor cemento	:	186/0.36	=	510.50	kg		12.01	bls/m3

4. Cálculos

4.1 Cálculo de volúmenes absoluto de la mezcla

4.1.1 Cemento	:	510.5 kg/3110 kg/m3					0.164	m3
4.1.2 Agua	:	186/1000					0.186	m3
4.1.3 Aire atrapado	:	1.5/100					0.015	m3
							0.365	m3

4.1.4 Volumen de la arena	:	1.000	-	0.365	=		0.635	m3
4.1.5 Peso específico de la arena	:	2296	x	0.635	=		1457.96	kg/m3

4.2 Valores del diseño en estado seco

4.2.1 Cemento	:	510.50	kg/m3
4.2.2 Agua	:	186.00	lts/m3
4.2.3 Arena	:	1457.96	kg/m3

4.3 Ajustes por humedad de la arena

4.3.1 Peso húmedo de la arena	:	1457.96 x (1 + 2.3/100)	=	1491.49	kg/m3
4.3.2 Humedad superficial arena	:	2.30 - 1.22	=	1.08	%

4.3.3 Aporte de humedad:

4.3.3.1 Arena	:	1491.49 x 1.079/100	=	16.09	kg/m3
4.3.3.1 Agua efectiva	:	186 - (16.09)	=	169.91	lts/m3

4.4 Peso de materiales corregidos por humedad

4.4.1 Cemento	:	510.50	kg/m3
4.4.2 Agua	:	169.91	lts/m3
4.4.3 Arena	:	1491.49	kg/m3
		2171.90	kg/m3

4.5 Proporción en peso (kg)

4.5.1 Cemento : $\frac{510.50}{510.50} = 1.00$

4.5.2 Arena : $\frac{1491.49}{510.50} = 2.92$

4.5.3 Agua : $\frac{169.91}{510.50} \times 42.5 = 14.15$ lts/bls

4.6 Dosificación en peso

c	a. fino	agua
1.00	**2.92**	**14.15**

4.7 Proporción en volumen (m3)

4.7.1 P. unitario suelto de la arena : 1457 kg/m3

4.7.2 P. unitario suelto del cemento : 1500 kg/m3

4.7.3 Cemento : $\frac{510.50}{1500.00} = 0.34$

4.7.4 Arena : $\frac{1491.49}{1457.00} = 1.02$

4.7.5 Agua : $\frac{169.91}{12.01} = 14.15$

La proporción en volumen es de: $\frac{0.34}{0.34}$ $\frac{1.02}{0.34}$

4.8 Dosificación en volumen

c	a. fino	agua
1.00	**3.01**	**14.15**

4.9 Dosificación por bolsa de cemento

4.9.1 Cemento : 1.00 bolsa

4.9.2 Arena : 127.83 kg/bolsa (3 baldes/bolsa)

4.9.3 Agua : 14.15 litros/bolsa

4.3 Elaboración de muestras

4.3.1 Elaboración de Mortero en laboratorio

Para la elaboración de las muestras de mortero, fueron desarrollados adecuadamente, cumpliendo con las propiedades requeridas, de esa forma, obtener resultados confiables para los ensayos que van a ser contemplado en la presente investigación. Se desarrolló con un orden de ingreso de los materiales a la mezcladora, y un control continuo de la misma.

Figura 21.

Materiales para la mezcla respectivamente pesados



Figura 22.

Colocación de los materiales al trompo eléctrico



Figura 23.

Verificación de la consistencia del mortero



4.3.2 Elaboración de probetas cilíndricas

Los cilindros ensayados tienen un diámetro de 150mm, una altura de 300mm. Estas muestras se desarrollaron como testigos para la ejecución de vigas reforzadas que serán ensayadas posteriormente.

Figura 24.

Moldes aceitados con petróleo en el interior



Figura 25.

Moldes llenados con mezcla de mortero



Figura 26.

Pobretas dentro del pozo para el curado respectivo



4.3.3 Elaboración de vigas

Para el presente trabajo de investigación, se realizó 4 vigas, tres de ellas fueron elaboradas con mortero y una de concreto, reforzadas con acero. Para la elaboración de la viga de mortero armado, se realizó unas series de pasos, comenzando con la adquisición de materiales, luego la construcción de las

formaletas de maderas, la habilitación y colocación de la armadura de acero y llenado de mezcla según el diseño establecido, continuando con un adecuado curado, se esa manera se logró tener el elemento solido listo para ser sometidas a cargas. Las muestras fueron curadas con curador tipo membrana. Una vez que los especímenes endurecieron, se le retiro el encofrado y se le realizo una limpieza superficial.

Los materiales utilizados que se utilizaron fueron: acero de refuerzo ASTM A615- Grado 60 (fy=4200 kg/cm2), mortero con arena del Rio Ucayali y concreto convencional con agregado grueso de 3/4".

Figura 27.

Encofrado de las 4 vigas



Las vigas tienen una sección rectangular de 125x200mm con una longitud de 1600mm. Tiene un armado longitudinal de área de acero mínimo, que consta de cuatro barras de acero de diámetro de 8mm, dos colocadas en la cara superior y dos en la cara inferior con estribos de 6mm espaciadas a 10@0.05, Rto.@0.10 c/e

Figura 28.

Habilitación de acero longitudinal y amarre de estribos



Para la elaboración de los cuatros vigas se utilizó un trompo eléctrico de capacidad de 125 kg; el control de los materiales se realizó a través de baldes pequeños de 5 litros, siguiendo la dosificación presentada en este trabajo de investigación.

Figura 29.

Materiales utilizados para la elaboración de la mezcla para las vigas



Figura 30.

Vigas llenadas con mezcla de mortero y concreto reforzado con varillas de acero.



4.4 Peso unitario

Antes de iniciarse los ensayos de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, se determinó el peso de 14 probetas de mortero de 6”x12” mediante una balanza electrónica. Los resultados obtenidos serán relacionados en la clasificación del concreto según su peso unitario y esto se muestra en la tabla 20.

Tabla 20

Clasificación del concreto según su peso unitario

Clasificación del concreto	
Peso unitario (kg/m3)	**Descripción**
500 - 2000	Concreto ligero
2000 - 2500	Concreto normal
2600 - 5600	Concreto pesado

Fuente: Niño Hernández (2010)

En la tabla 21 se muestran los valores de los pesos unitarios obtenidos en 14 probetas cilíndricas elaboradas con mortero. El promedio de los pesos unitarios fue de 2033 kg/m^3, se aprecia que los valores no se aproximan al valor ya conocido de 2300 kg/m^3.

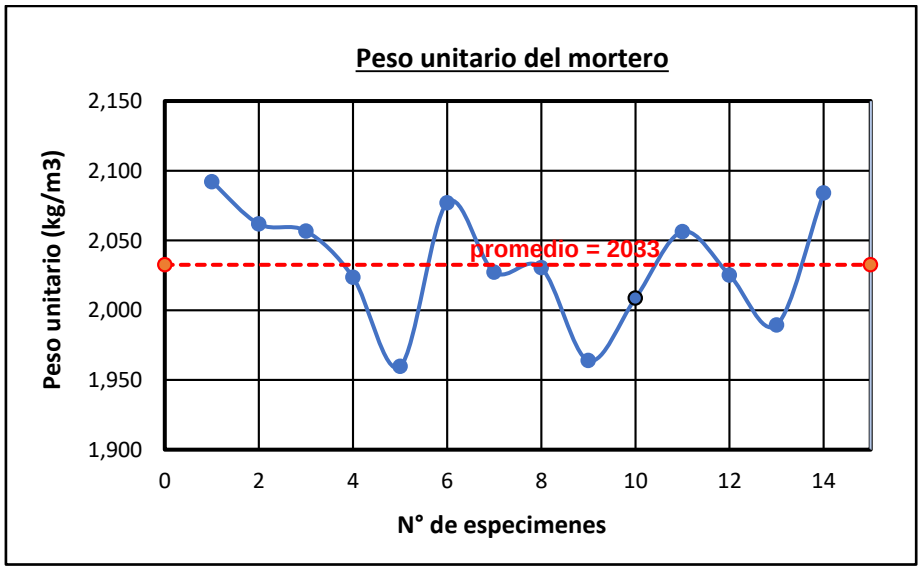
Tabla 21

Peso unitario de especímenes de mortero

Peso unitario del concreto del mortero						
Muestra	**Diámetro (cm)**	**Área (cm^2)**	**Altura (cm)**	**Volumen (m^3)**	**Masa (kg)**	**Peso (kg/m^3)**
C-1	15.22	181.94	30.00	0.00546	11.42	2092
C-2	15.21	181.70	30.00	0.00545	11.24	2062
C-3	15.20	181.46	30.00	0.00544	11.20	2057
C-4	15.20	181.46	30.00	0.00544	11.02	2024
C-5	15.21	181.70	30.00	0.00545	10.68	1960
C-6	15.19	181.22	30.00	0.00544	11.29	2077
C-7	15.23	182.18	30.00	0.00547	11.08	2027
C-8	15.20	181.46	30.00	0.00544	11.05	2030
C-9	15.22	181.94	30.00	0.00546	10.72	1964
C-10	15.22	181.94	30.00	0.00546	10.96	2009
C-11	15.18	180.98	30.00	0.00543	11.16	2056
C-12	15.22	181.94	30.00	0.00546	11.05	2025
C-13	15.23	182.18	30.00	0.00547	10.87	1990
C-14	15.20	181.46	30.00	0.00544	11.35	2084
Promedio de peso unitario =				**2033**	**kg/m^3**	

Figura 31.

Peso unitario de 14 probetas de mortero



Del cuadro anterior, se observa que el valor mínimo obtenido del peso unitario es de 1960 kg/m^3 y el valor máximo de 2092 kg/m^3 y se concluye que el peso por unidad de volumen del mortero es de 2033 kg/m^3, clasificándose como un concreto de peso ligero.

4.5 Ensayos de los materiales

Las probetas de mortero y las barras de acero corrugado que se utilizaron para la construcción de la viga, fueron ensayadas en el laboratorio para obtener propiedades reales de los materiales. A continuación, se presentan dichos ensayos y los resultados obtenidos.

4.5.1 Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión

El ensayo de la resistencia a la compresión es utilizado para el control de la calidad del concreto. El ensayo para determinar la resistencia a la compresión del mortero se realizó según lo establecido en la NTP 339.034, en la cual consiste en una carga de compresión directa sobre el espécimen de mortero hasta alcanzar la falla.

La resistencia a la compresión de las probetas de mortero, es similar a las probetas de concreto convencional en lo que respecta a su comportamiento. Según estudios relacionados al comportamiento del mortero, mostraron estadísticamente que ambos tipos de concreto pueden alcanzar una misma resistencia requerida. Es decir, que no existe mucha diferencia desde el punto de vista de resistencia. La diferencia de la composición del mortero es que requiere utilizar mayores volúmenes de cemento a comparación del concreto. Por ejemplo, para un metro cubico de concreto se requiere normalmente unas 9 bolsas de cementos para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kgf/cm2, en tanto que, en mortero, se requiere 12 bolsas/m3. Esta mayor cantidad de cemento se debe al que el concreto tiene una alta superficie especifica de agregados.

Para realizar el ensayo a la compresión, se realizó la mezcla de acuerdo a la relación agua/cemento (0.36), para su rotura a los 7, 14 y 28 días. En la tabla 22,

23 y 24 se muestra los resultados obtenidos. Con base a este diseño de mezcla, se elaboró probetas de 4”x12”, que fueron ensayadas para obtener la curva esfuerzo deformación del mortero.

Tabla 22

Ensayo de compresión de mortero a edad de 7 días

Resistencia a la compresión a los 7 días						
Muestra	**Diámetro (cm)**	**Área (cm^2)**	**Carga (kgf)**	**f'cm (kgf/cm^2)**	**f'cm promedio**	**Porcentaje del f'c alcanzado**
C1	15	176.71	30143	170.57		
C2	15	176.71	29424	166.51	168.75	80%
C3	15	176.71	29896	169.18		

Tabla 23

Ensayo de compresión de mortero a edad de 14 días

Resistencia a la compresión a los 14 días						
Muestra	**Diámetro (cm)**	**Área (cm^2)**	**Carga (kgf)**	**f'cm (kgf/cm^2)**	**f'cm promedio**	**Porcentaje del f'c alcanzado**
C1	15	176.71	34659	196.13		
C2	15	176.71	37610	212.83	203.17	97%
C3	15	176.71	35442	200.56		

Tabla 24

Ensayo de compresión de mortero a edad de 28 días.

Resistencia a la compresión a los 28 días						
Muestra	**Diámetro (cm)**	**Área (cm^2)**	**Carga (kgf)**	**f'cm (kgf/cm^2)**	**f'cm promedio**	**Porcentaje del f'c alcanzado**
C1	15	176.71	40303	228.07		
C2	15	176.71	39103	221.28	228.23	109%
C3	15	176.71	41587	235.33		

En la tabla 25 se muestra el resumen de los valores de la resistencia a la compresión.

Tabla 25

Resumen de resultados de ensayo a la compresión

Resumen de los resultados del ensayo a compresión		
Edad (días)	**f'cm (kgf/cm^2)**	**% f'c alcanzado**
07	168.75	80%
14	203.17	97%
28	228.23	109%

Figura 32.

Pobreta cilíndrica de mortero en la máquina de prueba a la compresión



Figura 33.

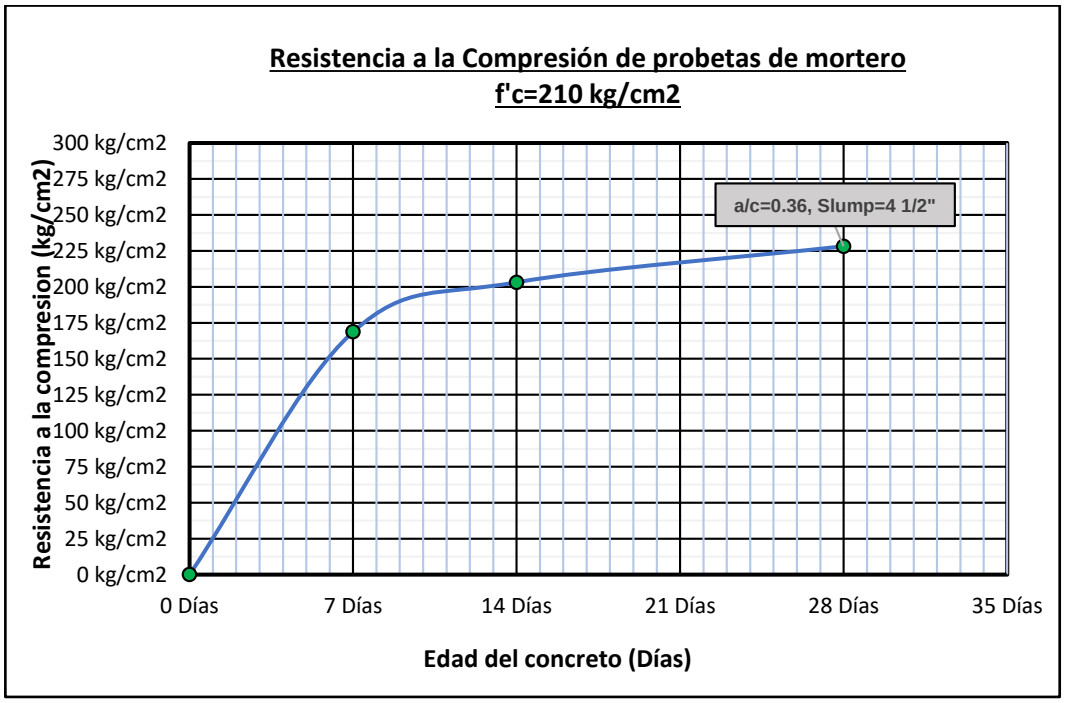
Pobreta cilíndrica de mortero con falla a la rotura



En la figura 34 se da a conocer la evolución de la resistencia a la compresión de los especímenes curado en el laboratorio. El aumento de la resistencia desde el segundo ensayo (14 días) hasta el último ensayo (28 días) fue de apenas de 10%. Por lo que se asume que no tendrá un aumento significativo de la resistencia a compresión del mortero.

Figura 34.

Evolución de la resistencia a la compresión



4.5.2 Ensayo de determinación del módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es un parámetro que caracteriza el comportamiento elástico. Este valor es calculado mediante el ensayo de compresión axial a partir de la curva esfuerzo – deformación del concreto.

El ensayo para determinar el módulo de elasticidad del mortero se ejecutó de acuerdo a lo establecido a la norma ASTM C-469. Este ensayo consiste en aplicar tres ciclos de carga-descarga de una compresión centrada y el registro de las deformaciones de la pobreta de mortero en cada etapa alcanzada.

Después de realizar los ensayos a compresión, se realiza un promedio de las cargas de rotura. Obtenidos el promedio de las cargas, estas se multiplican por el 40% para encontrar el valor de la carga que se les aplicara a las 3 probetas de la misma mezcla, estos valores se indica en la tabla 26.

Tabla 26

Promedio de las cargas para el ensayo de módulo de elasticidad del mortero a los 28 días.

Módulo de Elasticidad para probetas de mortero				
Muestra	**Carga de rotura (kgf)**	**Carga promedio de rotura (kgf)**	**40% Carga promedio de rotura (kgf)**	**Muestra para ensayo**
C1	40930.00	41130.50	16452.20	E1
C2	41331.00			E2

Figura 35.

Ensayo a la compresión para la determinación del módulo de elasticidad



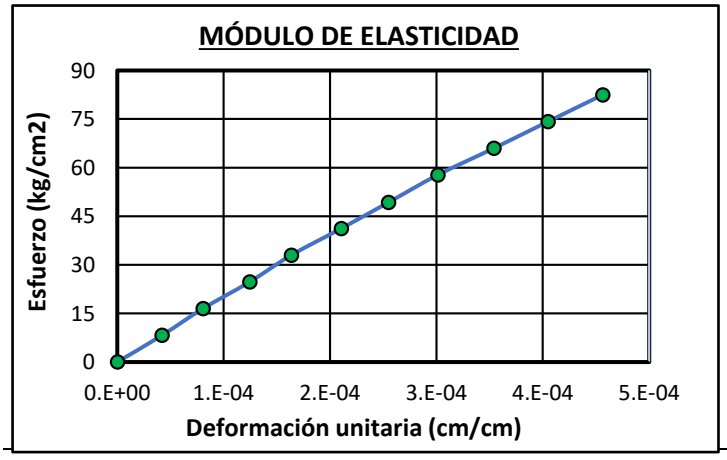
El registro de las deformaciones de obtuvo en el centro de las dos directrices opuestas del espécimen, la cual dos galgas extensométricas instaladas y

conectadas a un adquisidor de datos se puedo conocer la lectura proporcionada. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 27.

Tabla 27

Módulo de elasticidad a los 28 días de curada del mortero

Módulo de Elasticidad					
Edad: 28 días		**Relación a/c: 0.50**			**Muestra: E1**
Cargas (kgf)	**Dimensiones de las probetas cilíndricas**			**Esfuerzos (kgf/cm²)**	**Deformación Unitaria (cm/cm)**
	Diámetro Promedio (cm)	**Área (cm²)**	**Longitud Efectiva (cm)**		
0	15.22	181.94	30.30	0.00	0.000000
500	15.22	181.94	30.30	8.24	0.000042
1000	15.22	181.94	30.30	16.49	0.000081
1500	15.22	181.94	30.30	24.73	0.000124
2000	15.22	181.94	30.30	32.98	0.000164
2500	15.22	181.94	30.30	41.22	0.000211
3000	15.22	181.94	30.30	49.27	0.000255
3500	15.22	181.94	30.30	57.71	0.000301
4000	15.22	181.94	30.30	65.96	0.000354
4500	15.22	181.94	30.30	74.20	0.000405
5000	15.22	181.94	30.30	82.45	0.000456



f'c =	226
S2 =	90.40
e2 =	0.00051
S1 =	9.81
e1 =	0.00005

Módulo Elástico Estático (kgf/cm²)
176760

Módulo teórico (kgf/cm²)
225499

Los valores obtenidos del ensayo del módulo de elasticidad se encuentran resumidas en la tabla 28 para las probetas de mortero de 6”x12”.

Tabla 28

Resumen de los valores obtenidos en el ensayo del módulo de elasticidad

Resumen de los valores del Módulo de Elasticidad Pobretas de Mortero				
Muestra	**Carga máxima (kgf)**	**f'cm (kgf/cm^2)**	**f'cm promedio (kgf/cm^2)**	**E (kgf/cm^2)**
E1	40930	225	226	176760
E2	41331	227		

Figura 36.

Ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático



4.5.3 Ensayos para obtener la curva esfuerzo deformación

El ensayo para obtener la curva esfuerzo – deformación se ejecutó de acuerdo a lo establecido a la norma ASTM C-469. Este ensayo consiste en aplicar ciclo de cargas de compresión centrada. La medición de la deformación axial fue realizada mediante dos galgas extensométricas colocadas diametralmente opuestas en las probetas, el módulo de elasticidad se calculó con el promedio de ambas líneas de medición. Los ensayos a compresión fueron realizados en una máquina de ensayo con celda de carga.

Para realizar este ensayo, se elaboraron especímenes de mortero de dimensiones de 4”x8”, tal como se muestra en la figura 37 y fueron ensayadas después de los 28 días de curado.

Figura 37.

Especímenes de 4”x8” para el ensayo que muestre la curva esfuerzo-deformación



Los resultados de la resistencia a la compresión y del módulo de elasticidad de las probetas analizadas se muestran en la tabla 29. En la figura 38, 39 y 40 se muestran los diagramas esfuerzo – deformación del mortero. Los resultados se obtuvieron en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tabla 29

Valores obtenidos en el ensayo para obtener la curva esfuerzo-deformación del mortero.

Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de probetas de mortero					
Muestra	**Diámetro (cm)**	**Área (cm^2)**	**Carga (kg)**	**f'c (kgf/cm^2)**	**E (kgf/cm^2)**
M1	10.18	81.39	30618	376.50	232610
M2	10.18	81.39	27620	339.30	225036
M3	10.22	82.03	30851	376.40	227880
			Promedio =	364.10	228509

Figura 38.

Muestra 1: Curva esfuerzo - deformación del mortero

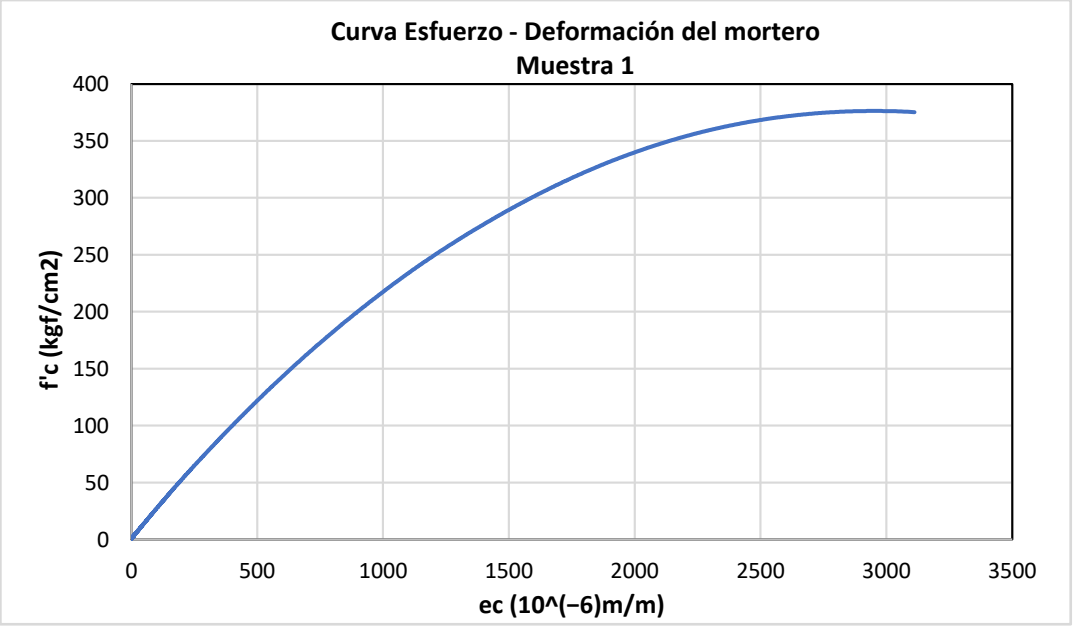


Figura 39.

Muestra 2: Curva esfuerzo - deformación del mortero.

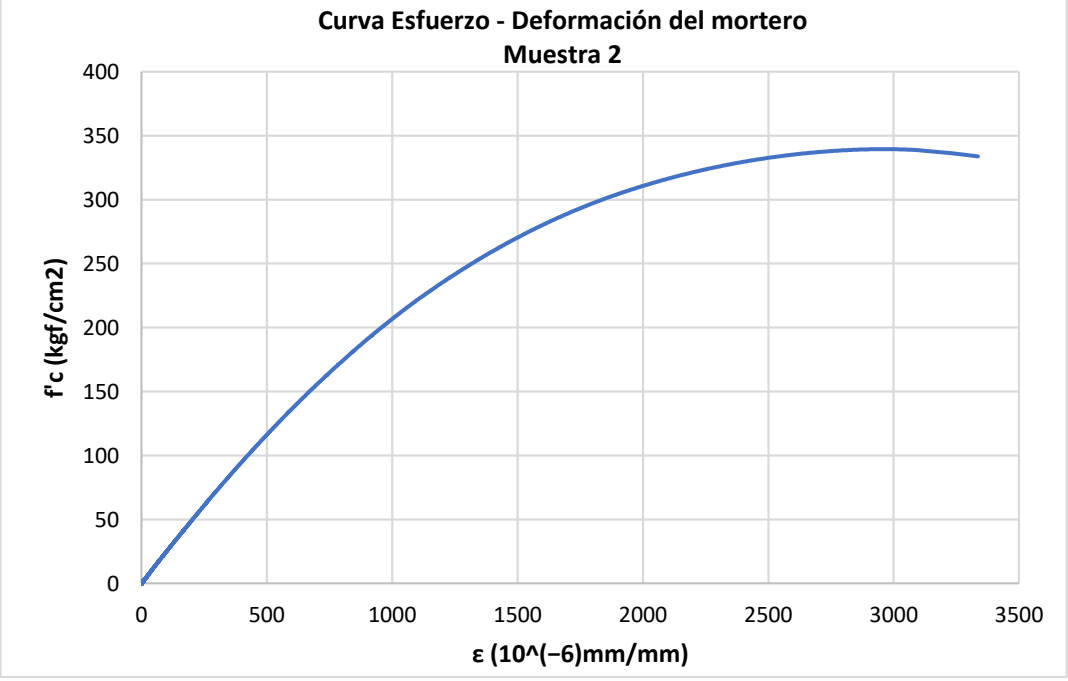
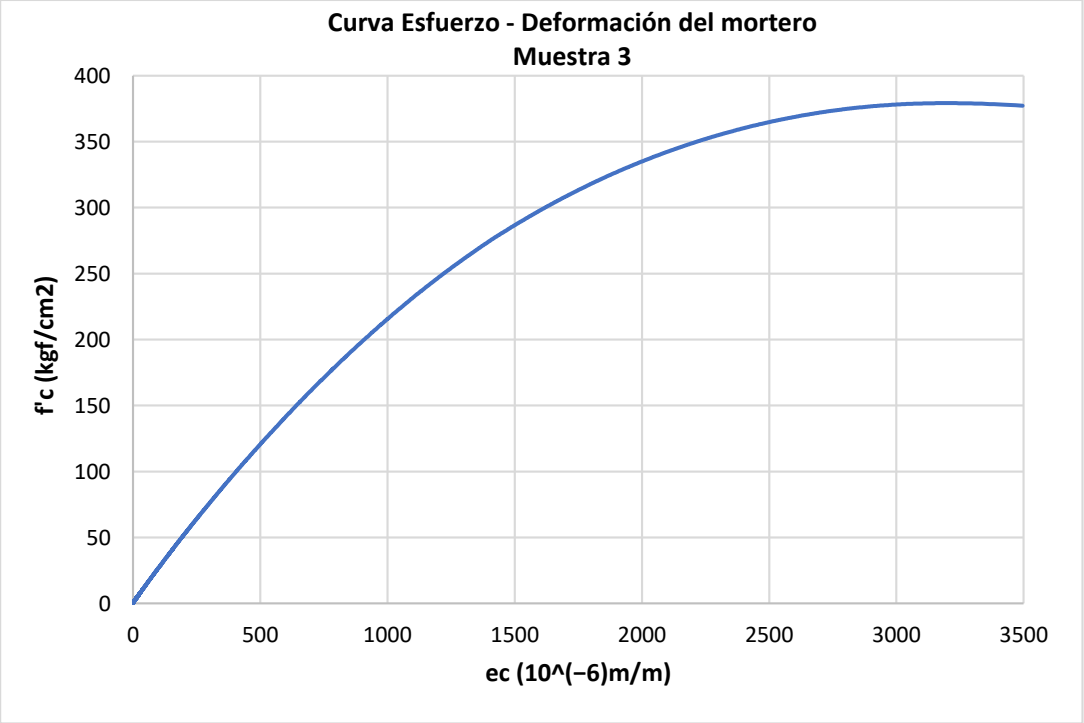


Figura 40.

Muestra 3: Curva esfuerzo - deformación del mortero



mortero cuando alcanza el esfuerzo máximo.

Tabla 30

Resumen de los valores de la deformación última del mortero

Muestra	Deformaciones ultimas unitarias		
	f'c (kgf/cm^2)	ecu (m)	Tipo de falla observada
M1	376.50	0.0029	Conos bien formados en ambas bases
M2	339.30	0.0028	Conos bien formados en ambas bases
M3	376.40	0.0030	Conos bien formados en ambas bases

Se observa que la curva lograda en el esfuerzo máximo, se tiene una deformación unitaria que varía entre 0.0028 y 0.0030, esta curva será modelada matemáticamente mediante ajustes a su función.

Figura 41.

Ensayo para obtener la curva esfuerzo-deformación



4.5.4 Ensayos de tracción simple del acero corrugado

Los ensayos realizados al acero corrugado son para determinar la curva tensión-deformación y obtener los valores del esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y el alargamiento de rotura del acero. Mediante el ensayo normalizado de tracción simple según lo establecido en la NTP 350.405 se obtuvo estas curvas.

Para la elaboración de las 4 vigas se utilizó barra de acero corrugado de 8mm para el acero longitudinal y 6mm para los estribos. Los ensayos fueron registrados por la maquina universal a través de lecturas globales de fuerzas y deformación, para el registro de lecturas locales se utilizó un dispositivo de medición local. La longitud de la varilla del ensayo fue de 50mm.

En la tabla 31 se muestra los resultados que se obtuvo en el ensayo de la barra corrugada de 8mm de diámetro.

Tabla 31

Ensayo de tracción en aceros de 8mm

Ensayo de Tracción en Aceros		
Muestra	Sider Perú	
Sección Transversal	8	mm
Área	50	mm^2
Carga Limite de Fluencia	2320	kg
Tensión Limite de Fluencia	46.4	kg/mm^2
Carga Aplicada	3400	kg
Resistencia a la Tracción	68.0	kg/mm^2
Deformación	32	mm
Elongación Final	16	%

Los datos obtenidos experimentalmente cumplen los requerimientos normativos, por lo tanto, los resultados son válidos para los modelos analíticos.

Figura 42.

Curva esfuerzo - deformación del acero de refuerzo de 8mm

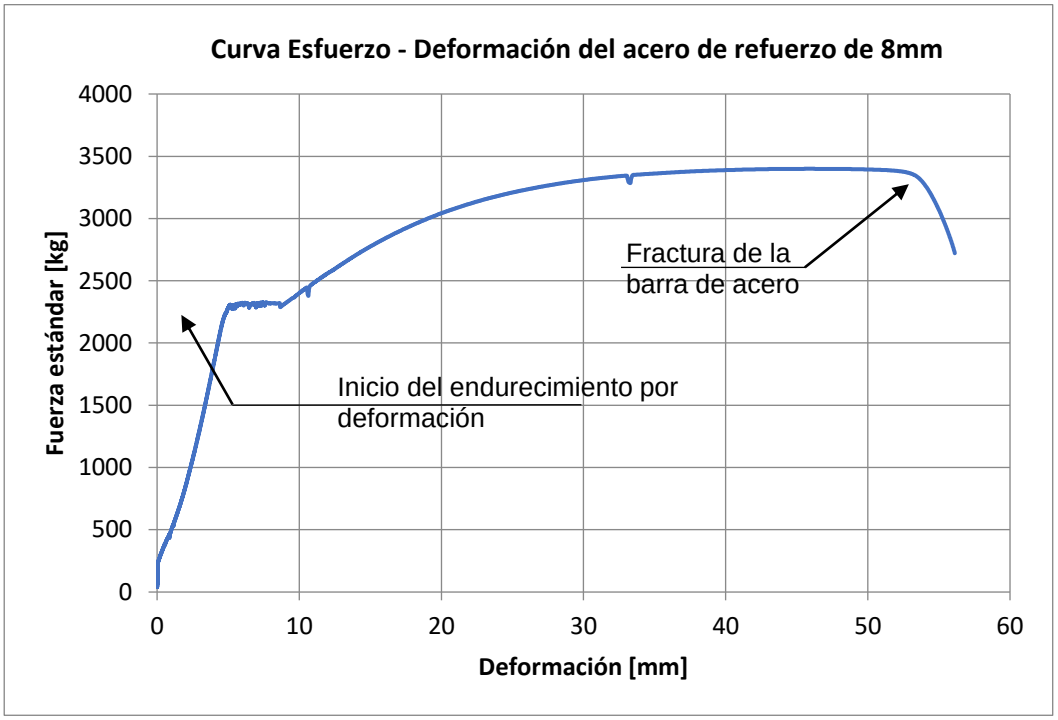


Figura 43.

Varilla de acero corrugado de 8mm después del ensayo de tracción simple



4.5.5 Ensayos a la flexión

Descripción del ensayo

Los ensayos para determinar la resistencia a la flexión fueron realizados en el laboratorio de Estructuras Antisísmicas (LEDI), que está ubicado en la ciudad de Lima, los ensayos se elaboraron siguiendo lo especificado en la norma técnica ASTM-C78: “Resistencia a Flexión de Vigas de Concreto simplemente apoyadas con carga en los tercios de Luz”. El ensayo a la viga es por medio de un sistema de adquisición de datos, con una celda de carga hasta 25 toneladas y transductores de desplazamientos. Este sistema registra las cargas, deflexiones y deformaciones para luego almacenarlos. Con la información almacenada se obtiene gráficos de carga-deflexión para luego con un tratamiento de data, se logra graficar el momento curvatura. Cabe recalcar que el ensayo será ensayado como vigas simplemente apoyadas en sus extremos

Información de las muestras de ensayo

El ensayo se realizó a 4 vigas (3 de mortero armado y 1 de concreto armado). Las dimensiones de las vigas son de 125mmx200mmx1600mm. Estas vigas fueron reforzadas con barras longitudinales de 8mm en la zona de tracción y en la zona de compresión, los estribos fueron de 6mm la cual están espaciados a cada 50 mm en las zonas de cortes y a 100 mm en el tercio central. Las vigas fueron diseñadas para una falla dúctil, es decir, se diseñó para alcanzar fluencia del acero de refuerzo, seguida del aplastamiento del concreto. En la tabla 32 se resumen las dimensiones y el refuerzo de acero en las vigas.

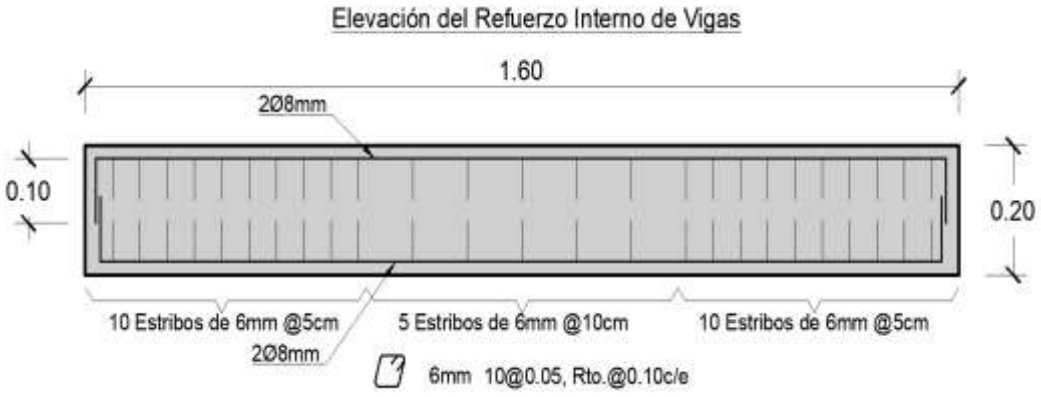
Tabla 32

Resumen de las características de las vigas.

Características de las vigas							
Muestra	f'c (kg/cm2)	Área sección (cm2)	Acero de refuerzo en tracción	cuantía (%)	cuantía balanceada (%)	% cuantía con la balanceada	Tipo de sección
VM-1	250	250	2Ø 8mm	0.40	2.58	16%	Subreforzada
VM-2	250	250	2Ø 8mm	0.40	2.58	16%	Subreforzada
VM-3	250	250	2Ø 8mm	0.40	2.58	16%	Subreforzada
V-Control	250	250	2Ø 8mm	0.40	2.58	16%	Subreforzada

Figura 44.

Detalle del acero de refuerzo de los especímenes ensayados



Procedimiento del Ensayo de Laboratorio

Para el comienzo de los ensayos, se verifica que la nivelación y la alineación estén correctamente ubicados, luego se colocan la viga en los rodillos de acero para que se le aplique la transmisión de carga. Después se procede a realizar la aplicación de la carga con la gata hidráulica que tiene una capacidad de 25 toneladas, transfiriendo las presiones mediante una bomba hidráulica. La carga de trasmisión vertical comienza a trasmitir a la viga mediante una viga de acero centrada y apoyada en los rodillos con una velocidad de carga de 5 kN/min aproximadamente y se mantuvo la carga durante un minuto por cada incremento de carga. Cuando se le está aplicando la carga, el sistema de adquisición de datos está tomando lectura de las deformaciones y cargas de los instrumentos, para luego ser almacenadas en la computadora, y finalmente ser procesadas.

Para medir la deformación en tracción y compresión en el mortero, se instrumentaron externamente con strain gage en la zona de superior e inferior de la viga, para para obtener las deformaciones en flexión, por otra parte, se utilizó LVDT en las mismas zonas para obtener la deformación axial en compresión y tracción del mortero, además de la deflexión en el centro de luz de la viga.

Figura 45.

Aparato de ensayo, dispositivos y ubicación de los LVDT

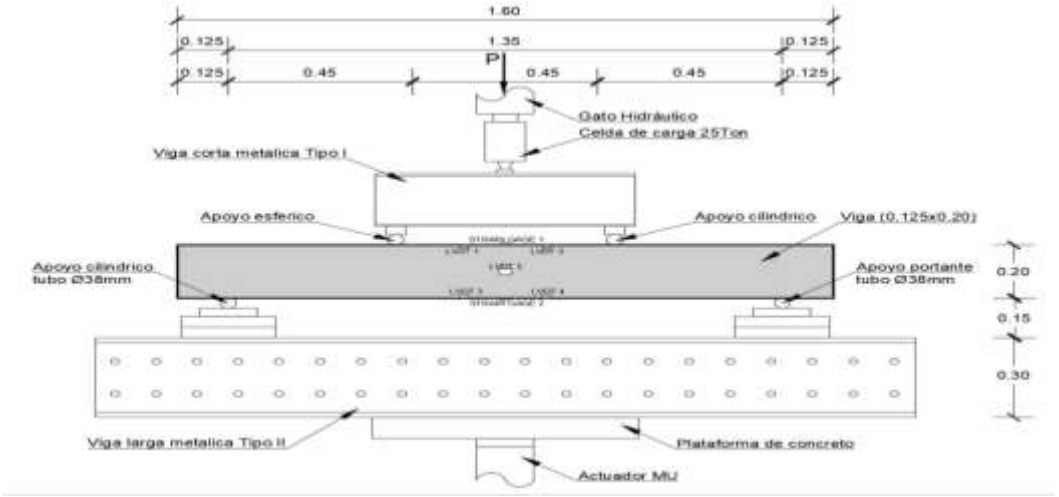


Figura 46.

Viga montada, instrumentada y conectada al sistema de adquisición de data.



Figura 47.

Gata Hidráulica aplicando la carga puntual hasta la falla de la viga



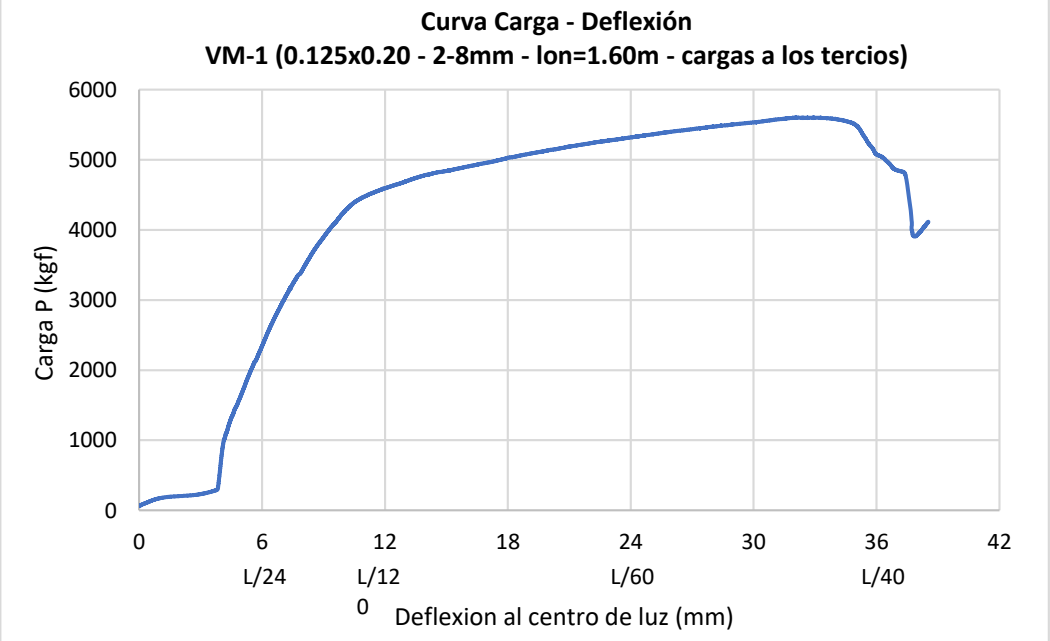
Resultados del ensayo

VM-1: En la figura 48 se presente la respuesta de la viga medida en el ensayo, en términos de carga vertical versus la deflexión en el centro de luz. Se muestra claramente cuatro etapas en el comportamiento de la viga de mortero: el

primer tramo corresponde a la etapa elástica previa a la fisuración del mortero 200 kgf aproximadamente, el segundo tramo corresponde a la etapa elástica que termina hasta el inicio de la fluencia del acero de refuerzo (alrededor de 4500 kgf), la tercera etapa la etapa inelástica, que se produce posterior a la fluencia del acero a tracción, finalmente la última etapa corresponde a la falla del mortero por flexión, donde se producen grandes deformaciones y disminución de la carga. La viga presenta una resistencia nominal de 850 kgf-m aproximadamente, resistencia que le corresponde cuando es sometida a una carga de 3800 kgf, eso quiere decir que cuando se llega a esta carga, la viga entra en fluencia y el bloque a compresión falla teóricamente. En la figura 48 se logra ubicar la intensidad de esta carga y se muestra que después de este valor, dicha carga siguió aumentado, por el motivo del endurecimiento del acero de refuerzo.

Figura 48.

Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-1.

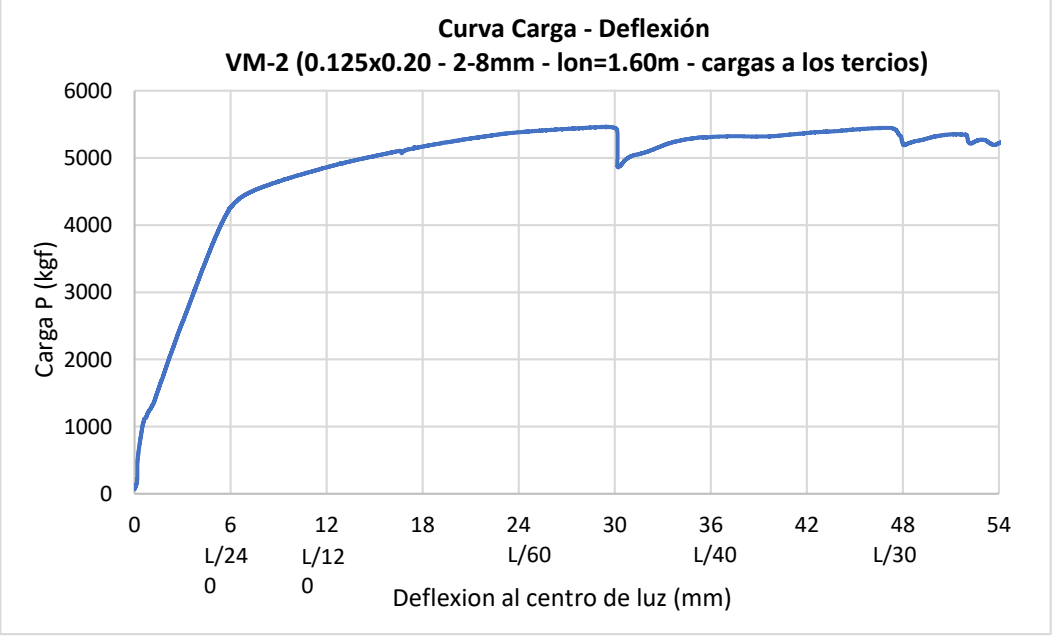


VM-2: En la figura 49 se presente la respuesta de la viga medida en el ensayo, en términos de carga vertical versus la deflexión en el centro de luz. Se

muestra claramente cuatro etapas en el comportamiento de la viga de mortero: el primer tramo corresponde a la etapa elástica previa a la fisuración del mortero 1100 kgf aproximadamente, el segundo tramo corresponde a la etapa elástica que termina hasta el inicio de la fluencia del acero de refuerzo (alrededor de 4500 kgf), la tercera etapa la etapa inelástica, que se produce posterior a la fluencia del acero a tracción, finalmente la última etapa corresponde a la falla del mortero por flexión, donde se producen grandes deformaciones y disminución de la carga. La viga presenta una resistencia nominal de 850 kgf-m aproximadamente, resistencia que le corresponde cuando es sometida a una carga de 3800 kgf, eso quiere decir que cuando se llega a esta carga, la viga entra en fluencia y el bloque a compresión falla teóricamente. En la figura 49 se logra ubicar la intensidad de esta carga y se muestra que después de este valor, dicha carga siguió aumentado, por el motivo del endurecimiento del acero de refuerzo.

Figura 49.

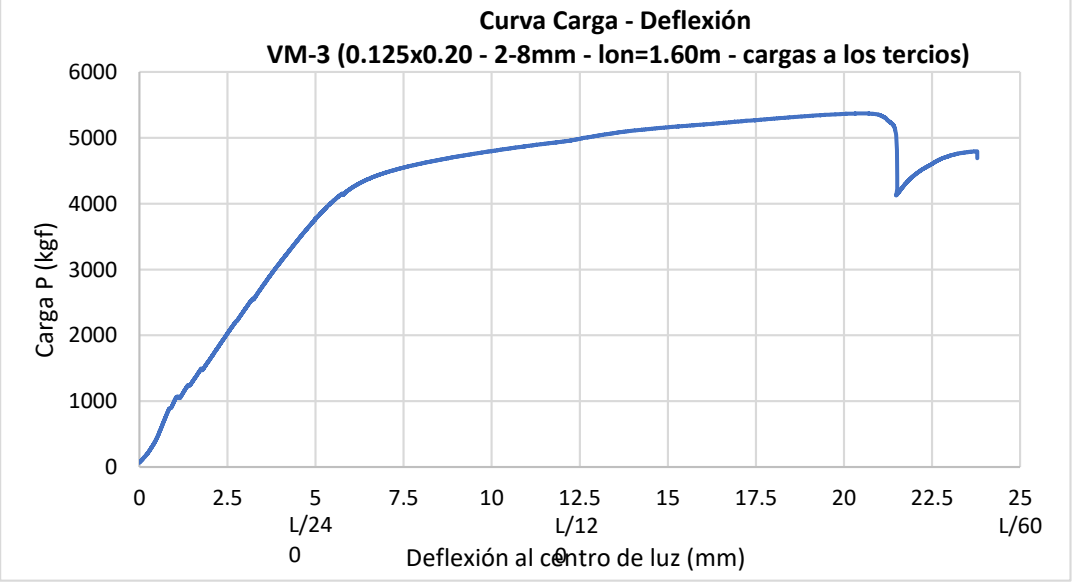
Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-2.



VM-3: En la figura 50 se presente la respuesta de la viga medida en el ensayo, en términos de carga vertical versus la deflexión en el centro de luz. Se muestra claramente cuatro etapas en el comportamiento de la viga de mortero: el primer tramo corresponde a la etapa elástica previa a la fisuración del mortero 1000 kgf aproximadamente, el segundo tramo corresponde a la etapa elástica que termina hasta el inicio de la fluencia del acero de refuerzo (alrededor de 4400 kgf), la tercera etapa la etapa inelástica, que se produce posterior a la fluencia del acero a tracción, finalmente la última etapa corresponde a la falla del mortero por flexión, donde se producen grandes deformaciones y disminución de la carga. La viga presenta una resistencia nominal de 850 kgf-m aproximadamente, resistencia que le corresponde cuando es sometida a una carga de 3800 kgf, eso quiere decir que cuando se llega a esta carga, la viga entra en fluencia y el bloque a compresión falla teóricamente. En la figura 50 se logra ubicar la intensidad de esta carga y se muestra que después de este valor, dicha carga siguió aumentado, por el motivo del endurecimiento del acero de refuerzo.

Figura 50.

Curva Carga vs Deflexión de la viga VM-3.



VC-Control: En la figura 51 se presente la respuesta de la viga medida en el ensayo, en términos de carga vertical versus la deflexión en el centro de luz. Se muestra claramente cuatro etapas en el comportamiento de la viga de mortero: el primer tramo corresponde a la etapa elástica previa a la fisuración del mortero 1500 kgf aproximadamente, el segundo tramo corresponde a la etapa elástica que termina hasta el inicio de la fluencia del acero de refuerzo (alrededor de 4000 kgf), la tercera etapa la etapa inelástica, que se produce posterior a la fluencia del acero a tracción, finalmente la última etapa corresponde a la falla del mortero por flexión, donde se producen grandes deformaciones y disminución de la carga. La viga presenta una resistencia nominal de 850 kgf-m aproximadamente, resistencia que le corresponde cuando es sometida a una carga de 3800 kgf, eso quiere decir que cuando se llega a esta carga, la viga entra en fluencia y el bloque a compresión falla teóricamente. En la figura 51 se logra ubicar la intensidad de esta carga y se muestra que después de este valor, dicha carga siguió aumentado, por el motivo del endurecimiento del acero de refuerzo.

Figura 51.

Curva Carga vs Deflexión de la viga VC-Control.

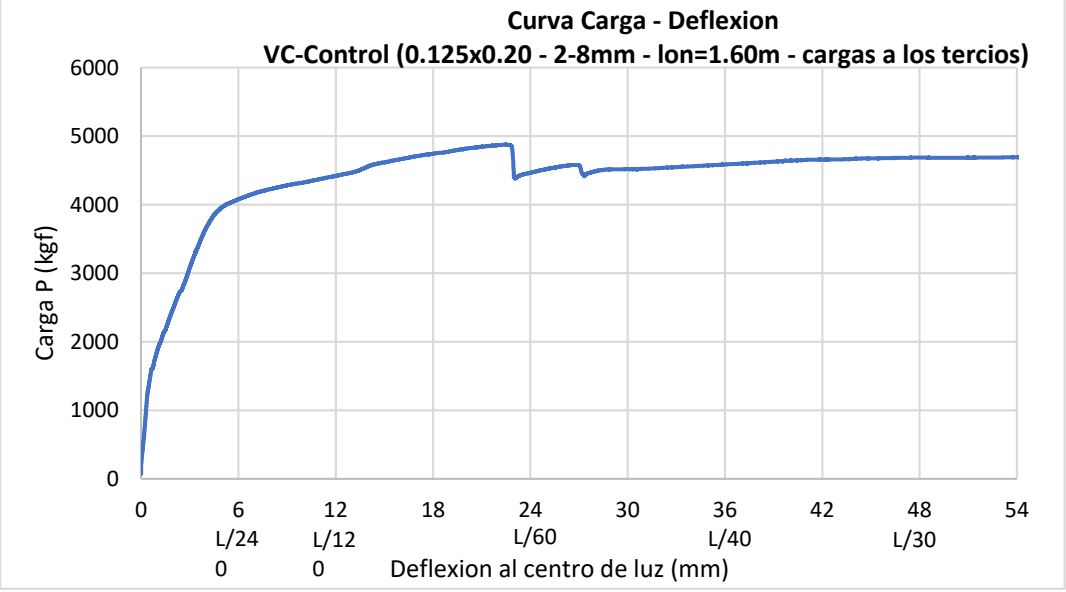
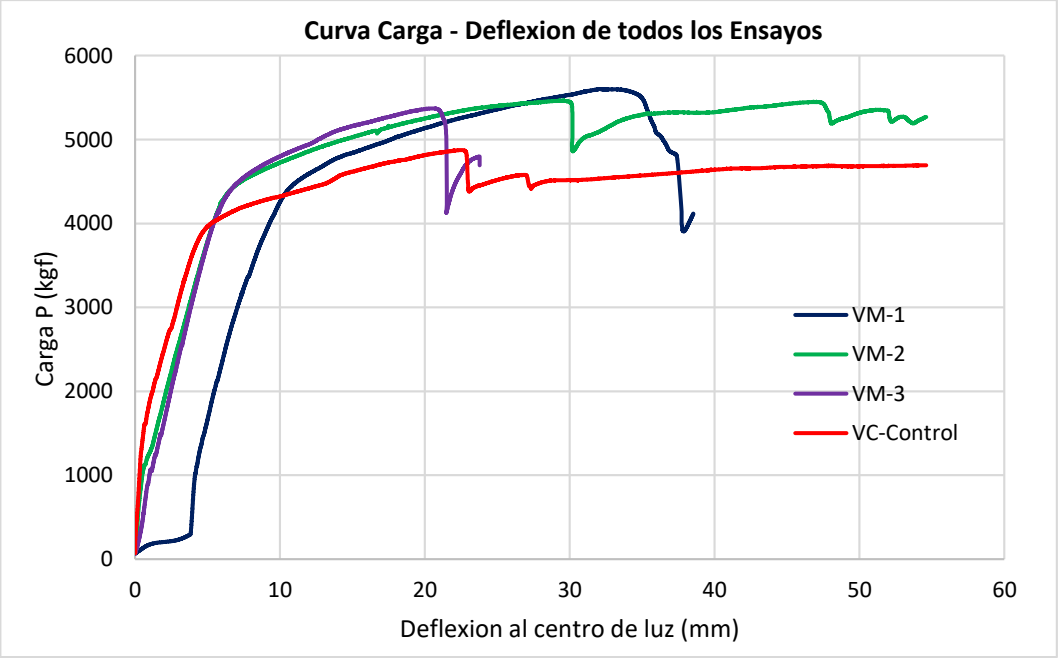


Figura 52.

Consolidado de las 04 graficas de la curva Carga vs Deflexión



VM-1:

La falla es por la fluencia del acero, seguidamente por el aplastamiento del mortero en la zona de compresión, las grietas por flexión se muestran mayormente en el centro inferior (zona a tracción), expandiéndose con menor visibilidad en los extremos inferiores.

Figura 53.

Muestra de Viga VM-1 después de ejecutar el ensayo

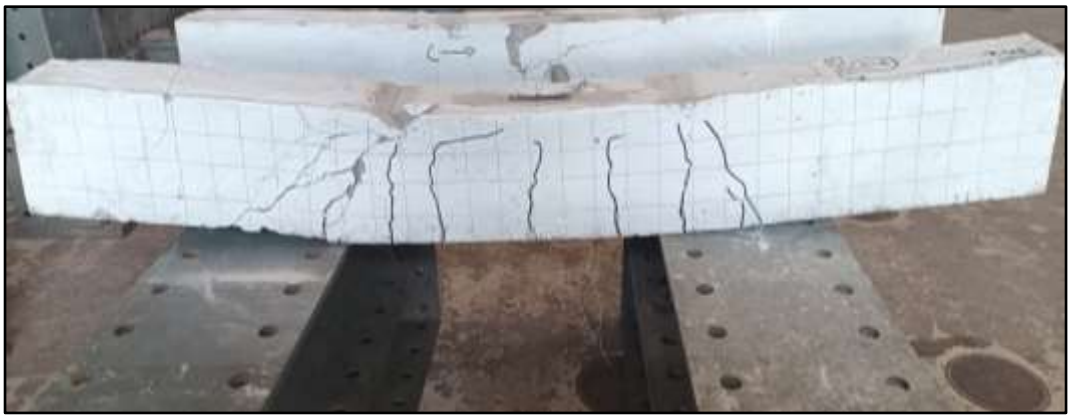


VM-2:

La falla es por la fluencia del acero, las grietas por flexión se muestran mayormente en el centro inferior de la viga (zona de tracción), expandiéndose con menor visibilidad en los extremos inferiores.

Figura 54.

Muestra de Viga VM-2 después de ejecutar el ensayo

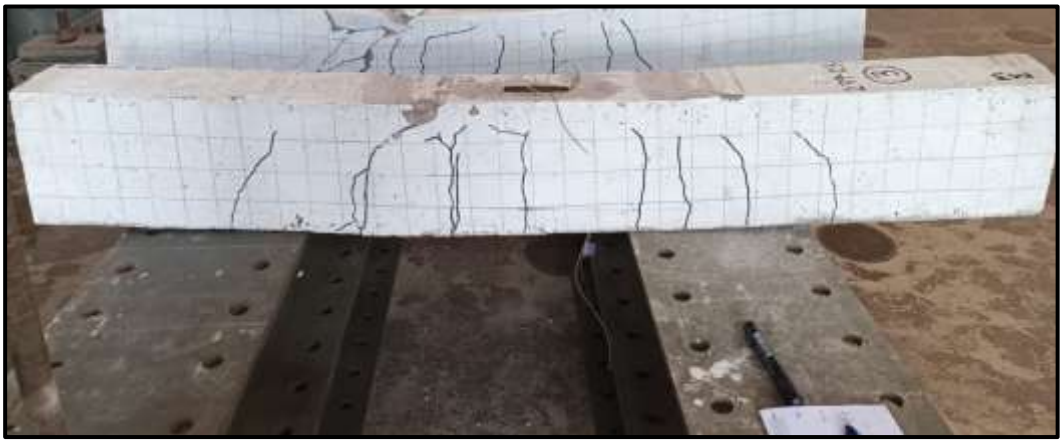


VM-3:

La falla es por la fluencia del acero, seguidamente por el aplastamiento del mortero en la zona de compresión de la viga, las grietas por flexión se muestran mayormente en el centro inferior de la viga, expidiéndose con menor visibilidad por los extremos inferiores.

Figura 55.

Muestra de Viga VM-3 después de ejecutar el ensayo



VC-Control:

La falla es por la fluencia del acero, seguidamente por el aplastamiento del mortero en la zona de compresión, las grietas por flexión se muestran mayormente en el centro inferior (zona a tracción).

Figura 56.

Muestra de Viga VC-Control después de ejecutar el ensayo



Patrón de agrietamiento

El mapeo de las grietas se midió con el fisurómetro después del término del ensayo a flexión de las vigas, los resultados se grafican en las figuras 57 al 64, donde la máxima fisura fue de 2.7 y la minina de 0.1.

Figura 57.

Mapeo de fisuras de VM-1 Cara Frontal

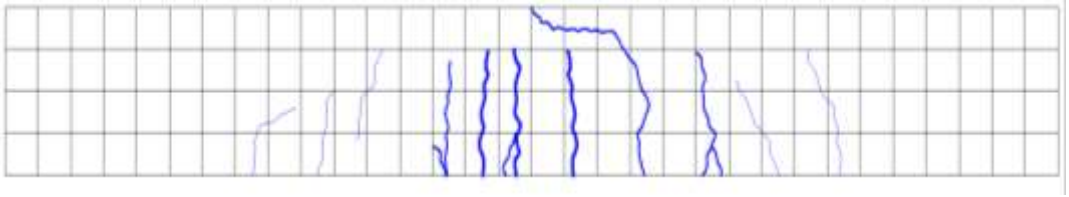


Figura 58.

Mapeo de fisuras de VM-1 Cara Posterior

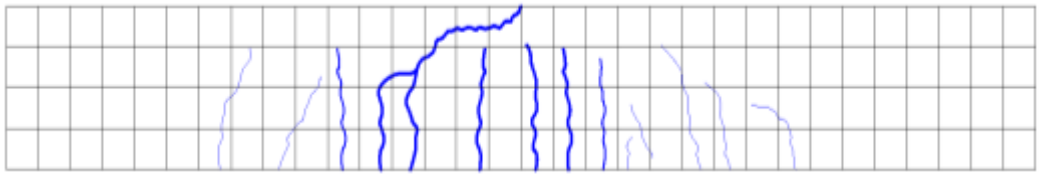


Figura 59.

Mapeo de fisuras de VM-2 Cara Frontal

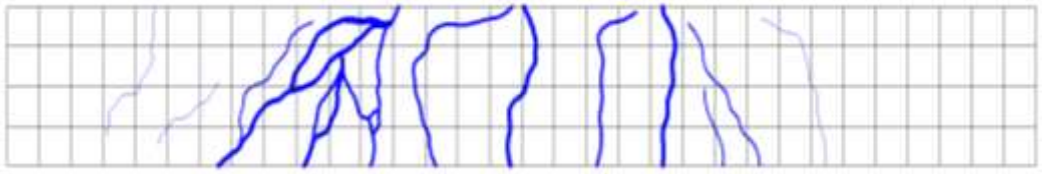


Figura 60.

Mapeo de fisuras de VM-2 Cara Posterior

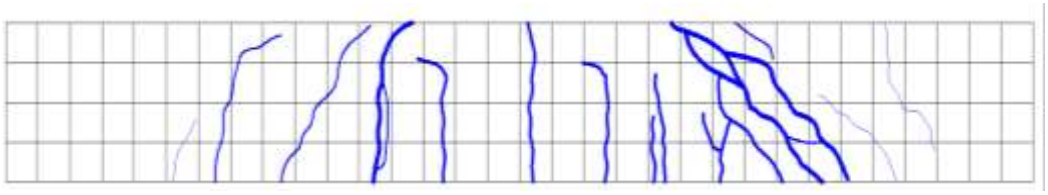


Figura 61.

Mapeo de fisuras de VM-3 Cara Frontal

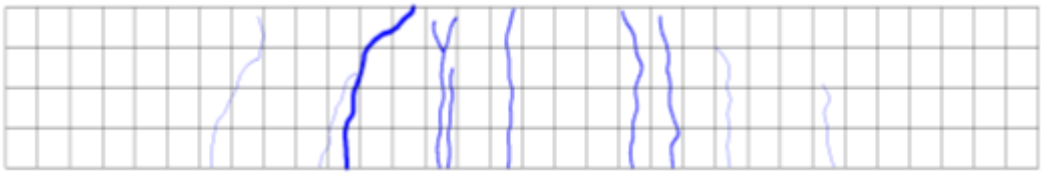


Figura 62.

Mapeo de fisuras de VM-3 Cara Posterior

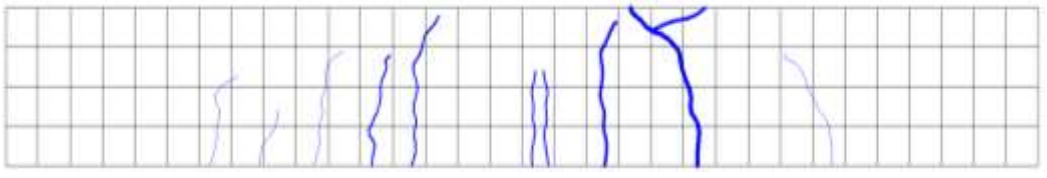


Figura 63.

Mapeo de fisuras de VC-Control Cara Frontal

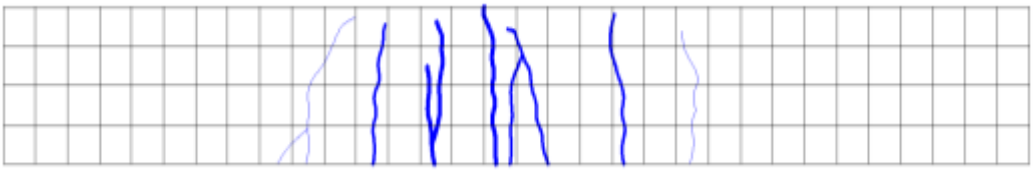


Figura 64.

Mapeo de fisuras de VC-Control Cara Posterior

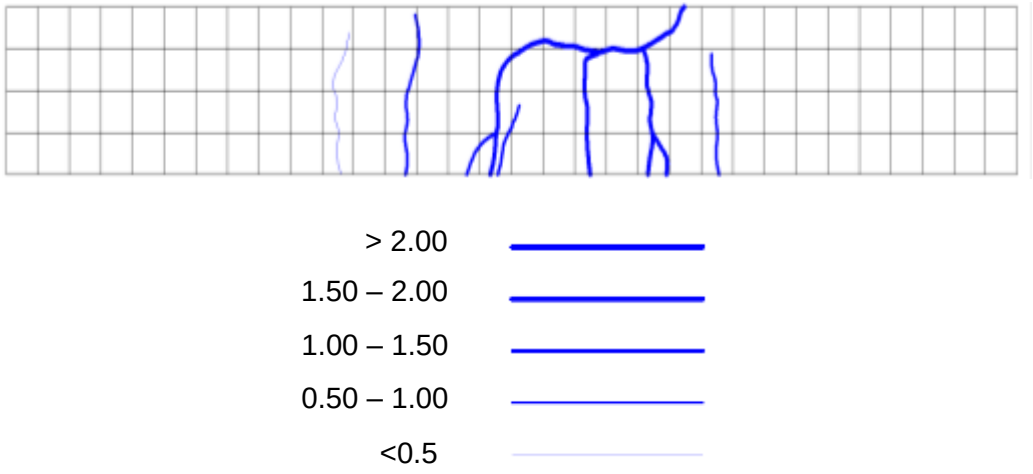


Figura 65.

Medición de las grietas de la viga ensayada con el fisurómetro



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Característica del mortero

La arena utilizada para la elaboración del mortero en esta investigación está clasificada como arena mal graduada, por ende, la curva granulométrica tiende a ser vertical, esta característica se asocia al bajo valor del módulo de fineza, en el departamento de Ucayali los valores del módulo de fineza están comprendida en un intervalo de 0.8 a 1.4, los ensayos que se realizaron para el análisis de la arena, nos dieron como resultado un módulo de fineza de 1.01 para la presente investigación.

El diseño de mezcla para 1 m3 de mortero de f'c=210 kgf/cm^2 se muestra en la tabla 33. Cabe recalcar que en el diseño no se empleó ningún tipo de aditivo.

Tabla 33

Diseño de mezcla utilizado para las vigas de mortero

Diseño de mezcla del mortero para 1 m3 de f'c=210 kgf/cm^2		
Material	Peso (kg)	Volumen (m3)
Cemento	510.50	0.16
Agua	169.91	0.19
Arena	1491.49	0.64
Aire	------	0.02
	2171.90	1.00

El mortero es un concreto de peso liviano donde a través de las mediciones se obtuvo un valor promedio de 2033 kg/m^3, es un valor inferior a 2300 kg/m^3 que normalmente utilizamos en los cálculos. Al tener menor peso, ocasiona una reducción de la fuerza sísmica, es una ventaja que tiene el mortero a comparación del concreto.

5.2 Módulo de rotura

El ACI 318-19 nos indica que el módulo de ruptura para concretos se debe calcular de la siguiente manera.

$$fr = 0.62\lambda\sqrt{f'c} \quad (MPa)$$

La tabla 19.2.4.1(a) del ACI 318-19 nos muestran que para los valores de λ es de 0.75 para concretos livianos y 1.00 para concretos de peso normal, aunque estos valores pueden varias, y se podrá interpolar para concretos con peso comprendido entre 1600 y 2160 kg/m^3. En la figura 66 se muestra dicha tabla.

Figura 66.

Valores de λ para concretos livianos con base en la densidad de equilibrio

Tabla 19.2.4.1(a) — Valores de λ para concreto liviano con base en la densidad de equilibrio

w_c (kg/m^3)	λ	
≤ 1600	0.75	(a)
1600 < w_c ≤ 2160	0.00047 w_c ≤ 1.0	(b)
> 2160	1.0	(c)

Fuente: ACI 318-19

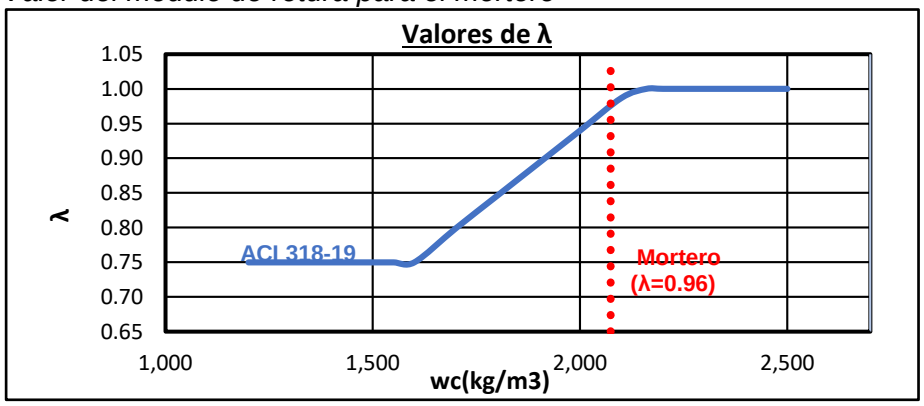
El peso específico del mortero en la presente investigación es de 2033 kg/m^3, por lo que se con la interpolación prevista en la figura 67 se obtiene el valor característico para λ de 0.96, por lo tanto, la ecuación para determinar del módulo de ruptura tomaría la siguiente forma:

$$fr(Mpa) = 0.62(0.96)\sqrt{f'c} = 0.59\sqrt{f'c}$$

$$fr\ (kgf/cm2) = 1.88\sqrt{f'c}$$

Figura 67.

Valor del módulo de rotura para el mortero



5.3 Módulo de Elasticidad

A continuación, se determinará un valor razonable del módulo de elasticidad (Ec) para el mortero estructural. Ante ello se va a resaltar investigaciones anteriores realizadas por: Peña (2023), Mora y Da Silva (2012) y Tenorio J. y Acosta S. (2020), se va a realizar un análisis con la norma E.060 y un comparativo con los resultados obtenidos en el laboratorio.

5.3.1 Alcances de la Norma E.060 Concreto Armado

La norma técnica NTP E.060 nos recomienda utilizar la siguiente expresión: $Ec = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'c}$ (en MPa). Para el sistema MKS adopta la siguiente formula $Ec = 0.136 w_c^{1.5} \sqrt{f'c}$ (en kg/cm2). Para el presente trabajo de investigación se tiene los siguientes datos: w_c=2033 kg/m3 y f'c=210 kgf/cm^2. Al introducir los datos en la ecuación del módulo de elasticidad, se obtiene:

$$Ec = 0.136(2033)^{1.5} \sqrt{210} = 180\,657\ kg/cm2$$

$$Ec = 12{,}446.5 \sqrt{f'c}$$

Se indica que, para concretos de peso unitario normal de 2,300 kg/m^3 en promedio, se puede utilizar la siguiente fórmula: $\mathrm{Ec} = 4700\sqrt{\mathrm{f'c}}$ (en MPa). Para el sistema MKS adopta la siguiente formula: $Ec = 15{,}000\sqrt{f'c}$ (en Kgf/cm2). (NTE E.060 (2009). Esta fórmula es la que comúnmente se utiliza para el diseño. La norma técnica NTE E.060 nos indica que se puede utilizar valores distintos al $\mathrm{Ec} = 15{,}000\sqrt{\mathrm{f'c}}$ siempre que estén respaldados por ensayos de laboratorio. (p. 50)

Al utilizar la ecuación $\mathrm{Ec} = 15{,}000\sqrt{f'c}$ para el diseño de elementos estructurales con mortero armado, significa estar a lado de la inseguridad, ya que se tiene una rigidez menor, en consecuencia, sus deformaciones son mayores. En otro sentido, de debe buscar el lado seguro, por lo que se podría utilizar la ecuación

$\mathrm{Ec} = 12{,}446.5\sqrt{\mathrm{f'c}}$ por el motivo que en esta ecuación se considera el peso unitario del mortero en estudio. Sin embargo, se verá más adelante que el valor de 12,446.5 aun es menor.

5.3.2 Elección del módulo de elasticidad a utilizarse en esta investigación

Peña Tolentino (2023), en su tesis titulada: “Estudio analítico y experimental sobre la resistencia probable y la capacidad de distorsión lateral de columnas de concreto sin agregado grueso”, correlaciono datos de ensayos de investigaciones anteriores para obtener la ecuación para del módulo de elasticidad del concreto sin agregado grueso (mortero). A continuación, se describe cada una de las investigaciones.

La primera investigación para obtener el módulo de elasticidad del mortero es de Peña Tolentino (2003), titulada "Evaluación semi experimental del módulo de elasticidad del concreto elaborado con arenas finas de la Selva Baja", donde se evaluaron 14 muestras utilizando arena fina de la ciudad de Iquitos y dragada del rio Putumayo, con módulo de fineza que varía entre 0.74 y 1.95. La arena con módulo de fineza altos fue utilizada para la construcción del aeródromo de la localidad de “El Estrecho”, capital del distrito de Putumayo. Con los datos obtenidos en esta investigación correlacionó Ec con los valores de f’c y a/c, donde se obtuvo las siguientes ecuaciones:

$$E_c = 8{,}349.8\sqrt{f'c} - 69{,}136 \qquad R^2 = 0.4979$$

$$E_c = 39{,}303(f'c)^{0.2946} \qquad R^2 = 0.4941$$

$$E_c = 113.98\left(\frac{f'c}{a/c}\right) + 145{,}054 \qquad R^2 = 0.7647$$

Mora y Da Silva (2012), en su tesis "Estudio comparativo del concreto cemento-arena simple y reforzado con fibras de acero y polipropileno empleando

cemento Argos Tipo I Co Plus+", realizaron una investigación más profunda y completa, en la cual se obtuvieron la siguiente ecuación:

$$E_c = 13{,}574\sqrt{f'c}$$

En esta investigación se realizaron 6 diseños de mezclas con y sin la utilización de fibras de carbono y de polipropileno. Las calidades del mortero fueron de 140, 175 y 210 kg/cm2. La arena utilizada es de la cantera Chuquival, que se encuentra ubicada en el distrito de San Juan Bautista, en la Provincia de Maynas, Departamento de Loreto. El módulo de fineza fue de 1.5. Con los datos obtenidos en esta investigación, Peña Tolentino (2023), correlacionó Ec con los valores de f'c y a/c, donde se obtuvo las siguientes ecuaciones:

$$E_c = 18{,}344\sqrt{f'c} - 54{,}933 \qquad R^2 = 0.5478$$

$$E_c = 5{,}602(f'c)^{0.6778} \qquad R^2 = 0.5423$$

$$E_c = 223.01\left(\frac{f'c}{a/c}\right) + 135{,}990 \qquad R^2 = 0.4672$$

Tenorio y Acosta (2020), en su tesis "Estudio comparativo de las propiedades del concreto (cemento arena): con arena de cantera fluvial - comunidad Astoria y con arena de cantera cuarzosa - comunidad Varillal en la ciudad de Iquitos", investigaron la mezcla del mortero con dos tipos de agregados finos: arena de cantera cuarzosa y arena de cantera fluvial. El origen de la arena cuarzosa es de las canteras de tierras que comúnmente se utiliza en Iquitos y el origen de la arena fluvial son de los fondos y playas de los ríos amazónicos. Ensayaron un total de 60 probetas cilíndricas. El promedio del módulo de finesa de la arena cuarzosa fue de 1.13 y de la arena fluvial de 1.72, es decir que la arena más gruesa es de origen fluvial. Con los datos obtenidos en esta investigación, Peña Tolentino (2023), correlacionó Ec con los valores de f'c y a/c, donde se obtuvo las siguientes ecuaciones para el mortero con arena cuarzosa.

$$E_c = 12{,}465\sqrt{f'c} + 8{,}728.6 \qquad R^2 = 0.9177$$

$$E_c = 15{,}084(f'c)^{0.4732} \qquad R^2 = 0.9174$$

$$E_c = 202.32\left(\frac{f'c}{a/c}\right) + 130.047 \qquad R^2 = 0.9332$$

Para la determinación del módulo de elasticidad utilizando la arena fluvial, relacionaron las siguientes ecuaciones.

$$E_c = 7{,}621.5\sqrt{f'c} + 41{,}154 \qquad R^2 = 0.8191$$

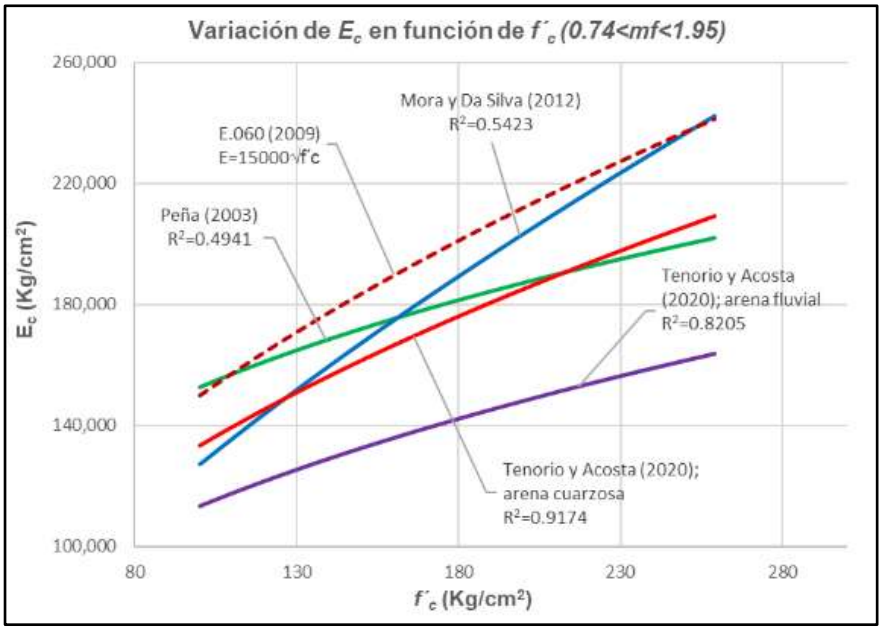
$$E_c = 19{,}155(f'c)^{0.386} \qquad R^2 = 0.8205$$

$$E_c = 87.288\left(\frac{f'c}{a/c}\right) + 132{,}220 \qquad R^2 = 0.8075$$

En la figura 68 se muestra la ubicación de las ecuaciones del módulo de elasticidad en función de la variable independiente f'c de las investigaciones mencionadas.

Figura 68.

Ecualización propuesta en la presente investigación, donde Ec se relaciona con f'c.



Fuente: Peña Tolentino (2023)

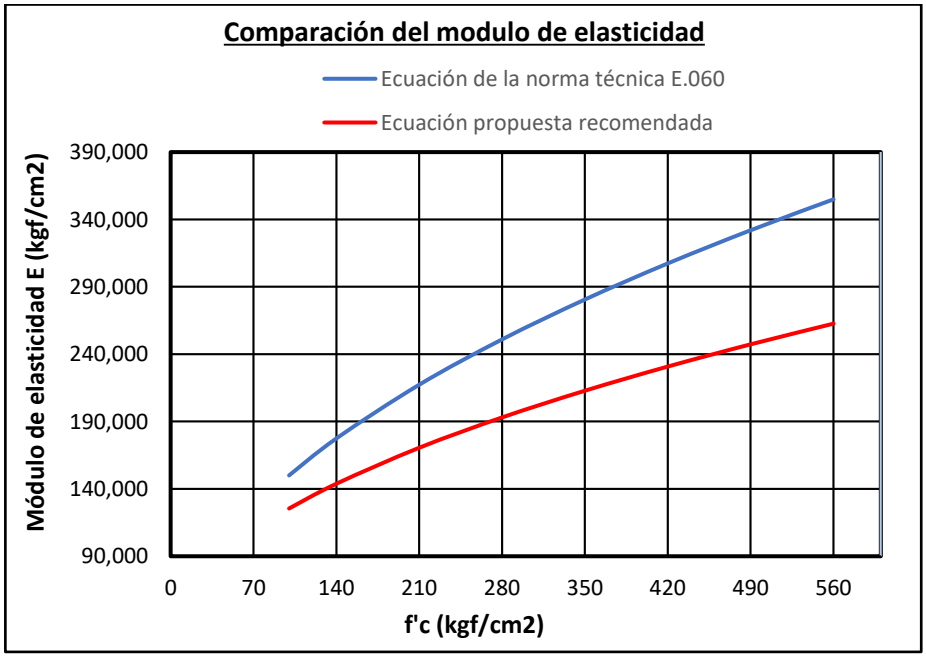
Se observa que las correlaciones obtenidas, están por debajo del valor que nos da la Norma Técnica E.060, y que las correlaciones de Tenorio y Acosta (2020) son las mejores por tener un R^2 por encima de 0.81, en comparación con las investigaciones de Peña Tolentino (2003) y Mora y Da Silva (2012), donde los valores de R^2 se encuentran entre los 0.49 y 0.54. Por lo tanto, Peña Tolentino (2023), nos recomienda utilizar la correlación de Tenorio y Acosta (2020) ya que es la más apropiada para esta investigación, la cual se tiene la siguiente forma:

$$E_c = 10{,}043\sqrt{f'c} + 24{,}941$$

Debido a las características del agregado fino utilizado para la elaboración de mortero, los valores que se obtienen en la ecuación propuesta del módulo de elasticidad sufren reducciones entre 20% a 35% con respecto a la norma E.060.

Figura 69.

Comparación de los valores del módulo de elasticidad propuesta con la ecuación de la norma E.060.



5.3.3 Comparación del módulo de elasticidad

En la tabla 34 se muestra la comparación del módulo de elasticidad del mortero obtenidos en los ensayos experimentales en el laboratorio con la ecuación recomendada para en el presente trabajo de investigación.

Tabla 34

Comparación del módulo de elasticidad del mortero

Comparación del módulo de elasticidad del mortero					
Muestra	**6 alcanzada (kgf/cm^2)**	**E (kgf/cm2) ecuación propuesta**	**E (kgf/cm2) ensayo experimental**	**% similitud**	**Laboratorio**
M1	376.50	232310	219811	95%	Estructuras Antisísmica-PUCP
M2	339.30	225036	209934	93%	Estructuras Antisísmica-PUCP
M3	376.40	227880	219786	96%	Estructuras Antisísmica-PUCP
M4	226.00	176760	175920	100%	Laboratorio N°1 - UNI

Se observa que la ecuación recomendada para el cálculo del módulo de elasticidad del mortero, los valores son similares a lo que se obtuvo en los ensayos experimentales por lo que puede afirmar que la ecuación elaborada por Peña Tolentino (2023) es apropiada para los cálculos de diseño de estructuras con mortero.

5.4 Modelo teórico para el grafico de curva esfuerzo deformación del mortero

5.4.1 Obtención del valor de la deformación unitaria del mortero (ε_o y ε_{cu})

De acuerdo a los valores obtenidos en los ensayos experimentales, mostraron que no se debería de considerar el valor de ε_o =0.002 y ε_{cu} =0.003 que nos establece la norma ACI 318-19, sino que se debería de seleccionar el valor obtenido en los ensayos experimentales efectuados a las probetas cilíndricas, que resulto ser 0.0029 y 0.0033 respectivamente. En la tabla 35 se muestra el valor promedio obtenido experimentalmente en el laboratorio.

Tabla 35

Deformación unitaria del mortero no confinado correspondiente a f'c.

Deformación unitaria del mortero promedio					
Muestra	**f'c (kgf/cm2)**	**ε_o**	**ε_o promedio**	**ε_{cu}**	**ε_{cu} promedio**
M1	376.50	0.0029		0.0031	
M2	339.30	0.0028	0.0029	0.0034	0.0033
M3	376.40	0.0030		0.0035	

5.4.2 Modelo matemático para el grafico de la curva esfuerzo-deformación

Para elementos de concreto se considera que la resistencia máxima f'_c se alcanza para una deformación de $\varepsilon_o = 0.002$ y que falla cuando $\varepsilon_{cu} = 0.003$, sin embargo, estos valores no se asemejan a los valores de los elementos de mortero obtenido en los ensayos experimentales del presente trabajo de investigación

Con la finalidad de hallar el modelo esfuerzo-deformación del real del mortero, se considera utilizar el modelo de Hognestad de concreto no confinado considerando lo siguiente: la curva alcanza un esfuerzo f'_c cuando la deformación del mortero es de $\varepsilon_o = 0.0029$. Este modelo se asemeja el comportamiento esfuerzo-deformación real del mortero.

$$\sigma_1 = \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)^2\right] f'_c$$

Donde:

σ_1 = esfuerzo a la compresión del concreto

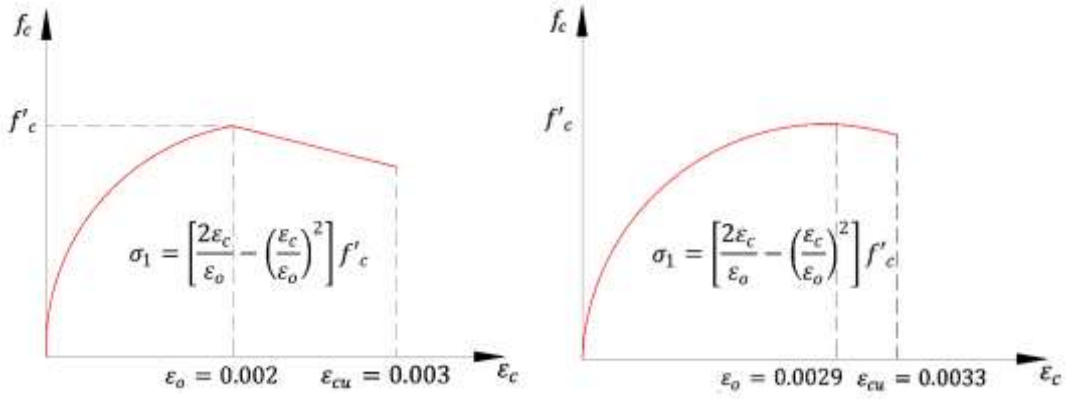
f'_c= esfuerzo a la compresión máxima del mortero

ε_c = deformación unitaria del mortero

ε_o = deformación unitaria cuando alcanza la máxima resistencia a la compresión

Figura 70.

Modelo esfuerzo-deformación propuesto para el mortero.



Modelo esfuerzo-deformación Hognestad Modelo esfuerzo-deformación propuesto

En la figura 71, 72 y 73 se muestra la curva esfuerzo-deformación teórico del mortero utilizando la ecuación propuesta, la curva esfuerzo-deformación del mortero obtenido experimentalmente y la curva esfuerzo-deformación teórico del concreto con los valores brindados en el modelo de Hognestad.

Figura 71.

Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 1.

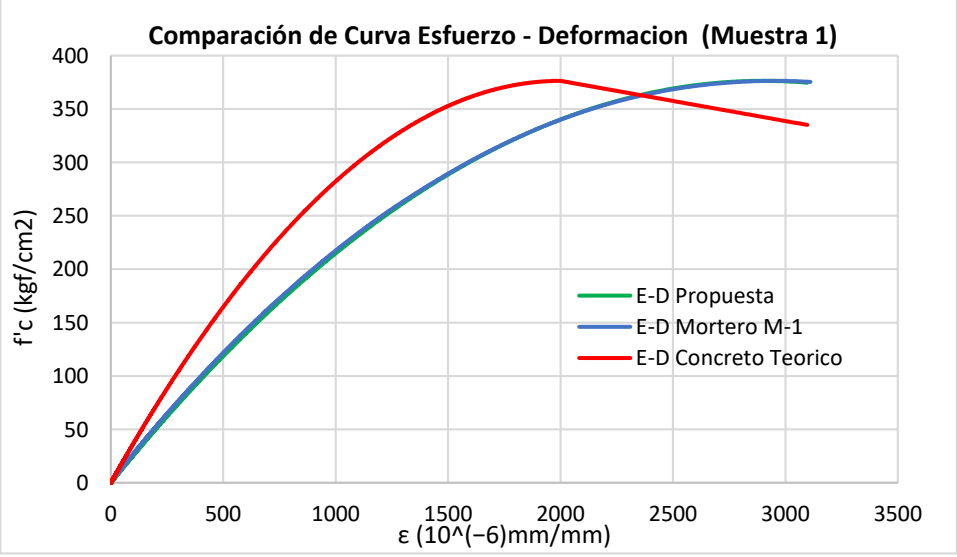


Figura 72.

Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 2.

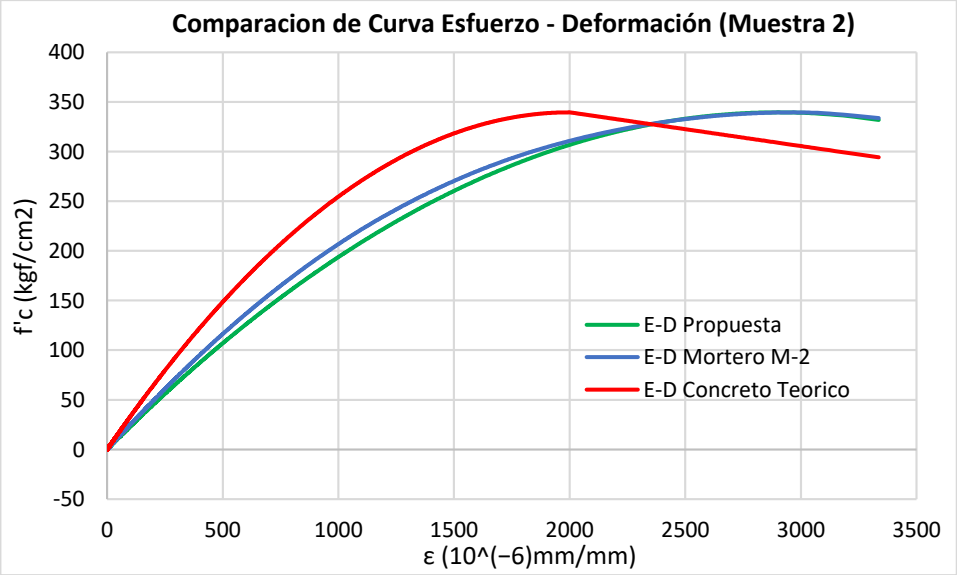
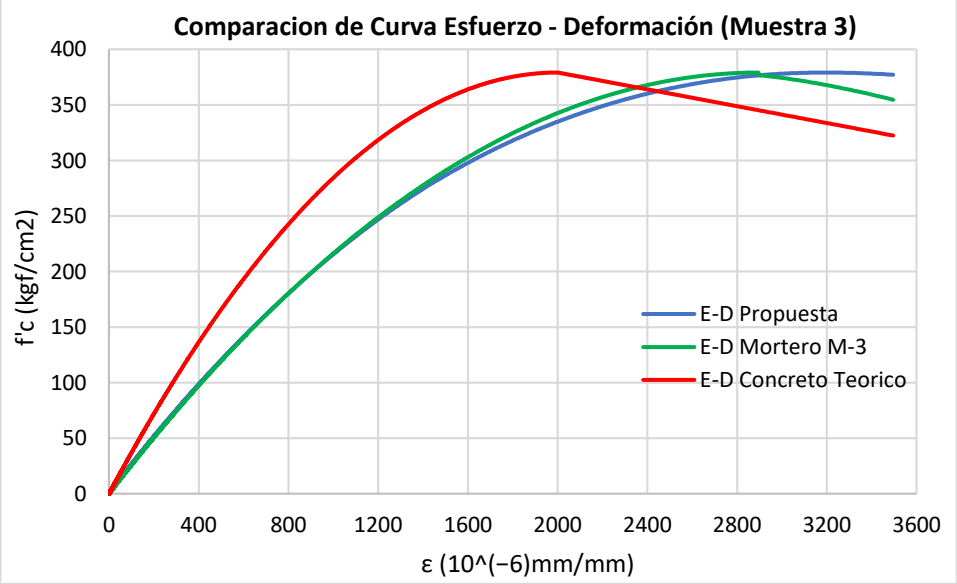


Figura 73.

Comparación de curva esfuerzo-deformación teórico y experimental – Muestra 3.



La ecuación propuesta concuerda con los resultados obtenidos experimentalmente, mientras aumenta la resistencia a la compresión del mortero, la deformación axial también aumenta. Se distingue la diferencia entre la curva

esfuerzo-deformación de la ecuación propuesta con el del concreto tradicional, comprobando que el mortero tiende a fallar cuando alcanza su esfuerzo a la compresión máxima.

5.5 Diagrama momento curvatura teórico y experimental.

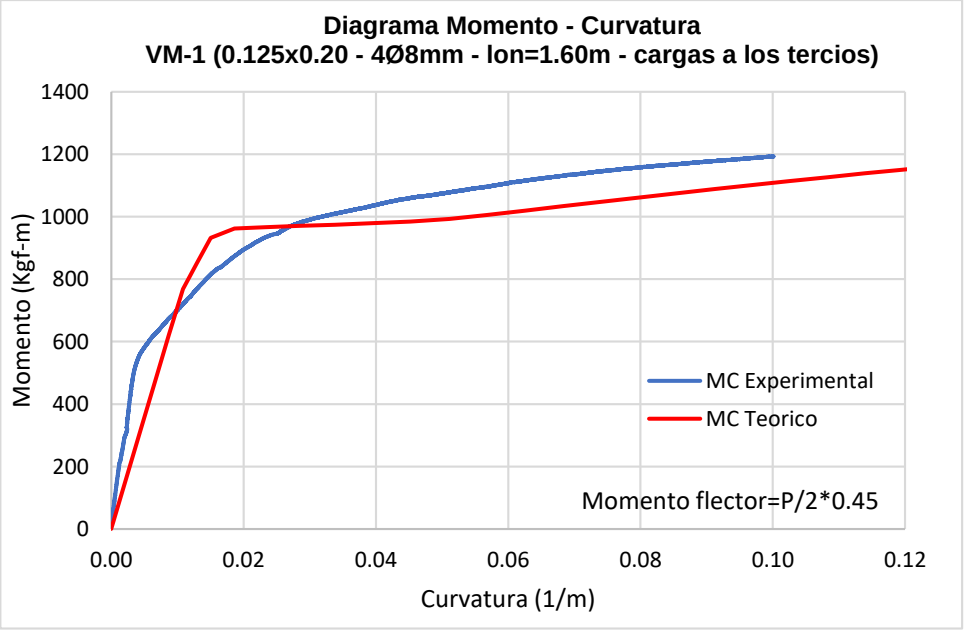
Se muestran los diagramas momento-curvatura que fue obtenido con los datos experimentalmente en el ensayo a flexión de la viga de mortero armado para luego ser comparada con el diagrama momento-curvatura teórico, que fue ajustado con los resultados que se obtuvieron en el ensayo de la varilla de acero y del diagrama esfuerzo-deformación del mortero simple.

VM-1 (Mortero Armado):

En la figura 74 se grafica el momento curvatura tanto la teórica como la experimental, donde se muestra desde el inicio del proceso de la carga externa hasta el agotamiento total de su capacidad. La diferencia entre los diagramas teóricos y experimentales, se debe a que los resultados obtenidos experimentalmente son producto de la medición en una longitud de 0.20m, mientras que el teórico es el análisis es una solo sección. En el diagrama momento curvatura experimental se notan claramente tres puntos en el diagrama: el agrietamiento de la sección que es aproximadamente 600 kgf-m, el inicio de la fluencia del acero de refuerzo que es un aproximado a los 1000 kgf-m y la capacidad máxima (1200 kgf-m). Se nota que hasta el primer punto el comportamiento es de tipo lineal para luego dar un salto en el instante del agrietamiento y luego de llegar a la fluencia se empieza un comportamiento no lineal. El elemento logra alcanza un comportamiento dúctil, y se ve reflejado en el resultando de la ductilidad de curvatura de la sección es de 3.35. Para la comparación final, no se tendrá en cuenta este gráfico, ya que los strain gage instalado en la zona de tracción de la viga, se desprendió y tomo medidas que no se asemeja a los resultados de las siguientes vigas ensayadas.

Figura 74.

Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-1



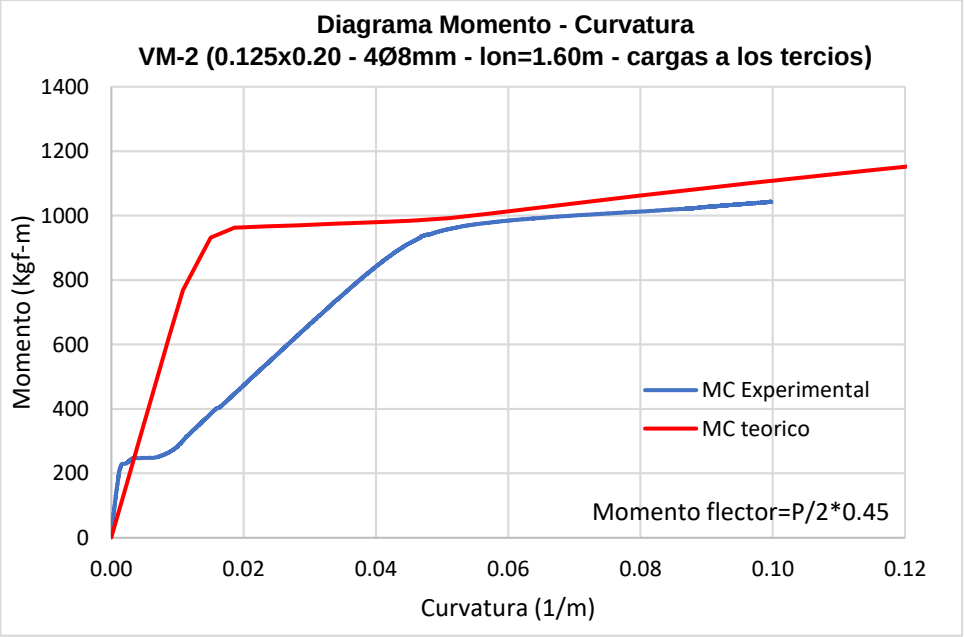
VM-2 (Mortero Armado):

En la figura 75 se grafica el momento curvatura tanto la teórica como la experimental, donde se muestra desde el inicio del proceso de la carga externa hasta el agotamiento total de su capacidad. La diferencia entre los diagramas teóricos y experimentales, se debe a que los resultados obtenidos experimentalmente son producto de la medición en una longitud de 0.20m, mientras que el teórico es el análisis es una solo sección. En el diagrama momento curvatura experimental se notan claramente cuatros puntos en el diagrama: la manifestación de las primeras fisuras hasta el agrietamiento de la sección que es aproximadamente 250 kgf-m, el inicio de la fluencia del acero de refuerzo que es de aproximadamente 950 kgf-m y la capacidad máxima que fue de 1050 kgf-m. Se nota que hasta el primer punto el comportamiento es de tipo lineal para luego dar un salto en el instante del agrietamiento y luego de llegar a la fluencia se empieza un

comportamiento no lineal. El elemento logra alcanza un comportamiento dúctil, y se ve reflejado en el resultando de la ductilidad de curvatura de la sección es de 2.

Figura 75.

Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-2



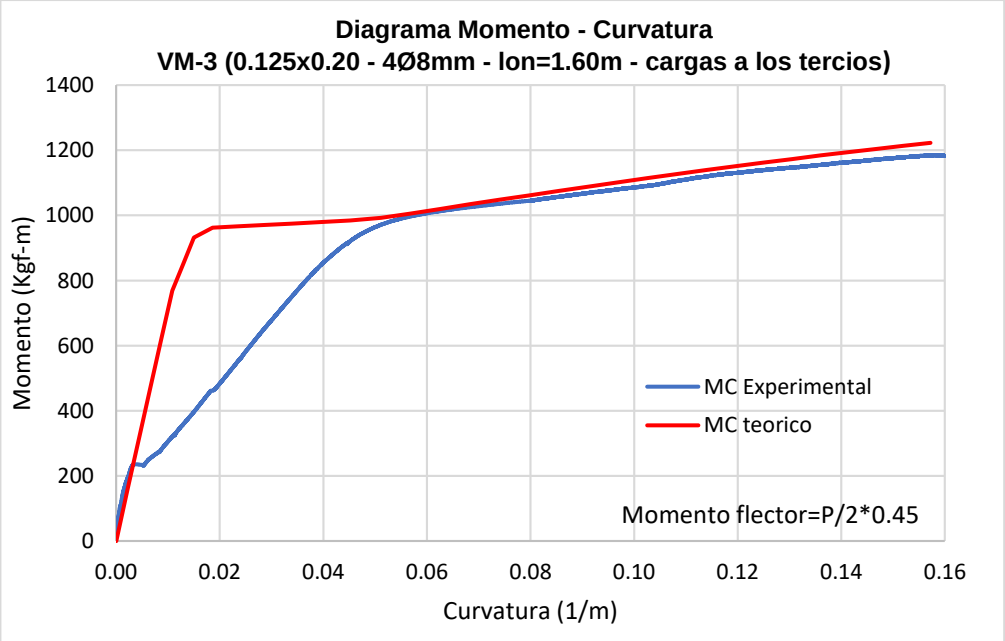
VM-3 (Mortero Armado):

En la figura 76 se grafica el momento curvatura tanto la teórica como la experimental, donde se muestra desde el inicio del proceso de la carga externa hasta el agotamiento total de su capacidad. La diferencia entre los diagramas teóricos y experimentales, se debe a que los resultados obtenidos experimentalmente son producto de la medición en una longitud de 0.20m, mientras que el teórico es el análisis es una solo sección. En el diagrama momento curvatura experimental se notan claramente cuatros puntos en el diagrama: la manifestación de las primeras fisuras hasta el agrietamiento de la sección que es aproximadamente 250 kgf-m, el inicio de la fluencia del acero de refuerzo que es de aproximadamente 1000 kgf-m y la capacidad máxima que fue de 1200 kgf-m. Se nota que hasta el primer punto el comportamiento es de tipo lineal para luego dar

un salto en el instante del agrietamiento y luego de llegar a la fluencia se empieza un comportamiento no lineal. El elemento logra alcanza un comportamiento dúctil, y se ve reflejado en el resultando de la ductilidad de curvatura de la sección es de 3.20.

Figura 76.

Diagrama Momento - Curvatura de la viga VM-3



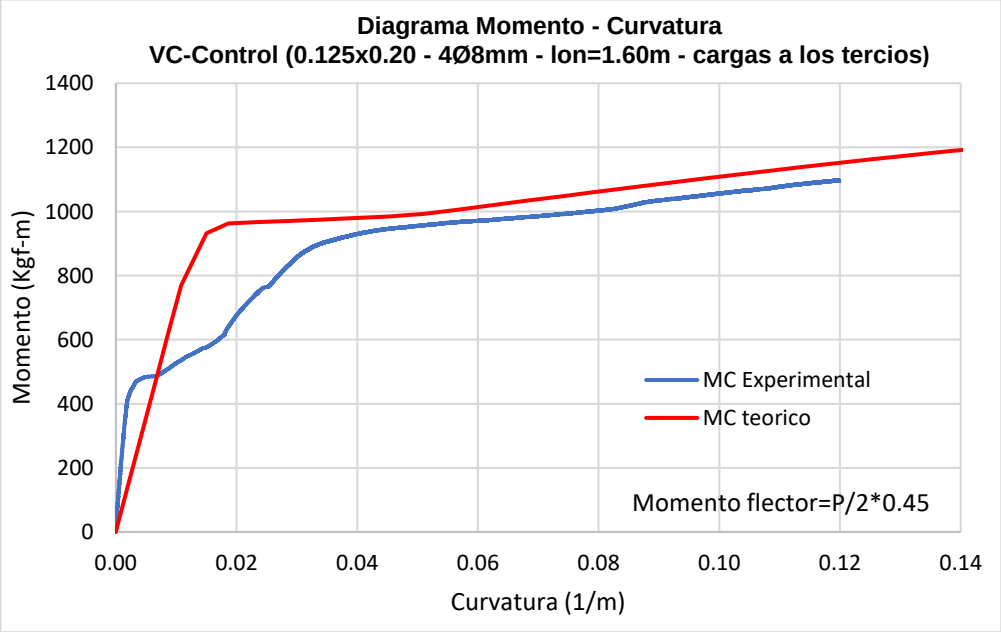
VC-Control (Concreto Armado):

En la figura 77 se grafica el momento curvatura tanto la teórica como la experimental, donde se muestra desde el inicio del proceso de la carga externa hasta el agotamiento total de su capacidad. La diferencia entre los diagramas teóricos y experimentales, se debe a que los resultados obtenidos experimentalmente son producto de la medición en una longitud de 0.20m, mientras que el teórico es el análisis es una solo sección. En el diagrama momento curvatura experimental se notan claramente cuatros puntos en el diagrama: la manifestación de las primeras fisuras hasta el agrietamiento de la sección que es aproximadamente 500 kgf-m, el inicio de la fluencia del acero de refuerzo que es de

aproximadamente 950 kgf-m y la capacidad máxima que fue de 1100 kgf-m. Se nota que hasta el primer punto el comportamiento es de tipo lineal para luego dar un salto en el instante del agrietamiento y luego de llegar a la fluencia se empieza un comportamiento no lineal. El elemento logra alcanza un comportamiento dúctil, y se ve reflejado en el resultando de la ductilidad de curvatura de la sección es de 3.

Figura 77.

Diagrama Momento - Curvatura de la viga VC-Control

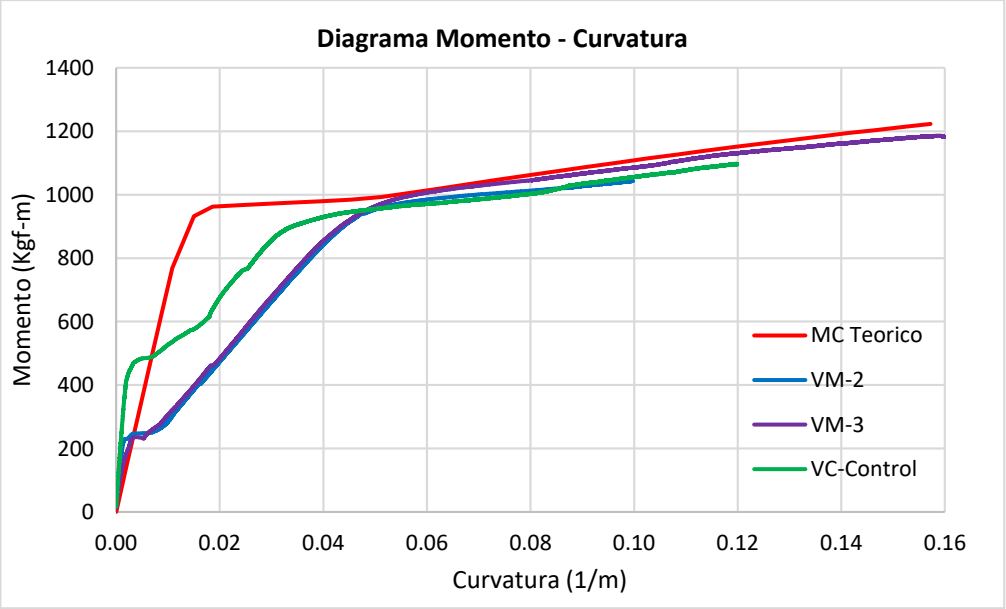


Comparación de diagramas momentos curvaturas

En la figura 78 se logra interpretar que las vigas de motero armado (excepto la VM-1), el agrietamiento de la sección se presenta antes que el del concreto armado cuando es sometida a cargas, pero coinciden en el inicio de la fluencia del acero de refuerzo y en el agotamiento o capacidad de máxima de carga, teniendo casi la misma medida de ductilidad, es decir la misma capacidad de deformarse en el rango inelástico.

Figura 78.

Comparación de diagramas momento - curvatura



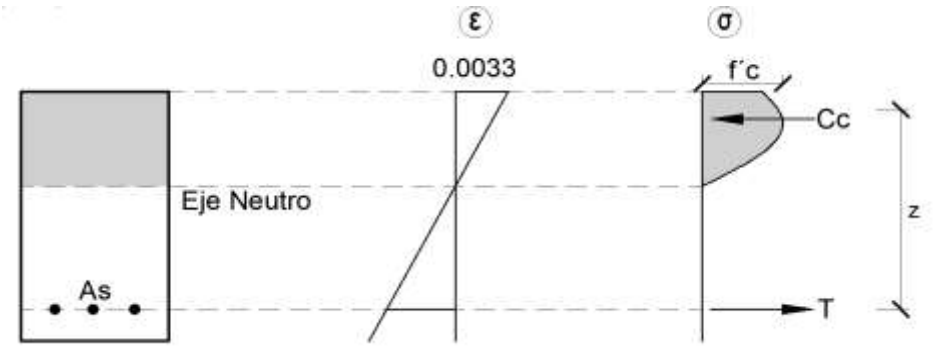
5.6 Metodología de diseño de vigas de mortero armado

Para el diseño y el cálculo de la capacidad resistente de una sección de viga de mortero armado sometidas a cargas de flexión se debe aplicar estos principios generales:

- La deformación unitaria máxima del mortero es de 0.0033.
- Las deformaciones unitarias son proporcionales a la distancia respecto al eje neutro de la sección de la viga.
- La fuerza de compresión del mortero es igual numéricamente al volumen de presiones que actúa sobre la superficie comprimida.
- Existe equilibro horizontales, donde la fuerza a compresión del mortero deberá ser equilibrado con la fuerza de tracción del acero.
- El momento nominal es el resultado del producto entre la fuerza de compresión o tracción por el brazo de palanca.
- El momento flector último es proveniente del producto del momento nominal con el factor de reducción de capacidad.

Figura 79.

Geometría de la viga, diagrama de deformaciones unitarias, diagrama de fuerzas internas.



Las fases del procedimiento a seguir son las siguientes:

a) Se calcula que el área de acero que se necesita para resistir el momento flector actuante y se determina la fuerza de tracción que produce esa sección de acero.

b) Se determina la ubicación del eje neutro.

c) Se estima mediante el uso de una tabla, los esfuerzos que se asocian a cada posición de la fibra de compresión, la cual se toma como base para el diagrama de la curva esfuerzo – deformación.

d) Se determina el volumen de las presiones, esta magnitud de fuerza de compresión se calcula mediante integración numérica.

e) Se estima la fuerza de compresión y su posición.

f) Se recalcula la ubicación eje neutro.

g) Si existe diferencias superiores al 2% entre la posición estimada y la posición recalculada del eje neutro, se deberá reajustar la sección de acero requerida, de esa forma se reinicia el proceso para ubicar el eje neutro y de la misma forma para el cálculo del momento resistente.

h) Cuando se logra la convergencia respecto a la posición del eje neutro, se determina el momento nominal y el momento ultimo resistente.

i) Si existe diferencias superiores al 2% entre el momento nominal y el momento actuante, se deberá reajustar la sección de acero requerida, de esa forma se reinicia el proceso para ubicar el eje neutro y de la misma forma para el cálculo del momento resistente.

j) Cuando se logra la convergencia respecto a la sección de acero, se finaliza el diseño de la viga con el cálculo de la varilla con diámetro comercial.

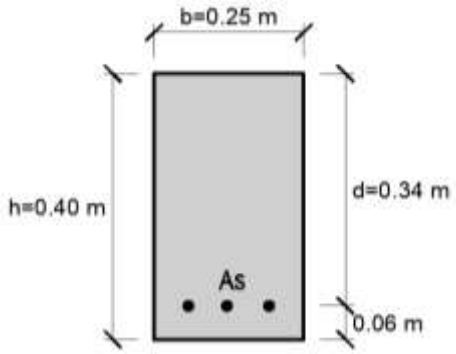
A continuación, se explica con un ejemplo explicativo la metodología de diseño de una sección rectangular de viga de mortero armado.

Ejemplo:

Diseñar la siguiente viga que sea capaz de poder resistir un momento ultimo de 9 T-m, si el mortero tiene una resistencia a la compresión de 250kg/cm2 y el esfuerzo de fluencia del acero es de 4200 kg/cm2.

Figura 80.

Dimensiones y geometría de una viga rectangular



Solución:

- **Calculo del área de acero y de la fuerza de tracción**

Se realiza el cálculo del área de acero mediante la siguiente fórmula aproximada asumiendo que el centro de gravedad de la fuerza a compresión se ubica a 0.1d de la cara extrema comprimida:

$$A_s = \frac{M_u}{\emptyset fy * (0.9d)}$$

$$A_s = \frac{9 * 10^5\ kg - cm}{0.9 * (4200\ kg/cm^2) * (0.9 * 34\ cm)}$$

$$A_s = \ 7.78\ cm^2$$

Se realiza el cálculo de la fuerza a tracción, se asume que el acero se encuentra en la fluencia, lo que es consistente con los criterios de un buen diseño:

$$T = \ As * fy = 7.78\ cm^2 * 4200\ kg/cm^2$$

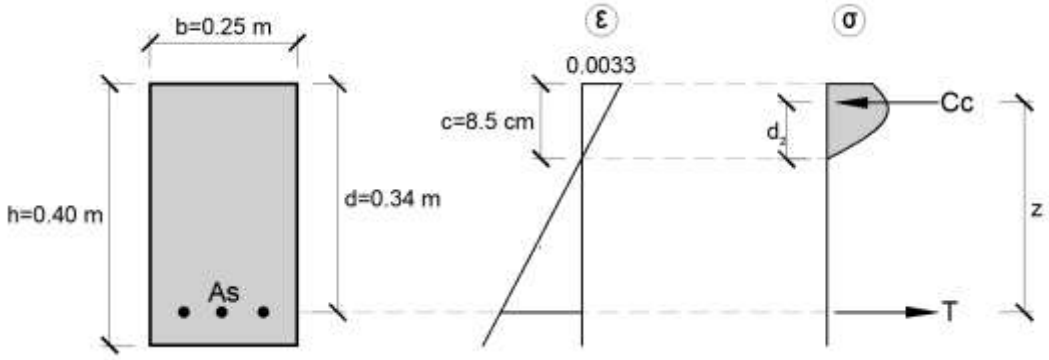
$$T = \ 32679.74\ kg$$

- **Calculo de la ubicación del eje neutro**

Se asumirá que la zona comprimida “c” tiene una altura de 0.25d (c=8.5cm), lo que es consistente con el cálculo del área de acero, siempre y cuando que la cuantía de acero final no sea alta.

Figura 81.

Diagramas de deformaciones y de fuerzas interna de la viga rectangular



- **Uso de tablas para el cálculo de esfuerzos en cada fibra de compresión, volumen de presiones y momentos con relación al eje neutro.**

Mediante el uso de la tabla se puede determinar las magnitudes de los esfuerzos de compresión “Cc” y la ubicación del centro de gravedad “d_2” de la fuerza con respecto al eje neutro.

Tabla 36

Cálculo de fuerza de compresión, volumen de presión y momento respecto al eje neutro

Deform. (mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dist. al Eje Neutro (cm)	Área (cm2)	Base (cm)	Volumen (kg)	Centro de Gravedad (cm)	Momento (kg-cm)
0.0000	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00
0.0001	16.94	0.26	2.18	25.00	54.55	0.13	7.03
0.0002	33.29	0.52	6.47	25.00	161.75	0.39	62.49
0.0003	49.05	0.77	10.60	25.00	265.12	0.64	170.72
0.0004	64.21	1.03	14.59	25.00	364.66	0.90	328.74
0.0005	78.78	1.29	18.41	25.00	460.37	1.16	533.61
0.0006	92.75	1.55	22.09	25.00	552.25	1.42	782.35
0.0007	106.12	1.80	25.61	25.00	640.30	1.67	1072.02
0.0008	118.91	2.06	28.98	25.00	724.53	1.93	1399.66
0.0009	131.09	2.32	32.20	25.00	804.92	2.19	1762.30
0.0010	142.69	2.58	35.26	25.00	881.49	2.45	2156.99
0.0011	153.69	2.83	38.17	25.00	954.23	2.70	2580.76
0.0012	164.09	3.09	40.93	25.00	1023.14	2.96	3030.68
0.0013	173.90	3.35	43.53	25.00	1088.23	3.22	3503.76
0.0014	183.12	3.61	45.98	25.00	1149.48	3.48	3997.06
0.0015	191.74	3.86	48.28	25.00	1206.91	3.73	4507.62
0.0016	199.76	4.12	50.42	25.00	1260.51	3.99	5032.47
0.0017	207.19	4.38	52.41	25.00	1310.28	4.25	5568.67
0.0018	214.03	4.64	54.25	25.00	1356.22	4.51	6113.25
0.0019	220.27	4.89	55.93	25.00	1398.33	4.77	6663.25
0.0020	225.92	5.15	57.46	25.00	1436.61	5.02	7215.71
0.0021	230.98	5.41	58.84	25.00	1471.07	5.28	7767.69
0.0022	235.43	5.67	60.07	25.00	1501.70	5.54	8316.21
0.0023	239.30	5.92	61.14	25.00	1528.49	5.80	8858.32
0.0024	242.57	6.18	62.06	25.00	1551.47	6.05	9391.07
0.0025	245.24	6.44	62.82	25.00	1570.61	6.31	9911.48
0.0026	247.32	6.70	63.44	25.00	1585.92	6.57	10416.62
0.0027	248.81	6.95	63.90	25.00	1597.41	6.83	10903.51
0.0028	249.70	7.21	64.20	25.00	1605.06	7.08	11369.20
0.0029	250.00	7.47	64.36	25.00	1608.89	7.34	11810.73
0.0030	249.70	7.73	64.36	25.00	1608.89	7.60	12225.14
0.0031	248.81	7.98	64.20	25.00	1605.06	7.86	12609.47
0.0032	247.32	8.24	63.90	25.00	1597.41	8.11	12960.77
0.0033	245.24	8.50	63.44	25.00	1585.92	8.37	13276.08
				Total	**32679.74**		**148989.06**

- **Estimación de la fuerza de compresión y su posición**

Con la tabla se tiene:

$$Cc = 32679.74\ kg$$

$$d_2 = \frac{148989.06\ kg - cm}{32679.74\ kg} = 4.56\ cm$$

- **Recalculo de la ubicación del eje neutro y de la tabla para definir la fuerza de compresión y su ubicación.**

Cuando comparamos la magnitud de la fuerza de compresión (32679.74 kg) con la magnitud de la fuerza de tracción del acero (32679.74 kg), se deduce que las dos fuerzas no se pueden equilibrar, ya que la magnitud de la compresión es insuficiente, por lo tanto, la zona de compresión se tiene que aumentar. Para tener una aproximación buena de incremento de la magnitud, se tiene que dividir la fuerza de tracción con la fuerza a compresión.

$$\frac{T}{Cc} = \frac{32679.74\ kg}{37511.77\ kg} = 0.87$$

El reajuste de la posición del eje neutro es:

$$c = 8.5\ cm * 0.87 = 7.41\ cm$$

La tabla con la nueva posición del eje neutro es la siguiente:

Tabla 37

Recálculo de fuerza de compresión, volumen de presión y momento respecto al eje neutro

Deform. (mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Dist. al Eje Neutro (cm)	Área (cm2)	Base (cm)	Volumen (kg)	Centro de Gravedad (cm)	Momento (kg-cm)
0.0000	0.00	0.00		25.00		0.00	
0.0001	16.94	0.22	1.90	25.00	47.53	0.11	5.33
0.0002	33.29	0.45	5.64	25.00	140.91	0.34	47.43
0.0003	49.05	0.67	9.24	25.00	230.97	0.56	129.57
0.0004	64.21	0.90	12.71	25.00	317.68	0.79	249.50
0.0005	78.78	1.12	16.04	25.00	401.07	1.01	404.99
0.0006	92.75	1.35	19.24	25.00	481.11	1.23	593.78
0.0007	106.12	1.57	22.31	25.00	557.82	1.46	813.63
0.0008	118.91	1.80	25.25	25.00	631.20	1.68	1062.29
0.0009	131.09	2.02	28.05	25.00	701.24	1.91	1337.52
0.0010	142.69	2.24	30.72	25.00	767.94	2.13	1637.08
0.0011	153.69	2.47	33.25	25.00	831.31	2.36	1958.71
0.0012	164.09	2.69	35.65	25.00	891.35	2.58	2300.18
0.0013	173.90	2.92	37.92	25.00	948.05	2.80	2659.23
0.0014	183.12	3.14	40.06	25.00	1001.41	3.03	3033.63
0.0015	191.74	3.37	42.06	25.00	1051.44	3.25	3421.13
0.0016	199.76	3.59	43.93	25.00	1098.14	3.48	3819.47
0.0017	207.19	3.81	45.66	25.00	1141.49	3.70	4226.43
0.0018	214.03	4.04	47.26	25.00	1181.52	3.93	4639.74
0.0019	220.27	4.26	48.73	25.00	1218.20	4.15	5057.18
0.0020	225.92	4.49	50.06	25.00	1251.56	4.38	5476.48
0.0021	230.98	4.71	51.26	25.00	1281.57	4.60	5895.41
0.0022	235.43	4.94	52.33	25.00	1308.26	4.82	6311.72
0.0023	239.30	5.16	53.26	25.00	1331.60	5.05	6723.16
0.0024	242.57	5.39	54.06	25.00	1351.62	5.27	7127.50
0.0025	245.24	5.61	54.73	25.00	1368.29	5.50	7522.48
0.0026	247.32	5.83	55.27	25.00	1381.63	5.72	7905.85
0.0027	248.81	6.06	55.67	25.00	1391.64	5.95	8275.39
0.0028	249.70	6.28	55.93	25.00	1398.31	6.17	8628.83
0.0029	250.00	6.51	56.07	25.00	1401.64	6.40	8963.93
0.0030	249.70	6.73	56.07	25.00	1401.64	6.62	9278.46
0.0031	248.81	6.96	55.93	25.00	1398.31	6.84	9570.16
0.0032	247.32	7.18	55.67	25.00	1391.64	7.07	9836.78
0.0033	245.24	7.41	55.27	25.00	1381.63	7.29	10076.09
				Total	**32679.74**		**148989.06**

Con la tabla se tiene:

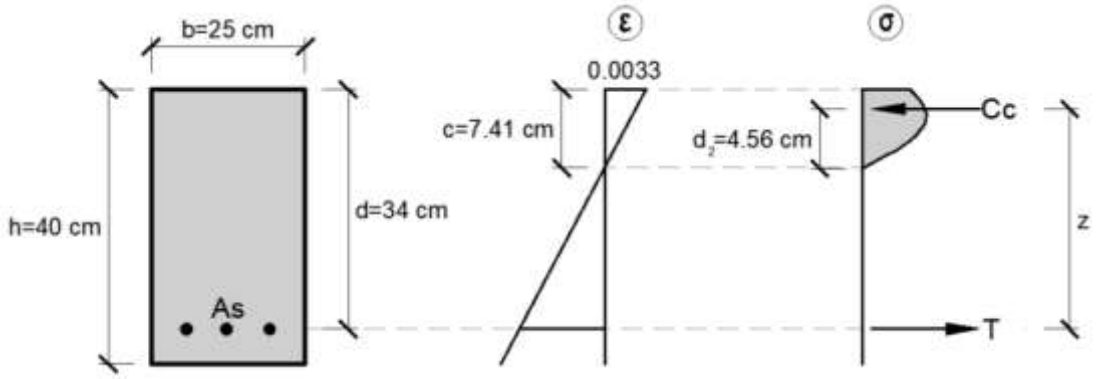
$$Cc = 32679.74\ kg$$

$$d_2 = \frac{148989.06\ kg - cm}{32679.74\ kg} = 4.56\ cm$$

En este punto la fuerza de compresión (32679.74 kg) y la fuerza de tracción del acero (32679.74 kg) ya son iguales, por lo tanto, se asume que se logró la convergencia en cuanto a la ubicación del eje neutro, para el área de acero especificada.

Figura 82.

Reubicación del eje neutro



- **Determinación del momento nominal y momento ultimo resistente**

El cálculo del momento nominal se determina con la siguiente expresión:

$$M_n = T * z$$

$$T = 32679.74\ kg$$

$$z = d - (c - d_2)$$

$$z = 34\ cm - (7.41 - 4.56)$$

$$z = 31.15\ cm$$

$$M_n = 32679.74\ kg * 31.15\ cm$$

$$M_n = 1018103.96\ kg - cm = 10.18\ T - m$$

El cálculo del momento último se determina con la siguiente expresión:

$$M_u = \emptyset M_n$$

$$M_u = 0.9 * 10.18\ T - m$$

$$M_u = 9.16\ T - m$$

El área de acero de 7.78 cm2 propuesto de la viga, resiste un momento ultimo de 9.16 T-m, sin embargo, la solicitación es de 9 T-m, por lo tanto, se tiene que reajustar el área de acero para lograr la igualdad.

$$A_s = \frac{9\ T-m}{9.16\ T-m} * 7.78\ cm^2$$

$$A_s = 7.64\ cm^2$$

Utilizando el mismo factor se reajustar los valores de “c” y d_2

$$c = \frac{9\ T-m}{9.16\ T-m} * 7.41\ cm$$

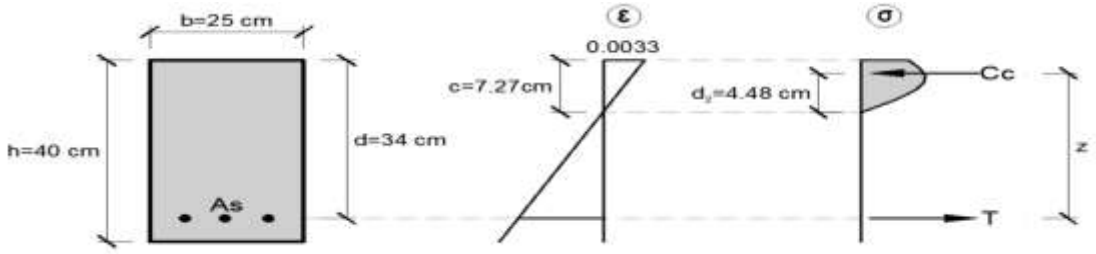
$$c = 7.27\ cm$$

$$d_2 = \frac{9\ T-m}{9.16\ T-m} * 4.56\ cm$$

$$d_2 = 4.48\ cm$$

Figura 83.

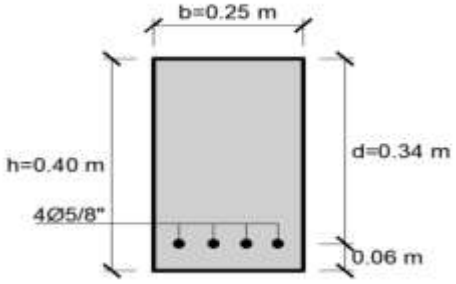
Diagramas de deformaciones y de fuerzas interna de la viga rectangular



El diámetro de la varilla de acero que requiere la viga es de 4Ø5/8" de diámetro (7.96 cm^2), colocadas en una sola capa.

Figura 84.

Diseño final de la viga



Nota: si existe una diferencia entre el área de acero estimado y la recalculada es mayor a un 2%, es necesario una nueva interacción para ubicar la posición el eje neutro. Seguidamente se hará la verificación del acero mínimo y máximo de la sección:

$$A_{s\,min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} bd$$

$$A_{s\,min} = \frac{0.7\sqrt{250}}{4200} * 25 * 34$$

$$A_{s\,min} = 2.24\ cm^2$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85\beta f'c}{f_y} * \frac{6300}{f_y + 6300} * \frac{bd}{2}$$

$$A_{s\,max} = \frac{0.85 * 0.85 * 250}{4200} * \frac{6300}{4200 + 6300} * \frac{25 * 34}{2}$$

$$A_{s\,max} = 10.97\ cm^2$$

$$A_{s\,min} \geq A_s \text{ cumple}$$

$$A_{s\,max} < A_s \text{ cumple}$$

Área de acero utilizando el método tradicional

Con las dos últimas ecuaciones se puede determinar la cantidad de acero de refuerzo que va a requerir la viga del ejemplo analizado si se diseña como el método tradicional.

$$A_s = \frac{0.85 * f'c * b * d}{fy} - \sqrt{\frac{1.7 * f'c * b}{fy^2} * (\frac{0.85 * f'c * b * d^2}{2} - \frac{M_u}{\emptyset})}$$

Con los datos del ejemplo aplicativo, se remplaza en la ecuación:

$f'c = 250\ kg/cm^2$ $fy = 4200\ kg/cm^2$ $b = 25\ cm$

$d = 34\ cm$ $M_u = 9\ Tn - m$ $\emptyset = 0.90$

$$\mathrm{A_s} = \frac{0.85 * 250 * 25 * 34}{4200} - \sqrt{\frac{1.7 * 250 * 25}{4200^2} * (\frac{0.85 * 250 * 25 * 34^2}{2} - \frac{9 * 10^5}{0.9})}$$

$$A_s = 7.69\ cm^2$$

Interpretación de los resultados

A través de los ensayos experimentales y herramientas numéricas fue posible comprobar que si es aplicable utilizar la metodología de diseño a flexión de vigas de concreto armado en vigas de mortero armado, sin embargo el diseño no termina con esa verificación, se debe realizar un análisis para controlar las fisuras, ya que de acuerdo al diagrama de momento-curvatura, las vigas de mortero tiende a presentar fisuras al inicio de la transmisión de carga y es visible en casi toda la zona de tracción a comparación del concreto armado, que solo presenta fisuras en el tercio central.

Las vigas de mortero al estar sometidas a esfuerzo de flexión presentan grietas de gran espesor y se manifiesta en toda la zona inferior de la viga, por lo tanto, se debe realizar un profundo estudio para poder minimizar el ancho y el número de fisuras (por tres motivos: la estética, la corrosión y la impermeabilidad), este análisis podría causar que se incremente el área de acero en la sección de la viga, por lo que el diseño original deberá ser replanteado.

Este trabajo de investigación solo se limitó a estudiar el diseño a flexión de vigas de mortero armado, dejando como línea de investigación el control de deflexión y fisuración, para que, de esa forma, se logre tener un diseño correcto y seguro para estos tipos de elementos.

CONCLUSIONES

- A través de herramientas numéricas fue posible implementar de la metodología para obtener la respuesta a flexión de una viga de mortero armado, este método utiliza el comportamiento esfuerzo-deformación real del mortero, para lograr identificar la cuantía de refuerzo en la sección. Utilizando este método, fue posible comprobar que, si es aplicable utilizar la metodología de diseño a flexión de vigas de concreto armado en vigas de mortero armado, sin embargo, el número y ancho de fisuras de la viga de mortero armado es mayor al del concreto armado, por lo que se debe realizar las verificaciones del estado límite de servicio, lo cual podría causar que se incremente el área de acero en la sección de viga.
- Se concluye que las proporciones de una mezcla para producir un metro cubico de mortero con esfuerzo de rotura de 210 kg/cm2 para el departamento de Ucayali, empleando agregado fino de la cantera del Rio Ucayali y utilizando el cemento Portland Tipo GU, son las siguientes:
    - Cemento (kg/m3) : 510.50
    - Arena (kg/m3) : 1491.49
    - Agua (lts/m3) : 169.91

  Donde la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días de curado, sobrepasa la resistencia a la compresión mínima de 210 kg/cm2, logrando una resistencia promedio de 228kg/cm2, por lo tanto, los materiales utilizados en el diseño de mezcla reúnen las condiciones para ser utilizadas en la elaboración de mortero estructural. Las propiedades del mortero son distintas a las del concreto convencional, y esto se ve reflejado en su peso unitario que es 2033 kg/m3, que es 12% menor que el concreto convencional, perteneciendo a una clasificación de acuerdo a su peso, a un concreto ligero. Al pesar menos, conlleva una disminución de la fuerza inercial provocada por el sismo, lo cual es beneficioso. El cálculo del módulo de elasticidad de elementos elaborados por mortero logran un mejor ajuste con la ecuación: $E_c=10{,}043\sqrt{f'c}+24{,}941$ de Peña Tolentino (2023), en reemplazo de la comúnmente

conocida: $E_c=15{,}000\sqrt{f'c}$ que nos establece la norma E.060, donde los valores de la ecuación sufren reducciones entre 20% al 35% con respecto al módulo de elasticidad que nos establece la norma E.060.

- Se pudo representar la curva esfuerzo deformación del mortero utilizando el modelo matemático de Hognestad de concreto no confinado, considerando que la curva alcanza el máximo esfuerzo a la compresión cuando la deformación del mortero es de $\varepsilon_o=0.0029$ y falla cuando se alcanza una deformación de $\varepsilon_{cu}=0.0033$. Este modelo muestra una buena aproximación con los resultados experimentales y puede ser utilizado para predecir analíticamente el comportamiento del mortero e implementarlo en programas numéricos.
- Se pudo caracterizar el comportamiento a flexión de la viga de mortero armado a través del diagrama momento-curvatura, y se concluye que la viga de mortero armado tiene un similar modo de respuesta y de falla a comparación que la viga de concreto armado, sin embargo, empieza a agrietarse antes que la viga del concreto armado cuando es sometida a cargas, pero coinciden en el inicio de la fluencia del acero y en la capacidad de máxima de carga, teniendo casi la misma medida de ductilidad. Esta presunción se muestra en el mapeo de fisuras, manifestando que la viga de mortero armado presenta mayor número de fisuras en la zona de tracción y de mayor grosor con respecto a la viga del concreto armado.

RECOMENDACIONES

- Las vigas de mortero al estar sometidas a esfuerzo de flexión presentan grietas de gran espesor y se manifiesta en toda la zona de tracción, por lo tanto, se recomienda realizar un profundo estudio para poder controlar el ancho de fisuras, de tal forma que se mejore la apariencia, evite la corrosión del refuerzo y se tenga una adecuada impermeabilidad.
- En el caso de que la arena extraída en la cantera del Rio Ucayali, resulten perjudiciales, se recomienda efectuar el tamizado y lavado de la arena, quitando todos los elementos perjudiciales para el diseño de mezcla del mortero, de la misma forma realizar los ensayos de las propiedades físicas del agregado fino extraída de las canteras de arena, ya que, si bien es cierto que son el mismo tipo de agregado, pero cada cantera tiene propiedades que podrían ser favorables o desfavorable con respecto a otras.
- En caso que no exista un correcto control de la dosificación en la mezcla de mortero según lo propuesto en esta investigación, se recomienda trabajar con cemento Portland Tipo I, ya que la mezcla desarrolla una resistencia a la compresión de 15% mayor a comparación con el cemento Portland Tipo GU
- Se recomienda investigar la influencia de la arena para morteros de altas resistencias, en donde se considere con mayor importancia la adherencia entre el agrado fino y la pasta.
- Se podría emplear un factor de reducción del 12% del peso del concreto convencional para calcular de forma rápida el peso de estructuras elaboradas con mortero.
- Se recomienda realizar ensayos a flexión de vigas de mortero armado a escala real de 4m, 5m, 6m, 7m de longitud, ya que estas dimensiones de vigas están presentes en las instituciones públicas, talleres, fabricas, almacenes, anfiteatros, auditorios, etc. Las cuales permitirá profundizar el comportamiento de la viga en grandes luces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Comité 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. Miami: American Concrete Institute, Farmington Hills.

Arriola Donis, J. M. (2009). *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3077_C.pdf

Briones, G. (2002). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales*. Editorial ARFO Editores e Impresores Ltda. Bogotá, Colombia. Obtenido de: https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com/2008/02/metodologia-de-la-investigacion-guillermo-briones.pdf

Carranza Rivas, C. A. (2010). *Ferrocemento: Estudio del mortero reforzado con malla de alambre y sus aplicaciones.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de: https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3164

Casas Tuanama, V. V. (2015). *El módulo de la elasticidad en morteros de cemento con arenas de las canteras de la ciudad de Iquitos.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de: https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/4414

Gómez Con, S. G. (2006). *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de san Cristóbal, Alta Verapaz*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2620_C.pdf

Gutiérrez de López, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la construcción*. 2da. Edición, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Obtenido de: https://www.academia.edu/28633263/El_Concreto_y_Otro_Materiales_Para_la_Construccion

Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. 3ra. Edición, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012)*. Lima, Perú.

INDECOPI (2008). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). (NTP 400.011).* Lima, Perú.

INDECOPI (2018). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. (NTP 400.037)*. Lima, Perú.

INDECOPI (2001). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras. (NTP 400.010*). Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185)*. Lima, Perú.

INDECOPI (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022).* Lima, Perú.

INDECOPI (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017).* Lima, Perú.

INDECOPI. (2013). *CEMENTOS. Cementos Portland Requisitos. (NTP 334.009)*. Lima, Perú.

INDECOPI (2014). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. (NTP 339.088)*. Lima, Perú.

INDECOPI (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034)*. Lima, Perú.

Mora Nuñez, D. J., & Da Silva Del Aguila, V. O. (2012). *Estudio comparativo del concreto cemento - arena simple y reforzado con fibras de acero y polipropileno empleando cemento argos tipo I Co Plus +.* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Obtenido de: http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2350

Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. (2009). *Concreto Armado.* Lima

Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. 3ra Edición. Bogotá, Colombia.

Ñaupa Tello, W. D. (2017). *Evaluación del comportamiento a la flexión de vigas de concreto reforzados con mortero sin contracción.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Obtenido de http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/1537

Pasquel Carbajal, E. (1993). *Tópicos de Tecnología de Concreto en el Perú*. 2da Edición, Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional. Lima, Perú.

Peña Tolentino, R. I. (2003). *Evaluación semi experimental del módulo de elasticidad del concreto elaborado con arenas finas de la Selva Baja*. Conferencia EM-49, Iquitos, Perú.

Peña Tolentino, R. I. (2023). *Estudio analítico y experimental sobre la resistencia probable y la capacidad de distorsión lateral de columnas de concreto sin agregado grueso.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Obtenido de: https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/25241

Pérez Zumaeta, E. A., & Ochoa Ramírez, J. A. (2021). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un mortero adicionado con ceniza de cáscara de arroz con respecto a un mortero patrón de calidad f'c=175 kg/cm2*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Obtenido de: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4819

Sarwary, M., Yildirim, G., AL-DAHAWI, A., Anil, Ö., Khiavi, K., Toklu, K., & Şahmaran, M. (2019). Self-Sensing of Flexural Damage in Large-Scale Steel-Reinforced Mortar Beams. [Revista cientifica, Aci Materials Journal, 116, 209-221]. Obtenido de: https://doi.org/10.14359/51715581

Tenorio Chung, J. L., & Acosta Huayllahua, S. A. (2020). *Estudio comparativo de las propiedades del concreto (cemento arena): Con arena de cantera fluvial-Comunidad Astoria y con arena de cantera cuarzosa-Comunidad Varillal en la ciudad de Iquitos.* [Tesis de pregrado,

Universidad Científica del Perú]. Obtenido de http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1755

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Título: “PROPUESTA METODOLOGÍCA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	Variables y Dimensiones	Metodología
General: ¿Es aplicable la metodología de diseño a flexión de concreto armado en vigas de mortero armado en el departamento de Ucayali? **Específicos:** 1. ¿Cuál es el diseño de mezcla para obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kg/cm2 en el departamento de Ucayali? 2. ¿Cómo es la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo a la rotura de 210 kg/cm2? 3. ¿Cuál es la resistencia a flexión teórica y experimental de vigas de mortero armado?	**General:** Proponer una metodología de diseño a flexión para vigas de mortero armado **Específicos:** 1. Determinar el diseño de mezcla para obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kg/cm2 en el departamento de Ucayali. 2. Determinar la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo a la rotura de 210 210 kg/cm2 3. Determinar teórica y experimentalmente la resistencia a flexión de vigas de mortero armado	**General**: Se puede aplicar una metodología de diseño a flexión para vigas de mortero armado. **Específicas:** 1. El diseño de mezcla permite obtener un mortero con esfuerzo de rotura de 210 kg/cm2 en el departamento de Ucayali. 2. Se puede caracterizar la curva esfuerzo-deformación del mortero con esfuerzo a la rotura de 210 kg/cm2 3. Se puede predecir adecuadamente la resistencia a flexión teórica y experimental en vigas de mortero armado.	**Variable Dependiente:** Diseño a flexión de viga de mortero armado **Variable Independiente** -Compresión simple del mortero -Curva esfuerzo deformación del mortero -Resistencia a la flexión simple **Dimensiones:** - Resistencia nominal a flexión - Calidad del concreto - Comportamiento experimental del mortero simple - Comportamiento experimental del mortero armado .	**Tipo de estudio:** Cuantitativo **Nivel** Descriptiva Experimental Exploratorio **Diseño** Experimental

Anexo 2: Diagrama Momento-Curvatura teórico utilizando código VBA en Excel

PROGRAMA PARA GRAFICAR EL MOMENTO CURVATURA DE UNA SECCION RECTANGULAR DE MORTERO ARMADO UTILIZANDO CODIGO VBA

```
Public Function gfnc(enc#) As Double
'GRAFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN
'MORTERO - MODELO DE HOGNESTAD
'enc: deformación del concreto
'Datos:
fco = 250 'Resistencia a compresión en kgf/cm2
eco = 0.0029 'Deformación de aplastamiento
gfnc = (2 * enc / eco - (enc / eco) ^ 2) * fco
End Function

Public Function gfs(es#) As Double
'GRAFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN
'ACERO DE REFUERZO - MODELO DE MANDER
'es: deformación del acero
'Datos:
fy = 4200 'Valor de fluencia nominal en kgf/cm2
fsu = 6300 'Capacidad de esfuerzo máximo en kgf/cm2
Eso = 2000000 ‘Modulo de Elasticidad del acero en kgf/cm2
ey = 0.0021 ‘deformación de fluencia
esh = 0.008 ‘inicio de endurecimiento por deformación (valor asumido)
esu = 0.09 ‘capacidad de deformación ultima
p = 1.8 'Parámetro de Mander
If Abs(es) < ey Then
   gfs = Eso * es
ElseIf Abs(es) >= ey And Abs(es) <= esh Then
   gfs = fy * Sgn(es)
ElseIf Abs(es) >= esh And Abs(es) <= esu Then
   gfs = Sgn(es) * (fsu + (fy - fsu) * ((esu - Abs(es)) / (esu - esh)) ^ p)
ElseIf es > esu Then
   gfs = 0
End If
End Function

Public Function fnc(y#, c#, ecm#) As Double
'FORMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE UN VALOR DE fcn
'CONCRETO - MODELO DE MANDER
'y es la altura hacia la fibra medida desde el extremo inferior
'c es la distancia de la fibra comprimida al eje neutro
'ecm es la deformación de aplastamiento del mortero
Dim epsilon As Double
'Datos:
h = 20 'Altura de la sección en cm
If y > h - c Then
epsilon = (ecm / c) * (y - (h - c)) 'Deformación de la fibra "y" para una posición "c" del eje neutro
fnc = gfnc(epsilon)
Else
fnc = 0
End If
End Function

Public Function fs(y#, c#, ecm#) As Double
'FORMULA PARA LA DETERMINACIÓN DE UN VALOR DE fs
'ACERO DE REFUERZO - MODELO DE MANDER
Dim epsilon As Double
'Datos:
h = 0.20 'Altura de la sección en cm
'Calculos preliminares
epsilon = (ecm / c) * (y - (h - c)) 'Deformación de la fibra "y" para una posición "c" del eje neutro
fs = gfs(epsilon)
End Function
```

```
Public Function INTFC(c#, ecm#) As Double
'FUNCIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FUERZA Fc PARA UNA UBICACION FIJA DE c
'Datos:
b = 12.5 'Ancho de la sección en cm
h = 20 'Altura de la sección en cm
intp = 400 'Número de subdiviones para integración
s = h / intp 'Subdiviones para integración
Dim y As Double
INTFC = 0
For i = 1 To intp
   y = s * (i - 0.5) 'y medido desde la base inferior
   INTFC = INTFC + s * b * fnc(y, c, ecm)
Next i
End Function

Public Function SFA(X#, ecm#) As Double
'FUNCIÓN DE INTEGRACIÓN DE LA FUERZA Fc PARA UNA UBICACION FIJA DE c
Dim y1 As Double
Dim y2 As Double
Dim As1 As Double
Dim As2 As Double
'Datos:
h = 20 'Altura de la sección en cm
y2 = 18 'Altura desde la base hasta el acero (-) en cm
y1 = 2 'Altura desde la base hasta el acero (+) en cm
As2 = 1.01 'Área de acero (+) en cm2
As1 = 1.01 'Área de acero (-) en cm2
SFA = INTFC(X, ecm)
SFA = SFA + As1 * fs(y1, X, ecm) + As2 * fs(y2, X, ecm)
End Function

Public Function ENi(ecm#) As Double
'Distancia del eje neutro medida desde la fibra a compresión
'Datos:
h = 20 'Altura de la sección en cm
Ni = 500 'Numero de iteraciones
Tol = 0.001 'Tolerancia
Dim x1 As Double
Dim x2 As Double
Dim x3 As Double
Dim y1 As Double
Dim y2 As Double
Dim y3 As Double
'X distancia medida desde la fibra de compresión
x1 = 0.05 * h
x2 = 0.5 * h
y1 = SFA(x1#, ecm)
y2 = SFA(x2#, ecm)

'Determinación de límites para el eje neutro
'hasta encontrar un error positivo y el otro negativo
If y1 * y2 > 0 Then
   For i = 1 To Ni
      If Abs(y1) < Abs(y2) Then
         x1 = x1 * 0.5
         y1 = SFA(x1, ecm)
      Else
         x2 = x2 + (x2 - x1) * 0.5
         y2 = SFA(x2, ecm)
      End If
   If y1 * y2 < 0 Then Exit For
   Next i
   If i > Ni Then End
End If

'Saltar los limites hasta encontrar la ubicación del eje neutro
For i = 1 To Ni
   x3 = (x1 + x2) * 0.5
```

```
    y3 = SFA(x3, ecm)
    If Abs(y3) < Tol Then Exit For
    If y3 * y1 > 0 Then
    x1 = x3
    y1 = y3
    Else
    x2 = x3
    y2 = y3
    End If
Next i

ENi = x3 'Ubicación del eje neutro medido desde la fibra de compresión
If i > Ni Then End
End Function

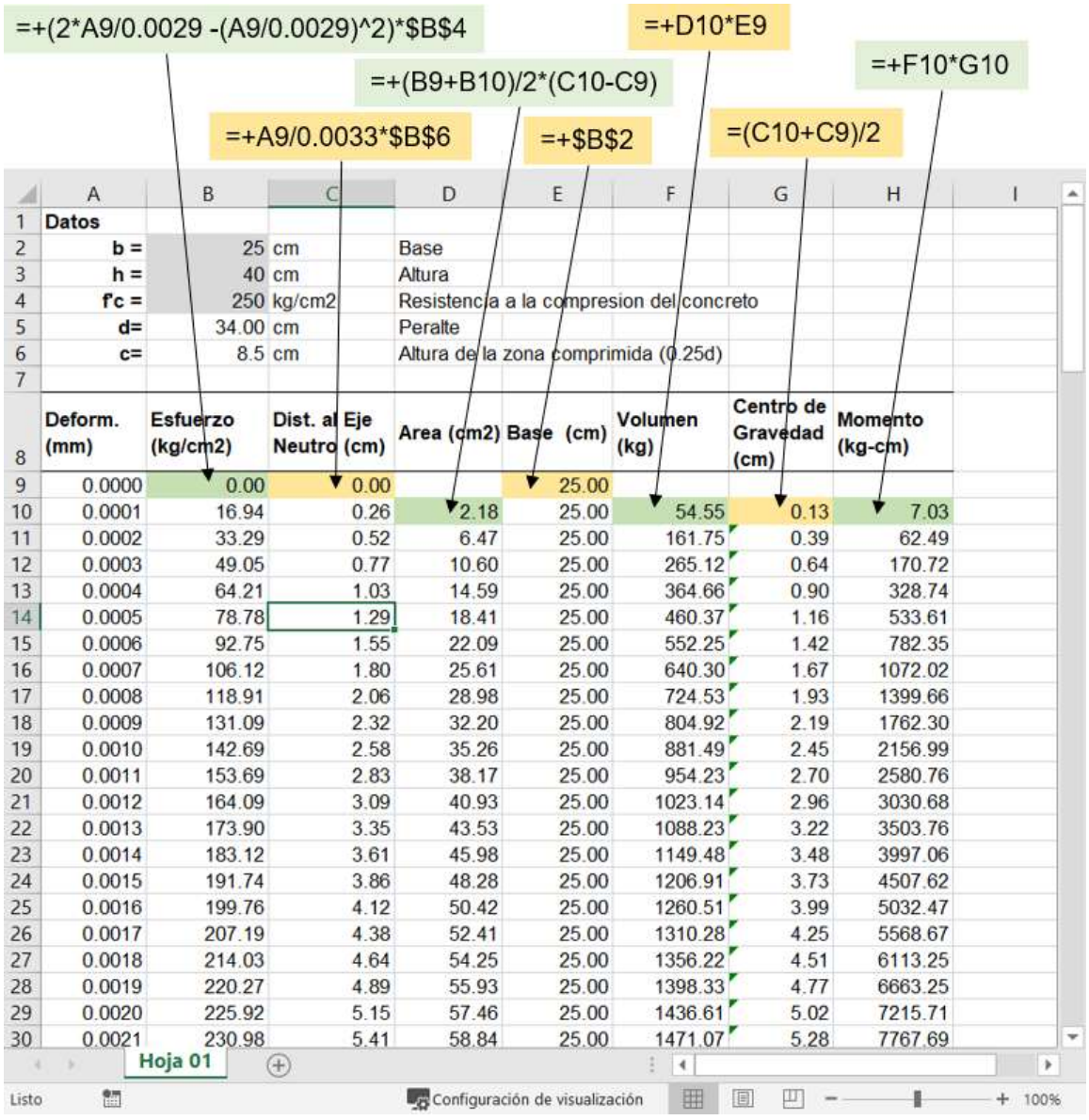
Public Function INTMFC(c#, ecm#) As Double
'MOMENTO PRODUCIDO POR EL MORTERO
'FUNCIÓN DE INTEGRACIÓN DEL MOMENTO GENERADO POR LAS FUERZAS f'c PARA UNA UBICACICIÓN FIJA DE c
Dim y As Double
Datos:
b = 12.5 'Ancho de la sección en cm
h = 20 'Altura de la sección en cm
y2 = 18 'Altura desde la base hasta el acero (-) en cm
y1 = 2 'Altura desde la base hasta el acero (+) en cm
As2 = 1.01 'Área de acero (+) en cm2
As1 = 1.01 'Área de acero (-) en cm2
ycp = (As1 * y1 + As2 * y2) / (As1 + As2)
intp = 200 'Numero de subdiciones para integración
s = h / intp 'Subdición de franjas de integración
INTMFC = 0
For i = 1 To intp
    y = s * (i - 0.5) 'y medido desde la base inferior
    INTMFC = INTMFC + s * b * fnc(y, c, ecm) * (y - ycp)
Next i
End Function

Public Function SMM(c#, ecm#) As Double
'CAPACIDAD DE MOMENTO
Dim y1 As Double
Dim y2 As Double
h = 20 'Altura de la sección en cm
y2 = 18 'Altura desde la base hasta el acero (-) en cm
y1 = 2 'Altura desde la base hasta el acero (+) en cm
As2 = 1.01 'Área de acero (+) en cm2
As1 = 1.01 'Área de acero (-) en cm2

ycp = (As1 * y1 + As2 * y2) / (As1 + As2)
SMM = INTMFC(c, ecm)
SMM = SMM + As1 * fs(y1, c, ecm) * (y1 - ycp) + As2 * fs(35, c, ecm) * (y2 - ycp)
End Function
```

Anexo 3: Formulario para el armado de la tabla de cálculo de esfuerzos de compresión, volumen de presiones y momento respecto al eje neutro

Hoja electrónica para valoración de la fuerza de compresión y su posición respecto al eje neutro



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**Datos**								
2	**b =**	25	cm	Base					
3	**h =**	40	cm	Altura					
4	**f'c =**	250	kg/cm2	Resistencia a la compresion del concreto					
5	**d=**	34.00	cm	Peralte					
6	**c=**	8.5	cm	Altura de la zona comprimida (0.25d)					
7									
8	**Deform. (mm)**	**Esfuerzo (kg/cm2)**	**Dist. al Eje Neutro (cm)**	**Area (cm2)**	**Base (cm)**	**Volumen (kg)**	**Centro de Gravedad (cm)**	**Momento (kg-cm)**	
9	0.0000	0.00	0.00		25.00				
10	0.0001	16.94	0.26	2.18	25.00	54.55	0.13	7.03	
11	0.0002	33.29	0.52	6.47	25.00	161.75	0.39	62.49	
12	0.0003	49.05	0.77	10.60	25.00	265.12	0.64	170.72	
13	0.0004	64.21	1.03	14.59	25.00	364.66	0.90	328.74	
14	0.0005	78.78	1.29	18.41	25.00	460.37	1.16	533.61	
15	0.0006	92.75	1.55	22.09	25.00	552.25	1.42	782.35	
16	0.0007	106.12	1.80	25.61	25.00	640.30	1.67	1072.02	
17	0.0008	118.91	2.06	28.98	25.00	724.53	1.93	1399.66	
18	0.0009	131.09	2.32	32.20	25.00	804.92	2.19	1762.30	
19	0.0010	142.69	2.58	35.26	25.00	881.49	2.45	2156.99	
20	0.0011	153.69	2.83	38.17	25.00	954.23	2.70	2580.76	
21	0.0012	164.09	3.09	40.93	25.00	1023.14	2.96	3030.68	
22	0.0013	173.90	3.35	43.53	25.00	1088.23	3.22	3503.76	
23	0.0014	183.12	3.61	45.98	25.00	1149.48	3.48	3997.06	
24	0.0015	191.74	3.86	48.28	25.00	1206.91	3.73	4507.62	
25	0.0016	199.76	4.12	50.42	25.00	1260.51	3.99	5032.47	
26	0.0017	207.19	4.38	52.41	25.00	1310.28	4.25	5568.67	
27	0.0018	214.03	4.64	54.25	25.00	1356.22	4.51	6113.25	
28	0.0019	220.27	4.89	55.93	25.00	1398.33	4.77	6663.25	
29	0.0020	225.92	5.15	57.46	25.00	1436.61	5.02	7215.71	
30	0.0021	230.98	5.41	58.84	25.00	1471.07	5.28	7767.69	

Hoja 01

Listo | Configuración de visualización | 100%

Anexo 4: Ficha técnica del cemento portland APU tipo I

CEMENTO APU

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES



Ficha Técnica

CEMENTO **APU**

Descripción:
- Es un Cemento Pórtland Tipo GU obtenido de la molienda Clinker Tipo I y adiciones seleccionadas.

Beneficios:
- Óptimos resultados en el desarrollo de las resistencias a la compresión, trabajabilidad y acabado.
- Brinda alta adherencia a los ladrillos y buen acabado en el trabajo.
- Permite un menor tiempo de desencofrado.

Usos:
- De uso general.
- Para todo tipo de obras que no tengan requerimientos especiales de un tipo de cemento.
- Buen acabado de tarrajeos de paredes exteriores e interiores con acabados finos y normales.
- Buen desarrollo de resistencias a la compresión que permiten un menor tiempo de desencofrado.
- Pre Fabricados

Características Técnicas:
- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.082 y la Norma Técnica Americana ASTM C-1157.

Formato de Distribución:
- ***Bolsas de 42.5 Kg:*** 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- ***Granel:*** A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.

Recomendaciones

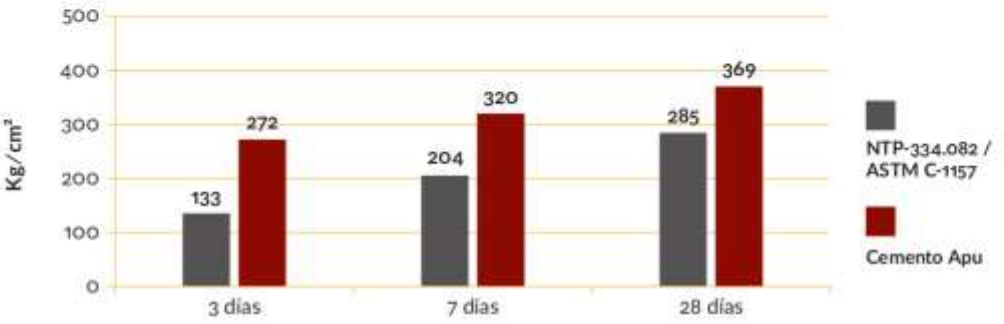
Dosificación:
- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:
- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno.

Requisitos mecánicos

Comparación resistencias NTP-334.082 / ASTM C-1157 vs. Cemento Apu



Propiedades físicas y químicas

Parámetro	Unidad	Cemento Apu	Requisitos NTP-334.082 / ASTM C-1157
Contenido de aire	%	4.63	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Superficie especifica	m^2/kg	366	No especifica
Densidad	g/ml	3.03	No especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm^2	272	Mínimo 133
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm^2	320	Mínimo 204
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm^2	369	Mínimo 285*
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	128	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	284	Máximo 420
Barras curadas en agua			
Expansión a 14 días	%	0.008	Máximo 0.020
Calor de Hidratación			
Calor de hidratación a 7 días	kcal/kg	69	No especifica
Calor de hidratación a 28 días	kcal/kg	75	No especifica

*Requisito opcional

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES

Anexo 5: Ensayos para caracterizar el agregado fino

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr. Eduardo del Aguila # 725 - Pucallpa
Telf. 59-2880 - Cel. 953295602 - RUC N° 20393270688
Correo Electrónico hanujakat2@hotmail.com -geoservpuc@hotmail.com

UCAYALI

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(MTC E-107 / ASTM D-422, C-117 / AASHTO T-27, T-88)

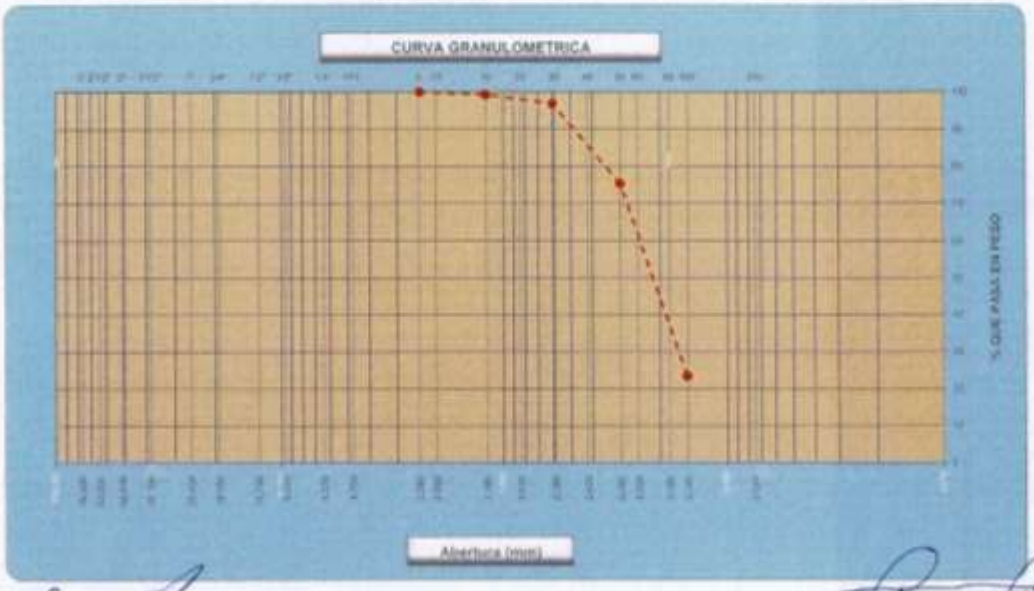
Proyecto : "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

Solicitante : BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMIENTO — Fecha : Abril, 2023

Ubicacion : DEPARTAMENTO UCAYALI — Cantera: RIO UCAYALI — Ing. Responsable : Jorge Alarcon Vasquez

Asunto : DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 (MORTERO DE ARENA) — Tec. de Laboratorio : Boris M. Silva Ipanaque

Tamices ASTM	Puente : Punos	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	Material sin Especificacion		Descripcion	
5"	127.000							1. Peso de Material	
4"	101.600							Peso Inicial Total (kg)	500.0
3"	73.000							Peso Fraccion Fina Para Lavar (gr)	
2 1/2"	63.300								
2"	50.800							2. Caracteristicas	
1 1/2"	37.500							Tamaño Maximo (in.m)	2.000
1"	25.400							Tamaño Maximo Nominal (in.m)	1.190
3/4"	19.000							Grava (%)	
1/2"	12.700							Arena (%)	76.6
3/8"	9.520							Finos (%)	23.4
1/4"	6.350								
N° 4	4.750								
N° 6	2.360				100.0			3. Clasificacion	
N° 10	2.000							Limite Liquido (%)	21.1
N° 16	1.190	3.6	0.7	0.7	99.3			Limite Plastico (%)	NP
N° 20	0.850							Indice de Plasticidad (%)	NP
N° 30	0.600	12.2	2.4	3.1	96.9			Clasificacion SUCS	SM
N° 40	0.420							Clasificacion AASHTO	
N° 50	0.300	107.3	21.5	24.7	75.3			Modulo de Finura (%)	1.05
N° 60	0.250								
N° 80	0.180								
N° 100	0.150	259.8	52.0	76.8	23.4			5. Observaciones (Fuente de Normalizacion)	
N° 200	0.074							Manual de carreteras "Especificaciones Tecnicas	
Pasante		116.8	23.4	100.0				Generales para Construccion" EG-2000)	



GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcon Vasquez
Ingeniero Civil

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr. Eduardo del Aguila # 728 - Pucallpa
Telf. 59-2880 - Cel. 952296602 - RUC N° 20393270668
Correo Electronico romojaso2@hotmail.com -geoservpuc@hotmail.com

UCAYALI

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

CONTENIDO DE HUMEDAD

(MTC E-108 / ASTM D-2216)

Proyecto : "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

Solicitante : BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO		**Fecha :**	Abril, 2023
Ubicacion : DEPARTAMENTO UCAYALI	**Cantera:** RIO UCAYALI	**Ing. Responsable :**	Jorge Alarcon Vasquez
Asunto : DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 (MORTERO DE ARENA)		**Tec. de Laboratorio :**	Boris M. Silva Ipanaque

1. Contenido de Humedad Muestra Arena :

Descripcion	1	2
Peso de tara (gr)	**22.9**	**22.7**
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	**129.3**	**138.2**
Peso de la tara + muestra seca (gr)	**127.1**	**135.3**
Peso del agua contenida (gr)	2.2	2.9
Peso de la muestra seca (gr)	104.2	112.6
Contenido de Humedad (%)	2.1	2.5
Contenido de Humedad Promedio (%)	2.3	

2. Contenido de Humedad Muestra (Final) :

Descripcion	1	2
Peso de tara (gr)		
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)		
Peso de la tara + muestra seca (gr)		
Peso del agua contenida (gr)		
Peso de la muestra seca (gr)		
Contenido de Humedad (%)		
Contenido de Humedad Promedio (%)		

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcon Vasquez
Ingeniero Civil
CIP 47827

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

UCAYALI

Jr. Eduardo del Aguila # 728 - Pucallpa
Telf. 59-2860 - Cel. 954953681 – 961705732 – RPM #954953681 - RUC N° 20393270868
Correo Electrónico hsmojalon2@hotmail.com -geoservpuc@hotmail.com

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LIMITES DE CONSISTENCIA

MTC E-110,111 - ASTM D-4318 - AASHTO T-90, T-89

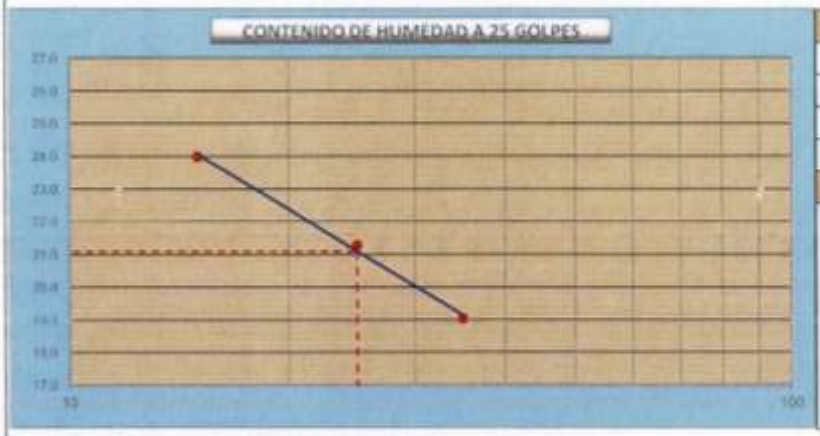
Obra :	"PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"		
Solicitante :	BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO	Fecha :	Abril, 2023
Ubicacion :	DEPARTAMENTO UCAYALI	Ing. Responsable :	Jorge Alarcon Vasquez
Muestra :	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 (MORTERO DE ARENA)	Tec. de Laboratorio :	Boris Silva Ipanaque

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

N°		1	2	3	
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.	30.07	27.72	33.89	
Peso de Tarro + Suelo Seco	gr.	26.27	24.96	30.19	
Peso de Tarro	gr.	10.42	11.99	10.74	
Peso de Agua	gr.	3.80	2.76	3.70	
Peso del Suelo Seco	gr.	15.85	12.97	19.45	Limite Liquido
Contenido de Humedad	%	23.97	21.28	19.02	21.09
Numero de Golpes		15	25	35	

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD

N° de Tarro					
Peso de Tarro + Suelo Humedo	gr.				
Peso de Tarro + Suelo seco	gr.				
Peso de Tarro	gr.				
Peso de Agua	gr.				
Peso de Suelo seco	gr.				Limite Plastico
Contenido de Humedad	%	NP	NP		NP



Constantes Fisicas de la Muestra	
Limite Liquido	21.1
Limite Plastico	NP
Indice de Plasticidad	NP

Observaciones

Pasante Tamiz N° 40

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcon Vasquez
Ingeniero Civil
CIP 47827

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr. Eduardo del Aguila # 729 - Pucallpa
Telf. 59-2660 - Cel. 964953681 – 961705722 – RPM #964953681- RUC N° 20393210668
Correo Electronico:hsmojaldt2@hotmail.com -geoservpucl@hotmail.com

UCAYALI

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS
(MTC E-203)

Proyecto: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

Solicitante: BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO

DATOS DE LA MUESTRA

Ubicacion:	DEPARTAMENTO UCAYALI	Estructura:	Cimentacion
Cantera:	RIO UCAYALI	Tamaño Máximo:	0.300 mm
Material:	ARENA	Fecha:	Abril, 2023

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	13155	13095	13105
PESO DEL MOLDE	gr.	5190	5190	5190
PESO DEL MATERIAL SUELTO	gr.	7965	7905	7915
VOLUMEN DE MOLDE	cm3	5443	5443	5443
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m3	1463	1452	1454
PROMEDIO		1,457 Kg/M³		

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
PESO DEL MATERIAL + MOLDE	gr.	13650	13520	13680
PESO DEL MOLDE	gr.	5190	5190	5190
PESO DEL MATERIAL COMPACTO	gr.	8460	8330	8490
VOLUMEN DE MOLDE	cm3	5443	5443	5443
PESO UNITARIO COMPACTO	Kg/m3	1554	1530	1560
PROMEDIO		1,548 Kg/M³		

OBSERVACIONES:

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vasquez
Ingeniero Civil
CIP 47627

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr. Eduardo del Aguila # 728 - Pucallpa
Telf. 59-2880 - Cel. 953296802 - RUC N° 20393270868
Correo Electronico: hamiquior2@hotmail.com -geoservpu@hotmail.com

UCAYALI

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORSION DE LOS AGREGADOS (MTC E-205/MTC E-206)

Proyecto : "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

Realizado Por : Boris M. Silva Ipanaque

Solicitante : BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO

Ing. Responsable : Jorge Alarcon Vasquez

Fecha : Abril, 2023

DATOS DE LA MUESTRA

Ubicación :	DEPARTAMENTO UCAYALI	**Estructura:**	Cimentacion
Cantera:	RIO UCAYALI	**Tamaño Maximo:**	0.300 m.m
Máterial:	ARENA	**Fecha:**	Abril, 2023

AGREGADO GRUESO (MTC E-205)

ITEM	DESCRIPCION	UND				
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	gr				
B	Peso Frasco + agua	gr				
C	Peso Frasco + agua + A	gr				
D	Peso del Mat. + agua en el frasco	gr				
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D	gr				
F	Peso material seco en estufa (105°C)	gr				
G	Vol de masa = E - (A - F)	gr				
	Pe bulk (Base seca) = F/E	gr/cm3				
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	gr/cm3				
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	gr/cm3				
	% de absorcion = ((A - F)/F)*100	%				

AGREGADO FINO (MTC E-205)

ITEM	DESCRIPCION	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso Mat Sat. Sup. Seca (En Aire)	gr	1473.4	1461.3	1466.9	
B	Peso Mat Sat. Sup. Seca (En Agua)	gr	838.6	832.4	836.7	
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B	gr	634.8	628.9	630.2	
D	Peso material seco en estufa (105°C)	gr	1456.0	1444.7	1447.8	
E	Vol. de masa = C- (A - D)	gr	617.4	612.3	611.1	
	Pe bulk (Base seca) = D/C	gr/cm3	2.294	2.297	2.297	**2.296**
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	gr/cm3	2.321	2.324	2.328	**2.324**
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	gr/cm3	2.358	2.359	2.369	**2.362**
	% de absorción = ((A - D)/D * 100)	%	1.196	1.149	1.319	**1.221 %**

OBSERVACIONES:

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vásquez
Ingeniero Civil

Anexo 6: Diseño de mezcla de mortero f'c=210 kg/cm^2

GEOSERV - GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr Eduardo del Aguila N° 728 - Pucallpa
Telf. 59-2880 - Cel. 954953681 – 961705732 – RUC N° 20393270668
Correo Electrónico hamojalott2@hotmail.com – geoservpuc@hotmail.com

UCAYALI

DISEÑO DE MEZCLA EMPLEANDO HORMIGON

PROYECTO: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

SOLICITANTE: BACH. CAMAY JULIUS PEREZ NASCIMIENTO

ING. RESPONSABLE: Jorge Alarcón Vásquez
TEC. LABORATORISTA: Boris M. Silva Ipanaque
FECHA: Abril 2023

DISEÑO DE MEZCLA FC 210 KG/CM2

AGREGADO GLOBAL

Consistente en agregado global (Arena), procedente de la cantera "RIO UCAYALI"

Potencia de la cantera del material global(Mortero) = 50,000.00 m3

Con la muestra de arena procedente de la cantera del "RIO UCAYALI"
se han realizado los ensayos y estudios de las muestras remitida para el diseño de mezcla correspondiente

1.00 CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO

La resistencia promedio requerida se determinara de la siguiente manera:

f'c	=	210	kg/cm2					
f'cr	=	f'c	+	84	=	294	kg/cm2	

2.00 CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS DEL MORTERO

Del analisis granulometrico se puede obtener las caracteristicas correspondientes

TAMIZ	DIAMETRO(mm)	RET.ACUMULADO	TAMAÑO MAX. N°				
2½"	63.500	0.00					
2"	50.800	0.00					
1½"	37.500	0.00					
1"	25.400	0.00					
3/4"	19.050	0.00	CLASIFICACION SUCS:				SM
3/8"	9.525	0.00	ARENA LIMOSA Y ARCILLAS				
N° 4	4.760	0.00					
N° 8	2.380	0.00	CLASIF. AASTHO:				-
N° 16	1.200	0.07					
N° 30	0.590	2.16					
N° 50	0.297	24.66					
N° 100	0.149	76.62					
TOTAL		104.51					1.05
TOTAL		23.4	% QUE PASA				

MODULO DE FINEZA	=		104.51	/	100	=	1.05

Modulo de fineza para verificación =			1.05	>	0.35	<	1.25
El modulo de fineza se encuentra dentro de los limites aceptables							
El material fino que pasa la malla N° 200 es		=	23.4	%		% < que el maximo	
permisible que es 8%							
Tamaño maximo nominal		=	N° 8	"			

3.00 MATERIALES

3.10 CEMENTO

-	Portland ASTM tipo I						
-	Peso especifico	=	3.11	kg/cm2			
-	Peso bolsa de cemento	=	42.5	kg/cm2			
-	Volumen bolsa cemento	=	1.0	pie3			

3.20 MORTERO

-	Peso especifico de masa	=	2296	kg/cm3		=	1.30
-	Absorción	=	1.221	%			
-	Contenido de humedad	=	2.30	%		=	0.023
-	Tamaño max. nominal	=	1.190	mm			
-	Peso suelto seco	=	1457				
-	Peso compactado seco	=	1548	kg/m3			
-	Modulo de fineza	=	1.05				

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vásquez
Ingeniero Civil

3.00 AGUA

-	Peso especifico agua	=	1000	kg/cm3	=		1	
-	El agua debe cumplir con las condiciones requeridas para la elaboracion del concreto							

4.00 **SELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO**

De acuerdo a la granulometria del mortero, el tamaño maximo nominal es de 1.190 mm

5.00 **SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO**

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones de colocacion requieren una mezcla de consistencia plastica, a lo que corresponde un asentamiento de 3" a 5

6.00 **VOLUMEN UNITARIO DE AGUA**

El volumen unitario de agua, o agua de diseño, necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño maximo nominal de 0.590 mm es de 186 lts/m3

7.00 **CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO**

Un concreto con agregado cuyo tamaño maximo nominal es de 0.590 sin aire incorporado le corresponde 1.5 % de aire atrapado

8.00 **RELACION DE AGUA CEMENTO**

Para una resistencia promedio correspondiente a 210 Kg cm2, en un concreto sin aire incorporado se encuentra una relacion agua-cemento por resistencia de 0.36

9.00 **FACTOR CEMENTO**

El factor cemento sera:

186	0.364	=	510.50 kg/m3	=	12.01 bolsas/m3

10.00 **VOLUMEN ABSOLUTO DE LA PASTA**

La suma de los volumenes absolutos de los elementos integrantes de la pasta sera:

- Vol. Absoluto de cemento	510.50	3.11	x	1000	=	0.1621 m3
- Vol. Absoluto del agua	186	1	x	1000	=	0.186 m3
- Vol. Absoluto del aire		1.5 %			=	0.015 m3
Vol. Absoluto de pasta					=	0.363 m3

11.00 **VOLUMEN ABSOLUTO DEL MORTERO**

El volumen absoluto del mortero es:

1	-	0.363	0.363	=	0.637	m3

12.00 **PESO SECO DEL MORTERO**

Peso seco del mortero es:

0.637	x	2.30	x	1000	=	1462.41 kg/m3

13.00 **VALORES DE DISEÑO**

Las cantidades de materiales a ser empleados como valores de diseño serán:

-	Cemento	=	510.50 kg/m3
-	Agua de diseño	=	186 lts/m3
-	Mortero	=	1462.41 kg/m3

14.00 **CORRECCION POR HUMEDAD DEL MORTERO**

Peso humedo del mortero

1462.41	x	1.025			=	1498.04 kg/m3

Humedad superficial del mortero

1.498042795	-	1.221			=	=	0.275 %

Aporte de humedad del :

Mortero		1462.41	x	0.011277		=	16.48	lt/m3
Agua efectiva		186	-	21.40		=	164.60	lt/m3

15.00 **PESOS DE LOS MATERIALES YA CORREGIDOS POR HUMEDAD DEL MORTERO**

-	Cemento	=	510.50	kg/m3		
-	Agua efectiva	=	164.60	lts/m3		
-	Mortero humedo	=	1498.04	kg/m3		

GEOSERV E.I.R.L

Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Marcos Vasquez
Ingeniero Civil

16.00 **PROPORCION EN PESO**

La proporción en peso de los materiales sin corregir por humedad del agregado

510.408 / 510.408			1462.408 / 510.408		4.53	lts/saco
1			2.865		24.12	lts/saco

La proporción en peso de los materiales ya corregidos por humedad del agregado

510.408 / 510.408			1499.043 / 510.408		16.48	lts/saco
1			2.931		16.48	lts/saco

17.00 **PESOS POR TANDA DE UN SACO**

- **Relación agua cemento de diseño**

186	/	510.50	=	0.36	

- **Relación agua cemento efectiva**

164.90	/	510.50	=	0.32	

Las cantidades de materiales por tanda de un saco de cemento serán:

- Cemento	1	x	42.5	=	=	42.5	kg/saco
- Agua efectiva				=	=	16.48	lts/saco
- Mortero humedo	2.93	x	42.5	=	=	124.55	kg/m3

18.00 **DOSIFICACION EN VOLUMEN**

- **Mortero**

	Peso suelto seco		=	=	1457	kg/m3	
	Contenido de humedad		=	=	2.300	%	
	- **Peso unitario del mortero**						
	Mortero humedo	1457	x	1.01984	=	1485.91	kg/m3
	- **Peso por pie cubico del mortero**						
	Del mortero	1485.91	/	35	=	42.45	kg/pie3
	De la bolsa de cemento				=	42.5	kg/pie3
	- **Dosificación en volumen**						
	Cemento	42.5	/	42.5	=	1	pie3
	Mortero	124.55	/	42.45	=	2.93	pie3

- Dosificacion en volumen de obra, corregidos por humedad del hormigon, equivalente a la dosificación en peso dado sera:

Cemento	:	Mortero	:	Agua efectiva	
1	:	2.9	:	16.48	lts/saco

19.00 **RECOMENDACIÓN DE LAS PROPORCIONES Y DOSIFICACIONES EN OBRA**

1 Lata concretera		=	20 litros	
1 Lampada standard		=	3.5 litros	
1 Carretilla standard		=	0.046 m3	

Tomando como referencia la dosificación en volumen tenemos que:

La proporcion de	1	2.9	16.48

1	bolsa de cemento de 42.50 kg
2.9	carretillas de mortero
16.48	1.15 latas de agua

Observaciones:

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vásquez
Ingeniero Civil
CIP 47827

Anexo 7: Ensayo de resistencia a la compresión de pobreta de 6”x12

GEOSERV - GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

UCAYALI

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

SOLICITANTE: BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMIENTO

ING. RESPONS.: Jorge Alarcon Vasquez
TECNICO: Boris M. Silva Ipanaque
FECHA : Abril, 2023

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	DESCRIPCION	EDAD	FECHA		RESISTENCIA PREVISTA	RESISTENCIA PREVISTA	DIAMETRO	AREA	DISEÑO	RESIST. OBTENIDA		RESULTADO PORCENTUAL
				Dias	Vaciado	Rotura	Kg/cm2	Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	%	%
01	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	7	09-04-23	16-04-23	295.6	30142	15	176.7	210	170.57	81	80
02	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	7	09-04-23	16-04-23	288.8	29424	15	176.7	210	166.51	79	
03	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	7	09-04-23	16-04-23	283.2	28836	15	176.7	210	163.17	81	
04	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	14	09-04-23	23-04-23	339.9	34609	15	176.7	210	196.13	93	97
05	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	14	09-04-23	23-04-23	368.8	37610	15	176.7	210	212.83	101	
06	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	14	09-04-23	23-04-23	347.8	35442	15	176.7	210	200.56	96	
07	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	28	09-04-23	07-05-23	395.2	40303	15	176.7	210	228.07	109	109
08	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	28	09-04-23	07-05-23	383.5	39103	15	176.7	210	221.28	105	
09	VIGA	4 1/2	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	28	09-04-23	07-05-23	407.8	41587	15	176.7	210	235.34	112	

CALIFICA	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PORCENTAJE (%)
N° DE DATOS - TESTIGOS DE CONCRETO	9	9
CLASIFICA	DISEÑO	97
DESVIACION STANDARD	26.47	12.91
MINIMO	163.51	79.29
PROMEDIO	200.93	97.39
MAXIMO	235.34	112.06

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

RESISTENCIA NOMINAL

EDAD	CONCRETO f'c kg/cm2	f'c = 140 kg/cm2	f'c = 175 kg/cm2	f'c = 210 kg/cm2	f'c = 245 kg/cm2	f'c = 280 kg/cm2	f'c = 315 kg/cm2	f'c = 350 kg/cm2	f'c = 385 kg/cm2	f'c = 420 kg/cm2	f'c = 455 kg/cm2	f'c = 490 kg/cm2
3	33%	46.20	57.75	69.30	80.85	92.40	103.95	115.50	127.05	138.60	150.15	161.70
7	65%	91.00	113.75	136.50	159.25	182.00	204.75	227.50	250.25	273.00	295.75	318.50
14	90%	126.00	157.50	189.00	220.50	252.00	283.50	315.00	346.50	378.00	409.50	441.00
28	99%	138.60	173.25	207.90	242.55	277.20	311.85	346.50	381.15	415.80	450.45	485.10

NOTA: TABLA ELABORADA POR ACI

LIBRA A KILOGRAMOS | LIBRA X 0.4536 | R2814 (1.340) + (89.6)

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vasquez
Ingeniero Civil

Anexo 8: Ensayo de resistencia a la compresión de pobreta de 4”x8”

GEOSERV - GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

UCAYALI

Jr. Eduardo del Aguila N° 728 - Pucallpa
Telf. 56-1880 - Cel. 954953681 – 961705732 – RPM # 954053681 - RUC N° 20393270668
Correo Electronico hjmojatr2@hotmail.com – geoservpuc@hotmail.com

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"

SOLICITANTE: BACH. DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO

ING. RESPONS. Jorge Alarcon Vasquez
TECNICO: Boris Gonzalo Silva Ipanaque
FECHA : 18-08-23

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	TIPO DE CONCRETO	EDAD	FECHA		RESISTENCIA PRENSA	RESISTENCIA PRENSA	DIAMETRO	AREA	DISEÑO	RESIST. OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO
				Dias	Molde	Rotura	Kn	Kg		cm	Kg/cm²	Kg/cm²	%	%
01	VIGA DE MORTERO	4" - 5"	MORTERO	28	21-07-23	18-08-23	246,9	25174	10	78,5	210	320,53	153	-

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
Nº DE DATOS (TESTIGOS DE CONCRETO)	1	1
SUMATORIA	321	153
MINIMO	320,53	152,63
PROMEDIO	320,53	152,63
MAXIMO	320,53	152,63

OBSERVACION:

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

EDAD	COEFICIENTE A LA RESISTENCIA	RESISTENCIA NOMINAL															
		F'C=140 (Kg)	F'C=140	F'C=175 (Kg)	F'C=175	F'C=180 (Kg)	F'C=180	F'C=210 (Kg)	F'C=210	F'C=245 (Kg)	F'C=245	F'C=280 (Kg)	F'C=280	F'C=350 (Kg)	F'C=350	F'C=450 (Kg)	F'C=450
1	17%	4242.00	29,80	5999.00	29,80	5480.00	30,50	6294.00	33,70	7458.00	41,60	8826.00	47,00	10475.00	59,60	12760.00	76,69
2	34%	8525.00	47,80	10468.00	58,50	10783.00	61,10	12768.00	71,49	14603.00	83,21	17050.00	95,20	21414.00	118,03	25466.00	153,02
3	44%	11052.00	61,60	13790.00	77,00	14185.00	79,10	16548.00	92,60	18864.00	106,00	22066.00	123,20	27680.00	154,10	33440.00	197,99
7	68%	17093.00	95,20	21319.00	119,00	21922.00	122,40	25575.00	142,80	29674.00	166,80	34100.00	190,40	42835.00	238,00	51693.00	306,00
10	77%	19307.00	107,80	24142.00	134,80	24823.00	138,80	28960.00	161,70	33616.00	188,80	38616.00	215,60	48285.00	269,60	62083.00	408,51
14	93%	21566.00	123,40	26954.00	158,50	27715.00	154,80	32345.00	180,60	37736.00	210,70	43127.00	240,80	53909.00	301,00	69318.00	398,99
21	93%	23318.00	130,20	29035.00	162,40	29961.00	167,40	34978.00	195,30	40855.00	228,00	46808.00	260,40	58297.00	325,50	74934.00	418,45
28	100%	25076.00	140,00	31343.00	175,00	32238.00	180,00	37611.00	210,00	43890.00	245,00	50148.00	280,00	62685.00	350,00	80565.00	450,00

NOTA: TABLA ELABORADA POR ACI

LIBRA A KILOGRAMOS | LIBRA X 0.4536 | R28=X (1.56) + (89.6)

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Ipanaque
TEC. LABORATORISTA

Ing. Alarcón Vasquez
Ingeniero Civil
CIP 47827

UCAYALI

GEOSERV-GEOTECNICA Y SERVICIOS E.I.R.L

Jr. Eduardo del Aguila # 728 – Pucallpa Telf. 59-2880 - Cel. 961971920 – 961705732 – RPM -#732669-
RUC N° 20393270668Correo Electrónico hsmojado62@hotmail.com -geoservpuc@hotmail.com



FOTO N°01: SE OBSERVA AL PERSONAL TECNICO INICIANDO CON EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



FOTO N°02: SE OBSERVA AL PERSONAL TECNICO CONTINUANDO CON EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Tpanaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcón Vásquez
Ingeniero Civil



FOTO N°03: SE OBSERVA LA FALLA DEL TESTIGO DE CONCRETO DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.



FOTO N°04: SE OBSERVA EL RESULTADO DE LA FALLA DEL TESTIGO DE CONCRETO.

GEOSERV E.I.R.L
Boris M. Silva Panaque
TEC. LABORATORISTA

Jorge Alarcon Vasquez
Ingeniero Civil
CIP 47527

Anexo 9: Ensayo de modulo elástico del mortero

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por ABET — Engineering Technology Accreditation Commission

INFORME

Del	:	Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A	:	DANNY PEREZ NASCIMENTO
Obra	:	TESIS: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"
Ubicación	:	UCAYALI
Asunto	:	Ensayo de Modulo Elastico del Concreto
Expediente N°	:	23-0930-2
Recibo N°	:	80554
Fecha de emisión	:	17/05/2023

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 05 probetas cilindricas de mortero de 15 x 30 cm. 02 para compresión y 03 para Módulo Elastico Estático.

2. DEL EQUIPO : Máquina MÁQUINA TOKYOKOKI SEIZOSHO
Certificado de Calibración LF-B-049-2023

3. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia ASTM C-469 Método de Ensayo Estándar para determinar el Módulo Elástico Estático del concreto a compresión.

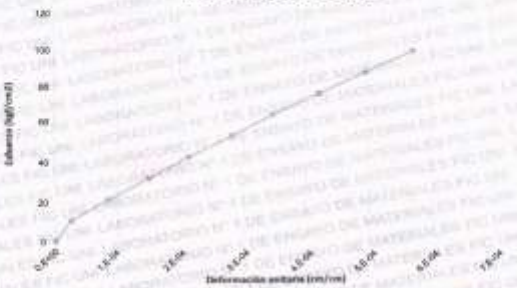
4. RESULTADOS :

Fecha de ensayo : 17/05/2023

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIAMETRO (cm)	CARGA MAXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm2)
MORTERO 1	13/04/2023	17/05/2023	15.22	40930	225
MORTERO 2	13/04/2023	17/05/2023	15.22	41331	227

Cargas (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Unitaria (cm/cm)
0	0.00	0.000000
1500	8.24	0.000042
3000	16.49	0.000081
4500	24.73	0.000124
6000	32.98	0.000164
7500	41.22	0.000211
9000	49.27	0.000255
10500	57.71	0.000301
12000	65.96	0.000354
13500	74.20	0.000405
15000	82.45	0.000456
Módulo Elástico Estático [kgf/cm²]	**176760**	

MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO



5. OBSERVACIONES : 1) La información referente al muestreo, procedencia, calidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por: Mag. Ing. M. A. Tejada S.
Técnico: Sr. A.S.V.

Ing. Oscar Miranda Hospinal
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001
Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381 - 3343
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046
www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO
Obra : TESIS: "PROPUESTA METODOLOGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI"
Ubicación : UCAYALI
Asunto : Ensayo de Tracción en Aceros
Expediente N° : 23-0934
Recibo N° : 80558
Fecha de emisión : 18/05/2023

1.0. DE LA MUESTRA : Consistente en una varilla de acero corrugado de la marca SIDER PERÚ.

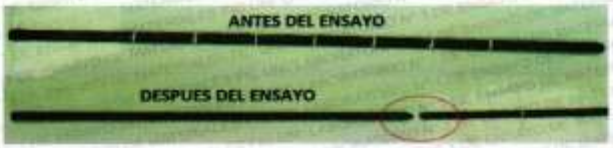
2.0. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHO
Certificado de calibración CMC-054-2022

3.0. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia NTP 350.405:2019
Procedimiento interno AT-PR-10.

4.0. RESULTADOS :

Fecha de Ensayo: 18/05/2023

MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL NOMINAL	ÁREA (mm²)	CARGA LÍMITE DE FLUENCIA (Kg)	TENSIÓN LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/mm²)	CARGA APLICADA (Kg)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/mm²)	DEFORMACIÓN (mm)	ELONGACIÓN FINAL (%)
SIDER PERÚ	8 mm	50	2320	46,4	3400	68,0	32	16,0



5.0. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Lic. J. Basilio R.
Técnico : A.S.V.

J.B.P.

Ing. Oscar Miranda Hospinal
Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:
1) Se prohíbe la reproducción o modificación de este informe sin previa autorización del laboratorio.
2) Este informe solo brinda resultados sobre las muestras que han sido ensayadas.

Anexo 10: Ensayo para determinar la curva esfuerzo – deformación

Laboratorio de Estructuras Antisísmicas - LEDI

PUCP

INFORME DE ENSAYOS

EXPEDIENTE	**INF-LE 245-23**
SOLICITANTE	**DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO** Jr. Victor Montalvo 243
TITULO	**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO A PARTIR DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN AXIAL EN PROBETAS CILÍNDRICAS FABRICADAS POR EL CLIENTE**
Proyecto:	**PROPUESTA METODOLÓGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI** **UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**
FECHA	31 de Agosto de 2023

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ – Laboratorio de Estructuras Antisísmicas

Ing. Daniel Torrealva D.
Jefe de Laboratorio de
Estructuras Antisismicas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T: 51-1 626-2000 anexo 4640
ledi@pucp.pe
www.pucp.edu.pe

TABLA N°1.- RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE PROBETAS DE CONCRETO

ENSAYO: MODULO DE ELASTICIDAD DE PROBETAS DE CONCRETO
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C469
SOLICITANTE: DANNY JULIUS PEREZ NASCIMENTO
MUESTRAS: PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO CONSTRUIDAS POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA: PROPUESTA METODOLÓGICA DE DISEÑO DE VIGAS DE MORTERO ARMADO EN EL DEPARTAMENTO DE UCAYALI
CONDICIONES MUESTRA: En condiciones de recepción.
COND. AMBIENTALES: Ensayo en condiciones ambientales de Lima: (T = 21°C y 74% H.R., aprox.)

Testigo N°	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Edad días	Diam. (mm)	Carga máxima (kN)	Carga máxima (kg)	R'c MPa	R'c kg/cm²	E MPa	E kg/cm²	Tipo Falla
1. M1 FC210	2023-07-23	2023-08-29	37	101.8	300.4	30616	36.94	376.5	22819	232610	1
2. M2 FC210	2023-07-23	2023-08-29	37	101.8	271.0	27620	33.29	339.3	22076	225036	1
3. M5 FC210	2023-07-23	2023-08-29	37	102.2	302.7	30851	36.93	376.4	22355	227880	1
						Prom.:	35.7	364.1	22417	228509	
						D.E.:	2.1	21.4	375	3826	
						C.V.(%) :	5.89	5.9	1.67	1.67	

Donde:

P máx: Carga máxima aplicada, expresada en kilo Newton (kN) y en kilogramos (kg)

R'c: Resistencia a compresión de la probeta, expresada en MPa y en kg/cm²

E: Módulo de elasticidad de la probeta, expresado en MPa y en kg/cm²

Falla : 1:Conos bien formados en ambas bases / 2:Cono en una base con grietas verticales / 3:Grietas verticales columnares / 4:Corte 5:Fractura a un lado de la base inferior o superior /6:Fractura en todo el perímetro de una base

Prom.: Promedio de los valores R'c individuales, en los sistemas de unidades indicados

D.E.: Desviación estándar de los valores de R'c, en los sistemas de unidades correspondientes

C.V.(%) : Coeficiente de variación expresado en porcentaje

Notas:

Las probetas fueron construidas e identificadas por el solicitante.

Las probetas fueron refrentadas en sus extremos por personal del Laboratorio.

La medición de la deformación axial fue realizada mediante galgas extensométricas colocadas diametralmente opuestas en las probetas, el modulo de elásticidad se calculó con el promedio de ambas lineas de medición.

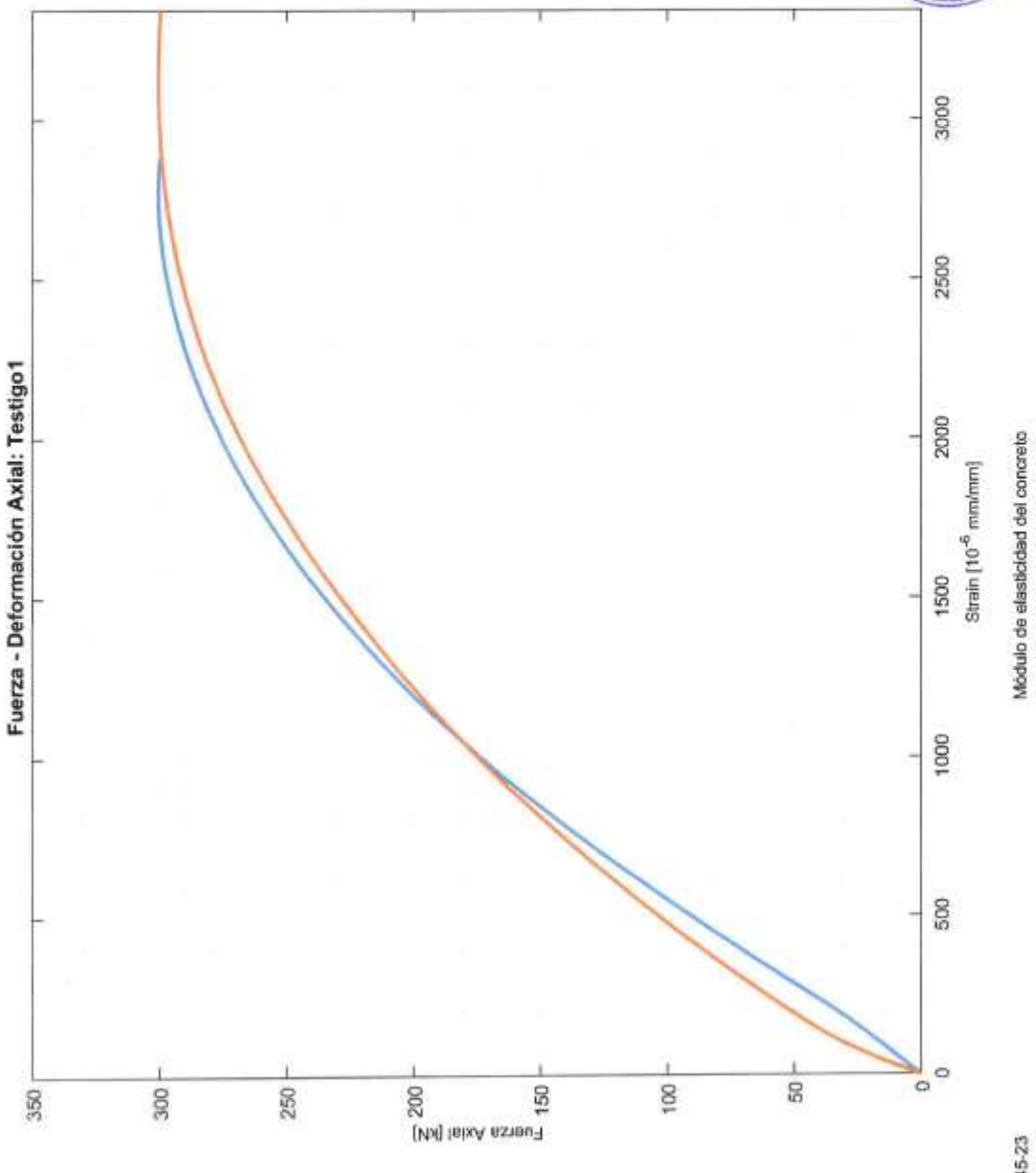
Los ensayos de compresión fueron realizados en una Máquina de Ensayos con Celda de Carga, calibrada contra Celda Patrón, trazable internacionalmente

Los resultados presentados, son válidos únicamente para los testigos ensayados y no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad del producto

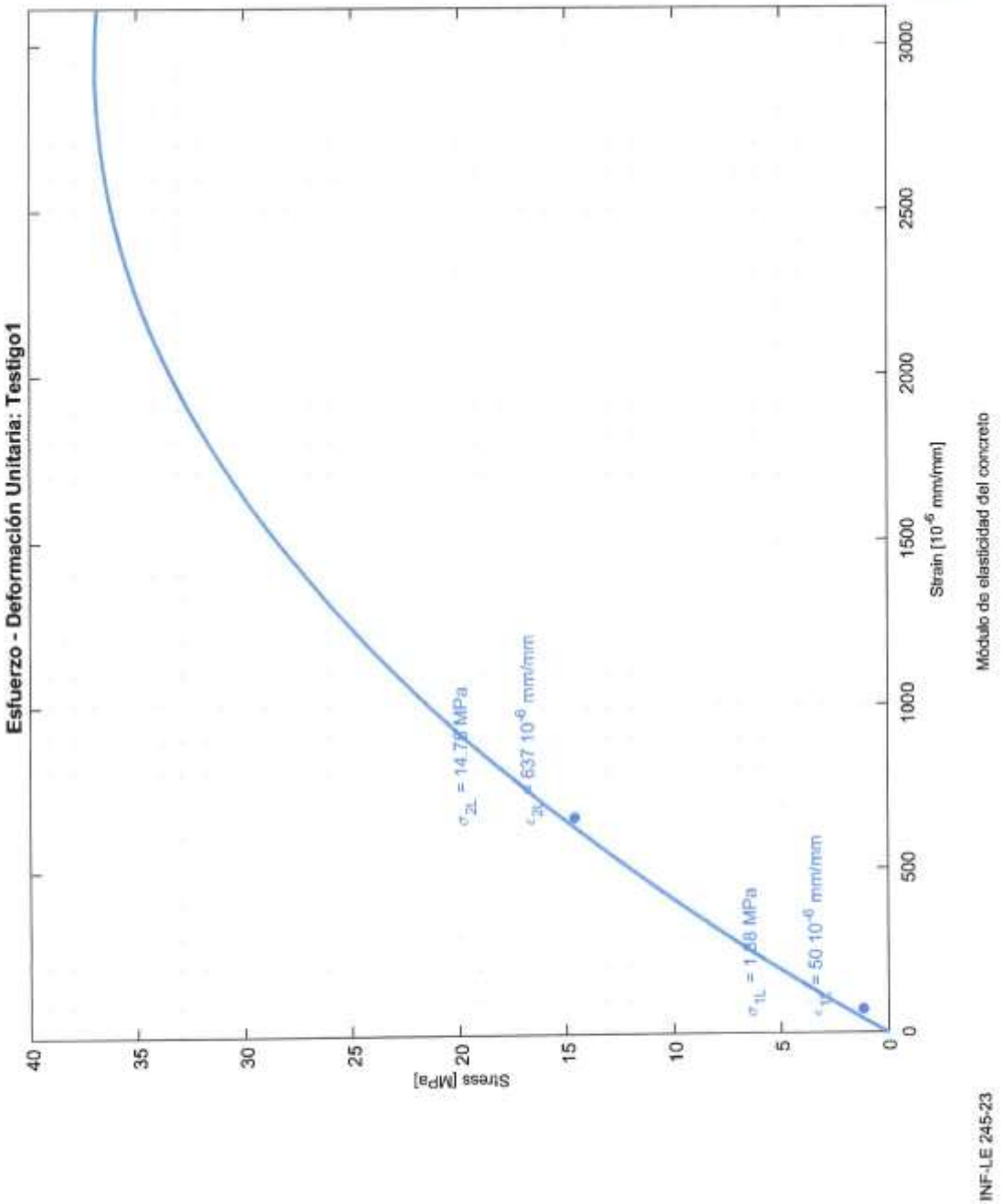
Este informe consta de ocho (8) páginas en total, incluyendo carátula, tres registros gráficos locales Carga(KN)-Deformación Unitaria (10^-6 mm/mm) y tres gráficos Esfuerzo(MPa)-Deformación Unitaria Promedio (10^-6 mm/mm) calculados en base a los registros de los ensayos.

Se prohibe su reproducción parcial, sin autorización expresa del Laboratorio.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Laboratorio de Estructuras Antisísmicas
PONTIFICIA UNIVERSIDAD

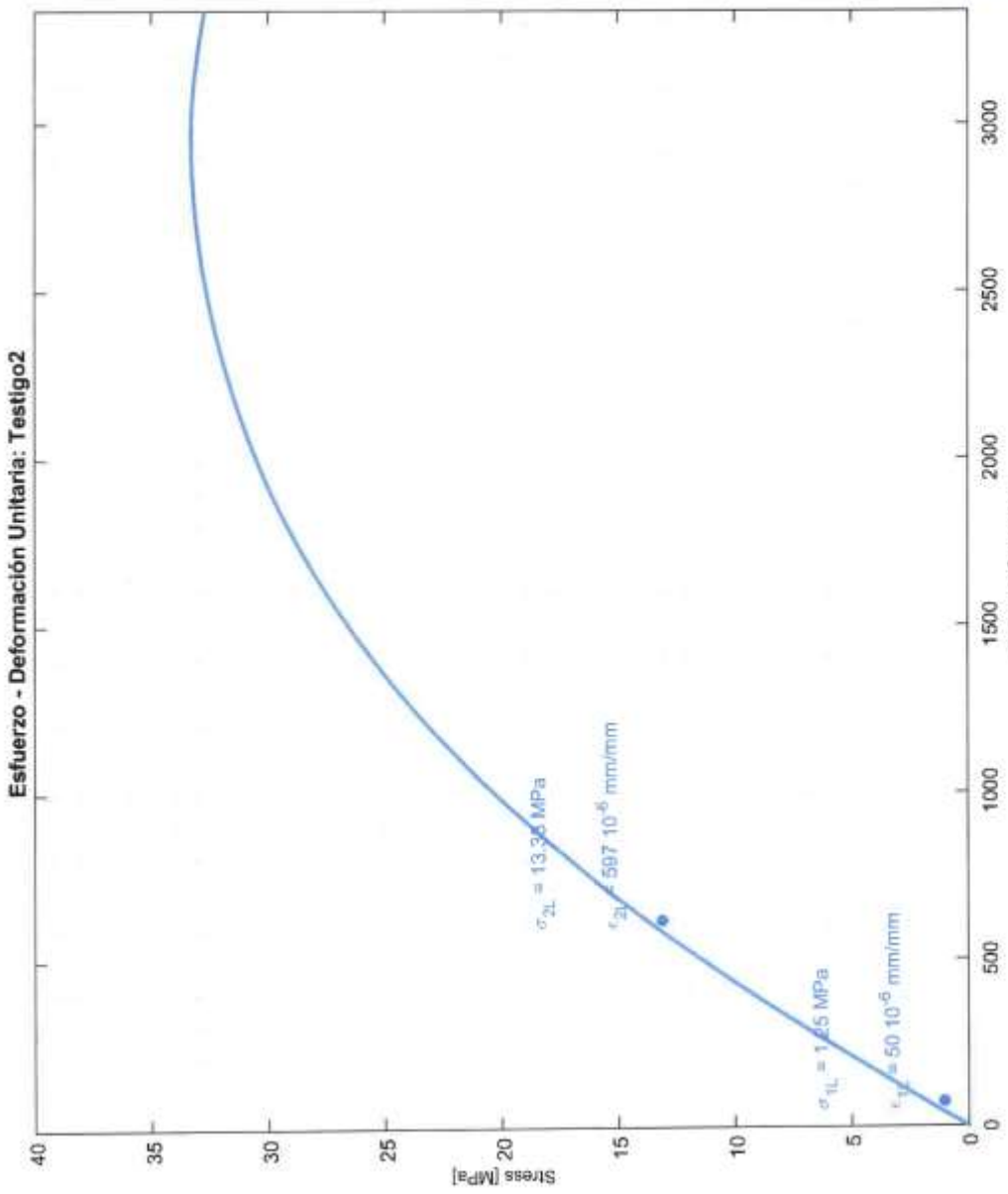


Módulo de elasticidad del concreto


Esfuerzo - Deformación Unitaria: Testigo1
Stress [MPa]
Strain [10^-6 mm/mm]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
σ2L = 14.78 MPa
ε2L = 637 10^-6 mm/mm
σ1L = 1.68 MPa
ε1L = 50 10^-6 mm/mm
Módulo de elasticidad del concreto

INF-LE 245-23

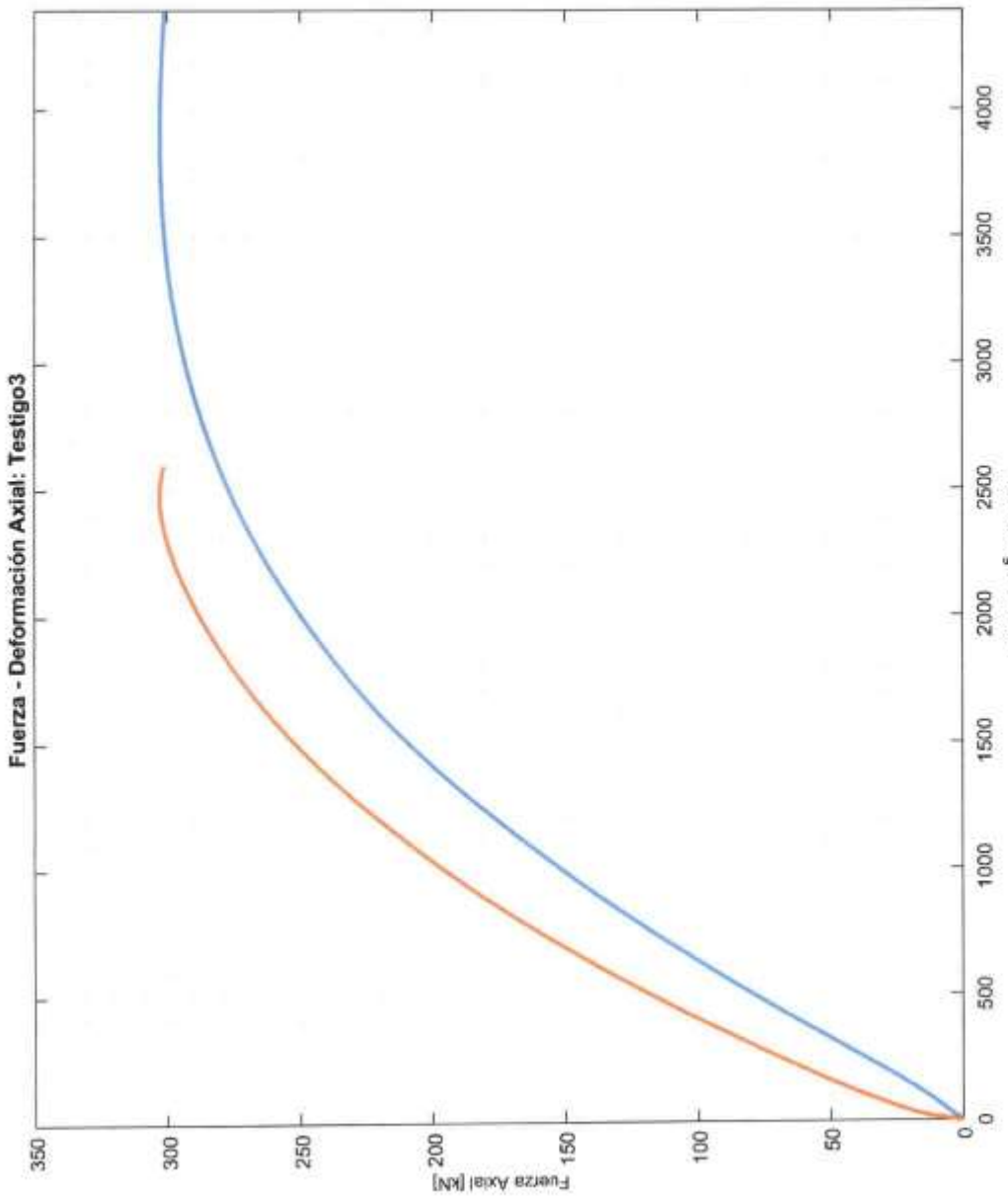
Módulo de elasticidad del concreto



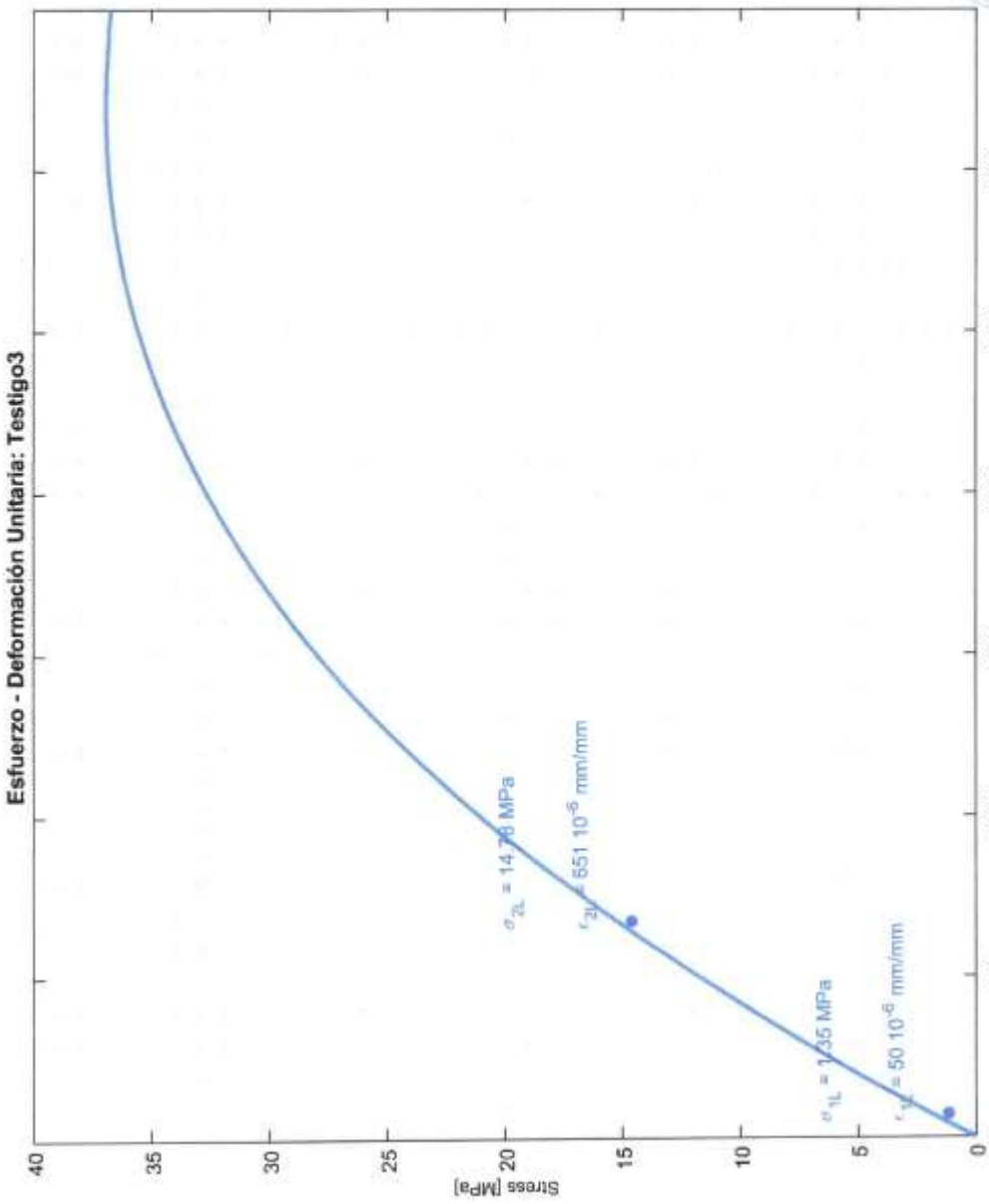
Módulo de elasticidad del concreto

INF-LE 245-23

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Laboratorio de Estructuras Antisísmicas
FOLIO 7



Módulo de elasticidad del concreto



Módulo de elasticidad del concreto

INF-LE 245-23