

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS: “COMPARACIÓN DE LA SEPARACIÓN DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACIÓN EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”.

**Tesis presentada para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil
presentado por:**

BACH. APAZA AMAU, CARLOS

BACH. MONTERROSO ORTIZ DE ZEVALLOS, CESAR K.

Jurados:

Mgt. Ing°. ADRIEL GAMARRA DURAND.

Ing°. JOSE FELIPE AZPILCUETA CARBONELL.

Ing°. LUZ MARLENE NIETO PALOMINO.

Tesis financiada por la UNSAAC

CUSCO-PERÚ

2017

INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	2
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. TITULO.....	2
1.2. AREA DE INVESTIGACION.....	2
1.3. AUTORES.....	2
1.4. INSTITUCION.....	2
1.5. LOCALIZACION.....	2
CAPITULO II.....	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	3
2.2. PROBLEMA GENERAL.....	3
2.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	3
2.4. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	4
2.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	5
2.5.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	5
2.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
2.6. FORMULACION DE LA HIPOTESIS.....	5
2.6.1. HIPOTESIS GENERAL.....	5
2.6.2. HIPOTESIS ESPECIFICA.....	5
2.7. IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES.....	6
2.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	6
2.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	6
2.8. LIMITACIONES Y VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION.....	6
2.8.1. LIMITACIONES.....	6
2.8.2. VIABILIDAD.....	7
CAPITULO III.....	8
3. MARCO TEORICO.....	8
3.1. ANTECEDENTES.....	8
3.2. COMPORTAMIENTO DE SECCIONES DE CONCRETO ARMADO.....	10
3.2.1. CONCRETO SIMPLE.....	10
3.2.2. ACERO DE REFUERZO.....	11
3.2.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL ENTRE EL CONCRETO Y EL ACERO.....	12

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

3.2.4.	COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.	13
3.2.4.1.	ETAPA DEL CONCRETO NO AGRIETADO	13
3.2.4.2.	ETAPA DEL CONCRETO FISURADO	14
3.2.4.3.	ETAPA DE RESISTENCIA ULTIMA-FALLA	15
3.2.5.	TIPOS DE FISURAS:	17
3.2.5.1.	FISURA DE FLEXIÓN	17
3.2.5.2.	FISURA POR TRACCIÓN DIAGONAL	17
3.2.5.3.	FISURA DE FLEXO- TRACCIÓN	18
3.2.6.	MECANISMOS DE RESISTENCIA	19
3.2.6.1.	ESFUERZO CORTANTE	19
3.2.6.2.	MECANISMOS DE RESISTENCIA EN VIGAS SIN REFUERZO TRANSVERSAL	20
3.2.6.3.	MECANISMOS DE RESISTENCIA EN VIGAS CON REFUERZO TRANSVERSAL	27
3.2.7.	FALLAS EN UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO:	29
3.2.7.1.	FALLAS EN UNA VIGA SOMETIDA A FLEXION SIMPLE Y CORTE APRECIABLE:	30
3.2.7.2.	FALLAS EN UNA VIGA SOMETIDA A FLEXION SIMPLE Y CORTE APRECIABLE:	33
3.3.	RESPUESTA ESPERADA PARA UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SOMETIDA A CARGA ESTATICA.	37
3.3.1.	CURVA CARGA DEFORMACION:	37
3.3.2.	DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA:	38
3.3.2.1.	CURVATURA DE UN MIEMBRO	39
3.3.2.2.	LIMITES DE DEFORMACION PARA EL ANALISIS MOMENTO CURVATURA	40
3.3.2.3.	DUCTILIDAD	45
3.4.	REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y ANALISIS PARA UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SEGÚN LA NORMA E-060.	47
3.4.1.	REQUERIMIENTOS A FLEXION:	47
3.4.2.	REQUERIMIENTOS POR CORTE:	50
3.4.3.	ANCLAJES Y LONGITUD DE DESARROLLO:	53
3.4.3.1.	ANCLAJES:	53
3.4.3.2.	LONGITUD DE DESARROLLO	53
3.4.3.3.	LONGITUD DE DESARROLLO DE ACUERDO A LA NORMA E-060	54
3.4.3.4.	DETALLES DEL REFUERZO DE ACUERDO A LA NORMA E-060.	59
3.4.3.5.	DETALLES DEL REFUERZO:	61
CAPITULO IV		63

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	63
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	64
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	64
CAPITULO V	65
5. TRABAJO EXPERIMENTAL REALIZADO Y/O ENSAYOS EXPERIMENTALES ..	65
5.1. ENSAYOS PRELIMINARES EN LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO	65
5.2. ENSAYOS DEFINITIVOS EN LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO	78
5.3. MATERIALES EMPLEADOS:	79
5.3.1. ENCOFRADOS	79
5.3.2. CONCRETO	80
5.3.3. ACERO	81
5.4. DISEÑO DE LA VIGA MODELO:	82
5.4.1. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA VIGA MODELO	82
5.4.2. DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO F’C=210kg/cm²	86
5.5. REALIZACIÓN DE LAS VIGAS	88
CAPITULO VI	94
6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VIGAS ENSAYADAS:	94
6.1. ANALISIS Y COMPORTAMIENTO TEORICO DE LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO	94
6.1.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA	94
6.1.1.1. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO SIN REFUERZO TRANSVERSAL	94
6.1.1.2. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=8.5cm	96
6.1.1.3. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=10.0 cm	98
6.1.1.4. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=15.0 cm	100
6.1.1.5. COMPARACION TEORICA ENTRE DIAGRAMAS MOMENTO CURVATURA DE LAS VIGAS MODELO	102
6.1.2. DIAGRAMA CARGA DEFLEXION	103
6.1.2.1. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO SIN REFUERZO TRANSVERSAL	103
6.1.2.2. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=8.5 cm	105

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.2.3.	CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=10.0 cm	107
6.1.2.4.	CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=15.0 cm	109
6.2.	DISEÑO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES, PREPARACION DE LOS ENSAYOS:	111
6.3.	EXPERIMENTACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXION.	113
6.3.1.	RESULTADOS DE LAS VIGAS MODELO ENSAYADAS	113
6.3.1.1.	VIGAS TIPO 1, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=8.5cm	113
6.3.1.2.	VIGAS TIPO 2, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=10.0cm	133
6.3.1.3.	VIGAS TIPO 3, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=15.0cm	143
6.3.2.	ELABORACION DE LOS DIAGRAMAS ESFUERZO- DEFORMACION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.	156
6.3.2.1.	CALCULO DE PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN NO AGRIETADA. .	156
6.3.2.2.	CALCULO DE PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN AGRIETADA. ..	156
6.3.2.3.	DIAGRAMAS ESFUERZO- DEFORMACION	157
6.3.2.4.	CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS	165
6.3.3.	COMPARACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS VIGAS ENSAYADAS.	167
6.3.3.1.	SERIE 1:.....	169
6.3.3.2.	SERIE 2:.....	185
6.3.3.3.	CUADROS DE RESUMEN DE RESULTADOS DE COMPARACION	201
CAPITULO VII		202
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		202
7.1. CONCLUSIONES.....		202
7.2. RECOMENDACIONES		205
LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA.		206
BIBLIOGRAFÍA		207
ANEXOS		208

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de desarrollo de barras en tracción.....	55
Tabla 2. Factores de modificación de las longitudes de desarrollo.	56
Tabla 3. Diámetros interiores mínimos de doblado:.....	61
Tabla 4. Características de las vigas modelo para los ensayos preliminares.	65
Tabla 5. Resultados Obtenidos en la viga V-E	66
Tabla 6. Resultados Obtenidos en la viga V-F	68
Tabla 7. Resultados Obtenidos en la viga V-A.....	70
Tabla 8. Resultados Obtenidos en la viga V-B.....	72
Tabla 9. Resultados Obtenidos en la viga V-C.....	74
Tabla 10. Resultados Obtenidos en la viga V-D.....	76
Tabla 11. Acero longitudinal y acero transversal dispuestos en vigas realizadas.....	79
Tabla 12. Número de Tandadas	81
Tabla 13. Proporción de miento del Diseño de Mezclas por Tanda.....	86
Tabla 14. Resumen de Resultados de la Rotura de Briquetas.....	87
Tabla 15. Cuadro de resumen de valores de los Diagramas Momento- Curvatura teóricos para de las vigas modelo.	102
Tabla 16. Disposición Principal de Comparación	112
Tabla 17. Resultados obtenidos en la viga V-A1	113
Tabla 18. Resultados obtenidos en la viga V-A2	116
Tabla 19. Resultados observados y obtenidos en la viga V-A3	118
Tabla 20. Resultados obtenidos en la viga V-4A	120
Tabla 21. Resultados obtenidos en la viga V-A5	122
Tabla 22. Resultados obtenidos en la viga V-A6	124
Tabla 23. Resultados obtenidos en la viga V-A7	127
Tabla 24. Resultados observados y obtenidos en la viga V-A8	129
Tabla 25. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 1.....	131
Tabla 26. Porcentajes de variación en vigas tipo 1	131
Tabla 27. Resultados obtenidos en la viga V-B1.....	133
Tabla 28. Resultados obtenidos en la viga V-B2.....	135
Tabla 29. Resultados obtenidos en la viga V-3B.....	137
Tabla 30. Resultados obtenidos en la viga V-B4.....	139
Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 2.....	141
Tabla 32. Resultados obtenidos en la viga V-C1.....	143
Tabla 33. Resultados obtenidos en la viga V-C2.....	145
Tabla 34. Resultados obtenidos en la viga V-C3.....	148
Tabla 35. Resultados obtenidos en la viga V-C4.....	151
Tabla 36. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 3.....	154
Tabla 37. Resumen de valores de resistencia a la flexión en el momento de agrietamiento	165
Tabla 38. Resumen de valores de Resistencia a la flexión en el momento de fluencia.....	166
Tabla 39. Características de las los tipos de Vigas	167
Tabla 40. Sistema de Comparación	168
Tabla 41. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A1 y V-B1.	170
Tabla 42. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A2 y V-B2	174
Tabla 43. Comparación de resultados observados y obtenidos de las vigas V-A3 y V-B3	178
Tabla 44. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A4 y V-B4	182

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 45. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A5 y V-C1	186
Tabla 46. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A6 y V-C2.	189
Tabla 47. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A7 y V-C3	194
Tabla 48. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A8 y V-C4	198
Tabla 49. Cuadro de resumen de comparación de las vigas modelo de la serie 1	201
Tabla 50. Cuadro de resumen de comparación de las vigas modelo de la serie 2	201

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Esfuerzo Deformación del Concreto.	11
Figura 2. Diagrama de Esfuerzo Deformación del Acero	12
Figura 3. Estado no Agrietado de una Viga de Concreto Armado.....	13
Figura 4. Viga en Estado fisurado	14
Figura 5. Distribución de deformación unitaria y de esfuerzos internos para una Sección Fisurada	15
Figura 6. Viga en la Etapa de Resistencia Última.	16
Figura 7. Distribución de deformación unitaria y de esfuerzos internos para una Sección en la Resistencia Última-Falla	17
Figura 8. Fisuras de Flexión.	17
Figura 9. Fisuras por Tracción Diagonal.....	18
Figura 10. Fisura producida por Flexo-Compresión.	18
Figura 11. Trayectoria de Esfuerzos Principales en una Viga Isotrópica Homogénea	19
Figura 12. Mecanismos Resistentes del Esfuerzo Cortante en una Sección Fisurada	21
Figura 13. Esfuerzo debido al engranamiento de los agregados	22
Figura 14. Mecanismo del Efecto Pasador contribuyendo a Cortante sobre una Fisura	24
Figura 15. Deslizamiento asociado con la acción de Arco en una viga Idealizada	26
Figura 16. Mecanismos de Resistencia en una viga con Estribos.	28
Figura 17. Para una sección controlado por Tensión	30
Figura 18. Para una sección controlado a Compresión.....	31
Figura 19. Falla Balanceada.	31
Figura 20. Diagrama de Deformación Unitaria para las tres condiciones de falla.	32
Figura 21. Agrietamiento de una Viga sometidas a Carga	32
Figura 22. Grafico Carga –Deflexión de secciones de vigas con porcentajes variables de acero. ...	33
Figura 23. Falla en Tensión Diagonal.....	34
Figura 24. Falla por compresión por Corte.....	35
Figura 25. Falla en Adherencia por Corte.....	36
Figura 26. Comportamiento de la curva carga –deflexión de un miembro a flexión.	37
Figura 27. Representación Gráfica de la Curvatura de un miembro.....	39
Figura 28. Representación Gráfica de la curvatura de una sección de Concreto Armado	40
Figura 29. Diagrama Momento Curvatura Típica para una viga de Concreto Armado.....	40
Figura 30. Sección de Viga en el Momento de fisuración.	41
Figura 31. Consideraciones para una sección a la Primera fluencia del Acero	42
Figura 32. Sección de viga en el Momento de Falla.	44
Figura 33. Diagrama Equivalente de Esfuerzos	44
Figura 34. Diagrama Momento –Curvatura Trilineal Aproximado.....	46
Figura 35. Sección de viga, diagrama de deformaciones unitarias y diagrama de esfuerzos equivalentes.....	49
Figura 36. Condiciones de apoyo y de aplicación de las carga extremas en las cuales se puede reducir la fuerza Vu de diseño a “d” de la cara.....	50
Figura 37. Condiciones de apoyo y de aplicación de las carga extremas en las cuales no se puede reducir la fuerza Vu de diseño.....	51
Figura 38. Condición para la longitud de desarrollo de barras en tracción.	55
Figura 39. Longitud de anclaje con gancho estándar.....	57

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

Figura 40. Casos en los que se puede multiplicar ldg por 0.70.....	58
Figura 41. Cosos con gancho estándar a 90° en los que se puede multiplicar ldg por 0.80.....	58
Figura 42. Caso con gancho estándar a 180° en el que se puede multiplicar ldg por 0.80.....	59
Figura 43. Ganchos de barras longitudinales, estribos y grapas complementarias.....	60
Figura 44. Diagramas interiores mínimos de doblado de barras.....	61
Figura 45. Diagrama Carga – Deflexión viga V-E separación S=8.5cm.....	66
Figura 46. Ensayo de flexión en la Maquina Universal de la viga V-E.....	67
Figura 47. Aspecto final del ensayo de la viga V-E.....	67
Figura 48. Diagrama Carga – Deflexión viga V-F (Separación S=8.5cm).....	68
Figura 49. Aspecto en la viga en el proceso de ensayo de la viga de prueba V-F.....	69
Figura 50. Diagrama Carga – Deflexión viga V-A (Separación S=10.0cm.).....	70
Figura 51. Momento de agrietamiento de la viga V-A.....	71
Figura 52. Aspecto final de la viga V-A.....	71
Figura 53. Diagrama Carga – Deflexión viga V-B (Separación S=10.0cm.).....	72
Figura 54. Fisura debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo de la viga V-B.....	73
Figura 55. Aspecto final de la viga V-B.....	73
Figura 56. Diagrama Carga – Deflexión viga V-C (Separación S=15.0cm.).....	74
Figura 57. Inicios de la fisura inclinada debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo.....	75
Figura 58. Aspecto final de la viga V-C.....	75
Figura 59. Diagrama Carga – Deflexión viga V-D (Separación S=15.0cm.).....	76
Figura 60. Efectos de la aplicación de carga a la viga V-D.....	77
Figura 61. Aspecto final de la viga V-D en la falla.....	77
Figura 62. Encofrados habilitados de Triplay fenólico.....	80
Figura 63. Barras y diámetros de acero corrugado empleados en las armaduras de las vigas.....	82
Figura 64. Dimensiones de la Viga Modelo.....	83
Figura 65. Sección Típica de la viga Modelo.....	84
Figura 66. Viga Modelo Tipo 1 de acuerdo a Diseño, con una separación de estribos S=8.5cm.....	85
Figura 67. Diseño de la viga modelo Tipo 2, que representa la separación empírica de estribos colocados en obra. S=10cm.....	85
Figura 68. Diseño de la viga modelo Tipo 3, que representa la separación empírica de estribos colocados en obra. S=15cm.....	86
Figura 69. Habilitado de los estribos.....	88
Figura 70. Armado de vigas acorde a lo estipulado en el diseño - laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.....	89
Figura 71. Colocado de armadura de acero en los encofrados.....	89
Figura 72. Ensayo de consistencia del concreto mediante el cono de Abrams.....	90
Figura 73. Vaciado de vigas.....	91
Figura 74. Curado de vigas y probetas cilíndricas de concreto.....	91
Figura 75. Vigas de Concreto Armado después de Curado.....	92
Figura 76. Lijado de la superficie de apoyo.....	93
Figura 77. Vigas listas para el ensayo.....	93
Figura 78. Diagrama Momento – Curvatura Teórico para una Viga sin refuerzo Transversal.....	95
Figura 79. Diagrama Momento - Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Estribos S= 8.5 cm.....	97
Figura 80. Diagrama Momento -Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Estribos S= 10.0 cm.....	99

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 81. Diagrama Momento -Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Estribos S= 15.0 cm	101
Figura 82. Diagramas Momento –Curvatura teórico para las vigas modelo.....	102
Figura 83. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga sin Refuerzo Transversal.	104
Figura 84. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=8.5 cm	106
Figura 85. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=10.0 cm	108
Figura 86. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=15.0 cm	110
Figura 87. Esquema de Aplicación de Cargas.	111
Figura 88. Diagrama de Cortantes y Momentos Flectores.	111
Figura 89. Viga de concreto Armado Dispuesta para el ensayo.....	112
Figura 90 Diagrama de carga – deflexión V-A1.	114
Figura 91. Aspecto de viga V-A1 concluido el ensayo	115
Figura 92 Diagrama de carga – deflexión V-A2	116
Figura 93. Aspecto de viga V-A2 concluido el ensayo	117
Figura 94. Diagrama de carga – deflexión V-A3	119
Figura 95. Aspecto de viga V-A2 concluido el ensayo	120
Figura 96 Diagrama de carga – deflexión V-A4	121
Figura 97. Aspecto de viga V-A4 concluido el ensayo	122
Figura 98 Diagrama de carga – deflexión V-A5	123
Figura 99. Aspecto de viga V-A5 concluido el ensayo	124
Figura 100. Diagrama de carga – deflexión V-A6	125
Figura 101. Aspecto de viga V-A6 concluido el ensayo	126
Figura 102 Diagrama de carga – deflexión V-A7	127
Figura 103. Aspecto de viga V-A7 concluido el ensayo	128
Figura 104. Diagrama de carga – deflexión V-A8	129
Figura 105. Aspecto de viga V-A8 concluido el ensayo	130
Figura 106 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 1.....	132
Figura 107 Diagramas de carga – deflexión promedio de vigas tipo 1	132
Figura 108 Diagrama de carga – deflexión V-B1	133
Figura 109. Aspecto de viga V-B1 concluido el ensayo	134
Figura 110. Diagrama de carga – deflexión V-B2	135
Figura 111. Aspecto de viga V-B2 concluido el ensayo	136
Figura 112 Diagrama de carga – deflexión V-B3	137
Figura 113. Aspecto de viga V-A8 concluido el ensayo	138
Figura 114. Diagrama de carga – deflexión V-B4.	139
Figura 115. Aspecto de viga V-B4 concluido el ensayo	140
Figura 116. Diagramas de carga – deflexión de las vigas tipo 2.....	142
Figura 117 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 2.....	142
Figura 118. Diagrama de carga – deflexión V-C1.	143
Figura 119. Aspecto de viga V-C1 concluido el ensayo	145
Figura 120. Diagrama de carga – deflexión V-C2.	146
Figura 121. Aspecto de viga V-C2 concluido el ensayo	147
Figura 122. Diagrama de carga – deflexión V-C3.	148
Figura 123. Aspecto de viga V-C3 concluido el ensayo	149

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 124. Aspecto de viga V-C3 concluido el ensayo parte superior	150
Figura 125. Diagrama de carga – deflexión V-C4	151
Figura 126. Aspecto de viga V-C4 concluido el ensayo	152
Figura 127. Aspecto de viga V-4C concluido el ensayo parte superior	153
Figura 128. Diagramas de carga – deflexión promedio de vigas tipo 3	154
Figura 129. Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 3.....	155
Figura 130 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 1,2 y -3.....	155
Figura 131. Diagrama esfuerzo – deformación hasta la fluencia de la viga V-A1	157
Figura 132. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-2A	157
Figura 133. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A3.....	158
Figura 134. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A4.....	158
Figura 135. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A5.....	159
Figura 136. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A6	159
Figura 137. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A7	160
Figura 138. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A8	160
Figura 139. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-B1.....	161
Figura 140. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-B2.....	161
Figura 141. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-B3	162
Figura 142. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-B4	162
Figura 143. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C1	163
Figura 144. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C2	163
Figura 145. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C3	164
Figura 146. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C4	164
Figura 147. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A1 y V-B1	169
Figura 148. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A1 y V-B1	171
Figura 149. Comparación fotográfica de fisuras de vigas V-A1 y V-B1.	172
Figura 150. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A2 y V-B2	173
Figura 151. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A2 y V-B2	174
Figura 152 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A2 y V-B2	176
Figura 153 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A3 y V-B3	177
Figura 154. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A3 y V-B3	179
Figura 155. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A3 y V-B3	180
Figura 156 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A4 y V-B4	181
Figura 157. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A4 y V-B4	183
Figura 158. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A4 y V-B4	184
Figura 159 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A5 y V-C1	185
Figura 160. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A5 y V-C1	187
Figura 161 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A5 y V-C1	188
Figura 162. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A6 y V-C2	189
Figura 163. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A6 y V-C2	191
Figura 164. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A6 y V-C2	192
Figura 165. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A7 y V-C3	193
Figura 166. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A7 y V-C3	195
Figura 167. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A7 y V-C3	196
Figura 168. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A8 y V-C4	197
Figura 169. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A8 y V-C4	199
Figura 170. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A8 y V-C4	200

DEDICATORIAS

A Dios todo poderoso que siempre está presente guiándome, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, y por permitirme culminar una etapa más de mi vida.

A mis padres que lo dieron todo por mí y que siempre estarán en mi corazón.

A mis hermanos que me enseñaron lo bueno y lo malo en la vida - especialmente - a mi hermano Armando, por todo el cariño, apoyo incondicional y aliento constante.

A mis familiares cercanos y a la persona especial que siempre ha estado a mi lado dándome todo el apoyo.

Asimismo, a todos y cada uno de mis amigos verdaderos, que también aportaron con sus buenas intenciones y ánimos.

A todos ustedes mi sincero agradecimiento y gracias infinitas.

CARLOS APAZA AMAU

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La presente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su ayuda pude concluir mi carrera.

Con todo mi cariño y amor a mi abuela Luisa y mi madre Obdulia, por su apoyo incondicional, enseñanzas y consejos...

De manera especial a mi esposa Patricia, por su aliento de superación que me inspira día a día ser mejor y por ofrecerme todo su amor y comprensión...

A mis hijos Paula y Mateo, por ser la razón de alcanzar mis metas y trabajar impetuosamente...

A mis hermanas Cynthia y Davynia, por compartir momentos de alegría y brindarme siempre sus manos para apoyarme...

A mis sobrinas Daniela y Micaela, por ser parte de mi vida y llenarme de felicidad.

CESAR K. MONTERROSO ORTIZ DE ZEVALLOS

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

AGRADECIMIENTOS

Al tricentenario Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por permitirme estar en sus aulas aprendiendo de las enseñanzas que fueron impartidas con muchas ganas, profesionalismo y experiencias inolvidables de los docentes e ingenieros de la escuela profesional de ingeniería civil.

Al ingeniero José Felipe Azpilcueta Carbonell a quien le expresamos nuestra más profunda gratitud por brindarnos apoyo con sus conocimientos y consejos en la elaboración del trabajo de investigación.

Al ingeniero Adriel Gamarra Durand y la Ingeniero Luz Marlene Nieto Palomino, por sus recomendaciones y observaciones a esta investigación, gracias por su tiempo impartido.

A todos ellos y a muchas personas más, gracias, pues sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

TITULO

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

AUTORES

APAZA AMAU CARLOS 103136-D

MONTERROSO ORTIZ DE ZEVALLOS, CESAR K. 042241-H

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

RESUMEN

La importancia del refuerzo en los distintos elementos estructurales conlleva a desarrollar el estudio de tipos de configuración del armado, es así que los elementos sometidos a corte poseen un comportamiento impredecible más aún que el refuerzo transversal cumple un papel preponderante en este sentido. Por esta razón es necesario desarrollar el análisis experimental mediante modelos de vigas de concreto armado.

La presente investigación trata de efectuar la comparación del comportamiento mecánico de vigas de concreto armado con una longitud de separación de refuerzo transversal en forma de estribos diseñada según la Norma E-060, y otras con una longitud de separación redondeada empíricamente con relación a la diseñada según Norma que representan a las realizadas en obra; sometiéndolas a carga estática con la maquina universal de ensayos mecánicos.

Los ensayos que se realizaran van a permitir establecer la carga de agrietamiento como un porcentaje de la resistencia a la compresión del concreto y el tipo de falla que se produce. Por otra parte, de acuerdo con el sistema de refuerzo y la distribución de estribos se identificarán los distintos mecanismos de falla y la forma de prevenirlos, a fin de que la rotura sea de tipo dúctil. Asimismo se determinará la influencia de la separación de estribos en resistencia a la fuerza cortante.

ABSTRACT

The importance of the reinforcement in the different structural elements leads to develop the study of types of configuration of the assembly, it is so that the elements subjected to cut have an unpredictable behavior even more than the transverse reinforcement has a preponderant role. For this reason it is necessary to develop the experimental analysis using models of reinforced concrete beams.

The investigation tries to make the comparison of the mechanical beams of reinforced concrete beams with a length of separation of transverse reinforcement in the form of stirrups designed according to the Norm E-060, and others with an empirically rounded length of separation in relation to the one designed according to Norma that represent those realized in work; subjecting them to static load with the universal machine of mechanical tests.

The tests that will be carried out will allow to establish the cracking load like a percentage of the compressive strength of the concrete and the type of failure that occurs. On the other hand, according to the reinforcement system and the distribution of stirrups, the different failure mechanisms and the way of preventing them will be identified, so that the rupture is of a ductile type. Also the influence of the separation of stirrups in the resistance to the cutting force.

INTRODUCCION.

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo comparar la separación de estribos en vigas de concreto armado diseñadas según la Norma E-060 respecto a la colocación empírica en obra en la ciudad del Cusco. Los estudios se realizaron a:

Viga de concreto armado con una longitud de separación de estribos diseñada estrictamente según la Norma E-060, elaboradas con un concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

Vigas con una longitud de separación redondeada empíricamente con relación a la diseñada según Norma elaboradas con un concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ que representan la configuración de la colocación realizadas en obra en la ciudad del Cusco.

Cabe señalar que las dimensiones de las secciones, la longitud y características del refuerzo longitudinal son común en ambos modelos para todas las vigas y diseñadas también siguiendo los requerimientos de la Norma E-060.

Este trabajo de investigación presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presentan las generalidades de la investigación, como son, título, autores, área de investigación, institución y localización.

En el capítulo II se realiza el planteamiento del problema, el problema, justificación del porqué de la presente investigación, luego se plantean los objetivos y se formulan las hipótesis y en lo posterior se identifican las variables.

En el capítulo III se abordan los aspectos teóricos relacionados a la investigación como antecedentes de estudio, comportamiento de las secciones de concreto armado, respuesta esperada para una viga de concreto armado sometida a carga, además de los requerimientos de diseño y análisis según la Norma E-060.

En el capítulo IV se presentan la metodología de la investigación, así como el proceso a seguir para el desarrollo de la misma.

En el capítulo V engloba el trabajo experimental realizado, así como los ensayos preliminares y ensayos definitivos.

En el capítulo VI se expone los resultados obtenidos, además de un análisis teórico de la respuesta esperada, elaboración diagramas esfuerzo–deformación.

En el capítulo VII se presenta las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. TITULO

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CUIDAD DEL CUSCO, 2016”

1.2. AREA DE INVESTIGACION

El trabajo de investigación se realizará en la línea de estructuras, construcciones.

1.3. AUTORES

APAZA AMAU CARLOS	103136-D
MONTERROSO ORTIZ DE ZEVALLOS, CESAR K.	042241-H

1.4. INSTITUCION

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

1.5. LOCALIZACION

REGION: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: CUSCO

CAPITULO II

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA:

Hoy en día la construcción de edificaciones juega papel preponderante en el progreso de la economía y en el desarrollo futuro de los mismos en el Perú.

El comportamiento de miembros de concreto armado sujetos a corte y flexión aún no está totalmente comprendido existiendo diversas teorías que tratan de explicar los mecanismos internos. Es así que el estribaje dentro de estos elementos cumple un papel importante en el aporte a la resistencia al esfuerzo cortante.

El Reglamento Nacional de Edificaciones R.N.E - E.060, establece fórmulas para el cálculo de la separación de estribos en vigas, el cual proporciona una parte importante en la resistencia del elemento, sin embargo las dimensiones de separación halladas no se considera de manera estricta debido a que se presenta una colocación empírica de estribos en obra. Asimismo se presenta la falta de conocimiento sobre dicha separación de estribos en las construcciones de edificaciones en la ciudad del Cusco.

Por esto se ha visto necesario realizar una comparación de la separación de estribos de acuerdo al R.N.E Norma E-060 y la colocación empírica de esta separación en vigas de las edificaciones en la ciudad del Cusco.

2.2. PROBLEMA GENERAL:

P.G. ¿De qué manera influye la separación de estribos en vigas de concreto armado a la resistencia a fuerza cortante del elemento cuando no se respeta estrictamente el diseño según a la norma E-060?

2.3. PROBLEMAS ESPECIFICOS:

P.E.1. ¿Es acorde la colocación empírica en obra del estribaje en vigas de concreto armado en la ciudad del Cusco con respecto a la separación especificada en el Reglamento Nacional de edificaciones norma E-060?

P.E.2. ¿Cuál es valor del módulo de rotura de la viga de concreto simple antes que el refuerzo transversal contribuya en la resistencia a la fuerza cortante?

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

P.E.3. ¿De qué modo influye la separación de los estribos en vigas de concreto armado colocados empíricamente en obra en la Ciudad del Cusco en las dimensiones de la grieta inclinada?

P.E.4. ¿Cuál es el comportamiento de una viga de concreto armado con separación del refuerzo transversal diseñado de acuerdo a la norma E-060 y cuando no se cumple estrictamente la norma?

2.4. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA:

En la actualidad una de las tareas más difíciles que se presentan a los ingenieros en el área de construcciones y estructuras es el predecir cuando y donde aparecerán las primeras grietas en los elementos estructurales horizontales (vigas) ya que estas ante cualquier situación de sismo o sobrecargas son las que fallan en primera instancia dentro de una estructura de edificación siendo para esto importante conocer el comportamiento interno de las vigas.

En la ciudad del Cusco se viene produciendo un alto crecimiento en el área de construcción principalmente de edificaciones, que en su mayoría se vienen construyendo mediante un sistema dual y aperticado de columnas y vigas, en el análisis de dichas estructuras es necesario determinar la resistencia a la fuerza cortante de los elementos como de las vigas, desarrollando una adecuada distribución de refuerzos transversales tal como se nos indica la norma peruana E-060.

Lo que se pretende de este trabajo es mostrar cómo, en base a ensayos en vigas modelo permita de manera sencilla y ordenada visualizar el comportamiento e identificar los problemas y proceder al diagnóstico, de esta manera conocer el grado de peligro al colapso y la variación de la resistencia de las vigas de concreto armado ante la sollicitación de fuerza de cortante, cuando esta viga presenta el armado en su acero transversal fuera del reglamento, es decir que la separación de estribos sea de acuerdo a la colocación empírica en obra, en la ciudad del Cusco.

Asimismo esta investigación nos ayudara a determinar si es correcto o incorrecto la colocación de estribos de manera empírica que se presenta en la ciudad del Cusco, siendo los más común, aproximaciones a números enteros y múltiplos de cinco, del mismo modo al

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

final del desarrollo de dicha investigación se buscara una adecuada separación de estribos que contribuya de manera óptima a la resistente a la fuerza cortante del elemento.

2.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION:

2.5.1. OBJETIVO PRINCIPAL:

O.G. Comparar la resistencia a la fuerza cortante cuando la separación de estribos está diseñada según la norma E-060 respecto a la colocación empírica de estos que se viene desarrollando en obras en la ciudad del cusco.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

O.E.1. Examinar y analizar el mecanismo y modo de falla de una viga de concreto armado sometida a carga en base a modelos diseñados, cuando el estribaje es diseñado según la norma E-060 y cuando la colocación en obra no cumple la norma.

O.E.2. Determinar la variación de las dimensiones de la grieta inclinada de las vigas de concreto armado cuando la separación de estribos está diseñada según la Norma E-060 y cuando el espaciamiento no cumple la norma.

O.E.3. Establecer la distribución optima de refuerzo transversal en vigas de concreto armado en la ciudad del Cusco.

2.6. FORMULACION DE LA HIPOTESIS

2.6.1. HIPOTESIS GENERAL:

H.G. La distribución empírica no estricta del colocado de estribos en vigas de concreto armado en obra en la ciudad del cusco influirá negativamente en el valor de la resistencia a la fuerza cortante.

2.6.2. HIPOTESIS ESPECIFICA :

H.E.1. La separación de estribos que se vienen colocando empíricamente en obras de la ciudad del Cusco no es el suficiente para absorber los esfuerzos por corte.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

H.E.2. El valor del módulo de rotura será aproximadamente igual al valor de la carga de agrietamiento inclinado e igual al valor de la resistencia a tracción del concreto (10%-15%)* f_c aproximadamente.

H.E.3. La separación empírica de estribos colocados en obra en la ciudad del Cusco originará que la grieta inclinada no pase por lo menos por un refuerzo transversal produciéndose el colapso por una falla súbita (falla tensión diagonal).

H.E.4. Al ser empíricamente colocados los estribos de las vigas en obra en la ciudad del Cusco, en determinadas separaciones, esta modificará el comportamiento de la viga al ser sometida a fuerza cortante, con respecto al comportamiento según la separación especificada en la norma E-060.

2.7. IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES:

2.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Separación de estribos según la norma E-060.
- Separación de estribos según la colocación empírica en obra.
- Resistencia a la compresión del concreto.

2.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Resistencia de la viga.
- Fallas de las vigas de concreto armado.
- Comportamiento del elemento.

2.8. LIMITACIONES Y VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION

2.8.1. LIMITACIONES

Los resultados de la investigación estarán limitados al estudio de los elementos estructurales horizontales específicamente las vigas de concreto armado.

Los especímenes de vigas de concreto armado para el ensayo en laboratorio que se tomaran en esta investigación serán, vigas modelos diseñadas según la norma E-060 y modelos de vigas con armado de refuerzo transversal de acuerdo a la colocación en obra en la ciudad del Cusco, representadas mediante un redondeo empírico con respecto a la longitud de separación de diseño.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La investigación únicamente se llevará a cabo para un mismo tipo de concreto $f'c = 210$ kg/cm² con las mismas características de sus componentes y diseño constante.

Aunque la naturaleza de esta investigación no permite arrojar datos precisos acorde a la realidad ni tampoco profundizar algunos de las áreas tratados, se efectuará siempre una aproximación a las mismas, con la finalidad de servir de guía para futuras investigaciones.

2.8.2. VIABILIDAD

- Se cuenta con la maquina universal de ensayos mecánicos en el Laboratorios de Materiales de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UNSAAC necesarios para la realización de las pruebas y obtención de los datos necesarios.
- Se dispone del recurso humano y económico necesarios para realizar esta investigación.

CAPITULO III

3. MARCO TEORICO.

3.1. ANTECEDENTES:

Cumpa y Franco, (2016) En la tesis de investigación: EVALUACION DE LAS CAUSAS DE FISURAMIENTO EN LAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO EN LAS EDIFICACIONES DE LAS FACULTADES DE DERECHO, TURISMO E INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, en la escuela profesional de Ingeniería Civil – Cusco se desarrolla la evaluación y análisis de vigas de concreto armado reducidas a secciones de 15cmX15cmX100cm representado estas a las vigas de los pabellones descritos en el título de su tesis, en dicha investigación se llegaron a las siguientes principales conclusiones:

1. De acuerdo con los resultados obtenidos en la inspección visual de cada una de las vigas de las edificaciones en estudio como se muestra el ancho de las fisuras sobrepasa el rango permisible por la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones y la del Comité ACI 224R-01
2. El ensayo a temperatura y flexión realizadas a las vigas modelo, se comprobó que genera fisuras semejantes a las encontradas en las edificaciones en estudio, ya que en un primer momento el material esta dilatado sin fisurarse y en el instante que se enfría y retrae el concreto genera fisuras (porque la resistencia a la compresión del concreto es mucho mayor que la tracción).
3. Las vigas modelo que presentaron fisuras por temperatura son susceptibles a continuar agrietándose por la misma zona cuando se les imprime esfuerzos (sismo), llegando en algunos casos a afectar de forma severa a la resistencia estructural, induciendo al colapso del elemento.

Este trabajo se relaciona con la investigación ya que se examina las causas de fisuramiento que se producen en las vigas de concreto armado, mencionando y describiendo así las fisuras producidas por esfuerzos estructurales como son los esfuerzos de flexión, tracción, torsión, asimismo las fisuras producidas por esfuerzos no estructurales como son la perdida de agua en el concreto a edades cortas, asiento plástico, contracción térmica inicial, variaciones térmicas y otros. En dicha tesis NO se considera, evalúa o analiza los efectos, tipos de fallas, mecanismos de falla producidos por la fuerza cortante.

Aguirre, (2010) en su investigación: DIMENSIONAMIENTO INTEGRADO DE SECCIONES SUJETAS A MOMENTOS FLECTORES Y ESFUERZOS CORTANTES PARA CONCRETOS DE AL TA RESISTENCIA, en el centro de Investigación de Materiales y Obras Civiles de la Universidad Privada Boliviana de Cochabamba se llegó a las siguientes conclusiones primordiales:

1. Para calcular el aporte del concreto en la resistencia al cortante, se realizó un estudio detallado en la fisura, equilibrando los esfuerzos existentes en ésta,

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

incluyendo en este sentido, la tensión principal media de tracción existente entre las fisuras como participante por esta resistencia.

2. El hormigón de alta resistencia es un material que tiene su resistencia a compresión elevada, pero es poca su contribución en la resistencia al cortante, menor que el hormigón convencional, porque la rugosidad del plano de fisuras es menor.

En esta investigación se tratan de relacionar el desarrollo de las cargas de agrietamiento con la deformación unitaria longitudinal, al nivel del refuerzo de tensión, asimismo indica el comportamiento de estas mismas, la cual dependen del ángulo de inclinación de las grietas (que pueden variar de 45°), de su separación y de los esfuerzos en el refuerzo. De esta teoría se puede deducir que, se representa el alma de la viga como un conjunto continuo de diagonales fisuras comprimidas, costurada o intervenida por estribos y armadura de piel. Es posible incluir las tensiones de tracción existente entre las fisuras diagonales como una manera de introducir el aporte de la fricción entre los agregados a través de estas fisuras diagonales. El valor de esta contribución está en función de la abertura de la fisura y de la separación en los estribos y la separación de las fisuras. Esta teoría explica físicamente la contribución del concreto en la resistencia al cortante. En la investigación a desarrollar se desea alcanzar la importancia y la influencia de la separación de estribos en vigas de concreto armado.

Neville B. (1984), DISEÑO SIMPLIFICADO DE EDIFICIOS DE HORMIGON ARMADO DE TAMAÑO MODERADO Y ALTO. Clemson university. Carolina del sur, EEUU.

Cuando se requieren estribos en un miembro de concreto reforzado, el código especifica las separaciones permisibles máximas entre $d/4$ y $d/2$. Por otra parte, usualmente se considera que las separaciones de estribos menores de $d/4$ no son económicas. Muchos proyectistas usan un máximo de tres separaciones diferentes en una viga. Éstas son $d/4$, $d/3$ y $d/2$. Es posible obtener fácilmente un valor de ϕV_s (aporte del refuerzo transversal en la resistencia a la fuerza cortante) para cada tamaño y cada tipo de estribos para cada una de estas separaciones.

Picazo Iranzo A. (Junio del 2010), en la tesis de Master Oficial de título ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO A ESFUERZO CORTANTE DE VIGAS DE HORMIGON REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO. Trabajo final de master, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

Los resultados experimentales obtenidos indican que las vigas sin refuerzo a cortante rompen por tracción oblicua del hormigón, siendo la grieta en la viga reforzada inferiormente con laminado de fibra de carbono más vertical que la producida en la viga armada con acero.

3.2. COMPORTAMIENTO DE SECCIONES DE CONCRETO ARMADO:

Se entiende por comportamiento de una sección de concreto armado a la manera en que estos responden a las solicitaciones impuestas por factores externos de carga estática y sísmica de diferente magnitud; y del mismo modo los daños que se dan en el proceso.

3.2.1. CONCRETO SIMPLE:

El concreto tiene una considerable resistencia a la compresión, sin embargo, posee una muy baja resistencia a la tracción. La resistencia a la tracción es del orden de la décima parte de la resistencia a compresión. Pero, además, la capacidad resistente a tracción del concreto se ve afectada por otras razones. En primer término, a diferencia del valor de la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción es muy variable, lo que no brinda valores confiables para su consideración en los procedimientos de cálculo.

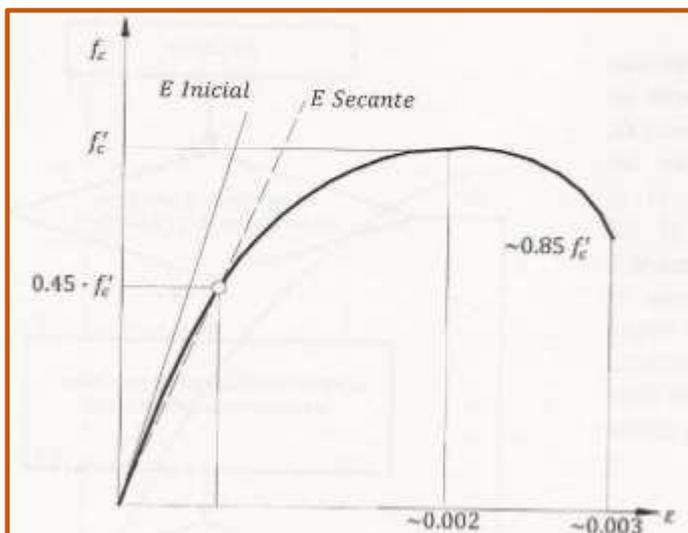
Pero existe otro problema para considerar la pequeña resistencia a la tracción del concreto y se refiere a que ésta desaparece por completo al aparecer la primera fisura. En efecto, al producirse la primera fisura, el concreto pierde continuidad y todo incremento de carga, sólo ampliará el ancho de la fisura con lo que el material pierde toda capacidad de absorber tracciones. Ahora bien la aparición de la primera fisura no sólo puede deberse a que se superó el valor de la resistencia a la tracción del material sino que pueden aparecer fisuras por contracciones de fragüe, deficiencias constructivas, acciones térmicas, etc. Por estas razones, las normas de cálculo incluyendo la NORMA PERUANA E-060 no admiten el trabajo a tracción del concreto desde el punto de vista de la resistencia mecánica.

Por ello a partir de este momento vamos a adoptar como hipótesis para la tesis que el *concreto trabaja sólo a compresión*.

La figura 1 muestra el diagrama esfuerzo deformación del concreto, donde se observa también la deformación unitaria a considerar para posteriores diseños y análisis de la viga a ensayar.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 1. Diagrama Esfuerzo Deformación del Concreto.



Fuente: (Park & Paulay, 1988) .Estructuras de Concreto Reforzado

3.2.2. ACERO DE REFUERZO

El comportamiento mecánico del acero se analiza a través de ensayos de tracción. Esto no significa que el acero tenga un comportamiento diferente a la compresión. Lo que ocurre es que debido a que la esbeltez de las probetas las hace muy sensibles al fenómeno de pandeo reduciendo su resistencia, lo que llevaría a incrementar las secciones de las probetas.

Como se observa en la figura 2, La forma del diagrama de tensión - deformación del acero presenta un período elástico en el cual las tensiones son proporcionales a las deformaciones específicas. El Módulo de Elasticidad que es una constante para todos los tipos de acero es $E = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$. Si aumentan las cargas se produce un efecto denominado fluencia por el cual crecen las deformaciones específicas sin incremento de tensiones. Es decir, la recta cambia bruscamente de dirección y sigue una trayectoria prácticamente horizontal.

Concluido este período existe un rango de grandes deformaciones plásticas, previas a la rotura. En el diagrama de tensión-deformación del acero tampoco se produce la rotura con una tensión máxima, pero esto se debe a que con anterioridad a la rotura se produce una reducción de la sección de la barra. (Ottazi Pasino, 2004)

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 2. Diagrama de Esfuerzo Deformación del Acero



Fuente: (Pytel & Singer, 2008).Resistencia de Materiales.

3.2.3. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL ENTRE EL CONCRETO Y EL ACERO:

Los ingenieros emplean la resistencia del concreto para diseñar edificios y otras estructuras, pero ya que este material es débil a la tracción, limita su aplicabilidad como material estructural. Sin embargo, el acero se comporta bien a compresión pero su principal propiedad es la de resistir los esfuerzos a tracción. El acero de refuerzo se coloca en el armado del concreto para resistir la totalidad de los esfuerzos a tracción, una parte de los esfuerzos de compresión corte y torsión. En referencia a esto, la adherencia es el principio básico del funcionamiento del concreto armado como material estructural mediante la cual se transmiten los esfuerzos de tracción entre sus materiales constitutivos.

Por ello se presupone la acción conjunta del acero y del concreto y gracias al fenómeno de *la adherencia* se desarrolla la colaboración entre estos materiales. Cabe señalar que cumple un papel importante las cerdas del acero y el anclaje, ya que si no existiese, la armadura se deslizaría sin encontrar resistencia ante cualquier esfuerzo de tracción.

Así también, cuando se refuerza la sección de concreto con armadura transversal en forma de estribos, este soporta el corte y confina el concreto incrementando en una pequeña porción su resistencia, y en gran medida su capacidad de deformación última incrementando la

ductilidad del elemento; haciendo que el refuerzo con acero transversal sea el más recomendable para que una estructura sobreviva ante un evento sísmico.

3.2.4. COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO.

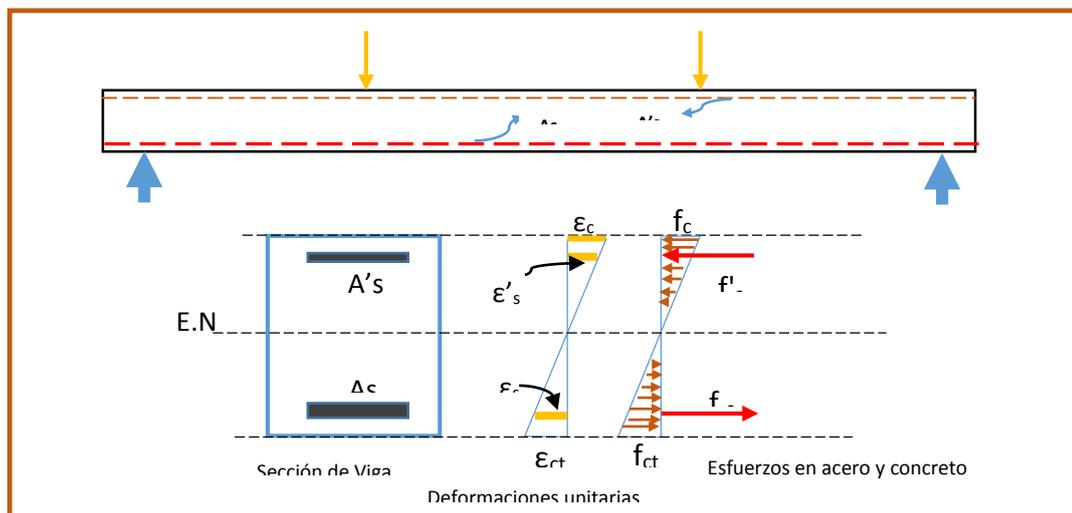
Cuando una viga es sometida a cargas, y cuando esta carga en dicho elemento se incrementa de modo gradual desde cero hasta la magnitud que producirá su falla; claramente se podrá distinguirse *diferentes estados* en su comportamiento.

3.2.4.1. ETAPA DEL CONCRETO NO AGRIETADO:

Bajo cargas pequeñas, cuando los esfuerzos de tensión son menores que el *módulo de rotura*¹ (esfuerzo de tensión por flexión bajo el cual el concreto comienza a agrietarse), la sección transversal total de la viga resiste la flexión, y con referencia al Eje Neutro compresión en la parte superior y tracción en la parte inferior. Además, el refuerzo, que deforma la misma cantidad que el concreto adyacente, también está sometido a esfuerzos de tensión, en esta etapa todos los esfuerzos en el concreto son de pequeña magnitud y proporcionales a las deformaciones. (Nilson, 2001).

En la figura 3 se muestra la distribución de deformaciones unitarias y de los esfuerzos en el acero y en concreto.

Figura 3. Estado no Agrietado de una Viga de Concreto Armado



Fuente: Elaboración Propia

¹ *Módulo de Rotura*: Es una medida indirecta de la resistencia a la tensión del concreto, se obtiene ensayando hasta la rotura una probeta prismática de concreto simple de 6''x6''x18'' simplemente apoyada con cargas a un tercio de la luz. (Ottazi Pasino, 2004)

El R.N.E norma E-060, define el módulo de rotura mediante la ecuación $f_r = 2\sqrt{f'_c}$.

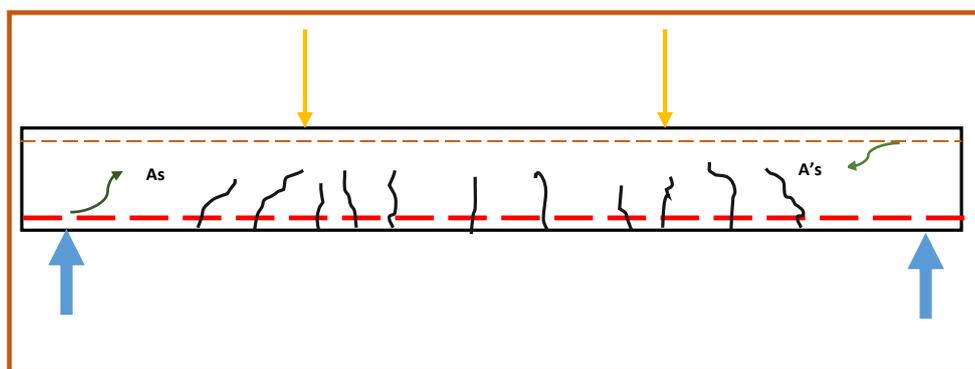
3.2.4.2. ETAPA DEL CONCRETO FISURADO (Esfuerzos elásticos).

Esta etapa comienza justo después de que el módulo de rotura del concreto se ha excedido, en el momento cuando se forman las grietas en la parte inferior de la viga, es decir cuando los esfuerzos de tensión en la parte inferior de la viga son iguales al módulo de rotura, se denomina *momento de agrietamiento*. Al aumentar la carga progresivamente, estas *grietas de tensión* se extienden en dirección al eje neutro, el cual comienza a desplazarse hacia arriba, las grietas se presentan en aquellos lugares a lo largo de viga, donde el momento real es mayor que el momento de agrietamiento, como se aprecia en la Figura 4.

Posteriormente una vez que la parte inferior en relación al eje neutro del elemento se ha agrietado esta no es capaz de resistir grandes esfuerzos de tensión, es por ello que se desprecia cualquier aporte de esta zona a resistir esfuerzos; es ahí donde el acero empieza a soportar prácticamente todo la tensión. (McCormac & Brown, julio 2011).

En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa el esfuerzo en el acero aumenta hasta alcanzar su valor de fluencia. Desde el momento que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma apreciable sin que apenas aumente la carga. Los primeros indicios de fluencia del acero son un incremento notable en la abertura y longitud de las grietas y un quiebre marcado en la *curva carga deflexión*.

Figura 4. Viga en Estado fisurado

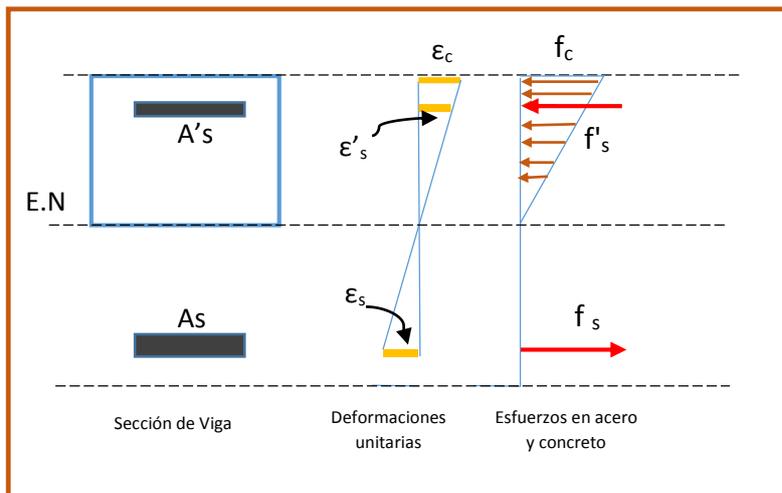


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5 se muestra una sección de viga fisurada en el intervalo elástico de respuesta del material donde la contribución del concreto en la zona tensión se desprecia, y su distribución de deformaciones unitarias y esfuerzos en el concreto y acero queda como sigue.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 5. Distribución de deformación unitaria y de esfuerzos internos para una Sección Fisurada



Fuente: Elaboración Propia.

Cabe señalar como lo menciona (Nilson, 2001), Si el esfuerzo en el concreto es menor que aproximadamente $0.5 \cdot f'_c$, y el esfuerzo en el acero no alcanza el punto de fluencia, ambos materiales siguen comportándose en forma elástica o casi elástica, y las deformaciones unitarias son proporcionales a los esfuerzos.

3.2.4.3. ETAPA DE RESISTENCIA ULTIMA-FALLA.

(Nilson, 2001); menciona que cuando en una viga la carga a la que es sometida aumenta considerablemente, en algún momento se alcanzara la capacidad de la viga. La falla se puede presentar de dos maneras:

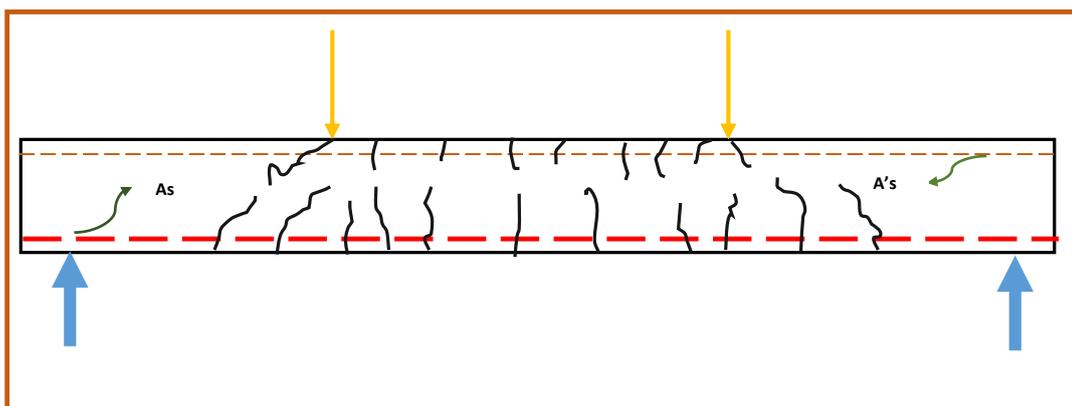
- Cuando se emplea una cantidad de refuerzo relativamente moderada, el acero alcanza su punto de fluencia con determinado valor para la carga. Para este esfuerzo el acero de refuerzo fluye en forma súbita y se alarga de manera considerable, entonces las grietas de tensión en el concreto se ensanchan de manera visible y se propagan hacia arriba, presentándose simultáneamente una deflexión considerable de la viga. Cuando este fenómeno ocurre, las deformaciones unitarias en la zona de compresión restante del concreto se incrementan hasta que llega a un punto que sobreviene el *aplastamiento* del concreto, ósea una *falla por compresión secundaria* con una carga solo ligeramente que la carga que causo la fluencia en el acero. En consecuencia, cuando el acero llega a su punto de fluencia, ese momento determina la capacidad de carga de la viga moderadamente reforzada; generándose una falla por fluencia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

gradual y predicha por signos visibles de peligro, como el ensanchamiento y alargamiento de las grietas y el aumento notorio en la flexión.

- Por otro lado, si se emplean grandes cantidades de refuerzo, la resistencia a la compresión del concreto puede agotarse antes de que el acero comience a fluir. El concreto falla por aplastamiento cuando las deformaciones unitarias son tan grandes que destruyen la integridad; cabe señalar que todavía no se conocen en gran medida como se presenta este tipo de falla, pero se ha observado que las vigas rectangulares fallan en compresión cuando el concreto alcanza valores de deformación unitaria aproximadamente de 0.003 a 0.004. como se observa en la figura 6; la falla por compresión mencionada en el segundo ítems debido al aplastamiento del concreto es repentina, de naturaleza explosiva y ocurre sin ningún aviso.

Figura 6. Viga en la Etapa de Resistencia Última.



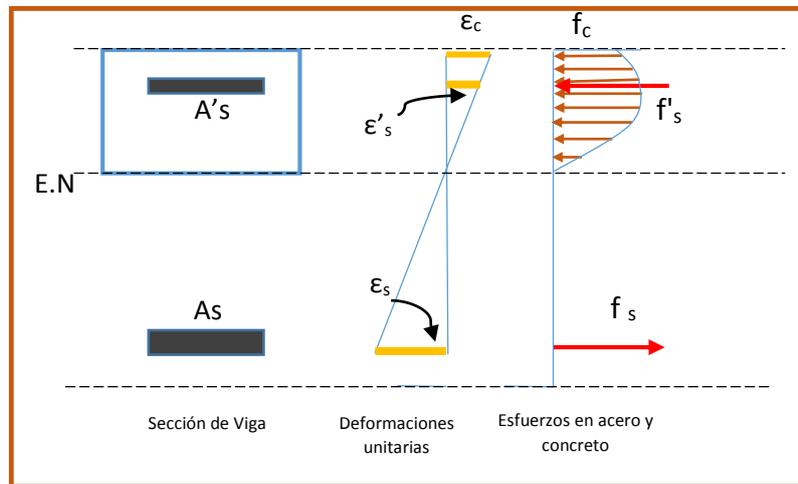
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 7 también se observa que la distribución de esfuerzos ya no es lineal como los anteriores estados, de lo contrario se forma una curva, que representa que la sección del elemento estructural, ha incurrido en el rango inelástico.

A medida que la longitud de las grietas crece. La zona de compresión va reduciéndose, hasta que el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y *se aplasta*, esto se nota cuando hay un desprendimiento de escamas en esta zona. Cuando esto ocurra la carga va disminuyendo con mayor o menor rapidez hasta que se produce el colapso final. (Gonzalez Cuevas , 2005).

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 7. Distribución de deformación unitaria y de esfuerzos internos para una Sección en la Resistencia Última-Falla



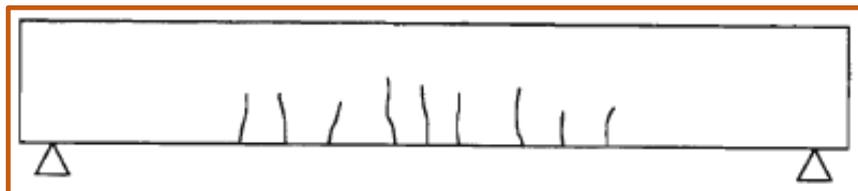
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.5. TIPOS DE FISURAS:

3.2.5.1. Fisura de flexión:

Aparecen en las secciones donde se producen los mayores esfuerzos de flexión, es decir, en el tercio central de la luz de la viga y en los apoyos si se trata de elementos continuos. Son verticales y se inician al borde del elemento. En estas secciones, el efecto de la fuerza cortante es pequeña en comparación con el momento flector. (E.Harmsen, 2002)

Figura 8. Fisuras de Flexión.



Fuente: (E.Harmsen, 2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*

3.2.5.2. Fisura por tracción Diagonal:

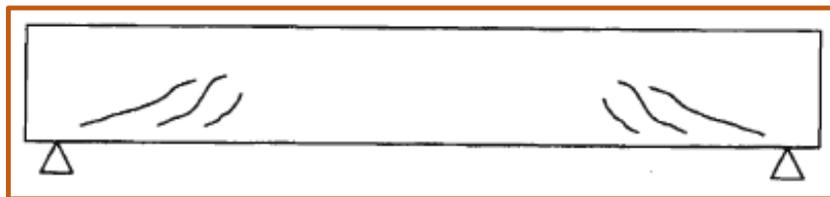
Estas fisuras también llamadas grietas diagonales aparecen en vigas poco armadas transversalmente, en las zonas donde los esfuerzos de tracción o compresión producidas por el momento flector, son casi nulos, y los *esfuerzos principales*² se presentan a 45°. Se inicia en el eje neutro o cerca de él y se extiende diagonalmente hacia los bordes del elemento,

² Esfuerzos principales. Son esfuerzos que se producen como la combinación de los esfuerzos tangenciales V y los esfuerzos normales en la dirección X. (Park & Paulay, 1988). *Estructuras de concreto reforzado*.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

además se presentan cerca a los apoyos y en el punto de inflexión de vigas de gran peralte (E.Harmsen, 2002).

Figura 9. Fisuras por Tracción Diagonal.

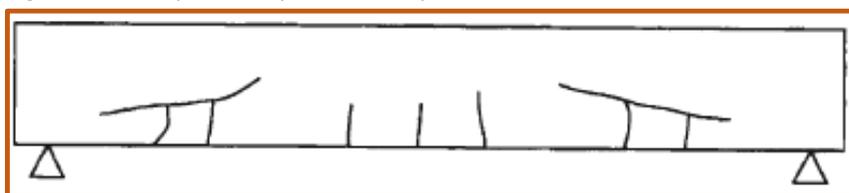


Fuente: (E.Harmsen, 2002).Diseño de Estructuras de Concreto Armado

3.2.5.3. Fisura de flexo- tracción:

Son las más comunes debido que se presentan por una combinación de esfuerzos. Al producirse las primeras fisuras ocasionadas por flexión, la sección que resiste el corte se ve disminuida. En la garganta no fisurada se presentan una concentración de esfuerzos, tanto de corte como de compresión que ocasiona que la fisura tienda a inclinarse. Son propias donde el momento flector es considerable. Además la fuerza cortante de agrietamiento diagonal es menor que la que ocasiona las fisuras de tracción diagonal. (E.Harmsen, 2002).

Figura 10. Fisura producida por Flexo-Compresión.



Fuente: (E.Harmsen, 2002).Diseño de Estructuras de Concreto Armado

Un aspecto importante a tomar en cuenta es que después de la formación de las primeras grietas, la distribución de esfuerzos principales tiene poca influencia en la formación de las fisuras sucesivas ya que el concreto armado deja de funcionar como un material homogéneo. En lo posterior, el comportamiento del elemento dependerá de si este cuenta o no con refuerzo transversal.

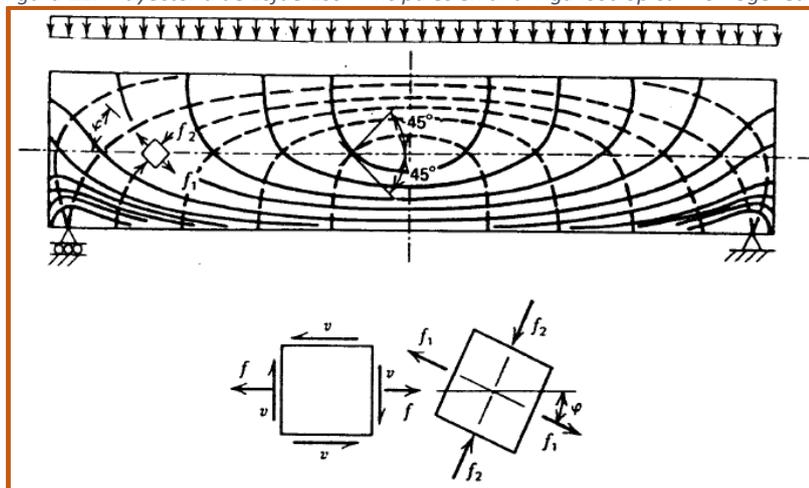
3.2.6. MECANISMOS DE RESISTENCIA:

3.2.6.1. ESFUERZO CORTANTE.

En la actualidad no se da mucha importancia al estado de esfuerzo de corte puro debido a que nunca se presenta en las estructuras de concreto, más aun, que no se ha podido determinar exactamente dicha resistencia. Además, de acuerdo con la mecánica de materiales³, si se produce cortante puro en un plano de un elemento, se producirá en otro plano un *esfuerzo principal de tensión* de igual magnitud. Y por ende como la resistencia a tensión del concreto es menor que su resistencia corte, el concreto fallara por tensión antes de que se alcance su resistencia al cortante. (McCormac & Brown, julio 2011).

En la figura 11 se muestra la inclinación de los esfuerzos principales para el caso de una viga rectangular simplemente apoyada, donde la intersección de la trayectoria con el eje neutro forma un ángulo de 45°. Cabe señalar también que cuando los esfuerzos principales de tensión son demasiado grandes, se generan grietas aproximadamente perpendiculares a estas trayectorias.

Figura 11. Trayectoria de Esfuerzos Principales en una Viga Isotrópica Homogénea



Fuente: (Park & Paulay, 1988). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Pág. 282.

Dónde: Esfuerzo principal de tensión: $f_1 = \frac{f}{2} + \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + v^2}$

Esfuerzo principal de tensión: $f_1 = \frac{f}{2} - \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + v^2}$

³ Resistencia de materiales Singer y Pytel.

Es importante comprender que el análisis y diseño a cortante no están relacionados realmente con el cortante como tal; en la mayor parte de las vigas, los esfuerzos cortantes están muy por debajo de la resistencia a cortante directa del concreto. La verdadera inquietud tiene que ver con el *esfuerzo de tensión diagonal*, que surge de la combinación de *esfuerzos de corte* y *esfuerzos de flexión longitudinal*. (Nilson, 2001).

3.2.6.2. MECANISMOS DE RESISTENCIA EN VIGAS SIN REFUERZO TRANSVERSAL

En una viga es muy difícil de cuantificar de manera exacta el aporte que tiene cada uno de los mecanismos de resistencia a cortante debido a que se trata de un sistema altamente hiperestático influenciado por varios parámetros. (Harmsen, 2002).

Antes de que una viga de concreto falle por corte, la teoría elástica puede dotar de predicciones aceptables con respecto a resistencia y a la formación de grietas. Sin embargo, con el desarrollo de grietas se origina un patrón complejo de esfuerzos, que consecuentemente llevan a que las ecuaciones no describan el comportamiento real. (Park & Paulay, 1988).

De aquí surge la interrogante como una viga fisurada puede ser tenida en cuenta para transmitir el cortante combinado con esfuerzos axiales y de flexión.

Para poder responder estas preguntas es necesario identificar los diferentes mecanismos básicos que se movilizan en un elemento fisurado. Estos son:

- Tensiones tangenciales en la zona de concreto no fisurada (cabeza comprimida de la viga).
- Engranamiento de los agregados.
- Efecto pasador de la armadura longitudinal.
- Efecto arco

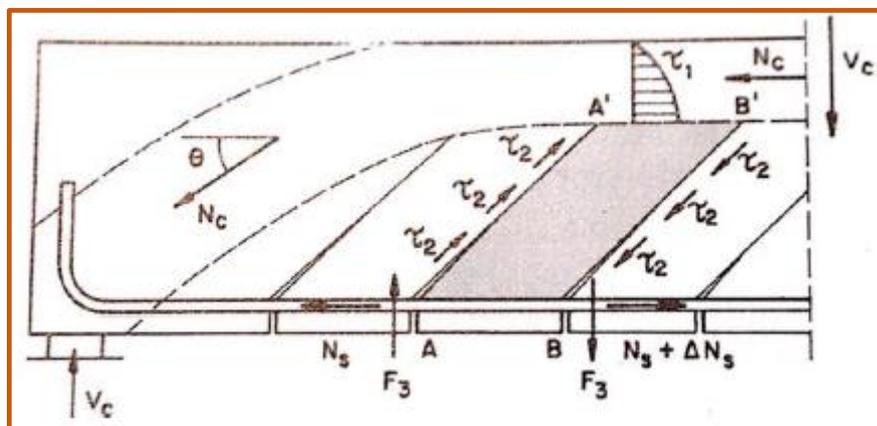
La transmisión de cortante en las vigas de concreto armado se apoya fuertemente en la resistencia a tensión y compresión del concreto, además que los mecanismos que resisten el cortante interactúan íntimamente con adherencia entre el concreto y el refuerzo y el anclaje de este. (Park & Paulay, 1988).

3.2.6.2.1 TENSIONES TANGENCIALES EN LA ZONA DE CONCRETO NO FISURADA.

En elementos horizontales (vigas) sometidos a corte y flexión, existe una zona superior que forma la cabeza de compresión a la cual no llegan las fisuras. En esta zona comprimida aparecen tensiones tangenciales τ_1 como se observa en la (figura 12), que contribuyen a resistir el cortante actuante V_c sobre la sección. La resistencia total debido a la cabeza comprimida será el resultado de la integración de dichas tensiones tangenciales a lo largo de toda la zona no fisurada, a este se le llama “contribución del concreto no fisurado”. Por tal razón la magnitud de esta componente resistente a cortante, depende del área de la misma, la cual está relacionada con la cuantía del refuerzo longitudinal y el valor de la resistencia a compresión y tracción del concreto.

Estimaciones validadas y aproximadas dadas por (Taylor, 1974), sostiene que la contribución en el valor de la resistencia varía entre un 20 y 40 % del valor del esfuerzo cortante total resistido.

Figura 12. Mecanismos Resistentes del Esfuerzo Cortante en una Sección Fisurada



Fuente: (Jiménez, 2000). Hormigón Armado.

3.2.6.2.2. ENGRANAMIENTO DE LOS AGREGADOS DEL CONCRETO.

Este mecanismo corresponde a la interacción existente entre los agregados que se encuentran alrededor de la fisura de cortante. Su capacidad radica en el desplazamiento relativo entre las caras de la fisura. Cuando se emplea concretos normales las fisuras se desarrollan a través la pasta entre el agregado grueso; en cambio cuando se emplea un concreto de alta resistencia o fabricado con agregados ligeros, la superficie de esta fisura no presenta las mismas irregularidades ya que se produce la rotura de los agregados al tener una resistencia menor

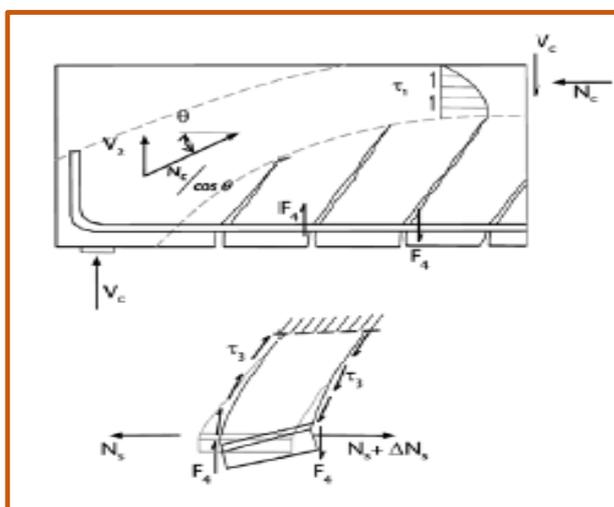
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

al de la pasta del concreto. Aun con estas diferencias se mantiene una cierta capacidad de transferir el esfuerzo cortante a través de la fisura.

Es importante señalar que las bielas, o zonas del concreto entre dos fisuras de flexión, son capaces de resistir un cierto esfuerzo cortante. La biela AA' BB' (Figura 12) puede considerarse como una ménsula empotrada en la cabeza comprimida; su sección de empotramiento es la A'B'; y sometida a una fuerza ΔN_s situada a la altura de la armadura principal. La deformación de la ménsula exige un alargamiento de la fibra AA' y un acortamiento de la B'B. Tanto al alargamiento como el acortamiento se oponen el engranamiento de los agregados que cosen entre si las dos caras de la fisura, produciendo unas tensiones τ_c que aportan a la resistencia a cortante de la pieza. Para una misma fracción, el efecto es mayor (en términos relativos) en vigas de pequeño peralte, placas y losas ($h=0.20m$) que en vigas de grandes cantos ($h=1m.$), lo que se tiene en cuenta en el cálculo a través de un coeficiente “ ξ ”⁴. (Jiménez, 2000).

En tal efecto, el aporte aproximado de este mecanismo cubre el 30 al 50 % del cortante resistente, y depende del tamaño de agregado grueso y del peralte útil de la viga. (Taylor, 1974).

Figura 13. Esfuerzo debido al engranamiento de los agregados



Fuente: (Taylor, 1974).

Algunos estudios relevantes acerca del engranamiento de los agregados demuestran este mecanismo y sostienen lo siguiente:

⁴ Coeficiente ξ : Parámetro para determinar la resistencia a cortante del concreto en vigas de gran peralte que tiene en cuenta la influencia del peralte útil en el efecto del engranamiento de los agregados.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- Para que se efectuó el engranamiento de los agregados debe de haber un desplazamiento relativo por cortante, paralelo a la dirección de la fisura, para que el esfuerzo cortante sea transferido. Existe dos maneras de que se produzcan dichos desplazamientos. La primera debido a una rotación por flexión en la zona comprimida adyacente al empotramiento de los bloques en voladizo; este giro solo producirá un deslizamiento a lo largo de la fisura si las mismas no son rectas. La segunda, es debido a la flexión propia de los bloques de concreto. (Fenwick & Paulay, 1968).

De los resultados de los ensayos y a partir de una regresión aritmética se determinó una expresión para calcular la transferencia del cortante a través del engranamiento de los agregados.

$$\tau_{ai} = \left(\frac{467}{w} - 8410 \right) \left(0.0225\sqrt{f'_c} - 0.409 \right) (\Delta s - 0.0436w)$$

Donde:

Tai: Tensión tangencial transmitido a través de la fisura, debido al engranamiento de los agregados. (Psi).

W: Abertura de la fisura (pul).

Δs : Deformación relativa vertical debido al cortante (pul).

F'c: Resistencia a compresión del concreto (MPa).

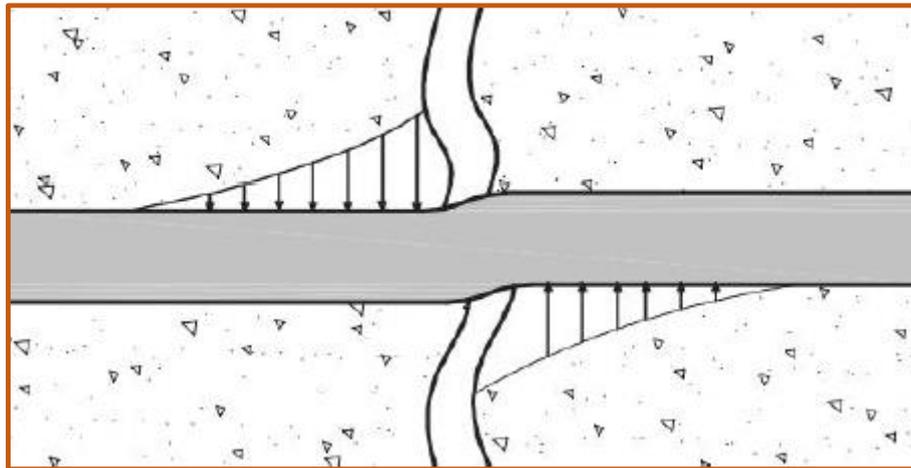
- Un ensayo indirecto y otro directo se tuvieron que realizar para demostrar este mecanismo de resistencia.

De los resultados de los ensayos indirectos se llegó a la conclusión que la tensión ultima del engranamiento de los agregados y la curva tensión –deformación dependen de la calidad del concreto, tipo de agregado, y relación de desplazamientos vertical y horizontal. Del mismo modo se realizaron los ensayos directos con la diferencia que se construyeron seis vigas de prueba para representar lo que sucedía en la realidad; llegando a la conclusión que cualquiera de las dos pruebas arrojaban resultados similares y que el efecto de engranamiento de los agregados cumple un papel preponderante en la resistencia a cortante. (Taylor, 1974).

3.2.6.2.3. EFECTO PASADOR DE LA ARMADURA LONGITUDINAL

Este mecanismo constituye una fracción de esfuerzo cortante resistido por la armadura longitudinal de tracción como consecuencia del movimiento relativo entre los dos lados de la fisura. Este efecto se observa en la figura 14.

Figura 14. Mecanismo del Efecto Pasador contribuyendo a Cortante sobre una Fisura



Fuente: (Walraven, 1981). *Análisis Fundamental del Bloque de Agregado*.

Los factores más importantes en la capacidad última para la transferencia de cortante mediante el mecanismo de *efecto pasador* en vigas de concreto armado sin refuerzo transversal son:

- Resistencia del concreto a tracción.
- El recubrimiento de la sección en la zona de tracción.
- Longitud de la barra.
- Posición de la barra en el momento del vaciado.
- El número, diámetro y distribución de las barras.
- Propiedades de adherencia de la barra.

Cabe señalar que en la figura 12 se observa una biela constituida por la sección AA'BB' que esta rigidizada por la propia armadura longitudinal, que la atraviesa como el pasador de un cerrojo y lo cose, oponiéndose a su deformación mediante una fuerza rasante F_3 análoga a las tensiones τ_2 .

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Como lo menciono (Jiménez, 2000) el efecto pasador constituye entre el 15 y 25 % del cortante resistido de una sección sometida a momento flector variable, donde la cuantía de refuerzo longitudinal es el principal factor, limitada por la resistencia a tracción del concreto.

3.2.6.2.4. EFECTO ARCO.

La importancia de este mecanismo esta fundamentalmente relacionado con la relación vano de corte – peralte efectivo (a/d). Por otra parte este efecto cobra gran importancia en caso de vigas de gran peralte.

(Fenwick & Paulay, 1968) citado por (Park & Paulay, 1988, pág. 294) menciona que este mecanismo brinda la capacidad de seguir resistiendo cargas una vez que se forma la fisura diagonal, mediante la unión de dos regiones claramente diferenciadas; una está cerca de la zona de aplicación de la carga y la otra se da en la zona superior de la última fisura de flexión, cerca al apoyo; y esto sucede cuando las fisuras diagonales se extienden desde el apoyo, separando así la zona de tracción de la zona de compresión en el vano y permitiendo por lo tanto el desplazamiento horizontal asociado con el efecto arco.

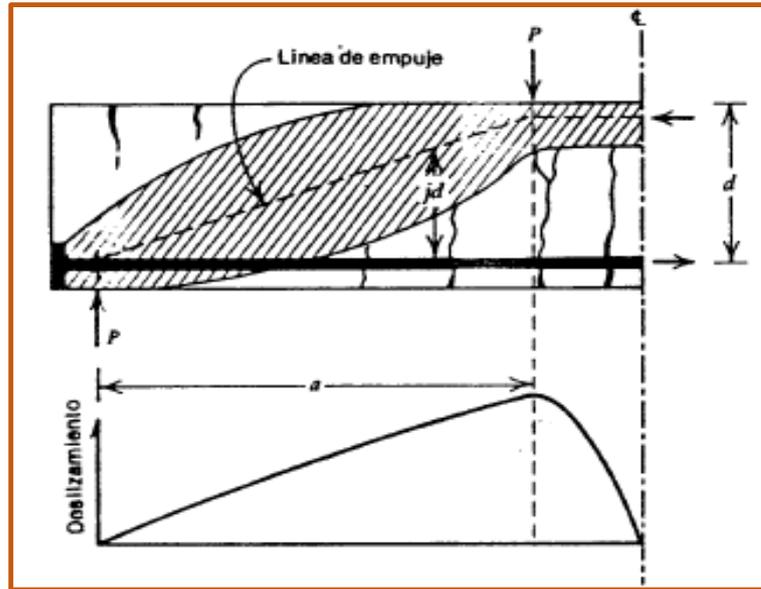
Cabe señalar que de acuerdo a estudios realizados por los ya citados investigadores surgen los siguientes puntos importantes:

- La acción de arco solo puede ocurrir a costa del deslizamiento, es decir, de la pérdida completa de transferencia de adherencia.
- Los desplazamientos de traslación requeridos para la acción completa de arco aumenta hacia el punto de carga y alcanza un valor aproximadamente igual a la extensión total del acero en el claro de cortante.
- En la proximidad del punto de carga, la línea de empuje y por tanto el eje neutro, se eleva bastante por arriba de la posición predicha por la teoría estándar de flexión.

La siguiente figura muestra el área la porción de concreto comprimido fuera de la cual se puede formar la grieta; se muestra también una distribución típica de deslizamiento a lo largo del claro de cortante.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

Figura 15. Deslizamiento asociado con la acción de Arco en una viga Idealizada



Fuente: (Park & Paulay, 1988). *Estructuras de Concreto Reforzado*

Para explicar un poco más sobre este mecanismo de resistencia de la figura 12 se observa que la cabeza comprimida se inclina en las proximidades del apoyo (zona de máximo cortante), por lo que la compresión longitudinal en dicha cabeza, N_c , tiene una componente vertical $N_c \sin \theta$ que contribuye a resistir el cortante V_c , transmitiéndolo al apoyo. Se forma de esta manera en la viga un arco atirantado. Es así como lo menciona (Jiménez, 2000), que el efecto arco está fuertemente relacionado con la armadura longitudinal que llega al apoyo. Este efecto cubre entre un 20 a 40% del corte resistido.

RESUMEN:

La naturaleza de la resistencia a corte en vigas de concreto armado se examina, y se demuestra que la cortante puede ser resistida de dos maneras diferentes, a saber, por la *acción de viga* y *acción de arco*.

Dicha demostración se explica; que cuando se combinan las relaciones entre el momento externo y el momento interno de resistencia $M=Tjd$ con la conocida relación entre cortante y la razón de cambio del momento flexionante a lo largo de una viga, resultan los siguientes modos de resistencia cortante interna (Park & Paulay, 1988):

$$V = \frac{d(M)}{d(x)} = \frac{d}{dx}(Tjd) = jd \frac{dT}{dx} + T \frac{d(jd)}{dx} \quad \dots\dots\dots (1)$$

De la ecuación (1) se puede señalar que el primer término representa el comportamiento de una viga en la que las tensiones de tracción y de compresión interna actúan con un brazo de palanca constante y varía según varía el momento externo. Cuando por cualquier razón se destruye la adherencia entre el acero y el concreto en toda la longitud del claro de corte, no puede cambiar la fuerza T de tensión, por lo que $dT, dx = 0$. Bajo tales condiciones, la única manera de resistir el cortante externo es mediante la compresión interna inclinada caso extremo se denomina *efecto arco*, representada por el segundo término de la ecuación cuando el brazo de palanca es variable para una tracción constante de la armadura.

Finalmente para aclarar un poco más el panorama (Fenwich & Paulay , 1968) sostienen que en la carga del agrietamiento diagonal del vano esfuerzo cortante, la acción de viga se descompone. A menos que el haz de acción contiene arco de refuerzo pretensado no puede desarrollarse de forma apreciable antes del agrietamiento diagonal. Se muestra que la fuerza de la acción del haz depende en gran medida el mecanismo de la transferencia de corte a través de la grieta por enclavamiento de las partículas del agregado, y en menor medida por la acción de pasador de la armadura. Las pruebas directas sobre el programa de acción de bloqueo agregado demuestran que esta transferencia de corte aumenta con la resistencia del hormigón, y una reducción del ancho de la fisura, a partir de ensayos se encuentra la capacidad de espiga de barras inferiores a ser considerablemente mayor que la de las barras superiores. Las pruebas de flexión ilustran las contradicciones de estos diferentes mecanismos.

3.2.6.3. MECANISMOS DE RESISTENCIA EN VIGAS CON REFUERZO TRANSVERSAL.

En una viga de concreto armado la presencia del refuerzo transversal no influye de gran manera en el valor de la carga de agrietamiento, ni en el comportamiento general del elemento antes de la formación de la grieta diagonal, por ende, cuando dicha grieta se presenta , el refuerzo transversal contribuye eficazmente a incrementar la capacidad de carga del elemento. Además de que las dimensiones de la grieta inclinada dependerán de la cantidad de refuerzo transversal. (Gonzalez Cuevas , 2005).

Después de que se desarrollan las grietas diagonales, el refuerzo transversal en forma de estribos contribuye a la resistencia de los mecanismos de cortante de la siguiente manera:

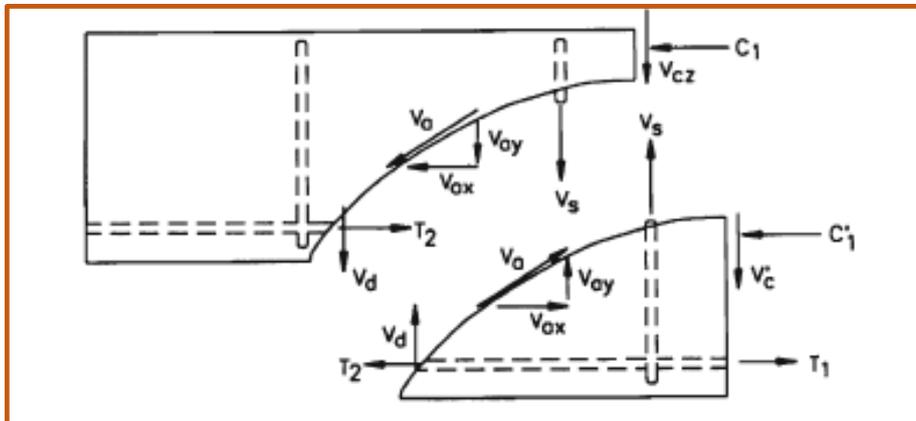
- Las barras que atraviesan la grieta particular resisten parte de la fuerza cortante.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- La presencia de estas mismas barras restringe el crecimiento de las grietas diagonales y reduce su penetración dentro de la zona de compresión. Esto deja mayor concreto no fisurado en la cabeza de la grieta para resistir la acción combinada del cortante y de la compresión.
- Los estribos también contrarrestan el ensanchamiento de las grietas de manera que las dos caras de la grieta permanecen en estrecho contacto.

Del mismo modo para entender mejor el mecanismo de resistencia de una viga con refuerzo en el alma en forma de estribos se muestra la figura 16:

Figura 16. Mecanismos de Resistencia en una viga con Estribos.



Fuente: (Harmsen, 2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*

Se observa una viga con refuerzo transversal, donde la fuerza de corte será resistida por las componentes definidas de la siguiente manera:

- La componente V_{cz} corresponde a la fuerza de corte aportada por la garganta de concreto ubicado sobre la fisura, V_a , V_d se generan por el desplazamiento relativo entre los bordes de la fisura, la primera se debe a la interacción entre los agregados del concreto a lo largo de ella, y la segunda es generada por el refuerzo longitudinal que a diferencia de una viga sin refuerzo transversal esta se incrementa debido a la presencia de este acero pues el acero longitudinal se apoya sobre él y ya no sobre el concreto.
- La fuerza V_s corresponde al aporte del refuerzo transversal.

No obstante es importante conocer también que antes de la fisura vertical, el cortante externo es absorbida íntegramente por el concreto a través de V_{cz} ; cuando esta se produce las fuerzas

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

V_a, V_d aparecen, la primera crece hasta que se produce la primera fisura diagonal mientras que la segunda se mantiene casi constante en este intervalo. Al presentarse la grieta diagonal, los estribos comienzan a trabajar aportando la fuerza V_s , esta se incrementa linealmente conforme se incrementa el ancho de la fisura, simultáneamente la fuerza de fricción V_a disminuye, pues la interacción entre los agregados se va reduciendo poco a poco. En la falla las componentes V_a, V_d se igualan a cero V_{cz} sufre un incremento repentino. (Harmsen, 2002).

El refuerzo transversal en elementos de concreto armado no solo incrementa la resistencia al corte de la pieza sino que provee confinamiento al concreto. Este le confiere una mayor resistencia a la compresión y aumenta la capacidad de giro de las rotula plásticas de estructuras estáticamente indeterminadas. En zonas de alto riesgo sísmico, se toma prevenciones especiales en cuanto a la distribución para garantizar la ductilidad del sistema. El refuerzo transversal, así mismo restringe el crecimiento del agrietamiento inclinado, controlando la disminución del área de concreto sometido a compresión y por ende el incremento de los esfuerzos en ella. Esto le brinda una mayor capacidad de carga al elemento.

3.2.7.FALLAS EN UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO:

El comportamiento de un elemento de concreto armado cuando se considera la actuación del esfuerzo cortante, es complejo. En los mecanismos resistentes influyen, además de la forma de la sección, su variación a lo largo del elemento, esbeltez de esta, la disposición de las armaduras longitudinal y transversal, la adherencia entre el acero y el concreto, el tipo y situación de las cargas y de los apoyos, etc. No es sencillo incluir todas estas variables en una formulación simple y práctica. Varias teorías han sido propuestas y ninguna puede considerarse como definitiva. Por otra parte, la experimentación existente es todavía insuficiente, por no cubrir todas las combinaciones de los parámetros en juego.

El efecto de las tensiones tangenciales, creadas por el cortante, es el de inclinar las tensiones principales de tracción con respecto a la directriz del elemento. Para cargas reducidas, estas tensiones de tracción no superan la resistencia a tracción del concreto, y es fácil calcular el estado tensional. Cuando aumenta las cargas el concreto se fisura y se produce un complejo reajuste de tensiones entre concreto y armadura, que varía conforme la configuración aumenta hasta llegar a la rotura.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

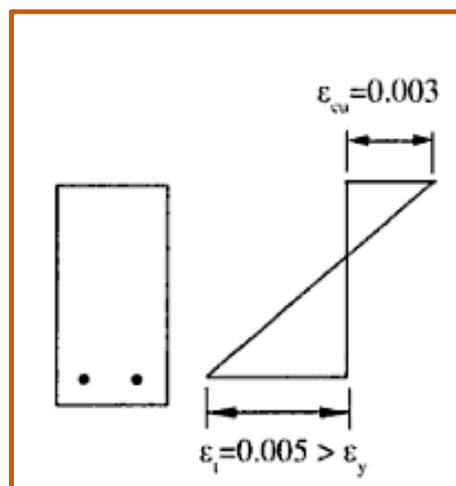
Esta puede producirse de diversas formas, que se representan esquemáticamente, para el caso de viga en flexiones pura y sometida a esfuerzos combinados de flexión y corte:

**3.2.7.1.FALLAS EN UNA VIGA SOMETIDA A FLEXION SIMPLE Y CORTE
APRECIABLE:**

En la realidad no se da este tipo de comportamiento puro debido a que una viga sometida a carga siempre presenta simultáneamente momento flexionante y efectos de fuerza cortante. Entre otras cosas las fallas en los elemento viga depende de que el acero fluya antes o después de que el concreto falle, por lo tanto la naturaleza de la falla es determinada por la cuantía de refuerzo.

- **Falla a tensión (sub reforzada):** Este tipo de fallas se presenta cuando el acero fluye antes de que el concreto alcance su resistencia máxima. Es decir, se considera como una *falla dúctil*; el acero de refuerzo se estira debido a los esfuerzos de tracción de manera que entra en fluencia produciendo grietas considerables y deflexiones importantes en la viga; el concreto alcanza su esfuerzo máximo a compresión a una carga poco mayor que la que produce la carga de fluencia del acero y posteriormente el elemento falla. Recta A en la figura20.

Figura 17. Para una sección controlado por Tensión



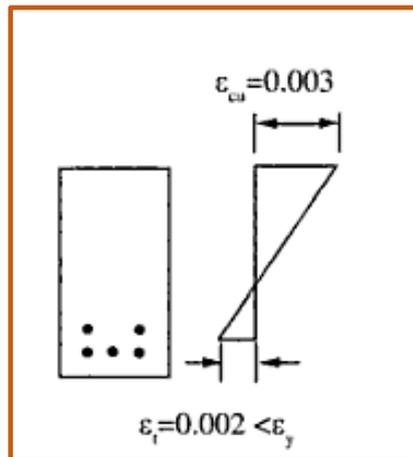
Fuente: (E.Harmsen, 2002).Diseño de Estructuras de Concreto Armado

- **Falla a compresión (sobre reforzada):** Este tipo de fallas se presenta cuando el concreto alcanza su máxima resistencia antes que el acero fluya, esto ocurre cuando

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

se emplean grandes cantidades de refuerzo; el concreto falla por aplastamiento cuando las deformaciones unitarias son tan grandes que destruyen su integridad. Este tipo de fallas es *frágil*, repentina de naturaleza casi explosiva y ocurre casi sin ningún aviso. Recta B en la figura20.

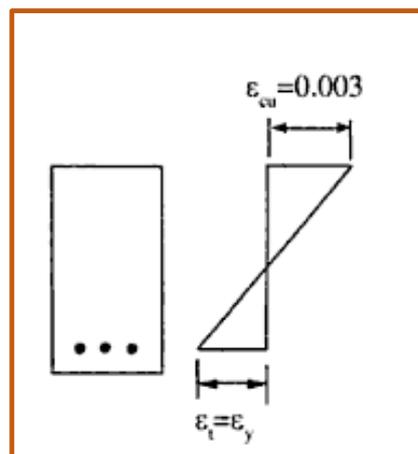
Figura 18. Para una sección controlado a Compresión



Fuente: (E.Harmsen, 2002).Diseño de Estructuras de Concreto Armado

- **Falla Balanceada:** Sucede cuando el elemento alcanza su resistencia precisamente cuando el acero de refuerzo empieza a fluir. En la realidad no se llega a presentarse este tipo de fallas, debido a que es muy complicado llegar a estas condiciones. Recta C en la figura20.

Figura 19. Falla Balanceada.

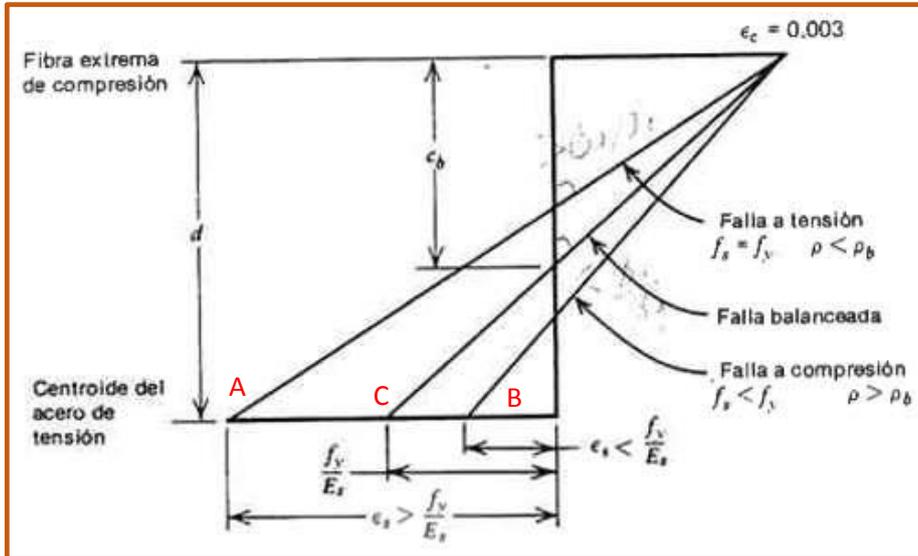


Fuente: (E.Harmsen, 2002).Diseño de Estructuras de Concreto Armado

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En la figura 20 muestra el Diagrama de Deformaciones Unitarias para las diferentes condiciones de falla en una sección de viga justo en el momento de rotura.

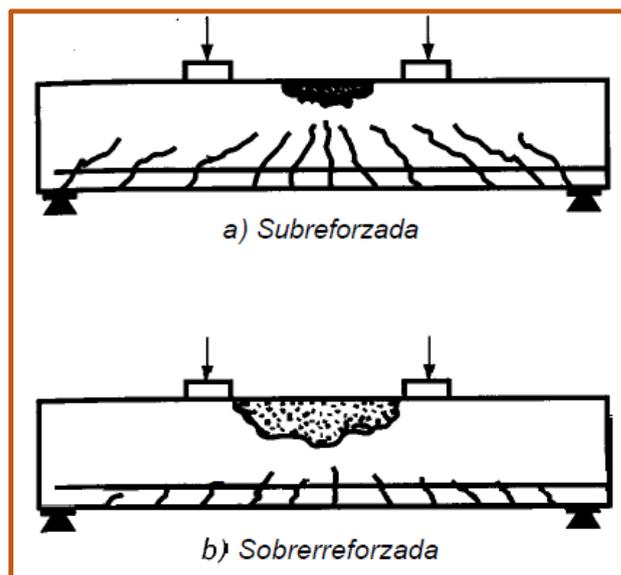
Figura 20. Diagrama de Deformación Unitaria para las tres condiciones de falla.



Fuente: (Park & Paulay, 1988).Estructuras de Concreto Reforzado.

(Gonzalez Cuevas , 2005), muestra una característica importante para reconocer el tipo de falla, en el caso de que un elemento viga que esta sobre reforzada, la zona de aplastamiento del concreto es mayor que en el caso de la sub reforzada, y a la vez la longitud y abertura de las grietas del primero son menores, como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Agrietamiento de una Viga sometidas a Carga



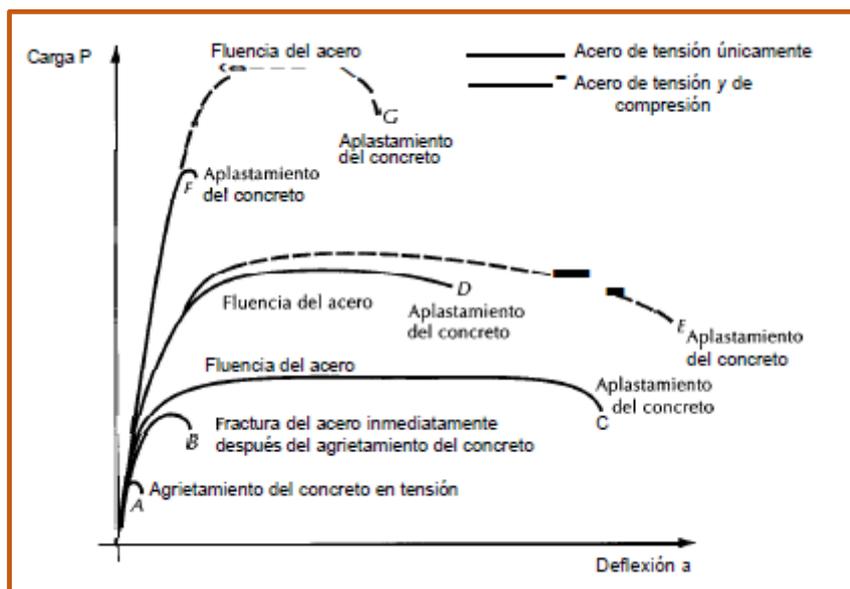
Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En conclusión la variación en el comportamiento de las vigas de concreto armado radica principalmente en la cantidad de porcentaje de acero que se proporciona a la sección.

En la Figura 22 se muestra la representación cualitativa de la variación de las características carga –deflexión de los elementos sometidos a esfuerzos de flexión, en función al porcentaje de acero.

Figura 22. Grafico Carga –Deflexión de secciones de vigas con porcentajes variables de acero.



Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.

3.2.7.2.FALLAS EN UNA VIGA SOMETIDA A FLEXION SIMPLE Y CORTE APRECIABLE:

En estructuras reales el esfuerzo de flexión viene siempre acompañada con una combinación de esfuerzo cortante, esto hace que el elemento fallé de una manera diferente al de una viga sometida solamente a flexión pura. También aparece este tipo de fallas cuando el elemento está provisto un refuerzo transversal deficiente o de lo contrario, sin refuerzo transversal. Por otro lado cabe señalar que la diferencia de fallas no es del todo distinta ya que en los primeros incrementos de carga no existe alguna diferencia entre el comportamiento de un elemento sometido solamente a flexión simple.

Al aumentar las cargas, la fuerza cortante origina esfuerzos principales que exceden la resistencia a tensión del concreto produciendo grietas inclinadas que aparecen súbitamente

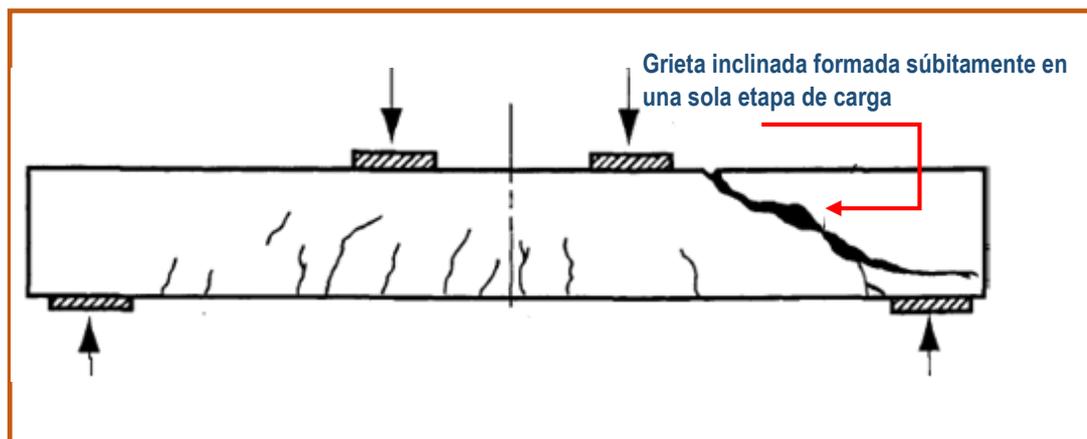
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

donde no aparecen las grietas a flexión, o comúnmente pueden presentarse como *continuación de una grieta de flexión* que gradualmente cambia de inclinación.

- **Falla por tensión Diagonal:** Este forma de falla se manifiesta cuando *la grieta inclinada*⁵ aparece súbitamente, sin señal previa; se produce a partir de una grieta de flexo tracción, generándose inicialmente con un agrietamiento vertical en el centro de la luz, seguido por una pérdida de adherencia entre el refuerzo y concreto cerca del apoyo, en seguida se desarrollan algunas grietas diagonales que se van extendiendo hacia la zona de compresión de la viga; finalmente conforme avanzan se van estabilizando hasta que la garganta de concreto no resiste el efecto combinado de *fuerza de corte en la fisura V* y la compresión debido al momento flector actuante; hasta que seguidamente se produce una falla frágil. Las grietas verticales de flexión no alcanzan el eje neutro y por ende las deformaciones son pequeñas cuando se produce el colapso. (E.Harmsen, 2002).

En la figura 23 se muestra el desarrollo de la grieta diagonal como una continuación de una grieta de flexión que se forma en una sola etapa de carga.

Figura 23. Falla en Tensión Diagonal.



Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.

- **Falla por Compresión por corte:** Este tipo de falla se da cuando el agrietamiento inclinado se desarrolla gradualmente y el colapso del elemento se produce al final por el aplastamiento del concreto en el extremo de la grieta inclinada, al reducirse

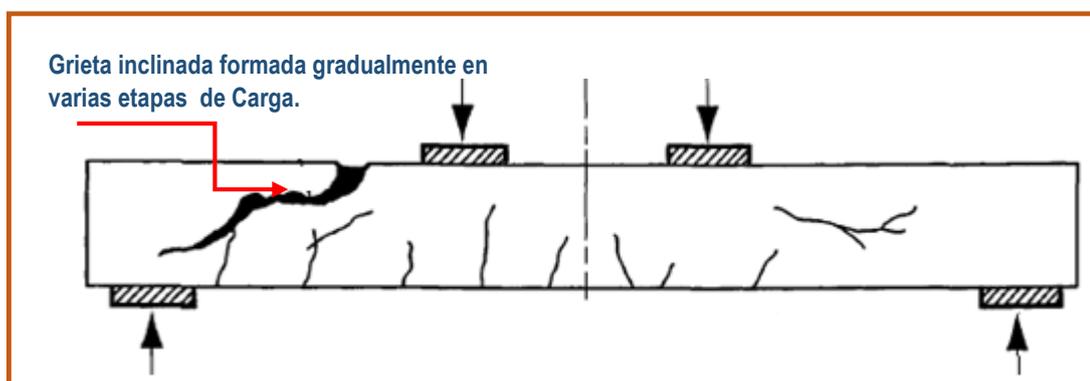
⁵ *Grieta inclinada* es la carga que produce las primeras grietas inclinadas completas (Park & Paulay, 1988).

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

considerablemente la zona disponible para soportar los esfuerzos de compresión originados por la flexión. (Gonzalez Cuevas , 2005).

Del mismo modo (E.Harmsen, 2002); presenta a este tipo de fallas con las características de que la grieta diagonal se desarrolla hacia la zona de compresión como se observa en figura 24. El aplastamiento del concreto en las fibras superiores y en los puntos de aplicación de las cargas concentradas, reduce la velocidad de avance de las fisuras diagonales permitiendo una *redistribución de esfuerzos*; finalmente la falla de tipo frágil se presenta cuando la grieta diagonal alcanza el concreto aplastado.

Figura 24. Falla por compresión por Corte.



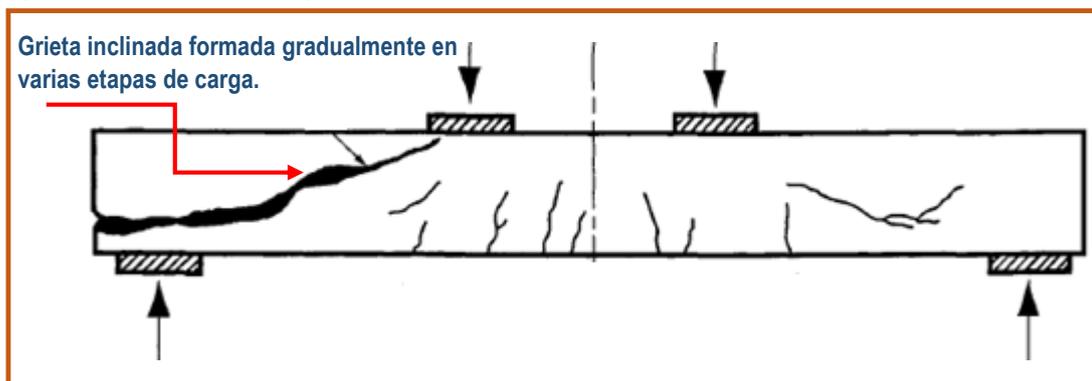
Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.

- **Falla por adherencia por corte:** Este tipo de falla se caracteriza porque la resistencia se alcanza cuando se presentan extensos agrietamientos longitudinales al nivel del acero de tracción, simultáneos con un aplastamiento ligero en la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada.

La figura 25 muestra una viga sometida a cargas a un tercio de su longitud, que presenta una falla por adherencia, debido al anclaje inadecuado del refuerzo longitudinal, originando el colapso de la viga por pérdida de adherencia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 25. Falla en Adherencia por Corte.



Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado.

Es importante también señalar que en las vigas un tipo especial de falla se presenta cuando las cargas concentradas se aplican a una distancia del apoyo menor al peralte de la sección, donde conforme se incrementan los esfuerzos, se desarrolla una grieta que une el apoyo con el punto de aplicación de la carga; esta es soportada por la compresión inclinada entre ambos puntos, por lo que la resistencia observada es mucho mayor. El refuerzo longitudinal pierde su capacidad para transmitir esfuerzos y actúa a manera de tirante, produciéndose una falla de dos tipos: por pérdida de anclaje del acero en el apoyo o por el aplastamiento del concreto comprimido.

Para aclarar un poco más el panorama (Gonzalez Cuevas , 2005) sostienen que desde el punto de vista de resistencia; cuando el colapso es súbito y se produce de inmediato al aparecer la primera grieta inclinada importante, se dice que el elemento falla en *tensión diagonal*. Cuando la falla ocurre después de la aparición de una grieta inclinada importante y la resistencia es mayor que la carga que formó esta grieta, se dice que el elemento tuvo una *falla en compresión por corte o en adherencia por corte*, según sea el caso.

Del mismo modo desde el punto de vista del comportamiento estructural, es muy desventajoso presentarse este tipo de fallas debido a que se produce rápidamente a deformaciones pequeñas; en consecuencia el elemento resulta *poco dúctil*.

3.3. RESPUESTA ESPERADA PARA UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SOMETIDA A CARGA ESTÁTICA.

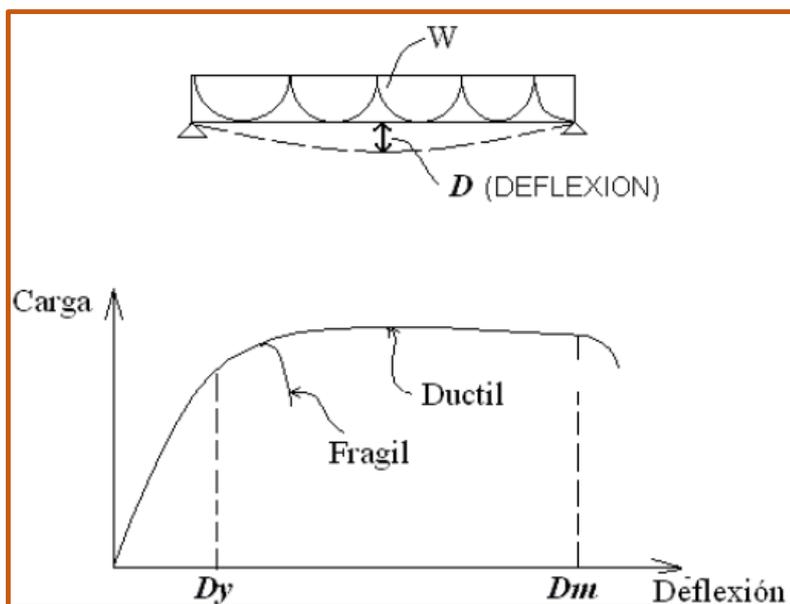
3.3.1. CURVA CARGA DEFORMACION:

La curva carga deformación de un elemento estructural depende principalmente de los materiales que lo componen y de la sección transversal. Según sea el caso *carga* se entiende como una fuerza, un momento, un esfuerzo; y por *deformación* un desplazamiento, un giro, una curvatura, una deformación unitaria, etc.

En el diseño de elementos y estructuras de concreto armado, es importante lograr un comportamiento dúctil bajo cargas de gravedad y especialmente frente a solicitaciones sísmicas severas. La importancia de considerar las características carga – deformación de un elemento o de una estructura, obedecen a:

1. No debe ocurrir la falla frágil de los miembros; en el caso extremo de que una estructura se cargue hasta la falla, debe poder desarrollar grandes deflexiones bajo cargas cercanas a la máxima, lo que puede impedir el colapso total.

Figura 26. Comportamiento de la curva carga –deflexión de un miembro a flexión.



Fuente: (Ottazi Pasino, 2004) Diseño de Concreto Armado.

Al momento de diseñar un elemento estructural lo recomendable es lograr que su comportamiento sea dúctil asociado a deformaciones importantes sin pérdida apreciable en la capacidad de carga. *La estructura dúctil* tiene mayor capacidad de absorber energía, esta mayor capacidad se observa si se comparan las áreas debajo

de la curva carga – deflexión. Frente a las cargas de servicio el comportamiento es prácticamente el mismo para ambas vigas.

En la figura 26 se observa que cuando el comportamiento del elemento estructural es dúctil, esta puede incursionar en el rango no lineal sin colapsar. Una medida de la ductilidad del elemento es la *ductilidad del desplazamiento* definida como el cociente entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento donde se inicia la fluencia del elemento estructural.

$$\mu = \frac{Dm}{Dy}$$

2. Un factor importante aparece dentro del comportamiento del elemento viga de concreto armado el cual se denomina *ductilidad* que es muy importante no solo porque puede servir como señal de alerta de falla inminente, también es esencial si la estructura debe resistir cargas dinámicas en algún instante de su vida útil. (Park & Paulay, 1988).

La actual filosofía de diseño sísmo resistente considera a la ductilidad como un parámetro de diseño muy importante y confía en las propiedades de absorción y disipación de energía de las estructuras (reducción de fuerzas elásticas por ductilidad) para que estas puedan resistir sin colapsar, ante solicitaciones dinámicas.

En consecuencia las características de disipación de energía o de comportamiento inelástico de los elementos estructurales son importantes, y se pueden entender de mejor manera si se construye el *diagrama momento curvatura* además dicho diagrama ayudara a formarse una idea clara de la capacidad de deformación inelástica de un elemento o estructura.

3.3.2. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA:

El diagrama momento curvatura de una sección transversal de un elemento viga sirve para entender y analizar de mejor manera el comportamiento de los elementos sometidos a flexión.

El conocimiento del comportamiento de la sección a través del diagrama momento curvatura es importante en diferentes contextos, pero para la presente tesis básicamente servirá para estudiar la ductilidad de la sección.

El diagrama momento curvatura normalmente se construye para una sección de concreto armado, considerando que las deformaciones predominantes son las de flexión. Pero no está

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

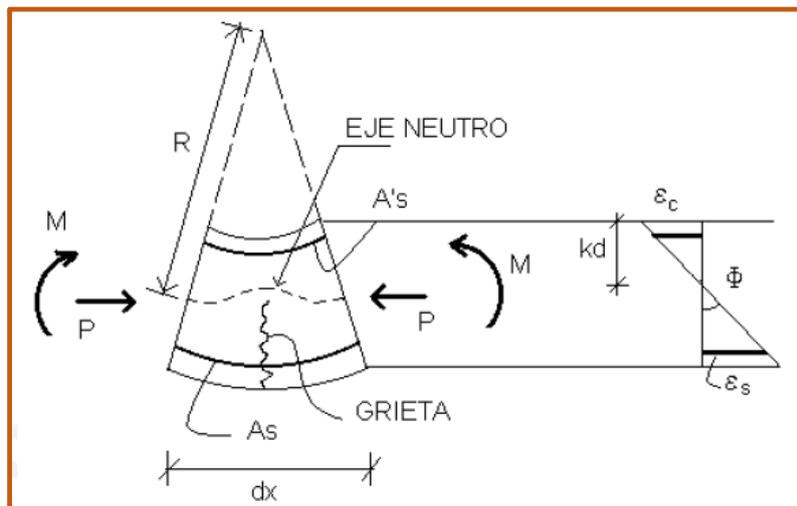
demás destacar que normalmente en la realidad las deformaciones predominantes de un elemento estructural de dimensiones o proporciones usuales, proviene de la sollicitación de flexión.

3.3.2.1. CURVATURA DE UN MIEMBRO

“La curvatura de una sección se define como el cambio de ángulo por unidad de longitud en una ubicación dada, a lo largo del eje del elemento sometido a cargas que producen flexión”. (Nilson, 2001).

La figura 27 muestra un elemento inicialmente recto de un miembro de concreto Armado con momentos de extremos y fuerzas axiales iguales, además el radio de curvatura R se mide hasta el eje neutro. Donde dichas denotación se representan de la siguiente manera: El radio de curvatura R, la profundidad del eje neutro kd, la deformación del concreto en la fibra extrema a compresión ϵ_c , y la deformación del acero de tensión ϵ_s .

Figura 27. Representación Gráfica de la Curvatura de un miembro



Fuente: (Ottazi Pasino, 2004) *Diseño de Concreto Armado*.

Obsérvese la figura 28, por semejanza de triángulos y se puede determinar lo que se denomina la curvatura del elemento de la siguiente manera:

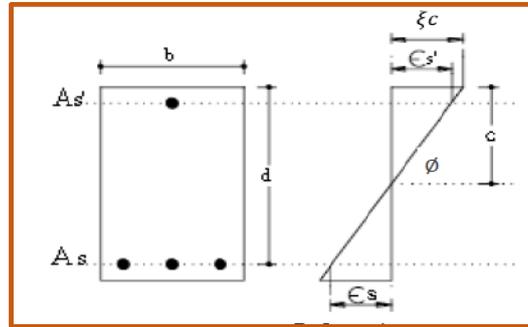
$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \phi \quad \text{Curvatura del elemento (Rotación por unidad de longitud)}$$

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} \quad \phi = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_s}{d-c} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d}$$

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 28. Representación Gráfica de la curvatura de una sección de Concreto Armado



Fuente: elaboración propia.

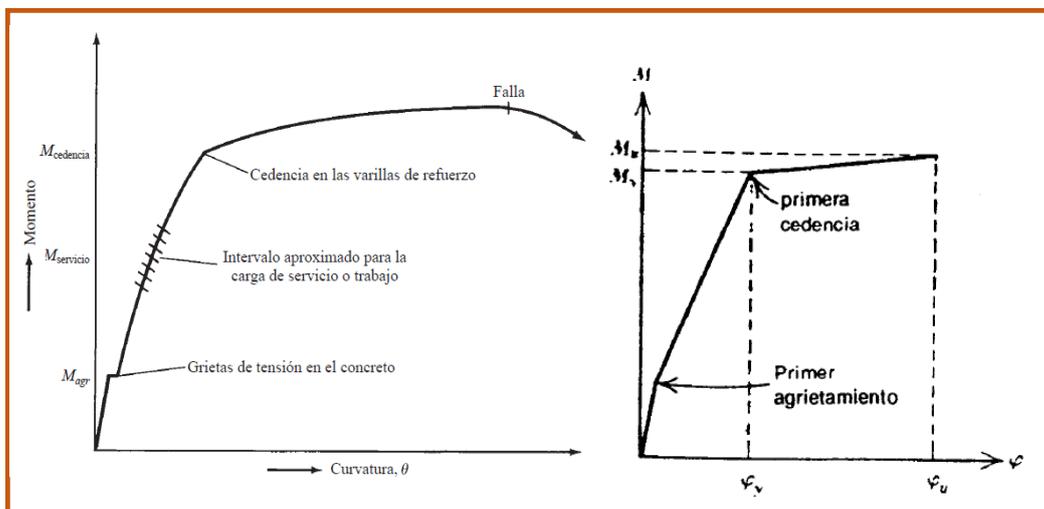
No es demás de destacar que la curvatura de la sección “ φ ” cambia a lo largo del eje del elemento debido a la variación de la profundidad del eje neutro, a la variación de las deformaciones entre grietas y a la variación en la cantidad de acero de refuerzo. En la etapa elástica se cumplirá la relación clásica siguiente:

$$EI = MR = M/\varphi$$

3.3.2.2. LIMITES DE DEFORMACION PARA EL ANALISIS MOMENTO CURVATURA

Para ilustrar mejor manera la respuesta de un elemento estructural de tipo viga se debe elaborar el diagrama momento curvatura; curva se puede idealizar por la relación trilineal a partir de la determinación de tres puntos importantes dentro del proceso.

Figura 29. Diagrama Momento Curvatura Típica para una viga de Concreto Armado



Fuente: (Park & Paulay, 1988). Estructuras de Concreto Reforzado.

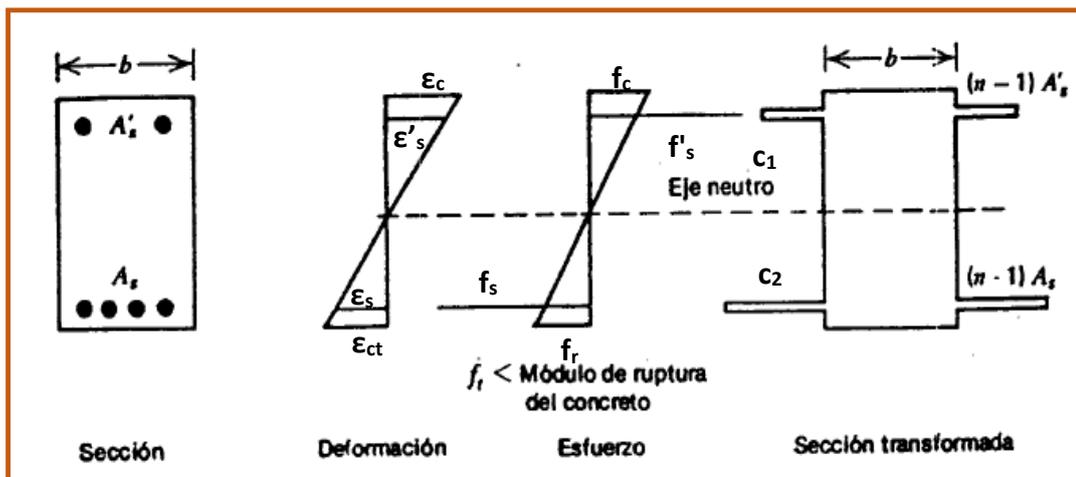
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En la figura 29 se observa la idealización la relación momento curvatura, en base a la suposición que las secciones permanecen planas antes y después de la flexión y que se conocen las curvas esfuerzo deformación del concreto y acero. Además los rangos están asociadas a momentos flexionante y pueden ser determinadas a partir de los requerimientos de compatibilidad de deformaciones y equilibrio de fuerzas.

3.3.2.2.1. MOMENTO DE AGRIETAMIENTO:

Para los elementos de concreto armado el inicio del agrietamiento marca generalmente el punto de un cambio muy significativo en la dirección de la curva y también en la rigidez. Además es el momento en donde el esfuerzo en el concreto en la cara de tensión es justamente igual al módulo de rotura “ f_r ” y la deformación unitaria es $\epsilon_{ct}=f_r/E_c$ y debido a que este evento sucede en un corto tiempo el acero se encuentra muy por debajo de su fluencia en este estado de cargas. (Nilson, 2001).

Figura 30. Sección de Viga en el Momento de fisuración.



Fuente: (Park & Paulay, 1988).Estructuras de Concreto Reforzado.

En la figura 30 se muestra las condiciones de una viga en el momento de fisuración en el cual existe la participación de toda la sección bruta del elemento para resistir los esfuerzos generados por las cargas, donde el momento de fisuración y su respectiva curvatura se hallan mediante las siguientes formulas.

$$M = \frac{f_r I_g}{c_2} \quad \varphi = \frac{\epsilon_{ct}}{c_2}$$

Dónde: I_g momento de inercia para la sección transformada no agrietada, ϵ_{ct} deformación unitaria del concreto en la cara de tracción de la sección, c_2 profundidad del eje neutro

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

medida desde la cara de tracción y fr módulo de rotura del concreto. Ya en el ANEXO V se realiza el procedimiento y desarrollo para obtente dichos valores.

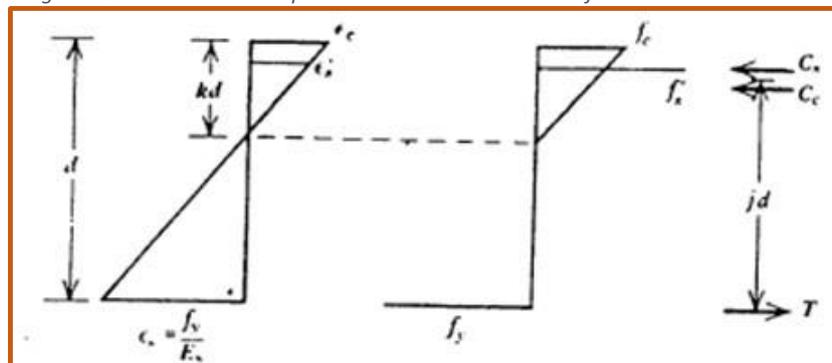
No está de más destacar que posterior a este punto de fisuración, las varillas de refuerzo en el lado de tensión comienza a absorber la tensión causada por el momento aplicado. Y se desprecia cualquier aporte del concreto en la zona de tensión.

3.3.2.2.2. MOMENTO DE FLUENCIA DEL ACERO:

Se da después del agrietamiento en la primera fluencia del acero principal. Es el punto en donde se produce el segundo cambio de dirección en la curva y también un cambio significativo en la rigidez.

En la figura 31 se considera las características que se deben tener en cuenta para esta etapa de cargas, donde un parámetro principal que se conoce es la deformación unitaria del acero de tensión, que en este caso debe ser la deformación que corresponde al esfuerzo de fluencia del acero $f_y=4200\text{kg/cm}^2$; y por lo tanto la deformación unitaria del acero de tensión quedaría: $\epsilon_s= \epsilon_y= f_y/E_s=0.0021$.

Figura 31. Consideraciones para una sección a la Primera fluencia del Acero



Fuente: (Park & Paulay, 1988).Estructuras de Concreto Reforzado.

Cabe señalar también que hasta este punto dentro del diagrama momento curvatura se considera que el elemento está dentro del rango elástico lineal; y que posterior a este punto de fluencia, el elemento incursiona en el rango inelástico no lineal, además se observa que a partir de este momento hay un aumento en la curvatura de sección, sin que se presente un mayor aumento en el momento hasta el punto en que se empieza a presentar un aumento de la resistencia del acero debido al fenómeno de endurecimiento por deformación.

Es necesario mencionar que las ecuaciones que definen el momento y la curvatura a la primera fluencia son las siguientes:

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

$$k = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n$$

$$M_y = A_s f_y j d$$

$$\phi_y = \frac{f_y / E_s}{d(1 - k)}$$

Dónde: d profundidad efectiva del acero de tensión, d' profundidad del acero de compresión, Ec módulo de elasticidad del concreto⁶, Es módulo de elasticidad del acero⁷, jd distancia desde el centroide de las fuerzas de compresión entre el acero y el concreto al centroide del acero de tensión, ρ cuantía de acero, n razón modular⁸ (n=Es/Ec). Ya en el ANEXO V se realiza el procedimiento y desarrollo para obtente dichos valores.

3.3.2.2.3. MOMENTO ÚLTIMO O DE FALLA.

Se considera como el punto en donde el elemento fallará, además se supone que las varillas de refuerzo a tensión están trabajando en su punto de fluencia antes de que falle el concreto en el lado de compresión de la viga. Es en este punto donde se alcanza la resistencia última o nominal del elemento.

Después de que el concreto incursiona en el rango inelástico, los esfuerzos en el concreto ya no varían linealmente a la distancia del eje neutro. Su comportamiento se vuelve más bien curvo como muestra la figura 32.

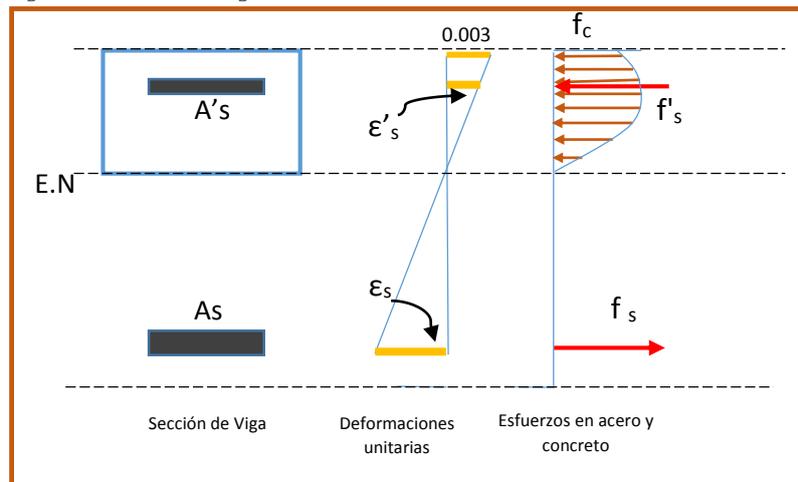
⁶ Módulo de Elasticidad del concreto (Ec), para concretos de peso normal (aproximadamente 2,300kg/cm3) la norma peruana RNE. E-060 permite estimar Ec mediante : $E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$ kg/cm2

⁷ Módulo de Elasticidad del acero (Es), de acuerdo a las propiedades de las barras de acero Grado 60, y además que el RNE lo contempla Es=2000000 kg/cm2

⁸ *Razón modular*; es la relación del módulo de elasticidad del acero entre el módulo de elasticidad del concreto. Es un factor de proporcionalidad al esfuerzo de los dos materiales, debido a que a diferencia de las deformaciones unitarias en el concreto y el acero son iguales a distancias iguales del eje neutro, los esfuerzos en dichos materiales no lo son.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

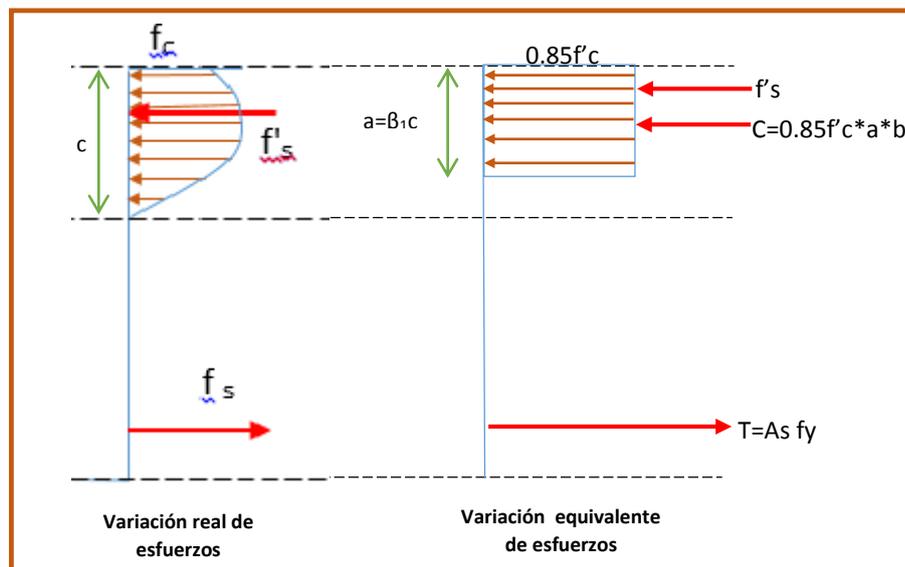
Figura 32. Sección de viga en el Momento de Falla.



Fuente: Elaboración Propia.

Es de destacar lo propuesto por el investigador V. Whitney. Que para fines de análisis el diagrama de compresión curvo se reemplaza con uno rectangular equivalente, como una medida de simplificación. Este rectángulo equivalente tendría un esfuerzo de concreto constante de $0.85 f'_c$ como se muestre la figura 33, se considera además que la altura “a” tiene el mismo centro de gravedad y la misma magnitud que el diagrama curvo, sabiendo también que $a = \beta_1 * c$, donde β_1 es obtenido mediante pruebas y especificadas en las normas.

Figura 33. Diagrama Equivalente de Esfuerzos



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Es necesario mencionar que las ecuaciones que definen el momento y la curvatura en la falla del elemento viga, que posteriormente en el ANEXO V serán desarrolladas son las siguientes:

$$a = \frac{(Asfy - A's * f's)}{0.85 * f'c * b}$$

$$Mu = (Asfy - A's * f's) * (d-a/2) + A's * f's * (d-d')$$

$$\varphi u = \frac{\xi c}{c}$$

Finalmente no está demás destacar como lo menciona (Park & Paulay, 1988); “Para valores pequeños $\rho - \rho'$ es posible que el eje neutro en el momento ultimo este por encima del acero superior de compresión, y en consecuencia, que tanto el acero superior como el acero inferior estén en tensión. Para valores grandes de $\rho - \rho'$ se hace grande el esfuerzo de compresión del concreto a la primera fluencia el acero de tensión, y el comportamiento es poco dúctil y elemento falla frágilmente por aplastamiento de la zona de compresión” (Park & Paulay, 1988)

3.3.2.3. DUCTILIDAD

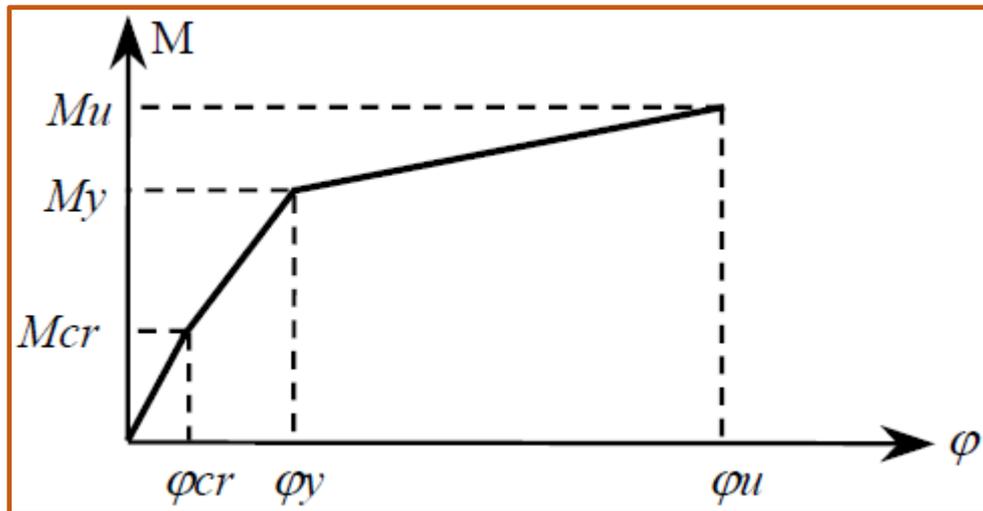
La ductilidad es la capacidad que tiene un elemento de sufrir grandes deformaciones bajo cargas cercanas a la falla. Además la ductilidad de curvatura permite medir la capacidad de rotación o de deformación inelástica de una sección. Si un elemento posee poca capacidad de ductilidad de curvatura, lo más probable es que presente una falla de tipo frágil cuando la estructura ingrese al rango no lineal. Este tipo de falla no es deseable en estructuras sismo-resistente. Un valor alto de ductilidad de curvatura hace que la edificación dé amplia advertencia de falla en el rango no lineal; además, hará posible la redistribución de momentos y la *disipación de energía*. (Park & Paulay, 1988)

La ductilidad (μ) del elemento se obtiene por medio de la relación momento curvatura (M- φ) calculando el cociente entre el valor de la curvatura ultima (φ_u) y la curvatura en el punto de fluencia (φ_y), ambos valores obtenidos del diagrama momento curvatura que se observa en la figura 34. La ductilidad se define con la siguiente expresión.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

$$\mu = \frac{\phi u}{\phi y}$$

Figura 34. Diagrama Momento –Curvatura Trilineal Aproximado.



Fuente: (Ottazi Pasino, 2004) *Diseño de Concreto Armado*.

3.4. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y ANALISIS PARA UNA VIGA DE CONCRETO ARMADO SEGÚN LA NORMA E-060

En esta parte de la tesis se establece las hipótesis de diseño y cálculo de las vigas de concreto armado según la norma E-060 que hace referencia también a que en los elementos deben definirse claramente los criterios que caracterizan el comportamiento esperado de la estructura.

3.4.1. REQUERIMIENTOS A FLEXION:

La resistencia de los elementos sometidos a flexión puede definirse a partir de las *hipótesis simplificadas de la norma E-060 del capítulo 10*:

- El diseño por resistencia de elementos sometidos a flexión y carga axial debe satisfacer las condiciones de equilibrio y de compatibilidad de deformaciones.
- Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcional a la distancia desde el eje neutro, excepto para vigas de gran peralte.
- La máxima deformación unitaria utilizable del concreto ϵ_{cu} , en la fibra extrema sometida a compresión, se asumirá igual a 0.003.
- La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión y carga axial.
- La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que permita una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos de laboratorio respectivos.
- El requerimiento del punto anterior se satisface si se asume una distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto, definida como sigue:
 - ◆ Un esfuerzo en el concreto de $0.85f'_c$ uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal del elemento y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia $\alpha=\beta_1c$ de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión.
 - ◆ La distancia desde la fibra de deformación unitaria máxima en compresión al eje neutro, c , se debe medir en dirección perpendicular al eje neutro.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- ◆ Para $f'c$ entre 17 y 28 MPa, el factor β_1 se debe tomar como 0.85. Para $f'c$ mayor o igual a 28 MPa β_1 se debe tomar como 0.65. Para $f'c$ entre 28 y 56 MPa se debe interpolar linealmente entre 0.85 y 0.65.

Los principios y requisitos generales que se muestra en la norma E-060 para el diseño y análisis por flexión son:

- La condición de falla balanceada se produce en una sección transversal cuando el refuerzo en tracción alcanza la deformación unitaria correspondiente a f_y al mismo tiempo que el concreto en compresión alcanza su deformación unitaria máxima utilizable ϵ_{cu} de 0.003. Este criterio es general y se aplica a secciones de cualquier forma sin acero de compresión o con él.
- Se permite el uso de refuerzo de compresión en conjunto con el refuerzo adicional de tracción para incrementar la resistencia de elementos sometidos a flexión.
- Un elemento no pre esforzado sujeta flexión o flexocompresión, el refuerzo en tracción no deberá exceder de $0.75 A_{sb}$, donde A_{sb} es la cantidad de acero en tracción que produce la falla balanceada en la sección.

En la norma E-060 también nos indica el *refuerzo mínimo en tracción* denotado de la siguiente manera:

- En cualquier sección de elemento estructural –excepto en zapatas y losas macizas – sometidas a flexión, donde por el análisis se requiera refuerzo de acero en tracción, el área de acero que se proporciona será la necesaria para que la resistencia de diseño de la sección sea por lo menos 1.2 veces el momento de agrietamiento de la sección bruta M_{cr} ($\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$).

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t} \quad ; \quad f_r = 0.62\sqrt{f'c}$$

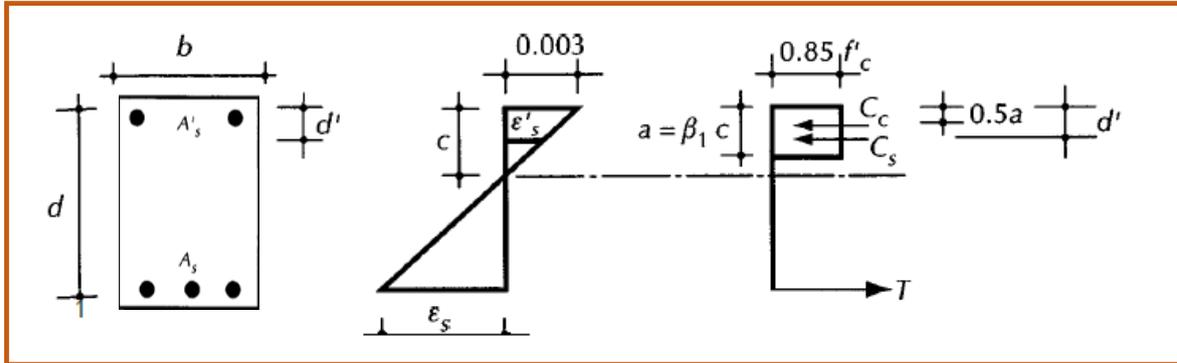
- El área mínima de refuerzo por tracción de las secciones rectangulares y de las secciones T con el ala en compresión, no será menor de:

$$A_{smin} = \frac{0.22\sqrt{f'c}}{f_y} * b_w d$$

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Expuesto lo anterior no es demás señalar las fórmulas que determina la resistencia de un elemento a flexión, y entenderlo de mejor manera usando la figura 35; haciendo el respectivo tratamiento se obtienen las siguientes relaciones:

Figura 35. Sección de viga, diagrama de deformaciones unitarias y diagrama de esfuerzos equivalentes



Fuente: (Gonzalez Cuevas , 2005).Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado

RESUMEN DE FORMULAS

- Cuantía balanceada:

$$Pb = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{0.003 \cdot E_s}{0.003 \cdot E_s + f_y} \right)$$

- Cuantía máxima:

$$P_{max} = 0.75 \cdot Pb$$

- Profundidad del diagrama de esfuerzos del concreto en compresión equivalente:

$$a = \frac{(A_s f_y - A'_s \cdot f'_s)}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

- Deformaciones unitarias en el acero de tracción y de compresión:

$$\varepsilon'_s = 0.003 \cdot \frac{c - d'}{c} \quad \varepsilon_s = 0.003 \cdot \frac{d - c}{c} \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

- Esfuerzo en el acero de compresión:

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s$$

- Momento último de la sección:

$$M_u \leq \phi Mn(\text{Resistencia Requerida})$$

$$\phi = \text{factor de reduccion}$$

$$M_u = \phi \cdot [(A_s f_y - A'_s \cdot f'_s) \cdot (d - a/2) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d')]$$

3.4.2. REQUERIMIENTOS POR CORTE:

El (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2010) norma E-060 Capítulo 11 presenta diferentes requerimientos para el cálculo de la resistencia nominal y el diseño de secciones transversales sometidos a fuerza cortante como lo indica los siguientes puntos:

- La resistencia a corte está representado mediante la siguiente relación:

$$V_u \leq \phi V_n (\text{Resistencia Requerida})$$

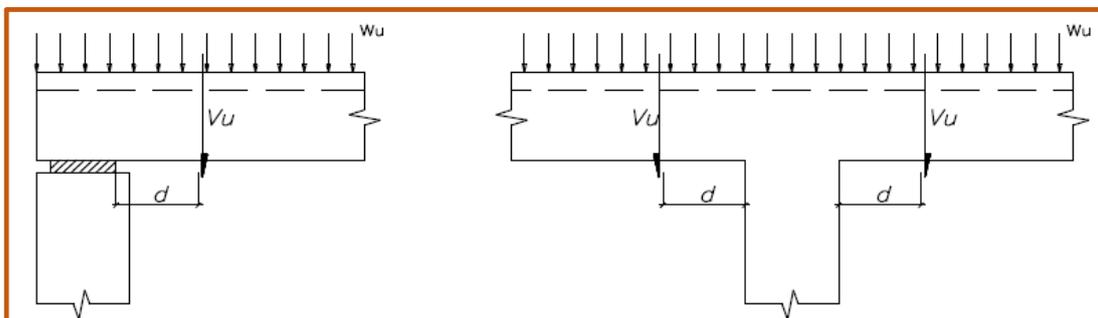
- La resistencia nominal a corte está calculada mediante la suma de la resistencia a corte de concreto y la resistencia a cortante proporcionada por el refuerzo transversal.

$$V_n = V_c + V_s$$

La norma E-060 también pone énfasis a los siguientes *planteamientos*:

- Las aberturas en el alma de la sección reduce a resistencia al cortante.
- Se permite diseñar las secciones ubicadas entre la cara del apoyo y la sección crítica definida en la figura 36, con la fuerza cortante V_u calculada en la sección crítica cuando se cumplan las tres condiciones siguientes:
 - La reacción en el apoyo en la dirección del cortante aplicado introduce compresión en la zona extrema del elemento.
 - Las cargas están aplicadas en o cerca de la cara superior del elemento.
 - No existe cargas concentradas entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida en la figura 36.

Figura 36. Condiciones de apoyo y de aplicación de las carga extremas en las cuales se puede reducir la fuerza V_u de diseño a “d” de la cara.

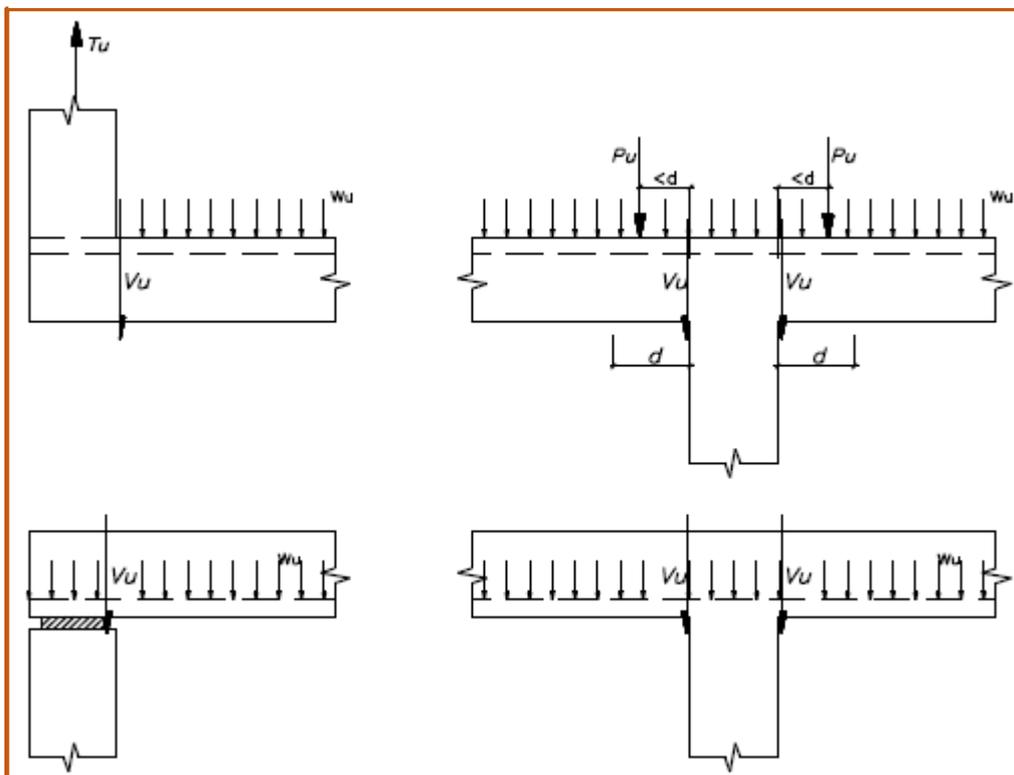


Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010).

- En la figura 36 y 37. Para los elementos no preesforzados, se permite diseñar las secciones localizadas a una distancia menor a “d”, medida desde la cara del apoyo, para la fuerza cortante V_u calculada a la distancia “d” de la cara del apoyo.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 37. Condiciones de apoyo y de aplicación de las carga extremas en las cuales no se puede reducir la fuerza V_u de diseño.



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010).

Además según la disposición de la norma E-060 propone relaciones para determinar la *resistencia nominal aportada por el concreto*:

- Formula simplificada Para elementos sometidos únicamente a corte y flexión.

$$V_c = 0.17 * \sqrt{f'c} * b * d$$

- Formula detallada Para elementos sometidos únicamente a corte y flexión.

$$V_c = \left(0.16 * \sqrt{f'c} + 17 * \rho * \frac{V_u * d}{M_u} \right) * b * d \leq 0.29 * \sqrt{f'c} * b * d$$

También la norma E-060 ítem 11.5 dispone los siguientes puntos cuando se trata determina la *resistencia nominal aportada por el refuerzo transversal de cortante y su diseño*:

- Se permite la utilización de refuerzo a corte, estribos perpendiculares al eje del elemento.
- Estribos que formen una ángulo de 45° o más con el refuerzo longitudinal de tracción.
- Los valores de f_y y f_{yt} usados en el diseño de refuerzo de cortante no debe exceder 420Mpa.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- Los estribos y otras barras o alambres usados como refuerzo de cortante deben desarrollarse en ambos extremos. El refuerzo a corte debe de estar anclado de manera adecuada en ambos extremos, a fin de que sea completamente efectivo en cualquiera de los lados de una fisura inclinada potencial.
- Donde la fuerza cortante V_u exceda de ϕV_c el refuerzo a corte debe absorber el remanente de corte determinado mediante la siguiente relación, para un refuerzo perpendicular al eje del elemento y un refuerzo inclinado respectivamente.

$$V_s = \frac{A_v * f_y t * d}{s}$$

$$V_s = \frac{A_v * f_y t * (s \sin \alpha + c \cos \alpha) d}{s}$$

- En ningún caso se debe considerar V_s mayor que $0.66 \sqrt{f'c} b d$.
- En cuanto se refiere al límite para el espaciamiento del refuerzo transversal en el ítem 11.5.5 de la Norma E-060 se toman los siguientes requerimientos:
 - El espaciamiento del refuerzo de cortante colocado perpendicularmente al eje del elemento no debe exceder de $d/2$ en elementos de concreto no preesforzado, ni de 600mm.
 - *Los estribos inclinados y el refuerzo longitudinal doblado deben estar espaciados de manera tal que cada grieta potencial a 45° , que se extiende hacia la reacción desde la mitad de la altura del elemento, $d/2$, hasta el refuerzo longitudinal de tracción, debe estar cruzado por lo menos por una línea de refuerzo de cortante.*
 - Donde V_s sobrepase $0.33 \sqrt{f'c} b d$, las separaciones máximas dadas anteriormente se deben reducir a la mitad.

RESUMEN DE FORMULAS:

- Corte que absorbe el concreto (kg):

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

- Corte Máximo que absorbe la sección (kg):

$$V_{max} = 2.1 * \sqrt{f'c} * b * d$$

- Corte que absorbe los estribos(kg):

$$V_s = \frac{\phi * A_v * f_y * d}{s}$$

- Espaciamiento máximo:

$$V_{s1} = \phi * 1.1 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vu \leq Vs1 \quad ; \quad Smax = 1/2 \quad \text{Ó} \quad 60cm$$

$$Vu > Vs1 \quad ; \quad Smax = 1/4 \quad \text{Ó} \quad 30cm$$

3.4.3. ANCLAJES Y LONGITUD DE DESARROLLO:

El concepto de la longitud de anclaje de las barras y alambres solicitados a tracción se basa en la tensión de adherencia promedio que se logra en la longitud embebida de estas barras o alambres. Este concepto exige que las armaduras tengan longitudes mínimas especificadas o que se prolonguen las distancias mínimas especificadas más allá de las secciones en las cuales la armadura está solicitada a las tensiones máximas.

Es muy importante señalar que para lograr una adherencia entre el acero y el concreto es necesario que se generen fuerzas de adherencia en la superficie de contacto de ambos materiales.

3.4.3.1. ANCLAJES:

A partir del sitio en que la barra de acero alcanza su esfuerzo máximo, se debe desarrollar un mecanismo de anclaje en el concreto para asegurar su funcionamiento adecuado, en las alternativas de anclaje utilizadas en nuestra medio tenemos:

- Anclaje por desarrollo de la longitud de la varilla dentro del concreto.
- Ganchos de anclaje dentro del concreto en el extremo de la varilla.

3.4.3.2. LONGITUD DE DESARROLLO

Es la longitud que se requiere embeber a una varilla de acero corrugado dentro del concreto, para alcanzar los esfuerzos especificados en el diseño.

Los principales factores que influyen en la longitud de desarrollo son los siguientes:

Esfuerzo de fluencia: Mientras mayor sea el esfuerzo de fluencia, se requerirá proporcionalmente una mayor longitud de desarrollo.

Sección Transversal: Cuanto mayor sea la sección transversal de la varilla, desarrollará una mayor fuerza, y se necesitará proporcionalmente una mayor longitud de desarrollo.

Périmetro de la varilla: Mientras mayor sea el perímetro de la varilla, existirá una mayor superficie de concreto en la que se desarrolle adherencia, por lo que se requerirá proporcionalidad inversa con la longitud de desarrollo.

Resistencia del concreto: Cuanto mayor sea la resistencia a tracción del concreto se podrán desarrollar esfuerzos más altos de adherencia, por lo que existirá proporcionalidad inversa con la longitud de desarrollo.

3.4.3.3. LONGITUD DE DESARROLLO DE ACUERDO A LA NORMA E-060

Estos conceptos se denotan en el capítulo 12 de la Norma

3.4.3.3.1. LONGITUD DE DESARROLLO DE REFUERZO

La tracción o compresión calculada en cada sección de los elementos de concreto estructural, debe ser desarrollada hacia cada lado de dicha sección mediante una longitud embebida en el concreto (longitud de anclaje), gancho, dispositivo mecánico o una combinación de ellos. Los ganchos no se deben emplear para el anclaje de barras en compresión.

Los valores de $\sqrt{f'_c}$ usados en este contenido no deben exceder de 8.3 MPa.

3.4.3.3.2. LONGITUD DE DESARROLLO DE BARRAS CORRUGADAS Y DE ALAMBRES CORRUGADOS A TRACCIÓN

La longitud de desarrollo para barras corrugadas y alambre corrugado en tracción, l_d , debe determinarse a partir de los dos siguientes acapites, pero no debe ser menor que 300 mm.

Para barras corrugadas o alambres corrugados, l_d se calcula de acuerdo a la siguiente tabla.

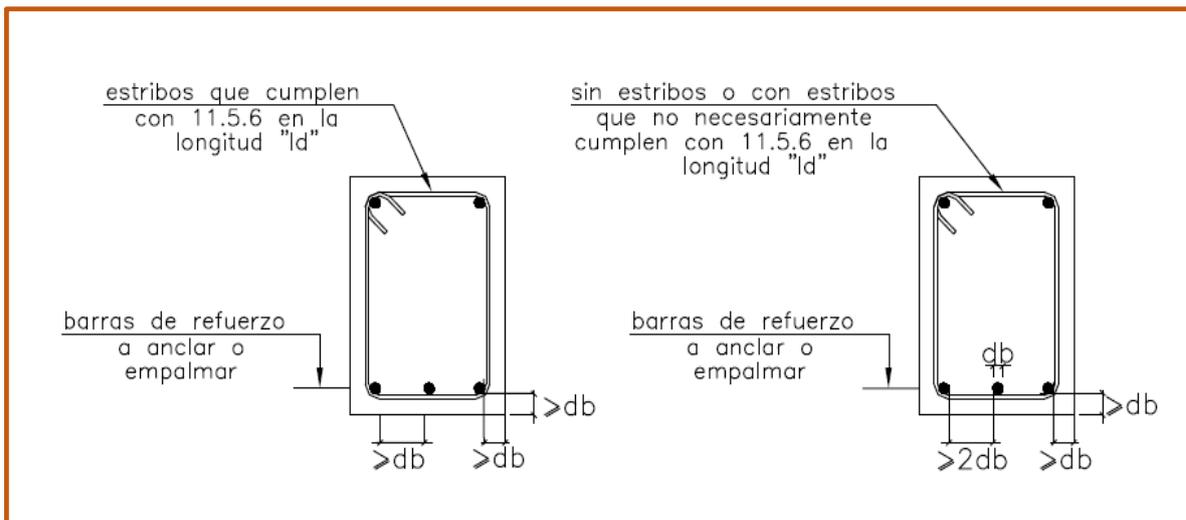
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 1. Longitud de desarrollo de barras en tracción.

Condiciones	Alambres corrugados o barras de 3/4" y menores	Barras mayores de 3/4"
<p>Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrollados no menor que db, con recubrimiento libre no menor que db, y estribos a lo largo de l_d por lo menos iguales al mínimo indicado en refuerzo mínimo de cortante.</p> <p>Aplicable también cuando el espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o empalmadas no sea menor que $2db$ y el recubrimiento libre no menor que db</p>	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \lambda}{2.6 \sqrt{f'_c}} \right) db$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \lambda}{2.1 \sqrt{f'_c}} \right) db$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)

Figura 38. Condición para la longitud de desarrollo de barras en tracción.



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite 12.2.2

Para barras corrugadas corrugadas y alambres corrugados, l_d debe ser:

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \Psi_s \lambda}{1.1 \sqrt{f'_c} \left(\frac{cb + Ktr}{db} \right)} \right) db$$

El termino $\left(\frac{cb + Ktr}{db} \right)$ no deben tomarse mayor a 2.5 y $Ktr = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10 s n}$

En donde:

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

n es el número de barras o alambres que se empalman o desarrollan dentro del plano de hendimiento (splitting).

cb es la menor distancia entre:

- a) La distancia del centro de una barra o alambre a la superficie más cercana del concreto.
- b) La mitad de la separación centro a centro de las barras o alambres que se desarrollan.

Se permite usar $Ktr = 0$, como una simplificación de diseño, aún si hay refuerzo transversal.

Los factores indicados en la tabla 1, que afectan la longitud de desarrollo o empalmes de barras y alambres corrugados en tracción, se indican en la siguiente Tabla:

Tabla 2. Factores de modificación de las longitudes de desarrollo.

Factor	Condiciones	Valor
Ψ_t	Barras superiores*	1.3
	Otras barras	1.0
Ψ_e	Barras o alambres con tratamiento superficial epóxico y recubrimiento menor que $3db$ o espaciamiento libre menor que $6db$.	1.5
	Otras barras o alambres con tratamiento superficial epóxico.	1.2
	Barras sin tratamiento superficial	1.0
Ψ_s	Barras de $\frac{3}{4}$ " y menores	0.8
	Barras mayores de $\frac{3}{4}$ "	1.0
λ	Concreto liviano	1.3
	Concreto de peso normal	1.0

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite12.2.4

El producto: $\Psi_t\Psi_s$ no necesita considerarse mayor que 1.7

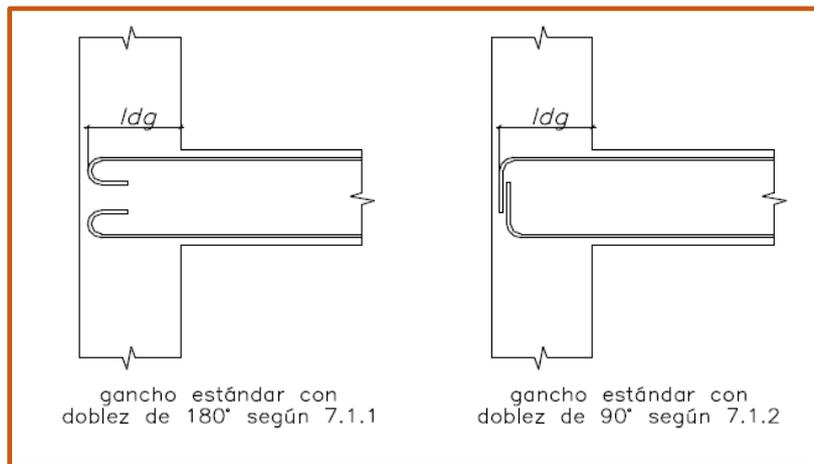
*Se consideran barras superiores a aquellas que tienen 300 mm o más de concreto fresco por debajo de ellas.

3.4.3.3. DESARROLLO DE GANCHOS ESTÁNDAR EN TRACCIÓN

La longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción que terminen en un gancho estándar, l_{dg} se debe calcular según el siguiente acápite y los factores de modificación mostrados en los posteriores acápites, pero no debe ser menor que el menor valor entre $8db$ y 150 mm.

Para las barras corrugadas, l_{dg} debe ser $(0.24 \Psi_e \lambda f_y / \sqrt{f'_c})db$ con Ψ_e igual a 1.2 para refuerzo con recubrimiento epóxico y λ deben tomarse igual a 1.0.

Figura 39. Longitud de anclaje con gancho estándar en tracción



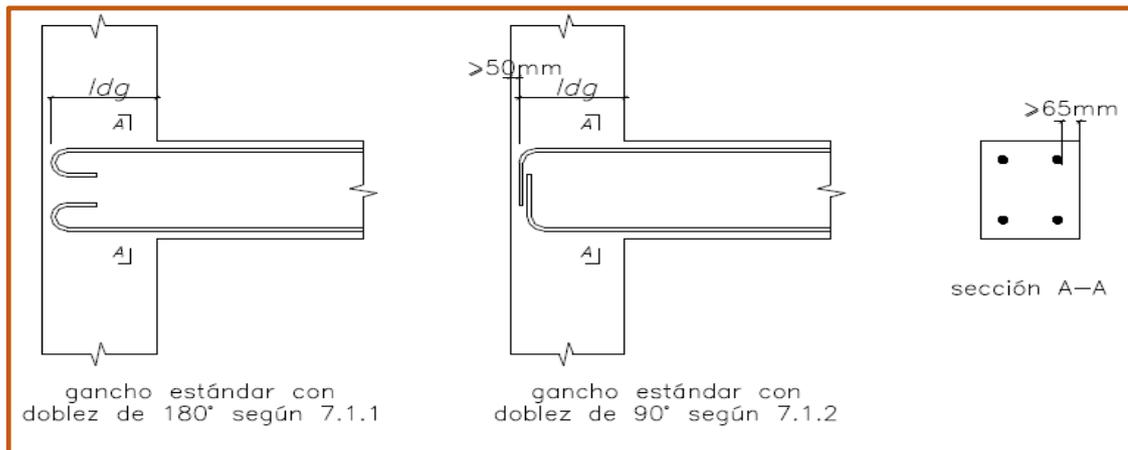
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite 12.5.2

La Longitud l_{dg} mencionado en el anterior acápite se puede multiplicar por los siguientes factores cuando corresponda:

- (a) Para barras de $1 \frac{3}{8}$ " y menores, ganchos con recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) no menor de 65 mm y para ganchos de 90° adicionalmente con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor de 50 mm..... 0.70

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

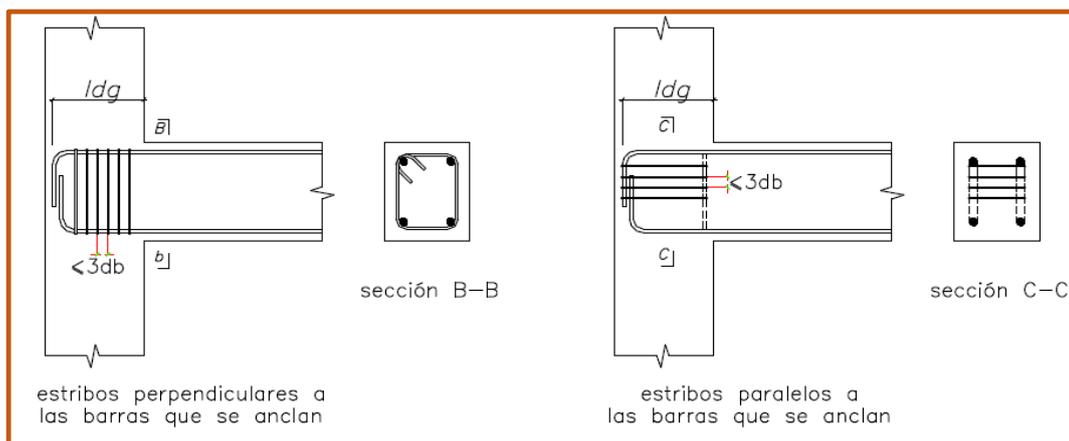
Figura 40. Casos en los que se puede multiplicar l_{dg} por 0.70



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite12.5.3

- (b) Para ganchos de 90° de barras 1 3/8” y menores que se encuentran confinados por estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a lo largo de l_{dg} a no más de $3db$; o rodeado con estribos paralelos a la barra que se está desarrollando y espaciados a no más de $3db$ a lo largo de la longitud de desarrollo del extremo del gancho más el doblez..... 0.80

Figura 41. Casos con gancho estándar a 90° en los que se puede multiplicar l_{dg} por 0.80

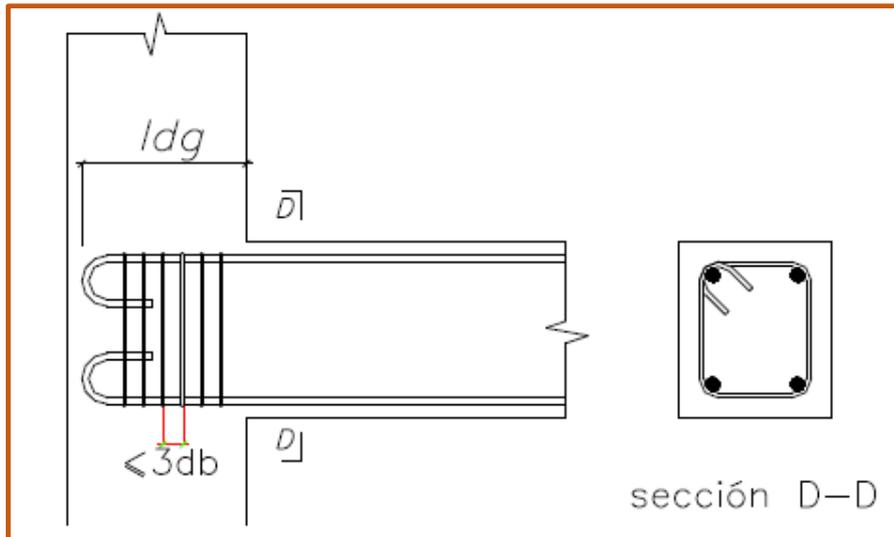


Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite12.5.3

- (c) Ganchos de 180° en barras de 1 3/8” y menores que se encuentran confinados con estribos perpendiculares a la barra se esta desarrollando, espaciados a no más de $3db$ a lo largo de l_{dg}0.80

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 42. Caso con gancho estándar a 180° en el que se puede multiplicar l_{dg} por 0.80



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acapite 12.5.3

- (d) Para elementos sin responsabilidad sísmica en los cuales no se requiera específicamente anclaje o longitud de desarrollo para lograr f_y y se dispone de una cuantía de refuerzo mayor a la requerida por análisis..... $\frac{\text{As requerido}}{\text{As proporcionado}}$

En los subíndices (a) y (b), db es el diámetro de la barra con gancho. El primer estribo debe envolver la parte doblada del gancho a una distancia no mayor que $2db$, medida desde el borde exterior del gancho.

3.4.3.4. DETALLES DEL REFUERZO DE ACUERDO A LA NORMA E-060.

Es importante mencionar estos conceptos denotados en el capítulo 7 puesto que en este se desarrolla las consideraciones para los estribos y los doblados para anclajes.

3.4.3.4.1. GANCHOS ESTÁNDAR

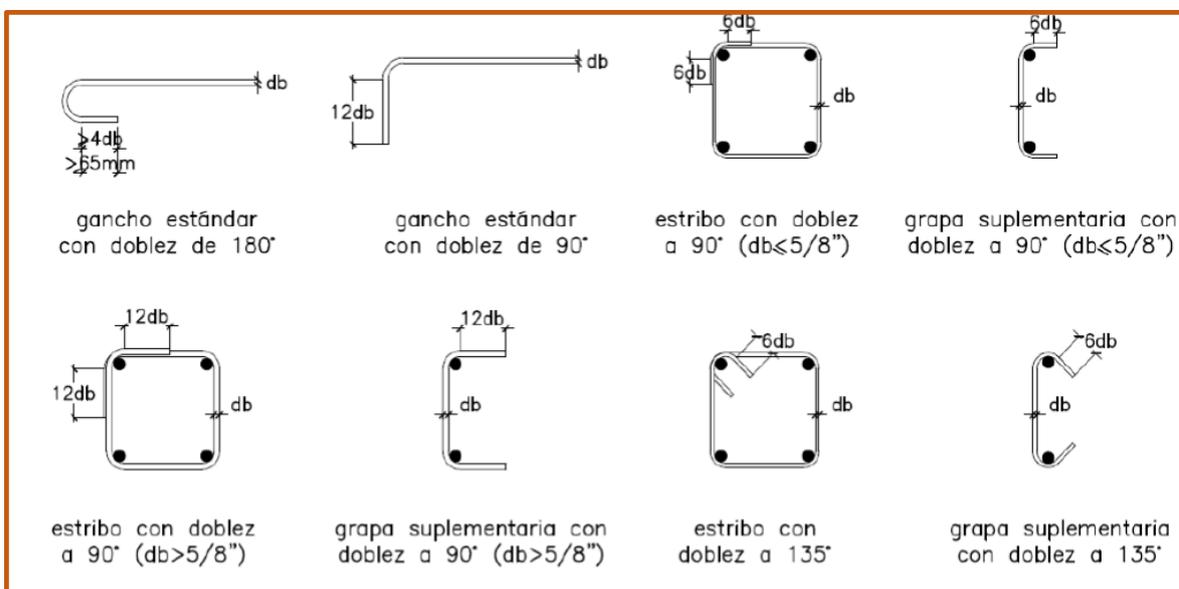
El término *gancho estándar* se emplea en esta Norma con uno de los siguientes significados:

- Un doblado de 180° más una extensión de $4db$, pero no menor de 65 mm hasta el extremo libre de la barra.
- Un doblado de 90° más una extensión de $12db$ hasta el extremo libre de la barra.
- Para ganchos de estribos y ganchos de grapas suplementarias:
 - (a) Para barras de 5/8" y menores, un doblado de 90° más una extensión de $6db$ al extremo libre de la barra; o

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- (b) Para barras desde 3/4" hasta 1" inclusive, un dobléz de 90° más una extensión de 12db al extremo libre de la barra; o
- (c) Para barras de 1" y menores, un dobléz de 135° más una extensión de 6db al extremo libre de la barra.
- Los ganchos de los estribos y grapas suplementarias para elementos con responsabilidad sísmica se definen en el capítulo de disposiciones especiales para el diseño sísmico.

Figura 43. Ganchos de barras longitudinales, estribos y grapas complementarias



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acápito 7.1.4

3.4.3.4.2. DIAMETROS MÍNIMOS DE DOBLADO

- El diámetro de doblado, medido en la cara interior de la barra, excepto para estribos de diámetros desde 1/4" hasta 5/8", no debe ser menor que lo indicado en la tabla 3.
- El diámetro interior de doblado para estribos no debe ser menor que 4db para barras de 5/8", el diámetro de doblado debe cumplir con lo estipulado en la Tabla 3.
- El diámetro interior de doblado en refuerzo electrosoldado de alambre (corrugado o liso) para estribos no debe ser menor que 4db para alambre corrugado de diámetro mayor a 7 mm y 2db para diámetros menores. Ningún dobléz con diámetro interior menor a 8db debe estar menos de 4db de la intersección soldada más cercana.

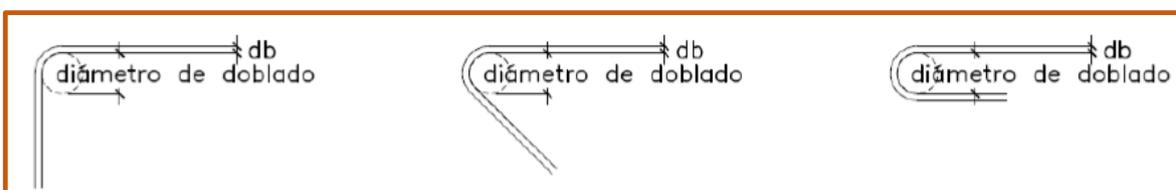
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 3. Diámetros interiores mínimos de doblado:

Diámetro de las barras	Diámetro mínimo de doblado
1/4" a 1"	6 db
1 1/8" a 1 3/8"	8 db
1 11/16" a 2 1/4"	10 db

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12- Acápite 7.2.3

Figura 44. Diagramas interiores mínimos de doblado de barras



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E, 2010)-capítulo 12

3.4.3.4.3. DOBLADO

- Todo el refuerzo deberá doblarse en frío.
- Ningún refuerzo parcialmente embebido en el concreto puede ser doblado en la obra, excepto cuando así se indique en los planos de diseño o lo permita el Ingeniero Proyectista.

3.4.3.5. DETALLES DEL REFUERZO:

En el capítulo 7 del R.N.E norma E-060 muestran los requerimientos que se deben de tener en cuenta para la buena práctica de estructuración del refuerzo, se resume los siguientes ítems principalmente relacionados a la presente tesis:

3.4.3.5.1. Límites de espaciamiento de refuerzo (ítem 7.6).

En el ítem 7.6.1 de la Norma señala que la distancia libre mínima entre barras paralelas de una capa debe ser “db”, pero no menor de 25mm, esto también se sustenta en el ítem 3.3.2 también de la norma que se refiere al tamaño máximo nominal del agregado grueso.

3.4.3.5.2. Recubrimiento de concreto para el refuerzo (ítem 7.7).

Dentro de la Norma E-060 del Reglamento en el ítem 7.7.3 Concreto premezclado (fabricado bajo condiciones de control de planta) se puede enfatizar los siguientes requerimientos de recubrimiento mínimo:

- a. Concretos no expuestos a la acción de la intemperie ni en contacto con el suelo:

Vigas, columnas:

Refuerzo principal-----db, pero no menor de 16mm sin necesidad de exceder de 40mm.

Estribos y espirales-----10mm

3.4.3.5.3. Refuerzo transversal para elementos a flexión (ítem 7.11)

En el ítem 7.11.1 y en consecuencia en el ítem 7.10.5 de la Norma, en lo que se refiere a estribos señala que todas las barras no preesforzadas deben de estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos 8mm para barras de hasta 5/8”, de 3/8” para barras longitudinales de más de 5/8” hasta 1” y de ½” para barras longitudinales de mayor diámetro y para los paquetes de barras. Se permitirá el uso de alambre corrugado o refuerzo electrosoldado de alambre con un área equivalente.

CAPITULO IV

4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

Experimentalmente se procederá con pruebas de laboratorio a especímenes de vigas de concreto armado con el espaciamiento de estribos diseñados siguiendo estrictamente la norma E-060 y vigas que representen el espaciamiento que se coloca empíricamente en obras en la ciudad del cusco .Así también se realizara la búsqueda, recopilación, comparación y análisis de información concerniente al tema.

Para realizar la comparación se tiene el siguiente procedimiento:

- Se preparan vigas modelo de concreto armado diseñados de dos maneras:
 1. Siguiendo estrictamente la norma E-060 en la distribución del refuerzo transversal.
 2. Vigas que representen el armado de refuerzo transversal que se realiza normalmente en obra.
- La resistencia a la compresión del concreto será de $f'c=210$ kg/cm², para lograr esta sollicitación se realizara un diseño de mezclas de acuerdo a las normas y siguiendo el método que más ajuste a mejores resultados.
- Durante los 28 días transcurridos luego del vaciado las vigas modelos se realizara el curado respectivo con agua a temperatura ambiente.
- Al cabo de los 28 días las vigas modelo que representan las dos condiciones de diseño. Serán sometidos a carga hasta la falla con la utilización de la maquina universal de ensayos mecánicos.
- Finalmente se tomaran los datos necesarios, se examinara el comportamiento de los especímenes para luego hacer un análisis de los resultados, para posteriormente sacar las observaciones, conclusiones y recomendaciones sobre el tema de investigación.

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Será Cuantitativa, ya que la investigación se basa en la recolección de datos para probar las hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

Por lo tanto será cuantitativa –descriptiva.

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El Diseño de Investigación tiene el propósito de Responder preguntas de investigación, cumplir los objetivos del estudio, someter las hipótesis a prueba. En este sentido el Diseño de la Investigación es de Tipo Experimental, completados mediante pre experimentos que tienen un grado de control mínimo y experimentos puros con una manipulación intencional de variables (independientes), medición de las variables además de un control y validez.

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACION

La población en estudio está conformada por las vigas de concreto armado como elementos estructurales que transmiten cargas externas transversales que provocan momentos flexionante y fuerza cortante en su longitud.

MUESTRA

La delimitación de la muestra, esta elegida en base a los requerimientos y solicitudes de la Norma E-060 para un análisis y diseño por flexión y corte de vigas de concreto armado, elaboradas con un concreto que tiene resistencia a la compresión de 210kg/cm². Consecuentemente se plantea la necesidad de una configuración de estribos de la siguiente manera.

Vigas de concreto armado con una separación de estribos de concreto armado de acuerdo a la Norma E-060.

Vigas de concreto armado que representan una colocación empírica en obra de la separación de estribos.

CAPITULO V

5. TRABAJO EXPERIMENTAL REALIZADO Y/O ENSAYOS EXPERIMENTALES

Con el propósito de analizar, evaluar y comparar el comportamiento de vigas de concreto armado con diferente espaciamiento de estribos, se han elaborado 16 elementos viga, todas con las mismas características, la misma resistencia del concreto y acero, el mismo diámetro y la misma distribución de acero longitudinal, variando solo en la distribución del refuerzo transversal en forma de estribos. De las dieciséis vigas realizadas ocho corresponden a vigas con separación de estribos diseñados de acuerdo a la norma E-060, cuatro correspondiente al redondeo empírico de la longitud de separación obtenida de acuerdo al diseño, que representa la longitud inmediata superior múltiplo de cinco; y cuatro con una separación empírica también múltiplo de cinco sucesiva a la longitud anterior.

No obstante para tener una perspectiva amplia del comportamiento se elaboraron seis vigas previas a las definitivas, donde se obtuvieron algunas conclusiones importantes, y más aún ayudaron a hacer correcciones en el diseño, que en lo posterior hicieron tener un mejor aprovechamiento de su capacidad de las vigas modelo.

5.1. ENSAYOS PRELIMINARES EN LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO.

Tabla 4. Características de las vigas modelo para los ensayos preliminares.

TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS VIGAS			
COD.	REFUERZO LONGUITUDINAL		REFUERZO TRANSVERSAL
V-E	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
V-F	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
V-A	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
V-B	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
V-C	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
V-D	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
Longitud de la viga de prueba L=1.00 m, con una luz libre entre apoyos de 90.0cm, 5 cm de longitud de longitud de desarrollo.			

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

VIGA V-E (S=8.5cm)

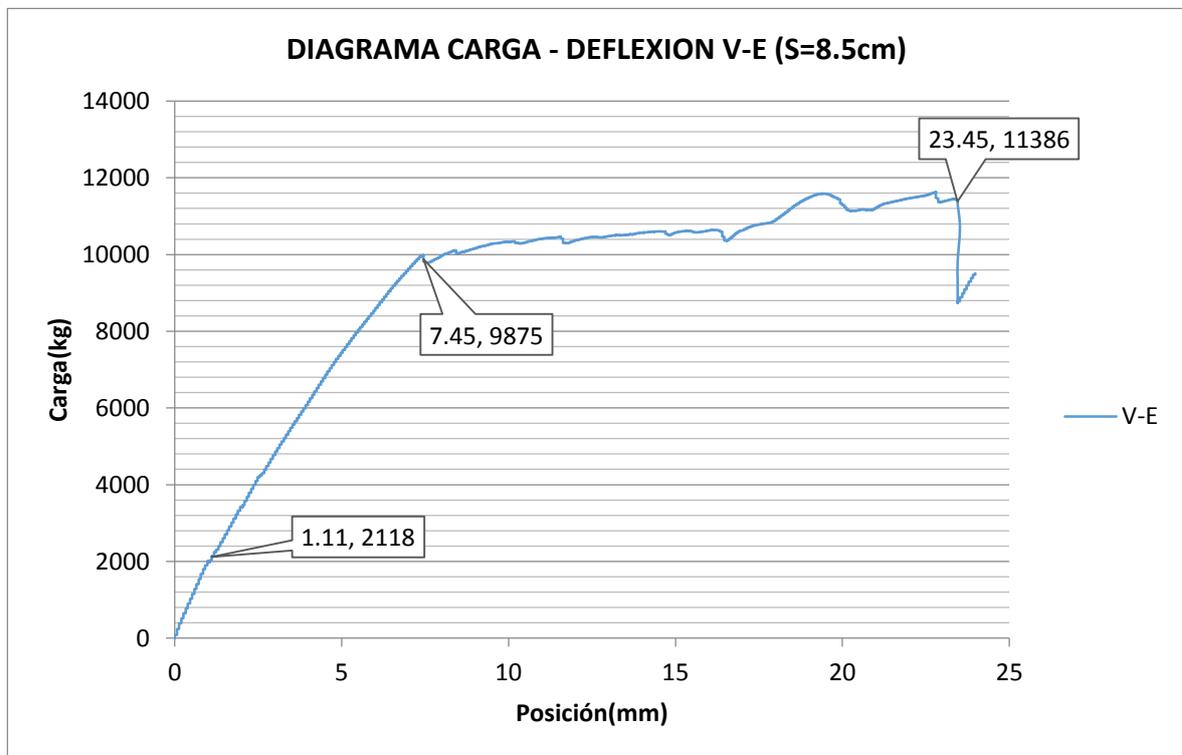
Tabla 5. Resultados Obtenidos en la viga V-E

SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5
CARGA Mfisura (tn)	2.118
CARGA Mfluencia (tn)	9.875
CARGA Multima (tn)	11.318
DEFLEXION fisura (mm)	1.11
DEFLEXION fluencia (mm)	7.45
DEFLEXION ultima(mm)	23.45

Fuente: Elaboración Propia

Como se había predicho la falla ocurre por flexión, pasando por tres fases de flexión, obteniéndose la carga de fisuración, la carga de momento de fluencia y finalmente la carga de última. Todos estos últimos aspectos reflejados en la figura 5.

Figura 45. Diagrama Carga – Deflexión viga V-E separación S=8.5cm



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 46. Ensayo de flexión en la Maquina Universal de la viga V-E



Fuente: Elaboración Propia

Figura 47. Aspecto final del ensayo de la viga V-E



Fuente: Elaboración Propia

La figura 46 y 47 muestran el aspecto en diferentes estados de carga, donde se observó la aparición de fisuras a flexión verticales en la parte central inferior del elemento también aparecen fisuras de idéntica longitud pero al final de su recorrido presentan una ligera inclinación hacia el punto central.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

VIGA V-F (S=8.5cm)

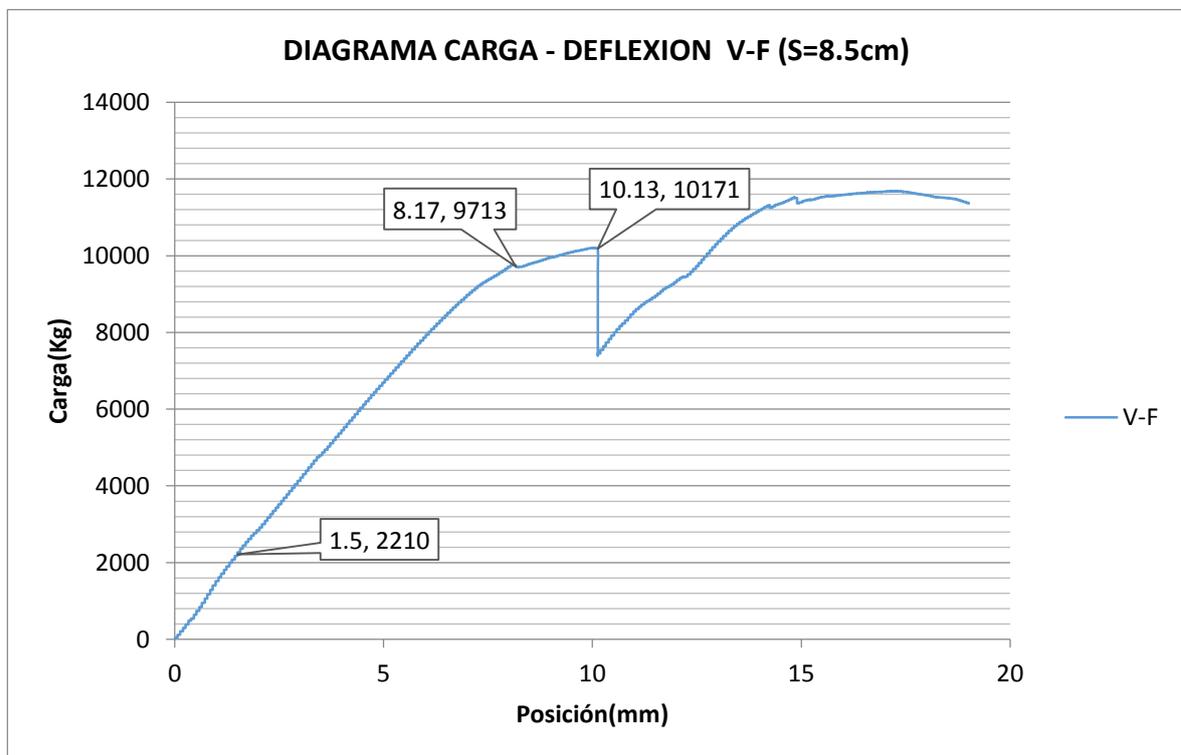
Tabla 6. Resultados Obtenidos en la viga V-F

SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5
CARGA Mfisura (tn)	2.21
CARGA Mfluencia (tn)	9.713
CARGA Multima (tn)	10.171
DEFLEXION fisura (mm)	1.5
DEFLEXION fluencia (mm)	8.17
DEFLEXION ultima(mm)	10.13

Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de la figura 48 muestra el comportamiento de la viga de prueba con una separación de estribos de 8.5 cm al ser sometida a carga hasta la falla, se observa claramente las 3 fases principales de comportamiento; una rango linealmente elástico de agrietamiento y de fluencia del acero y una fase inelástica hasta el punto de carga última.

Figura 48. Diagrama Carga – Deflexión viga V-F (Separación S=8.5cm)



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

Figura 49. Aspecto en la viga en el proceso de ensayo de la viga de prueba V-F



Fuente: Elaboración Propia

La figura 49 muestran el aspecto en diferentes estados de carga, donde se observó la aparición de fisuras a flexión verticales en la parte central inferior del elemento también aparecen fisuras de idéntica longitud pero al final de su recorrido presentan una ligera inclinación hacia el punto central, lo cual demuestra la acción combinada de momento flector y esfuerzo cortante generando tensiones diagonales en esta zona.

Es importante mencionar un fenómeno que ocurrió en el elemento; a pesar de la separación de estribos estrictamente colocados se generó fisuras considerables en el apoyo esto debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo; no es demás indicar que no se tuvo una falla por cortante por tensión diagonal, sino una falla por **adherencia por corte** debido a que los esfuerzos no solo se concentraron en la zona donde existe cortante (tercios extremos), sino que por un mal dimensionamiento de la longitud de desarrollo y de anclaje, la concentración

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

de esfuerzos también se dio en los apoyos, que generaron fisuras en este punto y posteriormente la falla.

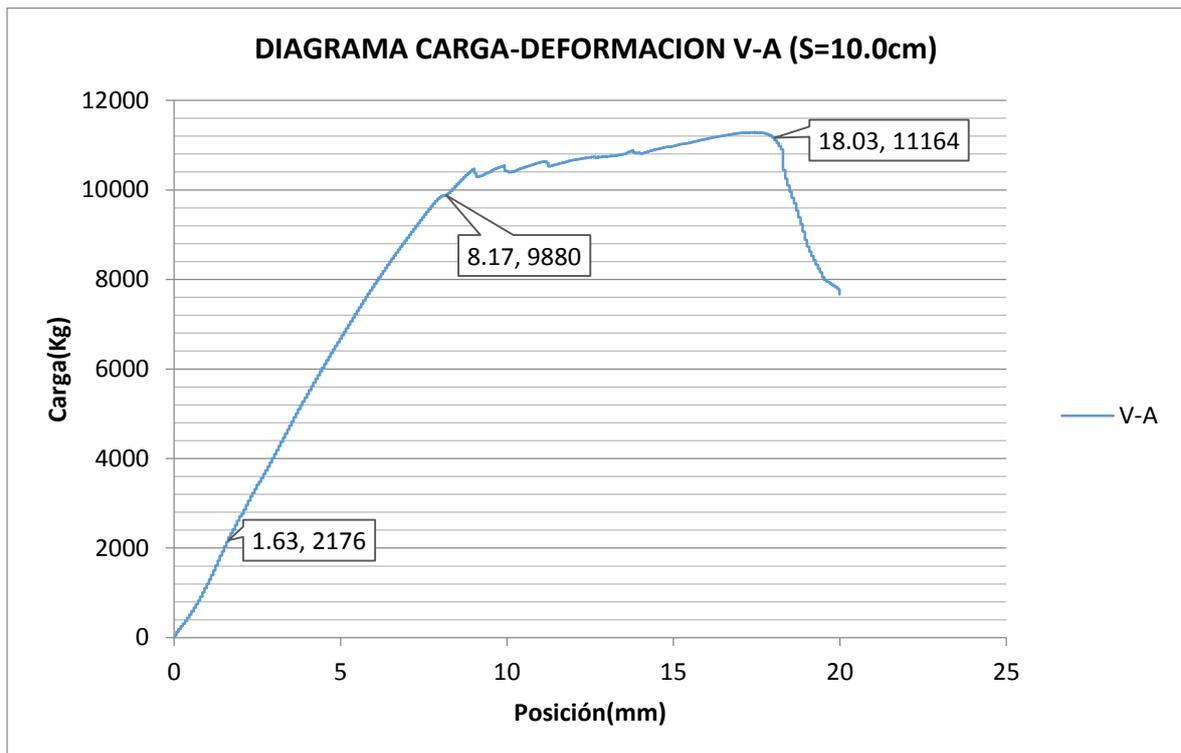
VIGA V-A (S=10.0cm)

Tabla 7. Resultados Obtenidos en la viga V-A

SEPARACION DE ESTRIBOS	10.0
CARGA Mfisura (tn)	2.176
CARGA Mfluencia (tn)	9.88
CARGA Multima (tn)	11.164
DEFLEXION fisura (mm)	1.63
DEFLEXION fluencia (mm)	8.17
DEFLEXION ultima(mm)	18.03

Fuente: Elaboración Propia

Figura 50. Diagrama Carga – Deflexión viga V-A (Separación S=10.0cm.)



Fuente: Elaboración Propia

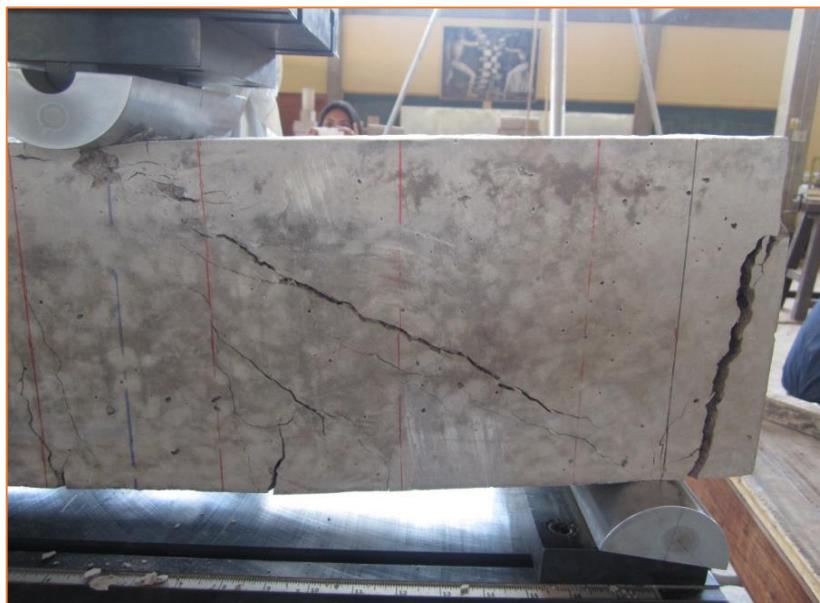
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 51. Momento de agrietamiento de la viga V-A



Fuente: Elaboración Propia

Figura 52. Aspecto final de la viga V-A



Fuente: Elaboración Propia

Nuevamente se observa un patrón similar a las vigas anteriores con una concentración de esfuerzos en la zona de apoyo provocando una concentración de tensiones que supero a la capacidad resistente del concreto a compresión y en lo posterior se generó un desprendimiento del concreto en forma perpendicular, además contribuyo a la aparición de una fisura inclinada que posteriormente hizo que el elemento fallará de manera frágil.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

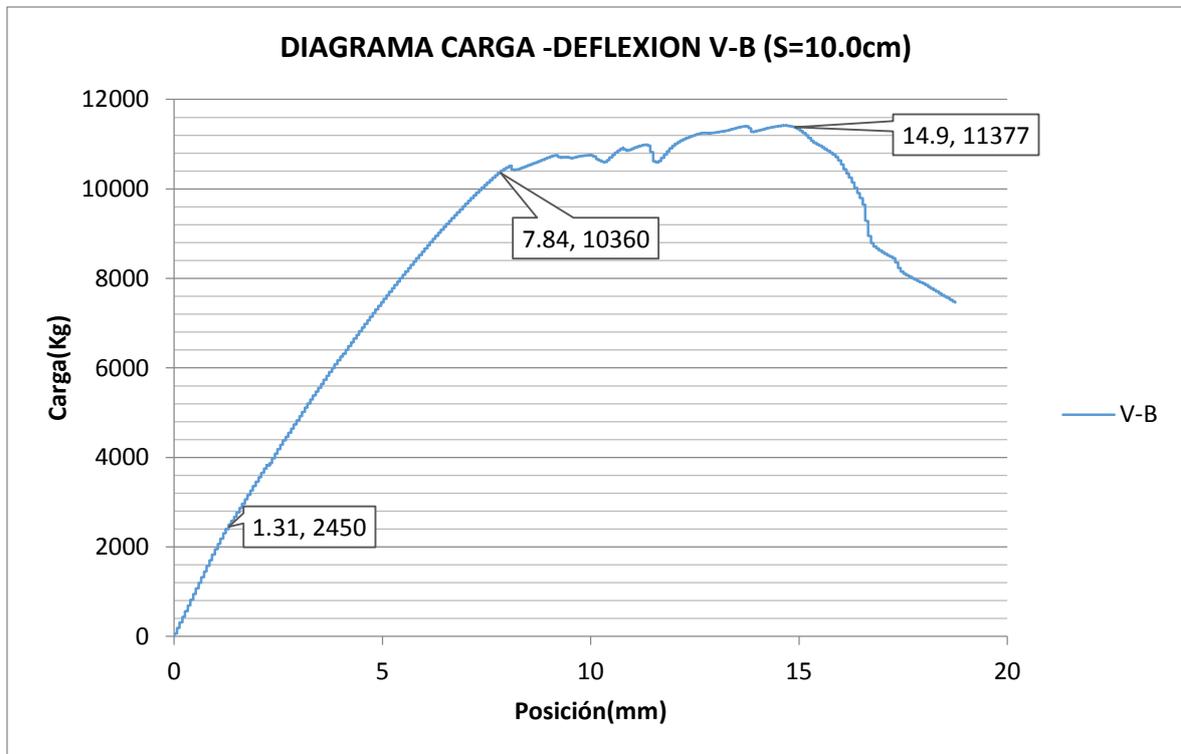
VIGA V-B (S=10.0 cm)

Tabla 8. Resultados Obtenidos en la viga V-B

SEPARACION DE ESTRIBOS	10.0
CARGA Mfisura (tn)	2.45
CARGA Mfluencia (tn)	10.36
CARGA Multima (tn)	11.377
DEFLEXION fisura (mm)	1.31
DEFLEXION fluencia (mm)	7.84
DEFLEXION ultima(mm)	14.90

Fuente: Elaboración Propia

Figura 53. Diagrama Carga – Deflexión viga V-B (Separación S=10.0cm.)



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 54. Fisura debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo de la viga V-B



Fuente: Elaboración Propia

Figura 55. Aspecto final de la viga V-B



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 54 se observa fisuras por tracción diagonal debido a la combinación de corte producido cerca del apoyo y flexión, posteriormente la falla se produjo por compresión por corte como se observa en la figura 55.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

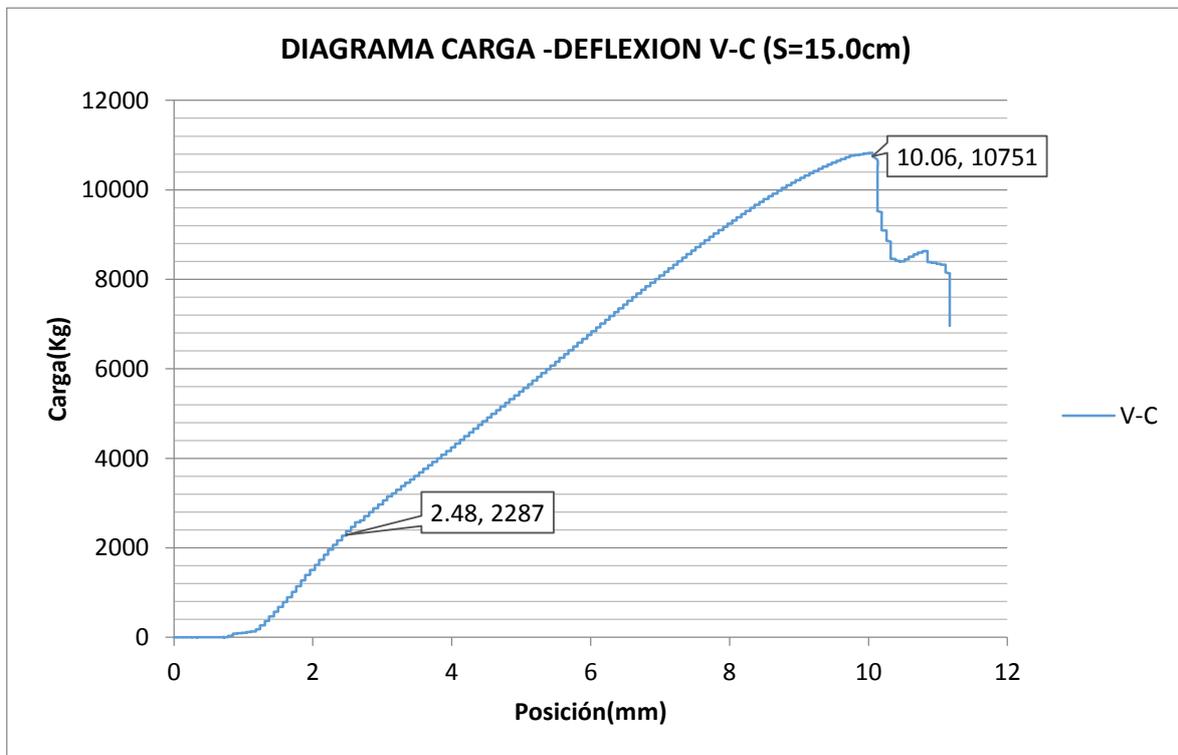
VIGA V-C (S=15.0cm)

Tabla 9. Resultados Obtenidos en la viga V-C

SEPARACION DE ESTRIBOS	15.0
CARGA Mfisura (tn)	2.287
CARGA Mfluencia (tn)	10.751
CARGA Multima (tn)	10.751
DEFLEXION fisura (mm)	2.48
DEFLEXION fluencia (mm)	10.06
DEFLEXION ultima(mm)	10.06

Fuente: Elaboración Propia

Figura 56. Diagrama Carga – Deflexión viga V-C (Separación S=15.0cm.)



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 57. Inicios de la fisura inclinada debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 58. Aspecto final de la viga V-C



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 58 se observa la fase final del elemento ensayado, donde aparecen fisuras por flexo tracción y tracción diagonal debido a la combinación de esfuerzo cortante y momento flector.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En última instancia debido a la gran concentración de esfuerzos en el apoyo la viga falla en esta parte especialmente por adherencia por corte, debido a la gran concentración de esfuerzos que supero a la adherencia que se presenta en esta sección justo en la parte del anclaje.

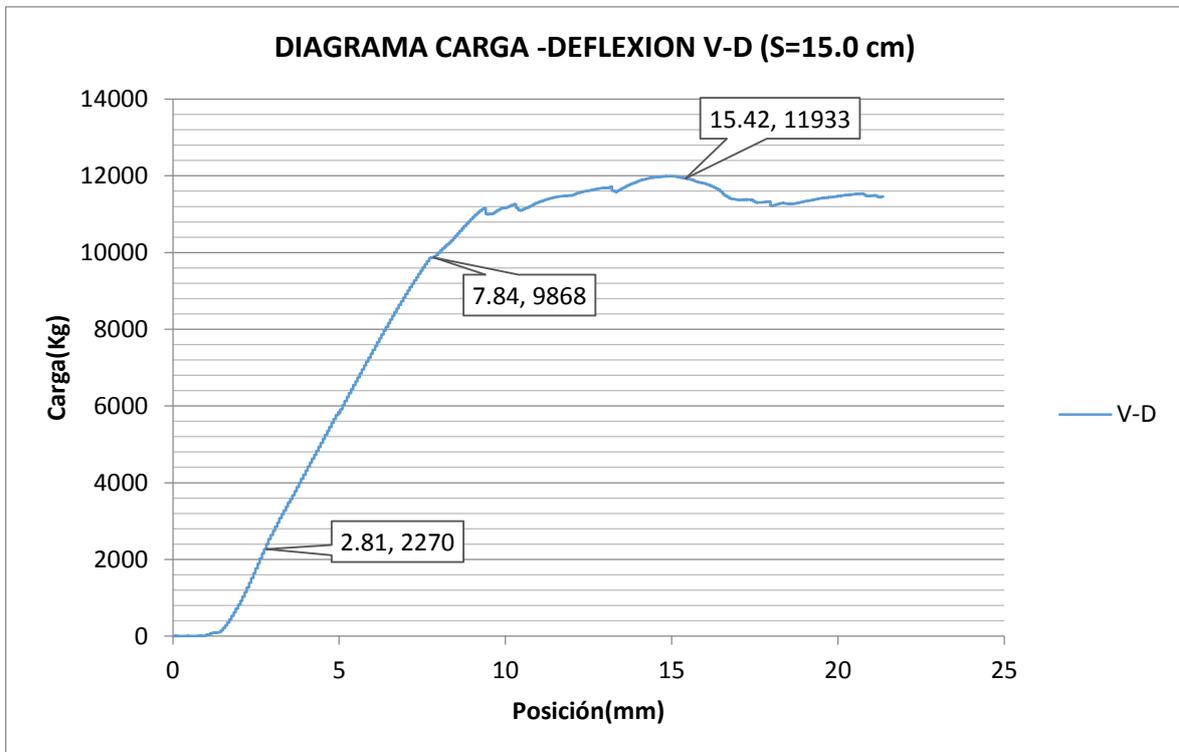
VIGA V-D (S=15.0cm)

Tabla 10. Resultados Obtenidos en la viga V-D

SEPARACION DE ESTRIBOS	15.0
CARGA Mfisura (tn)	2.27
CARGA Mfluencia (tn)	9.868
CARGA Multima (tn)	11.933
DEFLEXION fisura (mm)	2.81
DEFLEXION fluencia (mm)	7.84
DEFLEXION ultima(mm)	15.42

Fuente: Elaboración Propia

Figura 59. Diagrama Carga – Deflexión viga V-D (Separación S=15.0cm.)



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSO, 2016”

Figura 60. Efectos de la aplicación de carga a la viga V-D



Fuente: Elaboración Propia

Figura 61. Aspecto final de la viga V-D en la falla.



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente no es demás señalar que la gran mayoría de las vigas ensayadas la falla ocurrida fue por deslizamiento de la armadura, esto debido a que las tensiones en la armadura de tracción crecen hacía del apoyo hacia el centro de la luz. Este aumento proporcional al esfuerzo cortante, se consigue gracias a las tensiones de adherencia entre el concreto y el acero. Si el cortante aumenta, y a armadura longitudinal no está lo suficientemente anclado, se produce su deslizamiento en las proximidades del apoyo, donde el cortante es máximo.

5.2. ENSAYOS DEFINITIVOS EN LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO.

El trabajo se ha desarrollado mediante el estudio experimental y analíticamente del comportamiento estructural de dieciséis vigas con las correcciones adecuadas de longitud de desarrollo y anclaje como consecuencia de los ensayos preliminares.

- Experimentalmente; tomando de referencia el ensayo de resistencia a la flexión de vigas de concreto simplemente apoyadas con cargas en los tercios de la luz, contemplada en la Norma ASTM C78-2002; se ensayaron hasta la falla las dieciséis vigas de concreto armado de 150 x 200 mm de sección y 1150 mm de longitud, simplemente apoyadas con una luz libre entre apoyos de 900 mm y aplicando la carga sobre dos puntos simétricos equidistantes de 300 mm entre sí.

Las vigas se han armado con cuantías de acero y separación de estribos según se indica en la tabla 11.

- Analíticamente, se ha estudiado el comportamiento mediante modelos matemáticos y cálculos manuales y posteriormente haciendo una comparación teórica de los tres tipos de vigas; además se han comparado también los datos experimentales obtenidos de los diagramas carga – deformación en los ensayos realizados en la Máquina Universal.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 11. Acero longitudinal y acero transversal dispuestos en vigas realizadas

TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS VIGAS				
TIPO	COD.	REFUERZO LONGITUDINAL		REFUERZO TRANSVERSAL
		As Superior	A's Inferior	Separación de Estribos en cm
TIPO 1	V-A1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A5	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A6	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A7	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A8	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
TIPO 2	V-B1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
TIPO 3	V-C1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm

Fuente: Elaboración propia

5.3. MATERIALES EMPLEADOS:

Para la fabricación de los elementos estructurales, vigas modelo, de la presente investigación, se han contado con los siguientes materiales que se describen a continuación:

5.3.1. ENCOFRADOS

Para el presente estudio se han realizado dieciséis encofrados nuevos de tableros contraplacados de madera pino de caras sólidas y lisas, unidos con adhesivo fenólico. Dichos formas de los encofrados estaban ensamblados mediante tornillos dentados de 4x50 mm, asimismo para evitar cualquier tipo de pandeo se colocaron listones de 3"x2" en los lados laterales del encofrado y se sujetaron a presión con doble alambre N° 16, tomadas estas precauciones a la hora de desencofrar no fue necesario ningún tipo de esfuerzo de golpeo sobre el molde. Además, y como es preceptivo, a los moldes se les aplico un desencofrante antes de colocar las armaduras y después de desmoldar, para su correcta conservación.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

Figura 62. Encofrados habilitados de Triplay fenólico



Fuente: Elaboración propia

5.3.2. CONCRETO

La dosificación utilizada para la elaboración del concreto se detalla en la tabla 13, los materiales utilizados son el cemento portland tipo IP, agregado grueso de la Cantera de Abrill, el agregado fino de la cantera de SERTARQ y de la cantera de Abrill y el agua empleada para la mezcla es el agua potable de la red pública proveída por la empresa SEDACUSCO. Debido a la capacidad de la mezcladora disponible para efectuar la elaboración del concreto se tuvieron que realizar ocho tandas.

La realización de las vigas en función de las tandas fue comparativa es decir una tanda se utilizó para el vaciado de dos vigas de diferentes espaciamiento de estribos como se observa en la tabla 12.

El control de calidad del concreto elaborado ha consistido en realizar, por cada cuatro tandas, un cono de Abrams y por cada tanda la extracción de tres probetas cilíndricas de 15x30 cm para su posterior rotura a compresión. Tanto las vigas como las probetas, se han mantenido en pozas de curado para su adecuado proceso de hidratación del concreto. La rotura de

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

probetas se ha realizado previamente a la rotura de las vigas, a una edad superior a 28 días, para poder realizar los cálculos con la resistencia real del concreto

Tabla 12. Número de Tandadas

CUADRO DE COMPARACION		
SERIE	COD.	TANDA
SERIE 1	V-A1 → V-B1	1
	V-A2 → V-B2	2
	V-A3 → V-B3	3
	V-A4 → V-B4	4
SERIE 2	V-A5 → V-C1	5
	V-A6 → V-C2	6
	V-A7 → V-C3	7
	V-A8 → V-C4	8

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. ACERO

Las armaduras de acero empleadas han sido de acero al carbono, tomándose el diámetro de $\varnothing 8$ mm para el acero superior en compresión, $\varnothing 3/8$ " para el acero inferior en tracción y $\varnothing 8$ mm para los estribos. Todos los fierros redondos corrugados se han adquirido de la empresa ACEROS ARERQUIPA S.A. debido a que esta cuenta con todos los estándares y certificados de calidad.

Asimismo los diámetros elegidos para aceros longitudinales $\varnothing 8$ mm y $\varnothing 3/8$ ", son los que más se asemejan a la relación entre diámetros y secciones de casos reales de vigas en edificación, del mismo modo se optó por el $\varnothing 8$ mm para los estribos por ser el diámetro mínimo requerido para estribos de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones. En la siguiente figura se muestra las barras y diámetros empleados en la realización de las vigas

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 63. Barras y diámetros de acero corrugado empleados en las armaduras de las vigas.



Fuente: Elaboración propia.

Para mantener la mínima separación entre las armaduras y los encofrados se dispusieron separadores cuadrados de madera y se puso el máximo cuidado en no tocar con las barras los encofrados con desencofrante aplicado.

5.4. DISEÑO DE LA VIGA MODELO:

5.4.1. DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA VIGA MODELO

Una vez presentados los principales conceptos teóricos, en esta parte se intenta exponer las modelaciones correspondientes al dimensionamiento de las vigas modelo bajo el Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E-060 que representaran a las vigas que comúnmente en la realidad se utilizan.

Datos previos del elemento estructural:

El estado del elemento a ser ensayado, en su dimensionamiento está condicionado por:

- Máxima luz de la viga que puede ser ensaya en la maquina universal de ensayos mecánicos el Laboratorio de mecánica de suelos-Escuela Profesional de Ingeniera Civil- UNSAAC.
- Medios con los que se cuenta a efectos de manipular la viga con cierta comodidad.
- Las dimensiones se adecuan perfectamente a las limitaciones de espacio en la elaboración ,curado, y transporte de las piezas

Selección de las dimensiones y refuerzo de la viga:

En primera instancia se sabe que para realizar un diseño, se es necesario una carga de solicitación, en este caso no se tuvo una, pero sí un parámetro máximo a tomar en cuenta la cual tenía que ser acoplada a los cálculos, que era la capacidad máxima de la Máquina Universal de Ensayos Mecánica del laboratorio de la facultad, en este caso dicha carga sería aproximadamente 40 toneladas con un factor de seguridad que no se podría sobrepasar.

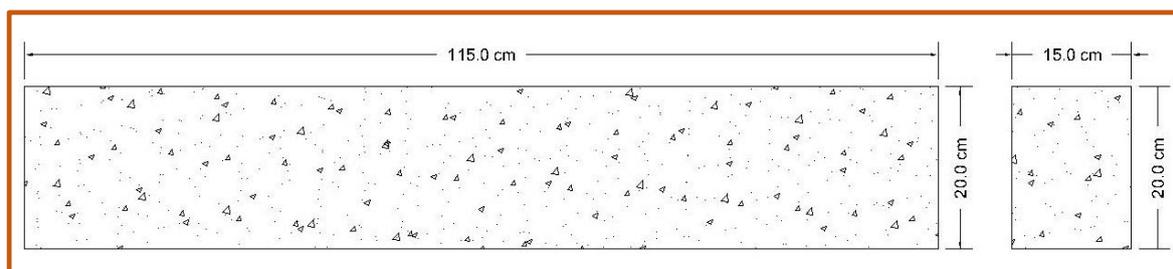
SECCION: Se tuvo que tantear la sección donde la característica principal sea la mayor semejanza con la realidad, en este caso una sección con longitudes múltiplos de 5, en este caso se puso como base $b=15.00\text{cm}$ porque se puede decir de acuerdo a los antecedentes, es el mínimo para que sea trabajable, además esta longitud permite tener un buen recubrimiento y evitar así el *desconchamiento de concreto*⁹ además tener un buen recubrimiento evita tener el peligro de exponer a condiciones extremas el refuerzo de acero.

En cuanto se refiere a la altura de la sección se ha partido de idea de que tenía que ser rectangular, por eso se eligió la longitud representada por el inmediato superior múltiplo de 5 de la base, quedando como la altura $h=20.00\text{cm}$.

LONGUITUD: Se partió de la información en las limitaciones de la luz máxima que se podía ensayar en la máquina universal de ensayos mecánicos, esto dio una longitud mínima de luz libre que era $L_{\text{libre}}=90.00\text{ cm}$, posteriormente con un análisis que se detalla en el ANEXO IV de acuerdo a la Norma E-060 ítems 12.1; 12.2; 12.3; 12.4 y 12.5 con referencia a la longitud de desarrollo y de anclaje del refuerzo longitudinal se llegó a una longitud total $L=115.00\text{cm}$.

Por lo tanto en la figura 64 se muestra la sección y longitud de diseño de la viga modelo

Figura 64. Dimensiones de la Viga Modelo



Fuente: Elaboración Propia

⁹ Desconchamiento del concreto pagina 27 libro de Paulay

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

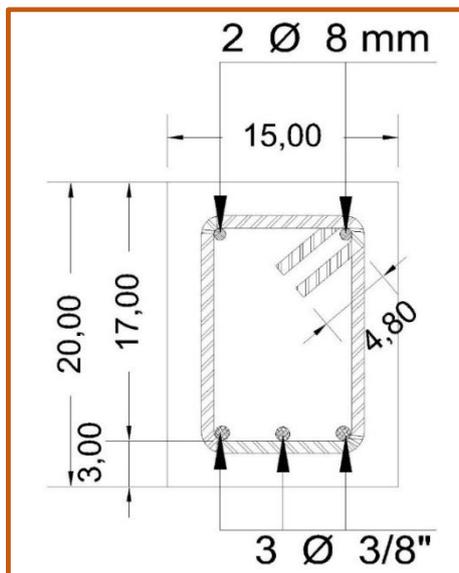
RECUBRIMIENTO: Siguiendo la Norma E-060 que muestra en el ítem 7.7.3 recomendaciones para recubrimientos mínimos, también desarrollado en el marco teórico capítulo III de la presente tesis, se logra plantear un recubrimiento admisible $r = 3.00\text{cm}$ para evitar problemas de corrosión en el refuerzo y por control de agrietamientos iniciales.

ACERO DE REFUERZO:

Se realizó tanteos con diferentes diámetros de aceros en compresión y en tracción tomando como parámetros importantes la norma E-060 para diámetro mínimo de acero de estribos, y cumpliendo con la compatibilidad de esfuerzos y deformaciones y también cuidando de que la deformación unitaria de acero en compresión no saliera negativo ya que si esto sucedía, entonces el eje neutro estaría encima del acero de compresión, y esto al final traería algunas incompatibilidades en las formulaciones. En cuanto a refuerzo transversal en forma de estribos y la longitud de separación entre ellas también se diseñó con los diferentes requerimientos que muestra la Norma ante solicitaciones de fuerza cortante, Todo el proceso se muestra en el ANEXO IV.

Expuesto lo anterior de acuerdo al análisis realizado, se optó una sección con el siguiente armado, como se muestra en la figura 65.

Figura 65. Sección Típica de la viga Modelo.



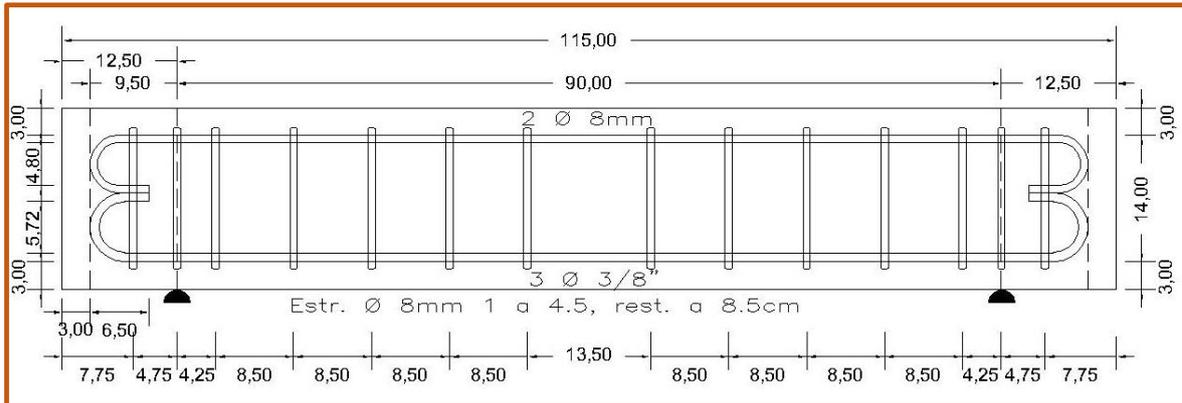
Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

- Acero Superior en compresión: 2 fierros de diámetros de 8 mm.
- Acero Inferior en tracción: 3 fierros de diámetro de 3/8 plg.

Finalmente el armado de la viga modelos cumpliendo en lo mayor posible los requerimientos de la Norma E-060 para su diseño, se muestra en la figura 66

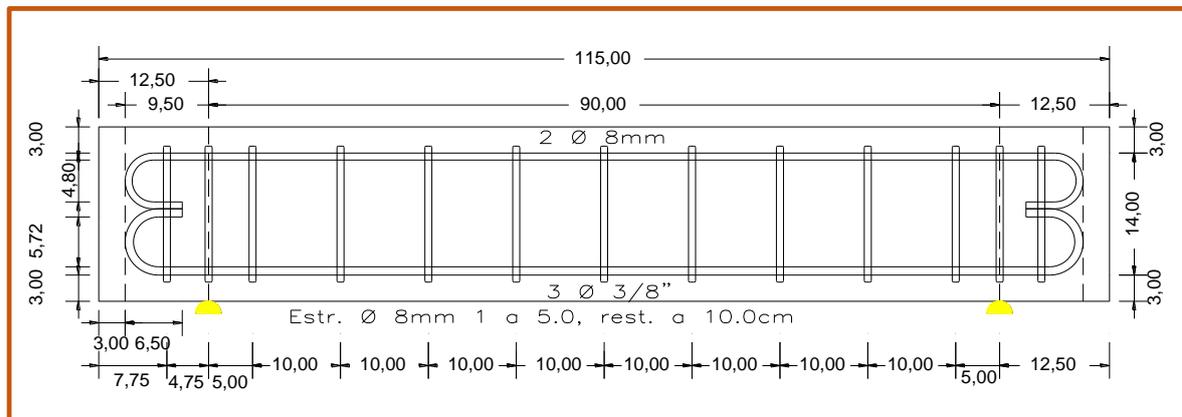
Figura 66. Viga Modelo Tipo 1 de acuerdo a Diseño, con una separación de estribos $S=8.5\text{cm}$



Fuente: Elaboración Propia

La figura 67 y 68 muestra dos diferentes tipos de vigas para la presente investigación, dichas vigas con características exactamente iguales en cuando a dimensiones de sección y longitud, diámetro y armado de acero longitudinal y con las mismas propiedades mecánicas de los materiales que lo conforma; solo variando la longitud de separación de estribos que representara las separación de estribos colocados empíricamente en obra.

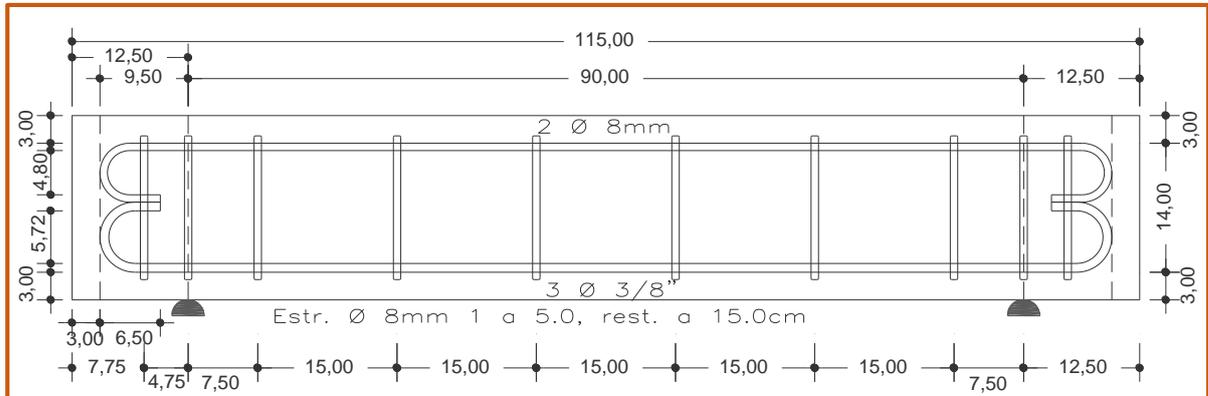
Figura 67. Diseño de la viga modelo Tipo 2, que representa la separación empírica de estribos colocados en obra. $S=10\text{cm}$



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 68. Diseño de la viga modelo Tipo 3, que representa la separación empírica de estribos colocados en obra. $S=15\text{cm}$



Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO $F'C=210\text{kg/cm}^2$:

El diseño de mezclas de manera más detallado, mostrando además las propiedades de los agregados y elementos constituyentes, según el código ACI 211.1-91 se encuentran en el ANEXO III.

Es así que el diseño que se presenta a continuación es por tandas de acuerdo a la capacidad de la mezcladora que se utilizó para los vaciados en el Laboratorio de Mecánica de suelos y Materiales de la Escuela profesional de Ingeniería Civil. Dicho diseño de Mezclas es para un concreto de peso normal de resistencia a la compresión a los 28 días de 210 kg/cm^2 .

Tabla 13. Proporciónamiento del Diseño de Mezclas por Tanda

Proporción en peso por tanda de bolsa			
Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
42.50 kg/bolsa	76.44 kg/bolsa	92.42 kg/bolsa	24.34 lt/bolsa
Proporción en peso para una viga			
Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
14.28 kg/viga	25.69 kg/viga	31.06 kg/viga	8.18 lt/viga

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Para el control de calidad del concreto de resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ del proyecto de tesis, se realizaron 30 briquetas, efectuándose su curado durante 28 días y posteriormente se llevó a cabo la rotura de briquetas mostrándose a continuación en la siguiente tabla los resultados obtenidos

Tabla 14. Resumen de Resultados de la Rotura de Briquetas.

RESULTADOS DE ENSAYO COMPRESIÓN DE BRIQUETAS DE CONCRETO							
CODIGO DE BRIQUETA	FECHA		EDAD (Días)	RESISTENCIA			
	ELABORAC.	ROTURA		$f'c$ ensayo (kg/cm^2)	$f'c$ ensayo/ $f'c$ (%)	$f'cp$ ensayo promedio (kg/cm^2)	$f'cp$ ensayo promed/ $f'c$ (%)
1A	28/11/2016	28/12/2016	30	201.4	95.90%	207.35	98.74%
5A	28/11/2016	28/12/2016	30	213.3	101.57%		
1C	21/12/2016	18/01/2017	28	238.1	113.38%	232.7	110.82%
2C	21/12/2016	18/01/2017	28	222.7	106.05%		
7C	21/12/2016	18/01/2017	28	242.6	115.52%		
8C	21/12/2016	18/01/2017	28	227.5	108.33%		
3C	21/12/2016	18/01/2017	28	214.4	102.10%	217.7	103.64%
4C	21/12/2016	18/01/2017	28	216.5	103.10%		
10C	21/12/2016	18/01/2017	28	225.4	107.33%		
11C	21/12/2016	18/01/2017	28	214.3	102.05%		
1D	21/12/2016	18/01/2017	28	160.0	76.19%	196.2	93.40%
2D	21/12/2016	18/01/2017	28	161.8	77.05%		
3D	21/12/2016	18/01/2017	28	182.6	86.95%		
5D	21/12/2016	18/01/2017	28	202.7	96.52%		
1E	21/12/2016	18/01/2017	28	255.4	121.62%		
2E	21/12/2016	18/01/2017	28	213.6	101.71%		
3E	21/12/2016	18/01/2017	28	221.6	105.52%		
4E	21/12/2016	18/01/2017	28	213.5	101.67%		
5E	21/12/2016	18/01/2017	28	187.2	89.14%		
6E	21/12/2016	18/01/2017	28	163.1	77.67%		
3-1	22/03/2017	09/05/2017	48	240.0	114.29%	208.0	99.05%
9-1	27/03/2017	09/05/2017	43	180.0	85.71%		
5-1	23/03/2017	09/05/2017	47	215.0	102.38%		
8-1	23/03/2017	09/05/2017	47	224.0	106.67%		
10-1	27/03/2017	09/05/2017	43	190.0	90.48%		
6-1	23/03/2017	09/05/2017	47	215.0	102.38%		
7-1	23/03/2017	09/05/2017	47	192.0	91.43%		

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Este resultado muestra y verifica que el diseño de mezcla realizado cumple con el parámetro establecido de resistencia siendo esta $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

5.5. REALIZACIÓN DE LAS VIGAS

Para la elaboración de las dieciséis vigas estudiadas se inició con la fabricación de unos encofrados completamente nuevos de tableros de madera, unidos con fenólico, con acabado plastificado y con las dimensiones ajustadas para contener a un paralelepípedo de dimensiones 115x15x20 cm. Además, se tuvo prevención al empuje del concreto fresco sobre las paredes laterales de estos encofrados, preparándose sendas piezas de arriostamiento intermedio entre los costados de mayor dimensión, que se situaron y fijaron en su posición antes de verter y compactar el concreto.

Tras la realización de estos encofrados se procedió al corte de las barras de acero al carbono corrugadas que sirven de armadura longitudinal y transversal a las vigas realizadas. Para el doblado de las mismas se tuvo a disposición a un operario especialista en acero corrugado a quien se le proporciona mordazas y tubos metálicos apropiados para el doblado de las barras de $\varnothing 3/8''$ y $\varnothing 8 \text{ mm}$. Desarrollándose así el habilitado de estribos y anclajes del acero longitudinal. Ver figura 69.

Figura 69. Habilitado de los estribos.



Fuente: Elaboración propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Una vez habilitados los aceros longitudinales y transversales, se procedió al armado de la estructura, colocando los aceros longitudinales superior e inferior entre los estribos de $\varnothing 8$ mm separados acorde a la distribución de diseño para posteriormente fijarlos cada unión de acero longitudinal con los estribos con alambre negro N° 16, como se observa en la figura 70.

Figura 70. Armado de vigas acorde a lo estipulado en el diseño - laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Fuente: Elaboración propia

A continuación del armado se colocaron los separadores de barras para darles la separación indicada en los planos y cumplir con el recubrimiento planteado, asimismo estas armaduras se colocaron en su posición prevista en el encofrado, según se muestra en la siguiente figura.

Figura 71. Colocado de armadura de acero en los encofrados



Fuente: Elaboración propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Por cada tanda de concreto elaborada, con la dosificación indicada en el apartado 5.2.2. de concreto, se procedió al vaciado de las dos vigas, cada uno con las mismas características de dimensiones, resistencia y configuración de la armadura longitudinal, solo variando en ellas la separación de estribos, una con distribución de estribos acorde al diseño por Norma y la otra correspondiente a una longitud de separación redondeada. Asimismo se vaciaron tres moldes para elaborar probetas cilíndricas de concreto SEGÚN LO ESPECIFICADO EN LA NORMA MTC E 702. Previo al relleno de la viga se efectuó el ensayo de consistencia en el cono de Abrams ESPECIFICADO EN LA NORMA MTC E 705, ver figura 72, una vez verificado y controlado el Slump se rellenaron o vaciaron las dos vigas y los otros tres testigos cilíndricos de concreto como se aprecia en la figura 73. El compactado en los moldes de las probetas se realizó mediante varillado o chuseado como lo especifica la Norma MTC E 702, en tanto que las vigas de concreto armado el compactado se realizó mediante una vibradora, sacudiendo el molde y dando golpes en los costados con combas de goma. Durante la etapa del vaciado de vigas se fue controlando el recubrimiento (las separaciones del acero respecto al encofrado).

Figura 72. Ensayo de consistencia del concreto mediante el cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 73 Vaciado de vigas



Fuente: Elaboración propia

Al día siguiente transcurrido las 24 horas se procedió al desencofrado de las vigas y se desmoldaron las probetas cilíndricas de concreto, colocándolas todas en las pozas de agua del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco para su curado, tal como se muestra en la siguiente figura 74.

Figura 74 Curado de vigas y probetas cilíndricas de concreto



Fuente: Elaboración propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Finalmente una vez curada las vigas de forma conveniente durante un periodo de 28 días para alcanzar la resistencia de diseño, se procedió a retirar tanto las vigas como las briquetas del pozo de curado.

Figura 75. Vigas de Concreto Armado después de Curado.



Fuente: Elaboración propia

Al día siguiente al estar secas las superficies de la viga se niveló las superficies lijándolas, la figura 76 muestra este tratamiento, esto para tener un buen contacto entre la viga, los apoyos y el punto de aplicación de la carga para no tener problemas de concentración de esfuerzos no deseados o planteados para el procedimiento; para en lo posteriormente ser ensayadas en la maquina Universal de Ensayos Mecánicos del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil- UNSAAC.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 76. Lijado de la superficie de apoyo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Vigas listas para el ensayo.



Fuente: Elaboración propia

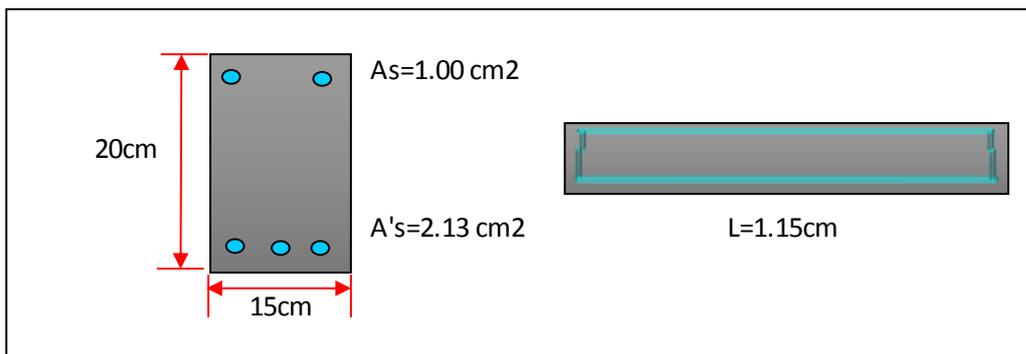
CAPITULO VI

6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS VIGAS ENSAYADAS:

6.1. ANALISIS Y COMPORTAMIENTO TEORICO DE LAS VIGAS MODELO DE CONCRETO ARMADO

6.1.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA

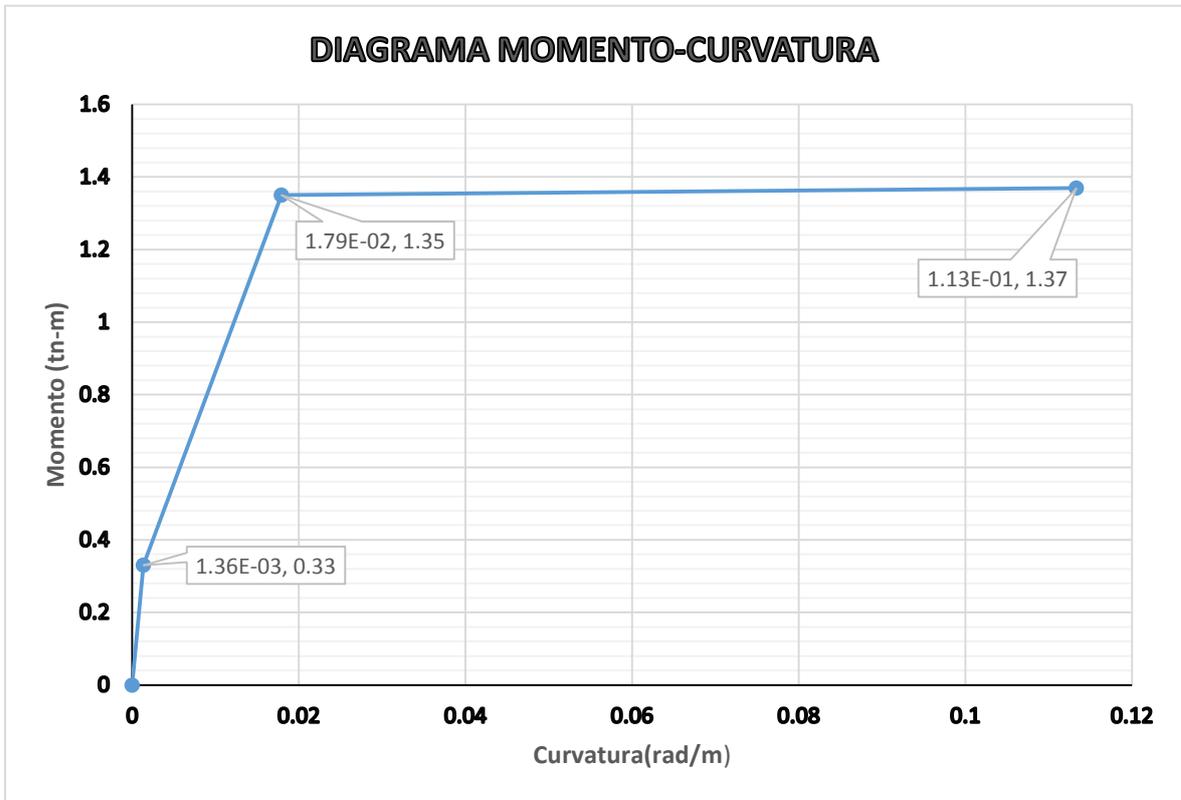
6.1.1.1. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO SIN REFUERZO TRANSVERSAL.



PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO	
Base b (cm)	15	f 'c (kg/cm ²)	210	fy (kg/cm ²)	4200
Altura h (cm)	20				
Recub. d' (cm)	3	Ec (kg/cm ²)	217371	Es (kg/cm ²)	2000000
Prt.Efec d (cm)	17				
ACERO DE REFUERZO					
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'	
	2	8	1	0.0039	
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P	
	3	3/8	2.13	0.0084	
MOMENTO DE AGRIETAMIENTO					
n	9.2	Ȳ	10.2	M agri(tn.m)	φ u(rad/m)
A Total Transf.	325.7	I	11246		
fr	28.98	y fondo	9.8	0.33	1.36E-03
MOMENTO DE FLUENCIA					
k	0.31	kd	5.27	My(tn.m)	φy(rad/m)
ξs	0.0021	fs	4200		
ξc	0.000943	fc	204.98	1.35	1.79E-02
ξ's	0.000406	f's	812		
Cc	8102	Cs	812		
yc	1.87	jd	15.13		
MOMENTO ULTIMO					
β1	0.85	d'	3	Mu (tn.m)	φu (rad/m)
ξy	0.0021	fy	4200		
a	3	c	3.53	1.37	1.13E-01
ξ's	0.00045	f's	900		

6.1.1.1.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA SIN ESTRIBOS

Figura 78. Diagrama Momento – Curvatura Teórico para una Viga sin refuerzo Transversal.



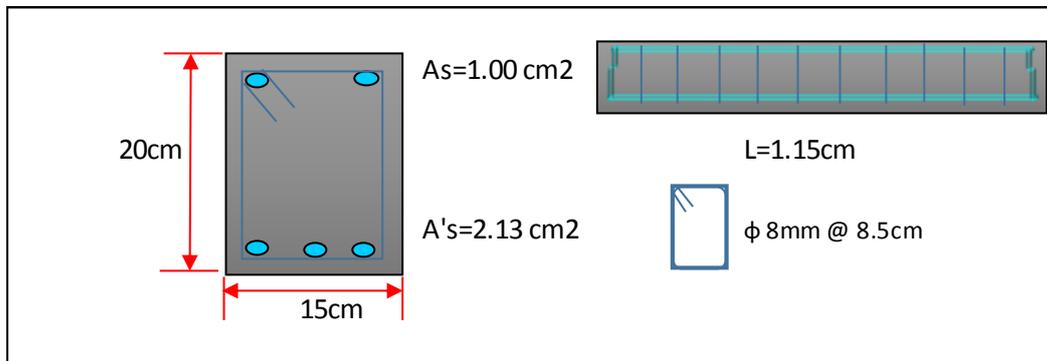
Fuente: Elaboración propia

DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA		
FASES	MOMENTO	CURVATURA
	0	0
Antes del Agrietamiento.	0.33	1.36E-03
Agrietamiento Fluencia.	1.35	1.79E-02
Ultima.	1.37	1.13E-01

DUCTILIDAD	
$\mu =$	6.33

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.1.2. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=8.5cm.

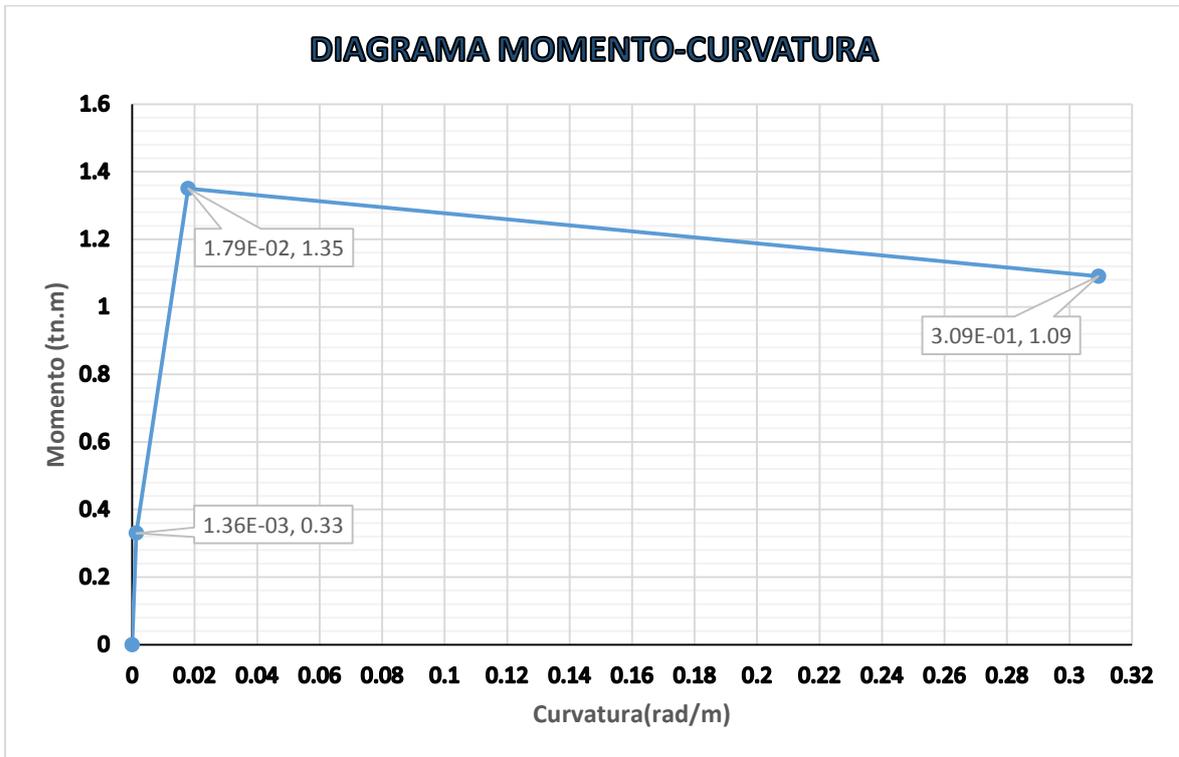


PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO	
Base b (cm)	15	f 'c (kg/cm ²)	210	fy (kg/cm ²)	4200
Altura h (cm)	20	Ec (kg/cm ²)	217371	Es (kg/cm ²)	2000000
Recub. d' (cm)	3				
Prt.Efec d (cm)	17				
ACERO DE REFUERZO					
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'	
	2	8	1	0.0039	
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P	
	3	3/8	2.13	0.0084	
MOMENTO DE AGRIETAMIENTO					
n	9.2	Ȳ	10.2	M agri(tn.m)	φ u(rad/m)
A Total Transf.	325.7	I	11246	0.33	1.36E-03
fr	28.98	y fondo	9.8		
MOMENTO DE FLUENCIA					
k	0.31	kd	5.27	My(tn.m)	φ y(rad/m)
ξs	0.0021	fs	4200	1.35	1.79E-02
ξc	0.000943	fc	204.98		
ξ 's	0.000406	f 's	812		
Cc	8102	Cs	812		
yc	1.87	jd	15.13		
MOMENTO ULTIMO					
ke	0.85	ps	0.0130719	Mu (tn.m)	φ u (rad/m)
ft	23.33	f'cc	339.39	1.09	3.09E-01
ξ 's	0.00068	f 's	1360		
ξco	0.003	ξcc	0.012		
fc(lbs/plg ²)	3000	Z	40		
Y1	0.5155	α1	0.7775		
Y2	0.4075	α2	0.4075		
kd	3.88	b''	9		
brazo1	12.00	Ccc	5701.56		
brazo2	11.27	Cco	1884.63		
brazo3	14.00	T	1360		

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.1.2.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA CON ESTRIBOS S=8.5 cm

Figura 79. Diagrama Momento - Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Eribos S= 8.5 cm



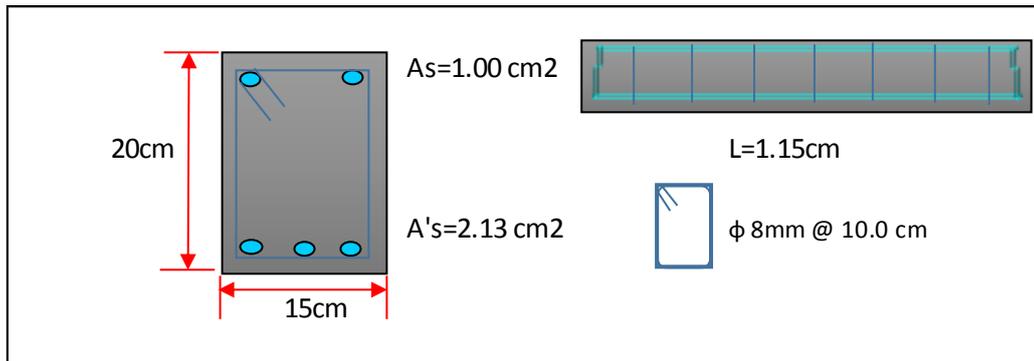
Fuente: Elaboración propia

DIAGRAMA MOMENTO- CURVATURA		
FASES	MOMENTO	CURVATURA
	0	0
Antes del Agrietamiento.	0.33	1.36E-03
Agrietamiento Fluencia.	1.35	1.79E-02
Ultima.	1.09	3.09E-01

DUCTILIDAD	
$\mu =$	17.28

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

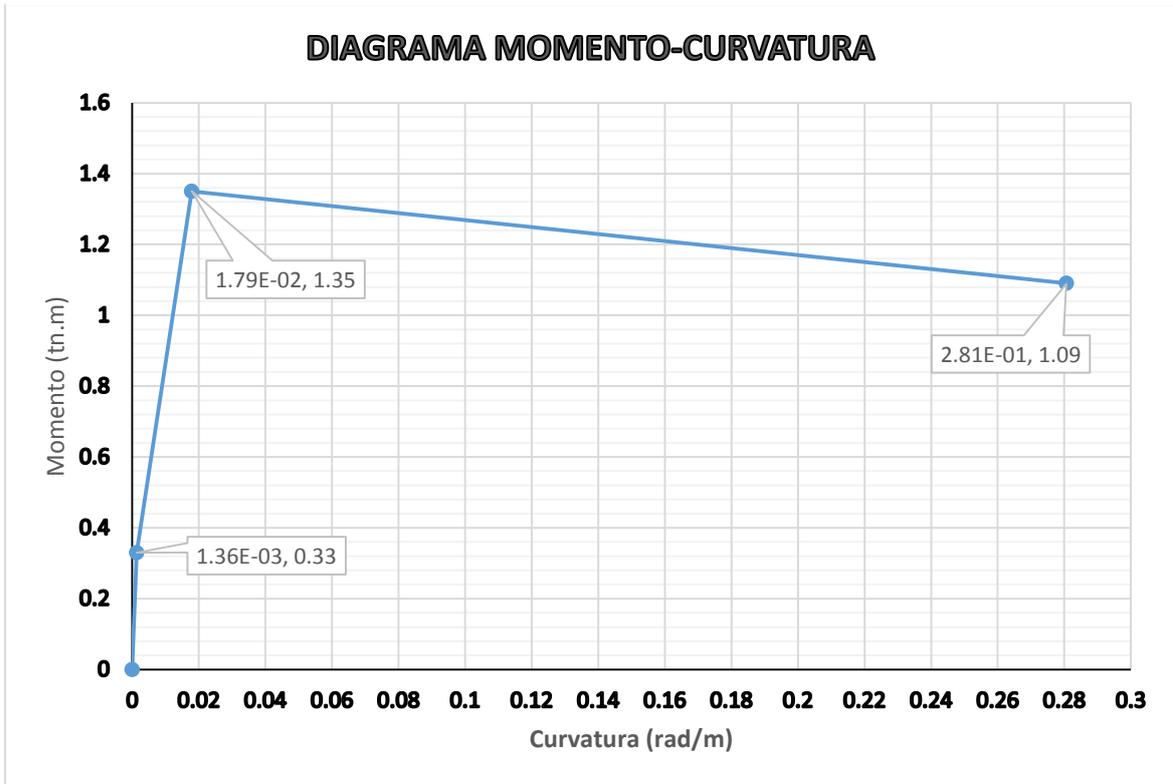
6.1.1.3. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=10.0 cm



PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO	
Base b (cm)	15	f 'c (kg/cm ²)	210	fy (kg/cm ²)	4200
Altura h (cm)	20				
Recub. d' (cm)	3	Ec (kg/cm ²)	217371	Es (kg/cm ²)	2000000
Prt.Efec d (cm)	17				
ACERO DE REFUERZO					
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'	
	2	8	1	0.0039	
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P	
	3	3/8	2.13	0.0084	
MOMENTO DE AGRIETAMIENTO					
n	9.2	Ȳ	10.2	M agri(tn.m)	φ u(rad/m)
A Total Transf.	325.7	I	11246	0.33	1.36E-03
fr	28.98	y fondo	9.8		
MOMENTO DE FLUENCIA					
k	0.31	kd	5.27	My(tn.m)	φ y(rad/m)
ξs	0.0021	fs	4200	1.35	1.79E-02
ξc	0.000943	fc	204.98		
ξ 's	0.000406	f 's	812		
Cc	8102	Cs	812		
yc	1.87	jd	15.13		
MOMENTO ULTIMO					
ke	0.85	ρs	0.01111111	Mu (tn.m)	φ u (rad/m)
ft	19.83	f'cc	323.14	1.09	2.81E-01
ξ 's	0.0007	f 's	1400		
ξco	0.003	ξcc	0.011		
fc(lbs/plg ²)	3000	Z	48		
γ1	0.5168	α1	0.7624		
γ2	0.4079	α2	0.4079		
kd	3.92	b"	9		
brazo1	11.97	Ccc	5648.47		
brazo2	11.24	Cco	1900.11		
brazo3	14.00	T	1400		

6.1.1.3.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA CON ESTRIBOS S=10.0 cm

Figura 80. Diagrama Momento -Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Etribos S= 10.0 cm



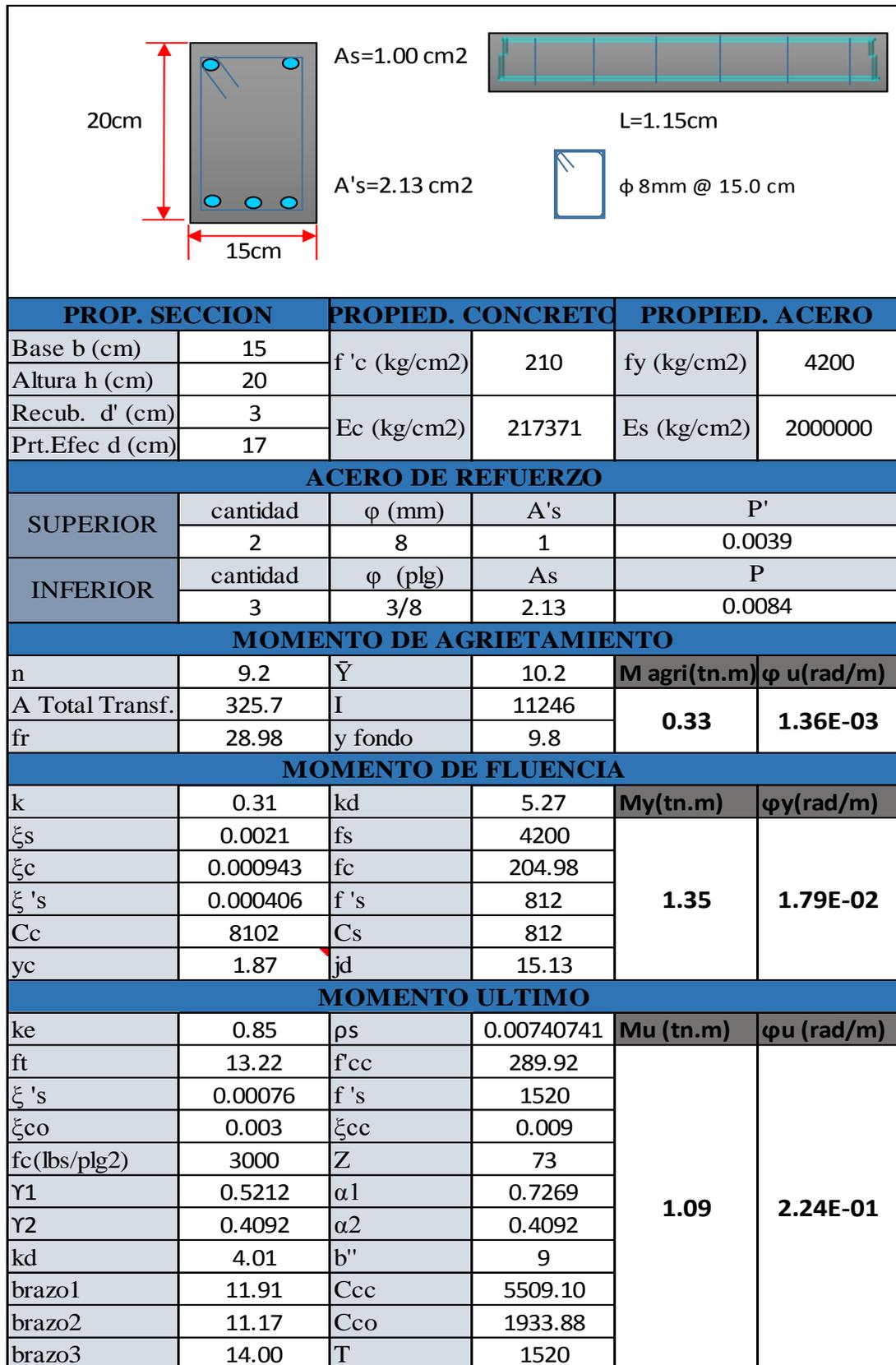
Fuente: Elaboración propia

DIAGRAMA MOMENTO -CURVATURA		
FASES	MOMENTO	CURVATURA
	0	0
Antes del Agrietamiento.	0.33	1.36E-03
Agrietamiento Fluencia.	1.35	1.79E-02
Ultima.	1.09	2.81E-01

DUCTILIDAD	
$\mu =$	15.67

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

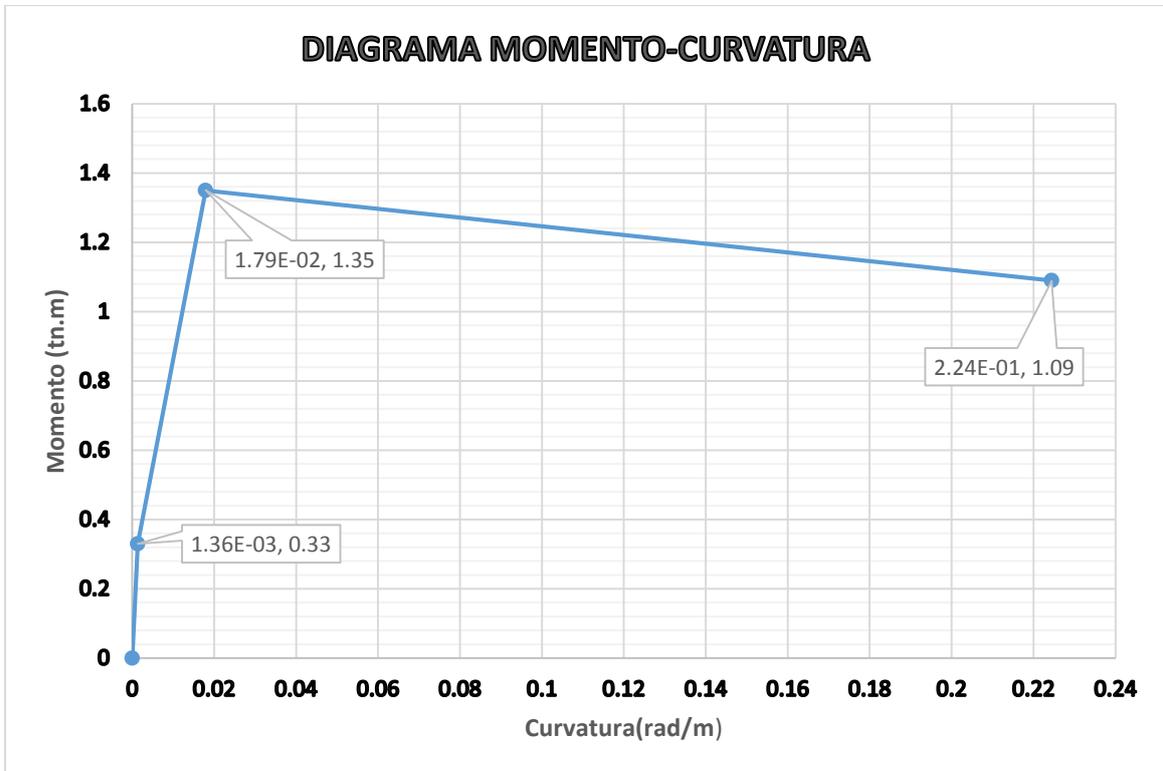
6.1.1.4. CALCULO DE MOMENTOS Y CURVATURAS DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=15.0 cm



“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.1.4.1. DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA CON ESTRIBOS S=15.0 cm

Figura 81. Diagrama Momento -Curvatura Teórico para una Viga con una separación de Estribos S= 15.0 cm



Fuente: Elaboración propia

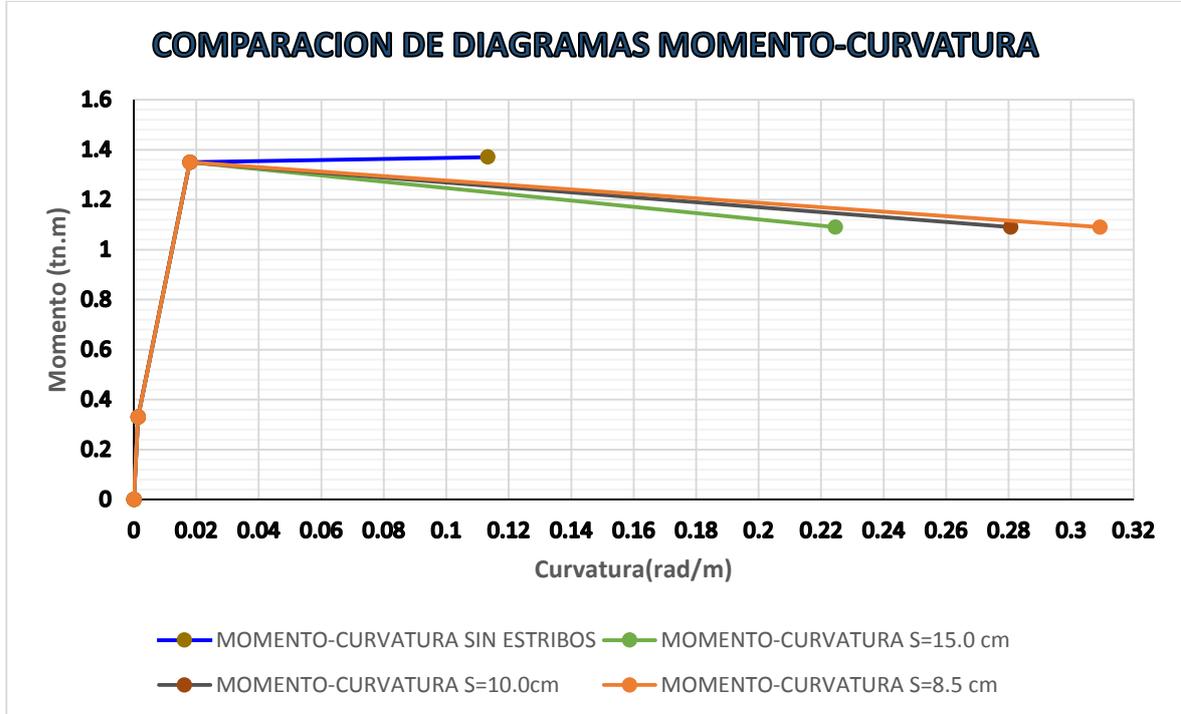
DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA		
FASES	MOMENTO	CURVATURA
	0	0
Antes del Agrietamiento.	0.33	1.36E-03
Agrietamiento Fluencia.	1.35	1.79E-02
Ultima.	1.09	2.24E-01

DUCTILIDAD	
$\mu =$	12.54

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.1.5. COMPARACION TEORICA ENTRE DIAGRAMAS MOMENTO CURVATURA DE LAS VIGAS MODELO.

Figura 82. Diagramas Momento –Curvatura teórico para las vigas modelo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Cuadro de resumen de valores de los Diagramas Momento- Curvatura teóricos para de las vigas modelo.

RESUMEN DE VALORES DEL DIAGRAMA MOMENTO -CURVATURA TEORICO				
PARAMETROS	ESPACIAMIENTO ESTRIBOS S=8.5cm	ESPACIAMIENTO ESTRIBOS S=10.0 cm	ESPACIAMIENTO ESTRIBOS S=15.0 cm	SIN ESTRIBOS
MOMENTO fisura (tn)	0.33	0.33	0.33	0.33
MOMENTO fluencia (tn)	1.35	1.35	1.35	1.35
MOMENTO ultima (tn)	1.09	1.09	1.09	1.37
CURVATURA fisura (1/m)	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03	1.36E-03
CURVATURA fluencia (1/m)	1.79E-02	1.79E-02	1.79E-02	1.79E-02
CURVATURA ultima (1/m)	3.09E-01	2.81E-01	2.24E-01	1.13E-01
DUCTILIDAD (μ)	17.28	15.67	12.54	6.33

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra los valores de momentos y curvaturas teóricos para las diferentes fases de comportamiento de las vigas de prueba al ser sometidas a carga hasta la falla. Además se señala la variación de la ductilidad del elemento cuando se aumenta la separación de estribos de 8.50cm a 10.0cm disminuyendo este valor en un 9.32 %, y un 27.43 % cuando la separación de estribos se aumenta a 15.0cm.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

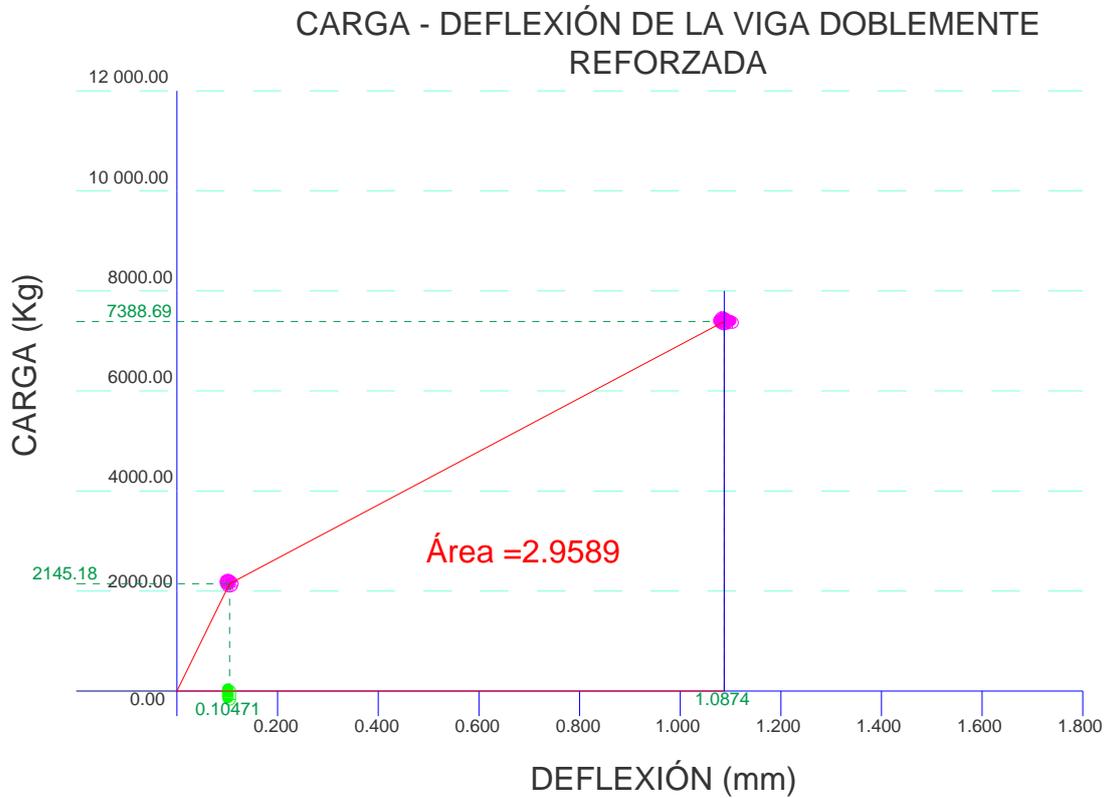
6.1.2. DIAGRAMA CARGA DEFLEXION

6.1.2.1. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO SIN REFUERZO TRANSVERSAL

PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO		
Base b (cm)	15.00	f 'c (kg/cm2)	210.00	fy (kg/cm2)	4200.00	
Altura h (cm)	20.00					
Recub. d' (cm)	3.00					
Prt.Efec d (cm)	17.00	Ec (kg/cm2)	200000	Es (kg/cm2)	2000000	
Largo (cm)	115.00					
Luz de viga (cm)	90.00					
ACERO DE REFUERZO						
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'		
	2	8	1	0.0039		
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P		
	3	3/8	2.13	0.0084		
ANTES DEL AGRIETAMIENTO						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$ 0.1047
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	10 ⁶ N.mm	3.16	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	
M_f	Tn.m	0.32	A_T	mm ²	32381.43	
$P = Q/2$	KN	10.52	y	mm	101.84	
Q	KN	21.04	I_t	10 ⁴ mm ⁴	1155.98	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	11155.98	
EN LA ROTURA						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$ 1.0874
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	KN.m	10.87	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	
M_f	Tn.m	1.1083	A_T	mm ²	32381.43	
$P = Q/2$	KN	36.23	y	mm	35.30	
Q	KN	72.46	I_f	10 ⁴ mm ⁴	3542.04	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	3700.09	

6.1.2.1.1 DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN SIN REFUERZO TRANSVERSAL

Figura 83. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga sin Refuerzo Transversal.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 83 se muestra el diagrama carga-deflexión para una viga sin refuerzo transversal elaborado con parámetros teóricos de acuerdo a la Norma. Donde el área que encierra la curva, es el valor de la energía disipada hasta el instante de carga representado en la gráfica, cuyo valor es de 2.9589 tn.mm.

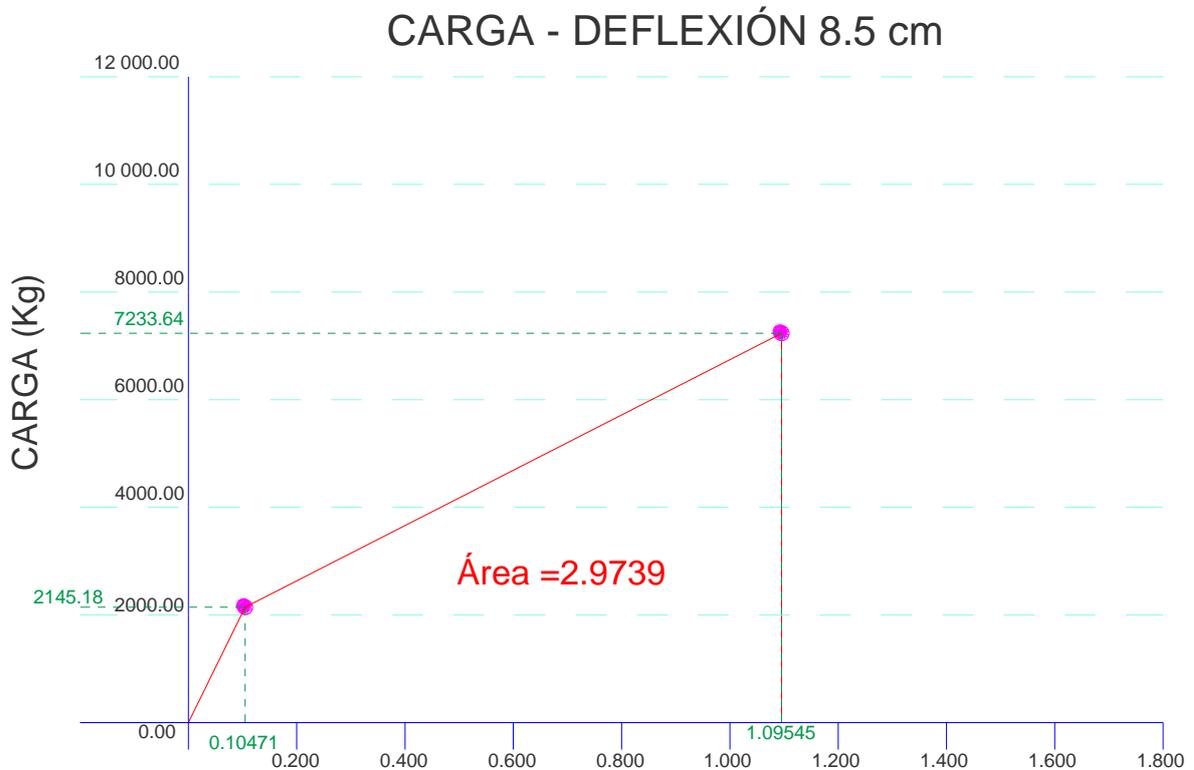
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.2.2. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=8.5 cm

		As=1.00 cm ²				
		A's=2.13 cm ²	L=1.15cm			
PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO		
Base b (cm)	15.00	f 'c (kg/cm ²)	210.00	fy (kg/cm ²)	4200.00	
Altura h (cm)	20.00					
Recub. d' (cm)	3.00					
Prt.Efec d (cm)	17.00	Ec (kg/cm ²)	200000	Es (kg/cm ²)	2000000	
Largo (cm)	115.00					
Luz de viga (cm)	90.00					
ACERO DE REFUERZO						
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'		
	2	8	1	0.0039		
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P		
	3	3/8	2.13	0.0084		
ANTES DEL AGRIETAMIENTO						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	10 ⁶ N.mm	3.16	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M_f	Tn.m	0.32	A_T	mm ²	32381.43	
$P = Q/2$	KN	10.52	y	mm	101.84	0.1047
Q	KN	21.04	I_t	10 ⁴ mm ⁴	1155.98	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	11155.98	
EN LA ROTURA						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	KN.m	10.64	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M_f	Tn.m	1.0850	A_T	mm ²	32381.43	
$P = Q/2$	KN	35.47	y	mm	40.10	1.0954
Q	KN	70.94	I_f	10 ⁴ mm ⁴	3424.36	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	3595.85	

6.1.2.2.1. DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN CON ESTRIBOS S=8.5 cm

Figura 84. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=8.5 cm



Fuente: Elaboración propia

En la figura 84 se muestra el diagrama carga-deflexión para una viga con refuerzo transversal en forma de estribos con una separación de 8.50 cm, elaborado con parámetros teóricos de acuerdo a la Norma. Donde al área que encierra la curva, es el valor de la energía disipada hasta el instante de carga representado en la gráfica, cuyo valor es de 2.9739 tn.mm.

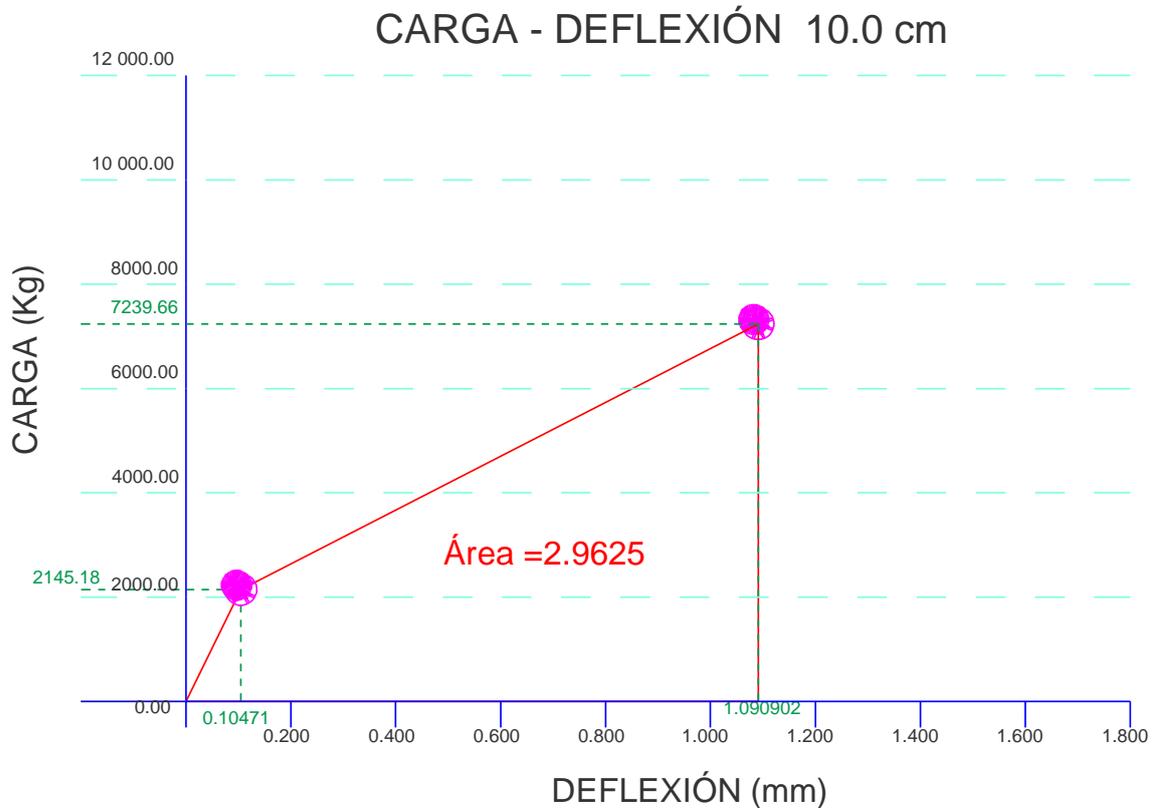
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.2.3. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=10.0 cm

		As=1.00 cm ²				
		A's=2.13 cm ²			L=1.15cm	
		15cm				
		20cm				
PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO		
Base b (cm)	15.00	f 'c (kg/cm ²)	210.00	fy (kg/cm ²)	4200.00	
Altura h (cm)	20.00					
Recub. d' (cm)	3.00					
Prt.Efec d (cm)	17.00	Ec (kg/cm ²)	200000	Es (kg/cm ²)	2000000	
Largo (cm)	115.00					
Luz de viga (cm)	90.00					
ACERO DE REFUERZO						
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'		
	2	8	1	0.0039		
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P		
	3	3/8	2.13	0.0084		
ANTES DEL AGRIETAMIENTO						
f _{ct,m,fl}	N/mm ²	3.16	n = E _s /E _c	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W _b	10 ³ mm ³	1000.00	(n - 1). A _s	mm ²	1615.43	
M _f	10 ⁶ N.mm	3.16	(n - 1). A' _s	mm ²	766.00	f(x) = δ _{max} = $\frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M _f	Tn.m	0.32	A _T	mm ²	32381.43	
P = Q/2	KN	10.52	y	mm	101.84	0.1047
Q	KN	21.04	I _t	10 ⁴ mm ⁴	1155.98	
I _b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I _e	10 ⁴ mm ⁴	11155.98	
EN LA ROTURA						
f _{ct,m,fl}	N/mm ²	3.16	n = E _s /E _c	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W _b	10 ³ mm ³	1000.00	(n - 1). A _s	mm ²	1615.43	
M _f	KN.m	10.65	(n - 1). A' _s	mm ²	766.00	f(x) = δ _{max} = $\frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M _f	Tn.m	1.0859	A _T	mm ²	32381.43	
P = Q/2	KN	35.50	y	mm	39.20	1.0909
Q	KN	71.00	I _f	10 ⁴ mm ⁴	3443.19	
I _b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I _e	10 ⁴ mm ⁴	3613.78	

6.1.2.3.1. DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN CON ESTRIBOS S=10.0 cm

Figura 85. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=10.0 cm



Fuente: Elaboración propia

En la figura 85 se muestra el diagrama carga-deflexión para una viga con refuerzo transversal en forma de estribos con una separación de 10.00 cm, elaborado con parámetros teóricos de acuerdo a la Norma. Donde el área que encierra la curva, es el valor de la energía disipada hasta el instante de carga representado en la gráfica, cuyo valor es de 2.9625 tn.mm.

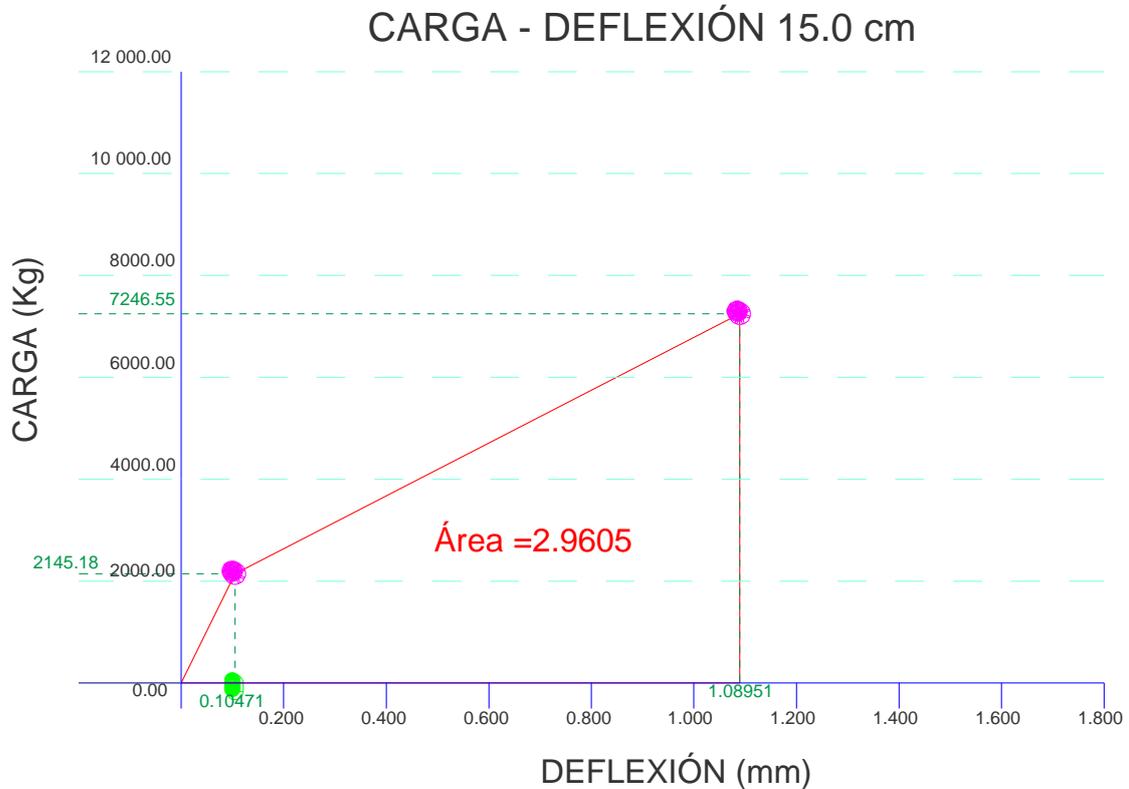
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.1.2.4. CALCULO DE DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN DE LA VIGA MODELO CON REFUERZO TRANSVERSAL CON SEPARACION S=15.0 cm

		As=1.00 cm ²				
		A's=2.13 cm ²		L=1.15cm		
PROP. SECCION		PROPIED. CONCRETO		PROPIED. ACERO		
Base b (cm)	15.00	f 'c (kg/cm ²)	210.00	fy (kg/cm ²)	4200.00	
Altura h (cm)	20.00					
Recub. d' (cm)	3.00					
Prt.Efec d (cm)	17.00	Ec (kg/cm ²)	200000	Es (kg/cm ²)	2000000	
Largo (cm)	115.00					
Luz de viga (cm)	90.00					
ACERO DE REFUERZO						
SUPERIOR	cantidad	φ (mm)	A's	P'		
	2	8	1	0.0039		
INFERIOR	cantidad	φ (plg)	As	P		
	3	3/8	2.13	0.0084		
ANTES DEL AGRIETAMIENTO						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	10 ⁶ N.m	3.16	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M_f	Tn.m	0.32	A_T	mm ²	32381.43	
P = Q/2	KN	10.52	y	mm	101.84	0.1047
Q	KN	21.04	I_t	10 ⁴ mm ⁴	1155.98	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	11155.98	
EN LA ROTURA						
$f_{ct,m,fl}$	N/mm ²	3.16	$n = E_s/E_c$	N/mm ²	8.58	DEFLEXIÓN f(l/2) mm
W_b	10 ³ mm ³	1000.00	$(n - 1) \cdot A_s$	mm ²	1615.43	
M_f	KN.m	10.66	$(n - 1) \cdot A'_s$	mm ²	766.00	$f(x) = \delta_{max} = \frac{23}{3} \frac{P}{EI} \left(\frac{L}{6}\right)^3$
M_f	Tn.m	1.0870	A_T	mm ²	32381.43	
P = Q/2	KN	35.53	y	mm	38.80	1.0895
Q	KN	71.06	I_f	10 ⁴ mm ⁴	3452.06	
I_b	10 ⁴ mm ⁴	10000.00	I_e	10 ⁴ mm ⁴	3621.92	

6.1.2.4.1. DIAGRAMA CARGA DEFLEXIÓN CON ESTRIBOS S=15.0 cm

Figura 86. Diagrama Carga -Deflexión teórica para una Viga con separación de estribos S=15.0 cm



Fuente: Elaboración propia

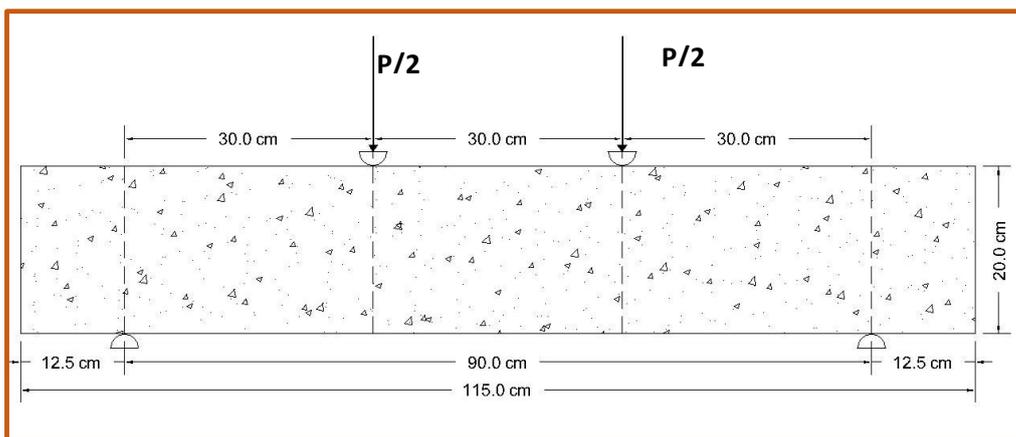
En la figura 86 se muestra el diagrama carga-deflexión para una viga con refuerzo transversal en forma de estribos con una separación de 10.00 cm, elaborado con parámetros teóricos de acuerdo a la Norma. Donde el área que encierra la curva, es el valor de la energía disipada hasta el instante de carga representado en la gráfica, cuyo valor es de 2.9605 tn.mm.

6.2. DISEÑO DE ENSAYOS EXPERIMENTALES, PREPARACION DE LOS ENSAYOS:

Para estudiar el comportamiento y los modos de falla de una viga concreto armado, se dispone de una maquina Universal de Ensayos Mecánicos cuyos apoyos y punto de aplicación de las cargas pueden regularse a fin de obtener una zona central de momento flector constante en donde se estudiarán los fenómenos de flexión, y dos zonas de corte constante y momento flector linealmente variable.

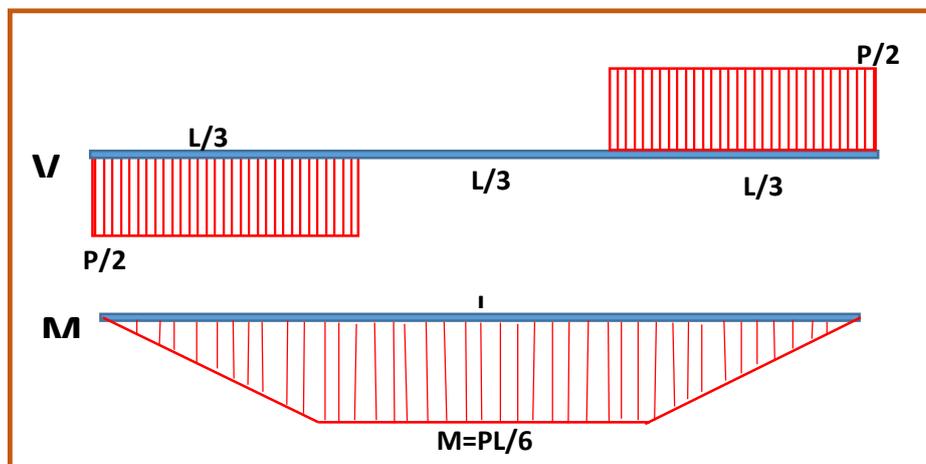
El esquema de cargas a seguir durante el ensayo es el de una viga simplemente apoyada y cargada con dos fuerzas iguales situadas a tercios de la luz libre entre apoyos, tal y como se detalla en las figuras 87 y 88.

Figura 87. Esquema de Aplicación de Cargas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 88. Diagrama de Cortantes y Momentos Flectores.



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La figura 89 muestra el esquema real de la primera viga ensayada en el Laboratorio de Mecánica de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, supervisado por los ingenieros jurados de la presente tesis.

Figura 89. Viga de concreto Armado Dispuesta para el ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

En concordancia con lo ya expuesto anteriormente la comparación de las vigas realizadas se divide en dos series, una primera serie con una comparación de vigas TIPO1 con las vigas TIPO 2 , y la segunda entre las vigas TIPO1 y vigas TIPO 3 como se indica en la tabla 16.

Tabla 16. Disposición Principal de Comparación

CUADRO DE COMPARACION		
SERIE	COD.	SEPARACION DE ESTRIBOS
SERIE 1	V-A1 → V-B1	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A2 → V-B2	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A3 → V-B3	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A4 → V-B4	8.5 cm → 10.0 cm
SERIE 2	V-A5 → V-C1	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A6 → V-C2	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A7 → V-C3	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A8 → V-C4	8.5 cm → 15.0 cm

Fuente: Elaboración Propia.

6.3. EXPERIMENTACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXION.

6.3.1. RESULTADOS DE LAS VIGAS MODELO ENSAYADAS

En esta parte se pasará revisión a los resultados obtenidos en los 16 ensayos de las vigas estudiadas, dándose los datos relativos a la carga máxima, deflexión en el centro de la viga para dicha carga ultima, desplazamiento en el momento de fisuración y desplazamiento antes de la rotura. Además se adjunta una fotografía de la viga tras ser ensayada para apreciar su rotura, se estudia la energía absorbida durante el ensayo y se complementa con una gráfica fuerza – deflexión.

El desplazamiento vertical de las vigas se ha indicado a tercios de la luz, valor que facilita el software de la Maquina Universal de Ensayos Mecánicos por desplazamiento entre elementos de carga.

El cálculo de la energía absorbida durante el ensayo se ha calculado con el área encerrada entre la curva fuerza- desplazamiento y el eje de las abscisas.

6.3.1.1. VIGAS TIPO 1, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=8.5cm

6.3.1.1.1. VIGA A1:

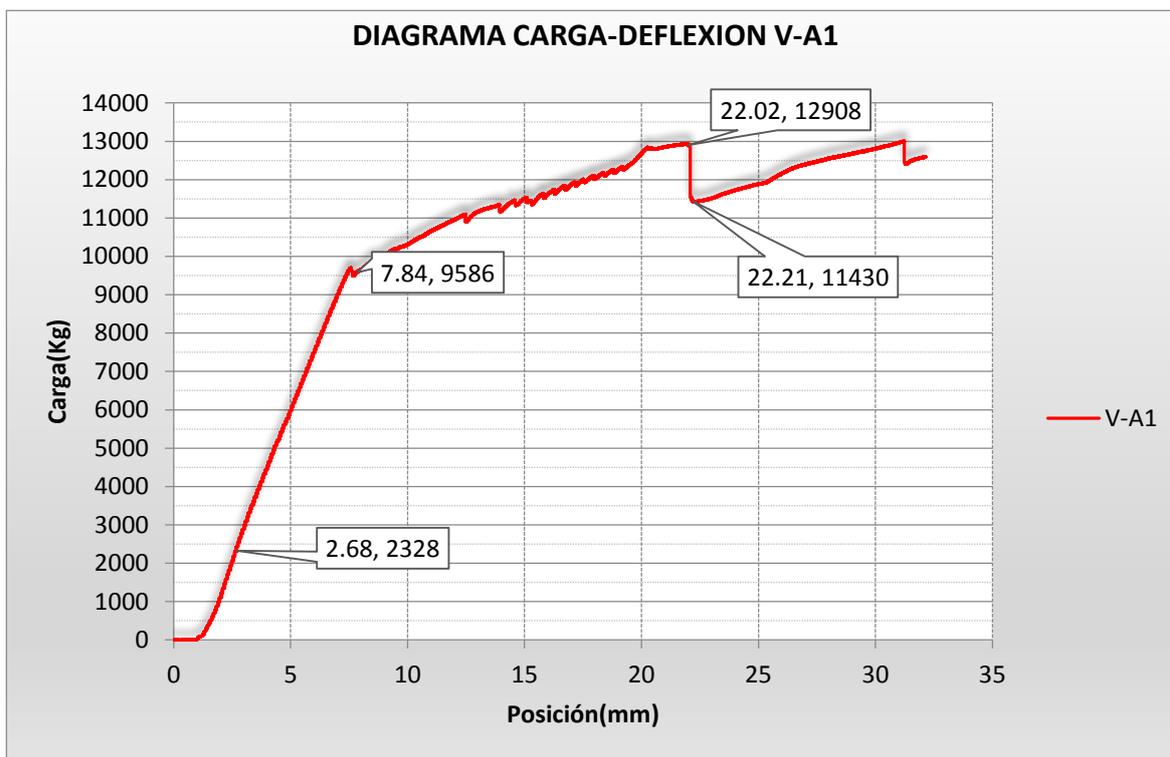
Tabla 17. Resultados obtenidos en la viga V-A1

CARGA M_{fisura} (tn)	2.328
CARGA M_{fluencia} (tn)	9.586
CARGA M_{ultima} (tn)	12.908
DEFLEXION $_{\text{fisura}}$ (mm)	2.68
DEFLEXION $_{\text{fluencia}}$ (mm)	7.84
DEFLEXION $_{\text{ultima}}$ (mm)	22.02
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	191.78

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 90 Diagrama de carga – deflexión V-A1.



Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama de la figura 90 se puede ver claramente que la viga se comporta elásticamente hasta la carga de $Q=9.586$ Tn con una deflexión de 7.84 mm. A partir de ese punto, la viga puede seguir admitiendo un incremento de carga hasta $Q=12.908$ Tn, pero no de forma elástica como ocurría en el primer tramo, aumentando notablemente la flecha bajo los puntos de aplicación de la carga, así como en la parte central de la viga.

Se puede apreciar también que, justamente al llegar el valor de la carga a 2.328 Tn, la dirección de la curva sufre un pequeño cambio, y es en ese momento donde aparecen las primeras **fisuras apenas perceptibles** en el centro de la viga, poniendo en evidencia que esta carga corresponde al límite de funcionamiento homogéneo de toda la sección de viga.

Las deformaciones del ensayo son medidas directamente por la maquina universal, dicha deflexión fue comprobada mediante una medición manual con un dial electrónico de deformaciones.

Posteriormente la viga continua deformándose elásticamente, Las fisuras apenas perceptibles evolucionan hasta alcanzar el eje neutro de la sección de viga. Por esta razón no se tiene en cuenta la porción fisurada porque no contribuye a la rigidez de la viga.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Se puede verificar que a cargas mayores de 2.328 Tn las fisuras se visualizan perfectamente, son fisuras localizadas en el tercio central de dirección vertical ocasionadas por flexión pura. Por otra parte se puede ver que la flecha varia proporcionalmente al mantener la carga durante un intervalo de carga hasta aproximadamente 9.586 Tn.

La falla ocurre por fluencia del acero cuya deformación unitaria supera los 0.0021, desplazando verticalmente el eje neutro, junto que las fisuras evolucionan hasta alcanzar la zona de compresiones de concreto ,con la consecuente disminución del bloque comprimido de tensiones lo cual ocasiona la rotura de la viga por plastificación del concreto, finalmente la viga hasta alcanzar una carga de 12.908 Tn el comportamiento de la carga y deformación no es proporcional, es decir, se dan mayores deformaciones con un pequeño incremento de carga.

Finalmente se concluye que la falla de la viga ocurre por plastificación de la zona comprimida, como consecuencia de la evolución progresiva de las fisuras, lo cual obliga a un desplazamiento ascendente del eje neutro provocando una concentración de tensiones que supera a la capacidad resistente del concreto en compresión, finalmente la rotura fue gradual, es decir de carácter dúctil.

Este es el punto en donde se denomina carga último que numéricamente se presenta en una carga de 12.908 Tn; para dicho ensayo hasta alcanzar el punto de momento último se dispuso un tiempo de 12 min.

Figura 91. Aspecto de viga V-A1 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

El aspecto de la viga luego del ensayo se puede apreciar en la figura 91, en la que se distinguen fisuras de flexión en el tercio central, dejando libre una pequeña porción de sección en la parte superior. En los tercios centrales, también aparecen fisuras de idéntica longitud pero al final de su recorrido presentan una ligera inclinación hacia el punto central,

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

lo cual demuestra la acción combinada de momento flector y esfuerzo cortante generando tensiones diagonales en esta zona.

La rotura ha sido por flexión de carácter dúctil, como se había predicho, pasando por tres fases de flexión que anteriormente se ha descrito, obteniéndose la carga de fisuración, la carga de momento de fluencia y finalmente la carga de última. Todos estos últimos aspectos reflejados en la figura 90.

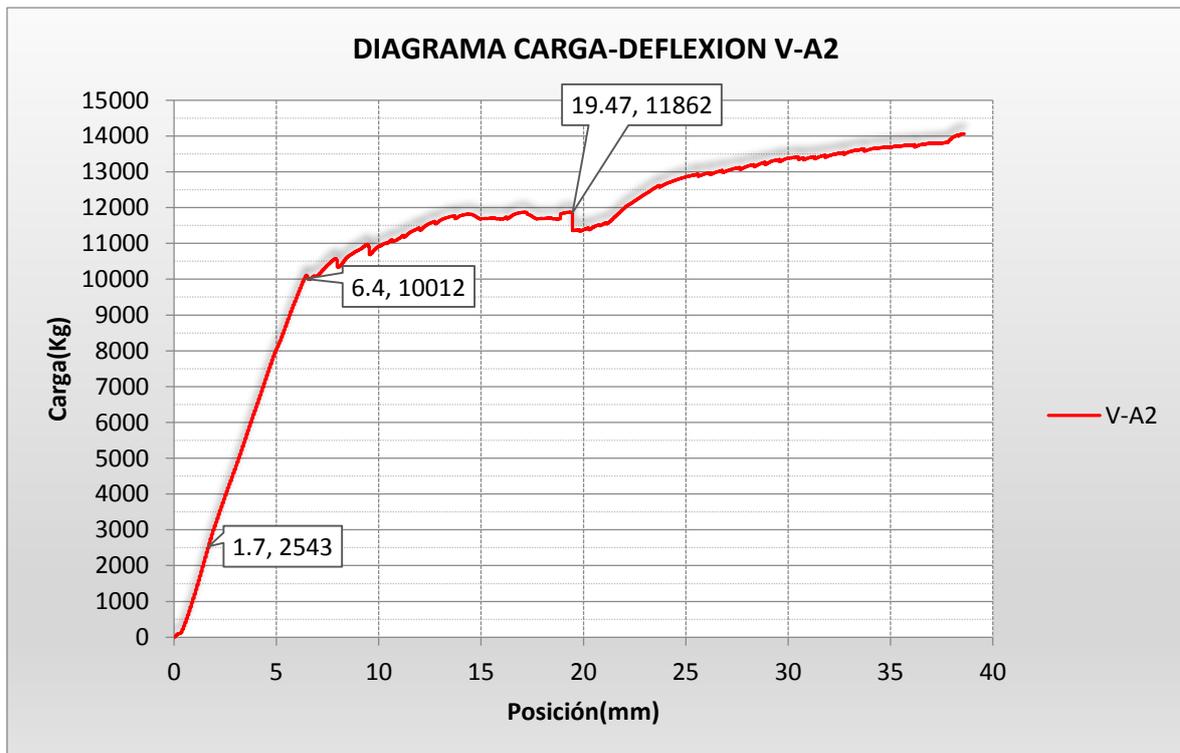
6.3.1.1.2. VIGA A2:

Tabla 18. Resultados obtenidos en la viga V-A2

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.543
CARGA M_{fluencia} (Tn)	10.012
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.862
DEFLEXION fisura (mm)	1.7
DEFLEXION fluencia (mm)	6.4
DEFLEXION ultima (mm)	19.47
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	175.27

Fuente: Elaboración Propia

Figura 92 Diagrama de carga – deflexión V-A2



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

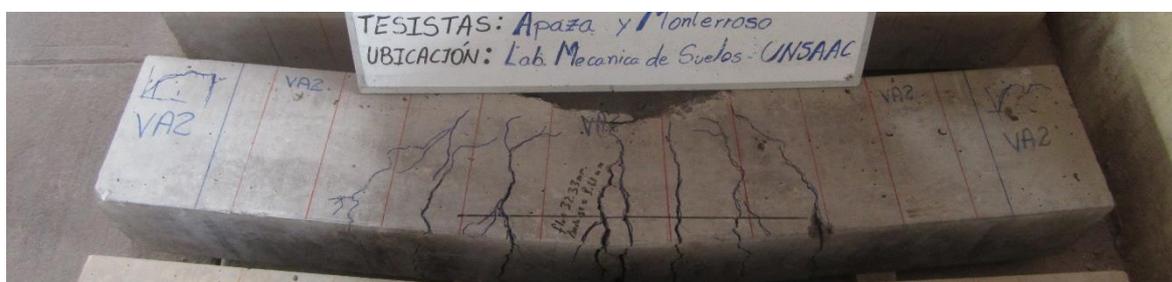
El primer indicio de fisuración en la viga fue a una carga de aproximadamente 2.543 Tn con una pequeña variación en la dirección en la primera zona de la curva carga deflexión como se aprecia en el gráfico de la figura 92 provocando también la aparición de fisuras de flexión en el tercio central de la viga que evolucionan verticalmente.

El comportamiento de la viga fue lineal elástica hasta alcanzar una carga de 10.012 Tn con una deflexión de 6.40 mm; se puede resumir que hasta este punto para un carga ya mencionada de 2.543 Tn en el tercio central aparecen 3 fisuras apenas perceptibles de 1cm de longitud que indica el límite de la resistencias del concreto a tracción, representado por el módulo de rotura, esto quiere decir que el concreto en tracción bajo el eje neutro de la sección, aporta muy poco a casi nada a resistir el momento y el cortante actuante, haciendo esto que en lo posterior el acero de refuerzo en tracción resista los esfuerzos, y conjuntamente con los estribos que en este caso fueron separado a 8.5cm, resistan el remanente de cortante que el concreto ya no pueda soportar.

En seguida la viga continuó deformándose considerablemente para pequeños incremento de carga, hasta alcanzar una carga de 11.862 Tn donde se observó la falla por flexión por agotamiento de concreto.

Posteriormente a esta falla la viga sigue admitiendo cargas y deformaciones, y como se observa en el diagrama soportando cargas aún mayores que el momento último, esto por endurecimiento y plastificación del acero longitudinal de refuerzo y por presencia de los estribos separados a una distancia considerable que ayudan a absorber una pequeña parte del momento y el total del cortante que se genera por las cargas aplicadas, y por ende dejando el concreto completamente de aportar a la resistencia.

Figura 93. Aspecto de viga V-A2 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En la figura 93 se puede apreciar que el colapso de la viga se debe a una falla por flexión por aplastamiento de la cabeza comprimida de concreto que es de tipo sub armada, se muestra además que la distribución de las fisuras son simétricas con respecto al centro de vano.

La resistencia en la zona traccionada y en la zona de compresiones, con una armadura de 3 ϕ 3/8” y 2 ϕ 8mm respectivamente y conjuntamente con los estribos separados a 8.5cm que aminoran y en lo posterior restringen el crecimiento intempestivo de las fisuras, a tal punto que proporciona una parte de la resistencia a cortante; es superada en el transcurso del ensayo en primera instancia la resistencia a tracción del concreto y luego la resistencia a compresión de concreto en la parte superior , provocando esto la falla del elemento viga.

6.3.1.1.3. VIGA A3:

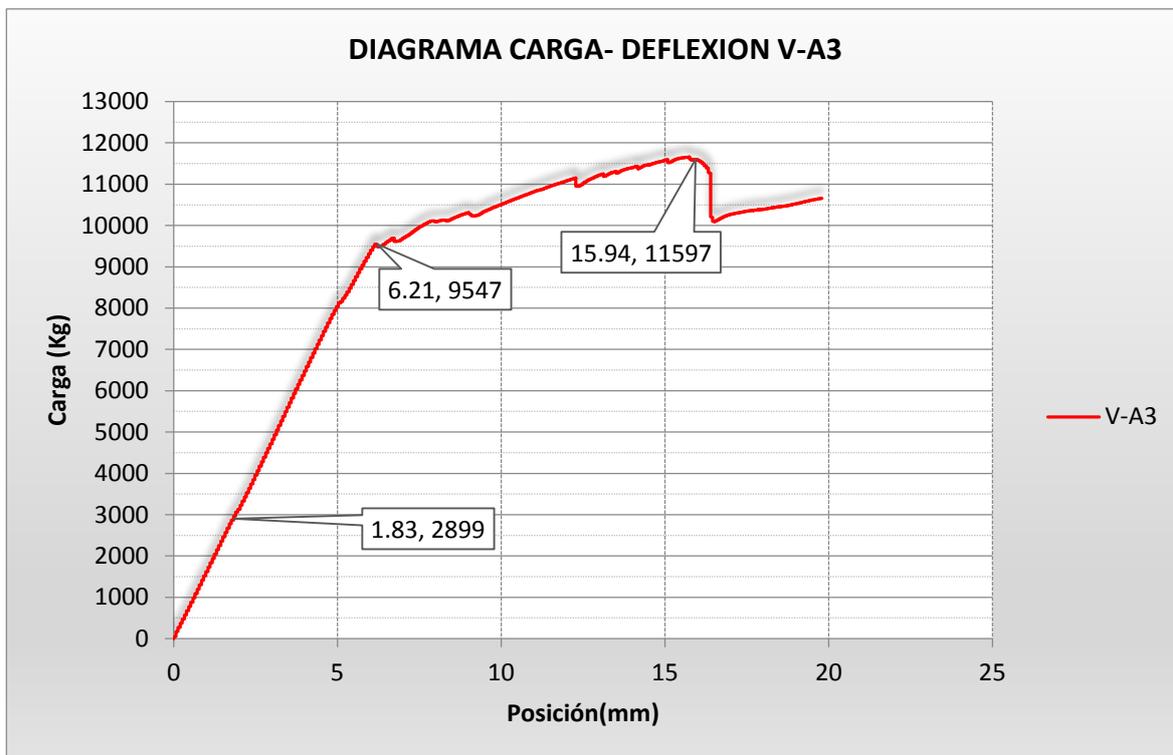
Tabla 19. Resultados observados y obtenidos en la viga V-A3

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.899
CARGA M_{fluencia} (Tn)	9.547
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.597
DEFLEXION $_{\text{fisura}}$ (mm)	1.83
DEFLEXION $_{\text{fluencia}}$ (mm)	6.21
DEFLEXION $_{\text{ultima}}$ (mm)	15.94
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	131.58

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 94. Diagrama de carga – deflexión V-A3



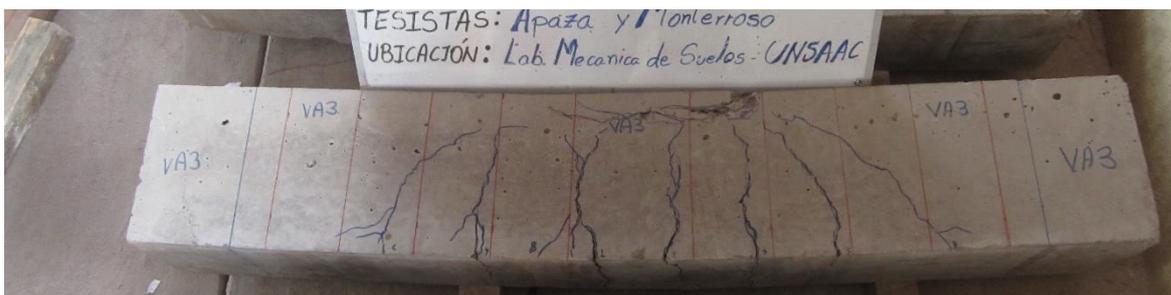
Fuente: Elaboración Propia

La aparición de las primeras fisuras de flexión dentro y fuera del tercio central, se produjo aproximadamente para una carga y deflexión de 2.899 Tn y 1.83 mm respectivamente. La evolución lineal de la curva carga- deflexión se puede apreciar en la primera zona de la figura 94, cuya linealidad se pone de manifiesto hasta que la carga supera la carga de 9.547 Tn. Superada esta carga se incursiona en el rango de comportamiento inelástica del elemento hasta que progresivamente aumentando la carga y se produce la falla por flexión de la misma, a una carga de 11.597 Tn con una deflexión de 15.94 mm.

Se aprecia también que a pesar de la falla por flexión esta viga sigue admitiendo cargas y deformaciones, demostrándose que la viga posee una gran ductilidad aun después de la falla.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 95. Aspecto de viga V-A2 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

El aspecto final de la viga se puede apreciar en la figura 95, notándose que el mecanismo de formación de fisuras es similar que las vigas anteriores y es como consecuencia del momento flector actuante.

Además se observa que todas las fisuras se dirigen hacia el tercio central superior del elemento, generándose una concentración de esfuerzos, que posteriormente provoco el agotamiento del concreto comprimido y generando así la falla de manera dúctil de tipo sobreamada, que como se observa a diferencia de las vigas A1 y A2, en esta se cubrió una zona de influencia menor que las otras.

6.3.1.1.4. VIGA A4:

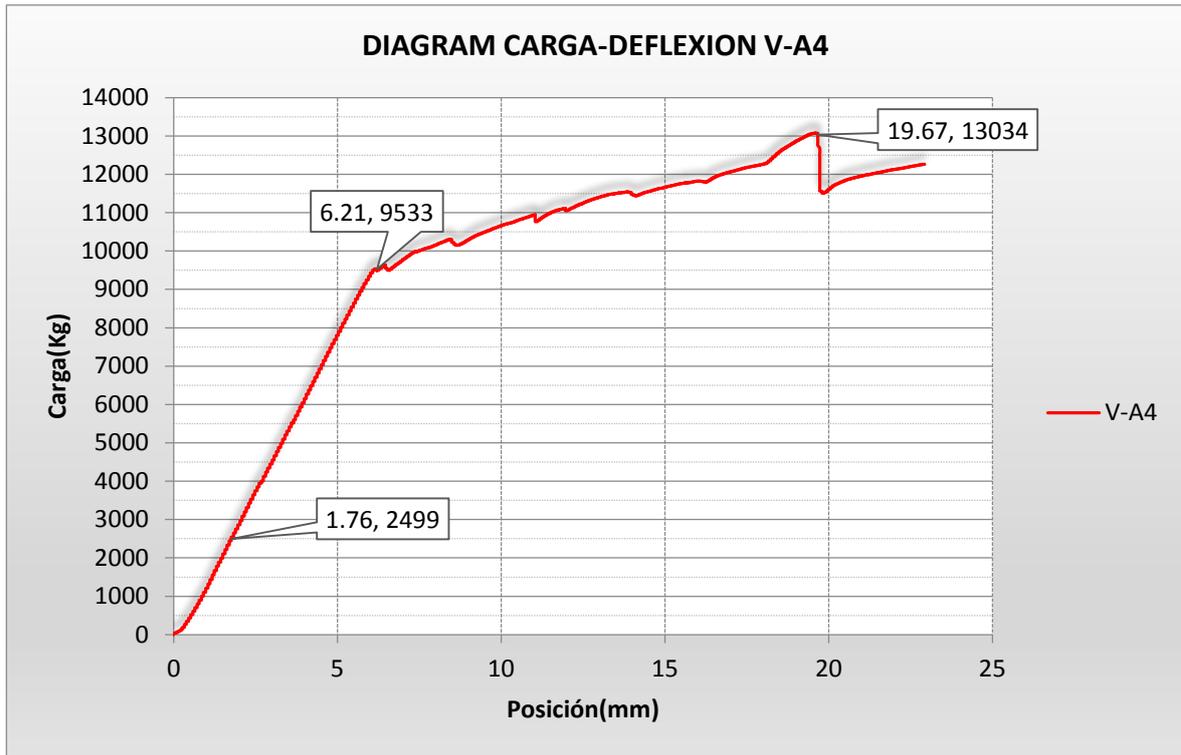
Tabla 20. Resultados obtenidos en la viga V-4A

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.499
CARGA M_{fluencia} (Tn)	9.533
CARGA M_{ultima} (Tn)	13.034
DEFLEXION $_{\text{fisura}}$ (mm)	1.76
DEFLEXION $_{\text{fluencia}}$ (mm)	6.21
DEFLEXION $_{\text{ultima}}$ (mm)	19.67
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	176.01

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 96 Diagrama de carga – deflexión V-A4



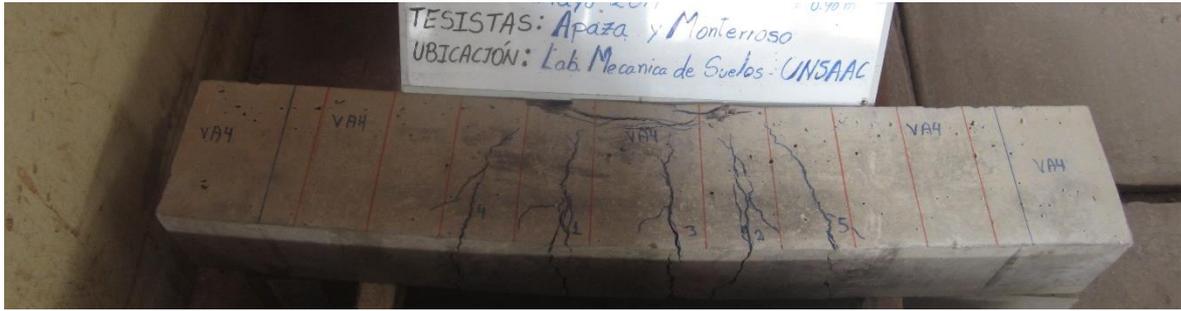
Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo la viga V-A4 tiene un comportamiento en su diagrama muy similar a las vigas A1 y A3 con algunas diferencias mínimas, lográndose visualizar las primeras fisuras a una carga de 2.499 Tn aproximadamente que aparecen en el tercio central de la viga y su vez se van incrementado en su longitud y ancho progresivamente; ya en la carga de 9.533 Tn y con una deflexión de 6.21 mm se llega a límite del comportamiento lineal elástico.

Posterior a este momento que se denomina *momento de fluencia*, la viga incursiona en la zona inelástica produciéndose grandes deformaciones a pequeños incrementos de carga, hasta llegar a la carga ultimo o de falla aproximadamente en 13.034 Tn y con una deformación de 19.67 mm ligeramente mayor a las anteriores muestras, esto por las condiciones externas en que se vació dicha muestra en comparación con las demás vigas de este mismo tipo.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 97. Aspecto de viga V-A4 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente la falla de la viga al igual que las anteriores se produjo por flexión por la concentración de esfuerzos en la cabeza comprimida; además la figura 97 muestra la configuración de las fisuras, todas casi verticales con una inclinación pequeña en dirección al tercio central superior del elemento, lográndose generar que la fluencia del acero se produzca antes que el concreto alcance su máxima resistencia.

6.3.1.1.5. VIGA A5:

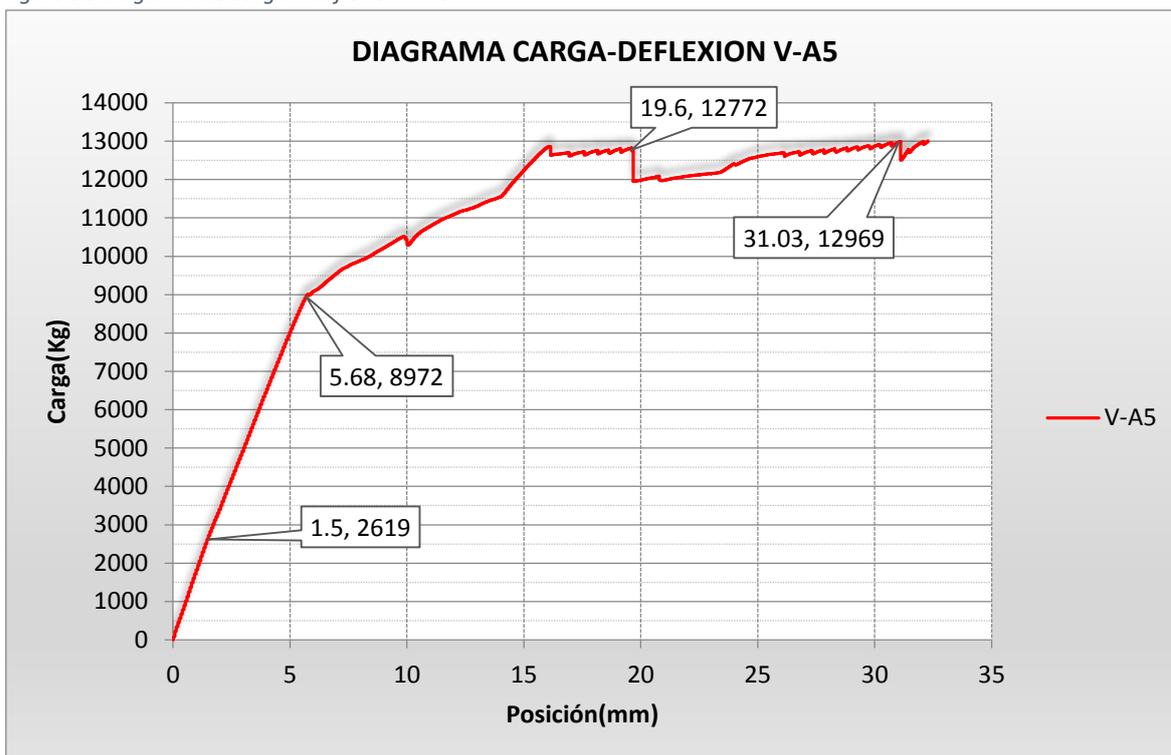
Tabla 21. Resultados obtenidos en la viga V-A5

CARGA M_{fisura} (tn)	2.619
CARGA M_{fluencia} (tn)	8.972
CARGA M_{ultima} (tn)	12.969
DEFLEXION fisura (mm)	1.5
DEFLEXION fluencia (mm)	5.68
DEFLEXION ultima (mm)	19.6
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	177.72

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 98 Diagrama de carga – deflexión V-A5



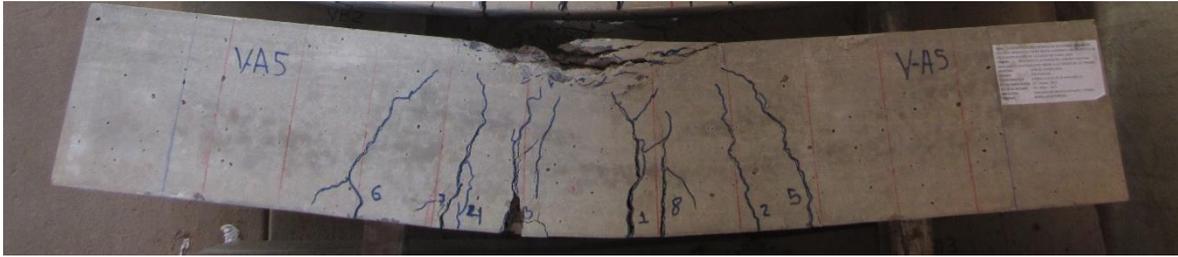
Fuente: Elaboración Propia

La viga A5 cuya fabricación es idéntica a las anteriores se procedió a ensayarla, es decir con el mismo programa de ensayo y tomando todas las precauciones para la obtención de los datos que permitan el proceso de análisis; tuvo el comportamiento como se muestra en la gráfica de la figura 98 produciéndose las primeras fisuras a flexión apenas perceptiva a una carga de 2.619 Tn aproximadamente. La linealidad se pone de manifiesto hasta que la carga supera la carga de 8.972 Tn. Superada esta carga se incursiona en el rango de comportamiento inelástica del elemento hasta que progresivamente aumentando la carga se produce la falla por flexión de la misma a una carga de 12.969 Tn con una deflexión de 19.60 mm.

Se aprecia también que a pesar de la falla por flexión esta viga sigue admitiendo cargas y deformaciones, demostrándose que la viga posee una gran ductilidad aun después de la falla.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 99. Aspecto de viga V-A5 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 99 se observa cómo queda la viga después de ser sometida a carga hasta la falla o cercana a ella, mostrándose nuevamente la misma configuración de fisuras en la parte central, todas casi verticales con una tendencia a dirigirse hacia los puntos de aplicación de carga donde la concentración de esfuerzos es considerable; además se puede notar una considerable deformación que se tuvo para llegar a la carga última esto debido al gran aporte del acero de tensión ubicada en la parte inferior, y obviamente al aporte de resistencia a la fuerza cortante generada por los estribos, espaciados según el diseño siguiendo estrictamente lo que propone el R.N.E en la Norma E-060.

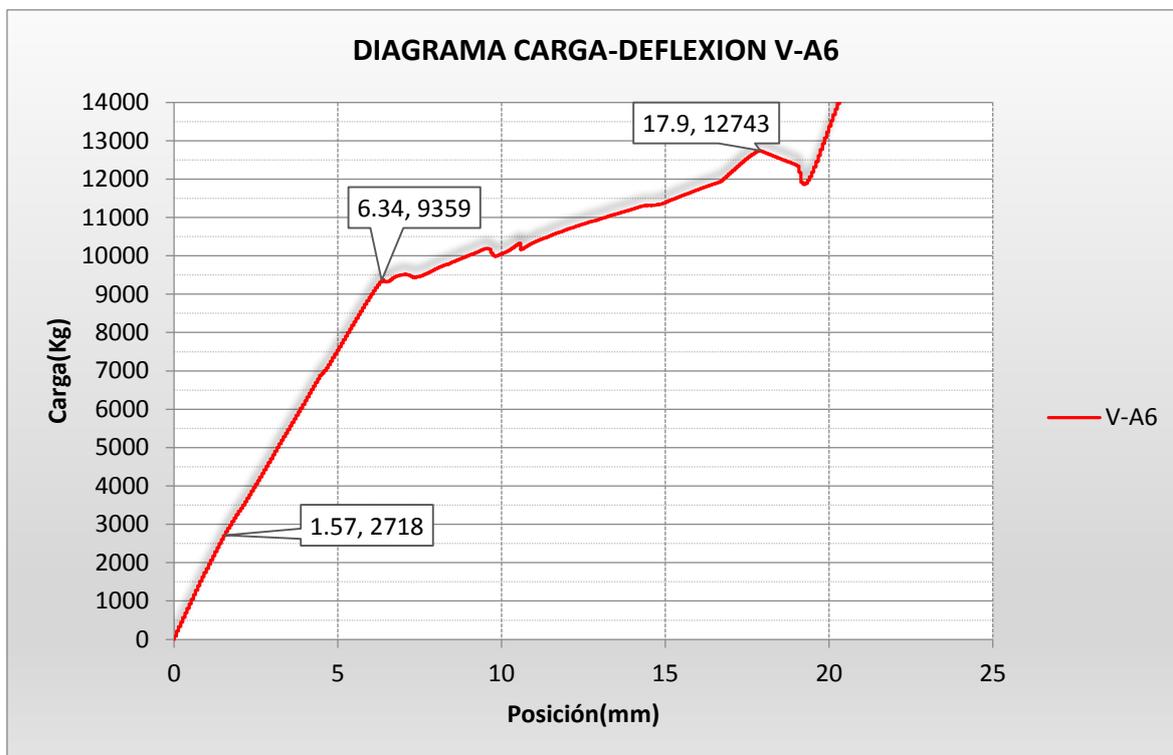
6.3.1.1.6. VIGA A6:

Tabla 22. Resultados obtenidos en la viga V-A6

CARGA M_{fisura} (tn)	2.718
CARGA M_{fluencia} (tn)	9.359
CARGA M_{ultima} (tn)	12.743
DEFLEXION fisura (mm)	1.57
DEFLEXION fluencia (mm)	6.34
DEFLEXION ultima (mm)	17.9
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	151.81

Fuente: Elaboración Propia

Figura 100. Diagrama de carga – deflexión V-A6



Fuente: Elaboración Propia

La viga V-A6 cuya elaboración y refuerzo se realizó de manera idéntica a las anteriores, la ejecución del ensayo fue también desarrollada siguiendo los mismos pasos de los anteriores ensayos, el mismo programa, la misma variación de carga de 0.15mm/seg.

Del mismo modo la viga V-A6 tuvo un comportamiento similar durante el ensayo, de las anteriores vigas solo variando la carga y desplazamiento en un pequeño intervalo de la carga.

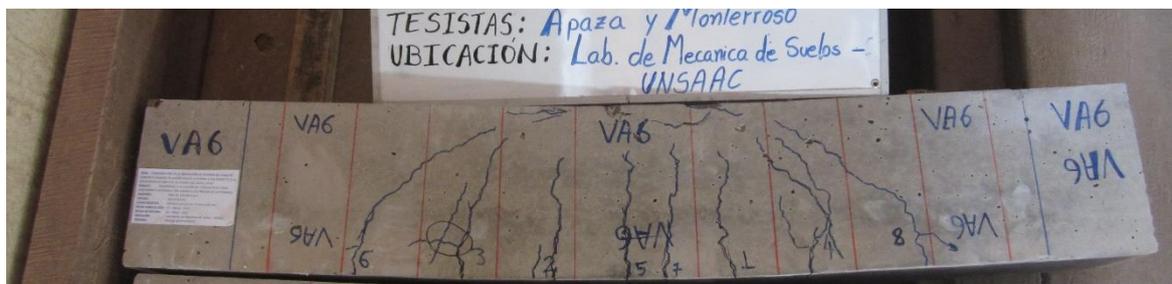
La curva carga –deflexión de la figura 100 muestra que la carga de falla de la viga, es de aproximadamente 12.743 Tn ligeramente menor a la viga V-5. Para una carga de 2.718 Tn la deformación en el centro de la luz libre es de 1.57 mm con una ausencia de fisuras importantes apenas perceptibles, y un comportamiento perfectamente elástico, donde el total de la sección incluyendo concreto de la zona de compresión y de tensión trabaja ayudando a resistir el momento aplicado.

Posterior a esta posición de cargas el comportamiento continúa siendo linealmente elástico, es decir en esta zona se cumple la teoría de HOOKE, hasta alcanzar la carga de 9.359 ton con una deformación del elemento de 6.34 mm donde es el límite de elasticidad.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Cuando el elemento incursiona en el rango inelástico este aun no colapsa, es ahí donde se aprovecha su mayor capacidad, midiéndose esta capacidad mediante la ductilidad del miembro, en este caso *ductilidad de desplazamiento*¹⁰ y que se representa y/o representa en una gran energía disipada.

Figura 101. Aspecto de viga V-A6 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Finalizado el ensayo, el aspecto de la viga se muestra en la figura 101 se observa cómo queda la viga después de ser sometida a carga hasta la falla o cercana a ella, mostrándose nuevamente la misma configuración de fisuras en la parte central que a diferencia de todas las anteriores esta tuvo una mayor inclinación debido a que hubo una mayor concentración de esfuerzos cortantes, haciendo esto que se genere esfuerzos inclinados que hicieron cambiar en una pequeña medida en su dirección de la grietas, esto reflejada claramente en la ilustración de arriba, de un modo u otro al cambiar la inclinación de las mismas todos tienen un patrón igual que es dirigirse hacia los puntos de aplicación de carga donde la concentración de esfuerzos es considerable.

Finalmente la falla de la viga al igual que las anteriores se produjo por flexión por la concentración de esfuerzos en la cabeza comprimida; además la figura 101 muestra la configuración de las fisuras, todas casi verticales con una inclinación pequeña en dirección al tercio central superior del elemento, lográndose generar que la fluencia del acero se produzca antes que el concreto alcance su máxima resistencia.

Nuevamente se demuestra que la viga falla a flexión de tipo subarmada, esto también se refleja en la mencionada, porque existe una pequeña longitud de influencia en el fallo de la cabeza comprimida, no siendo tan pronunciada en comparación a las anteriores.

¹⁰ Ductilidad de desplazamiento: se define como el cociente entre el desplazamiento máximo hasta la falla y el desplazamiento donde se inició la fluencia del elemento estructural.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

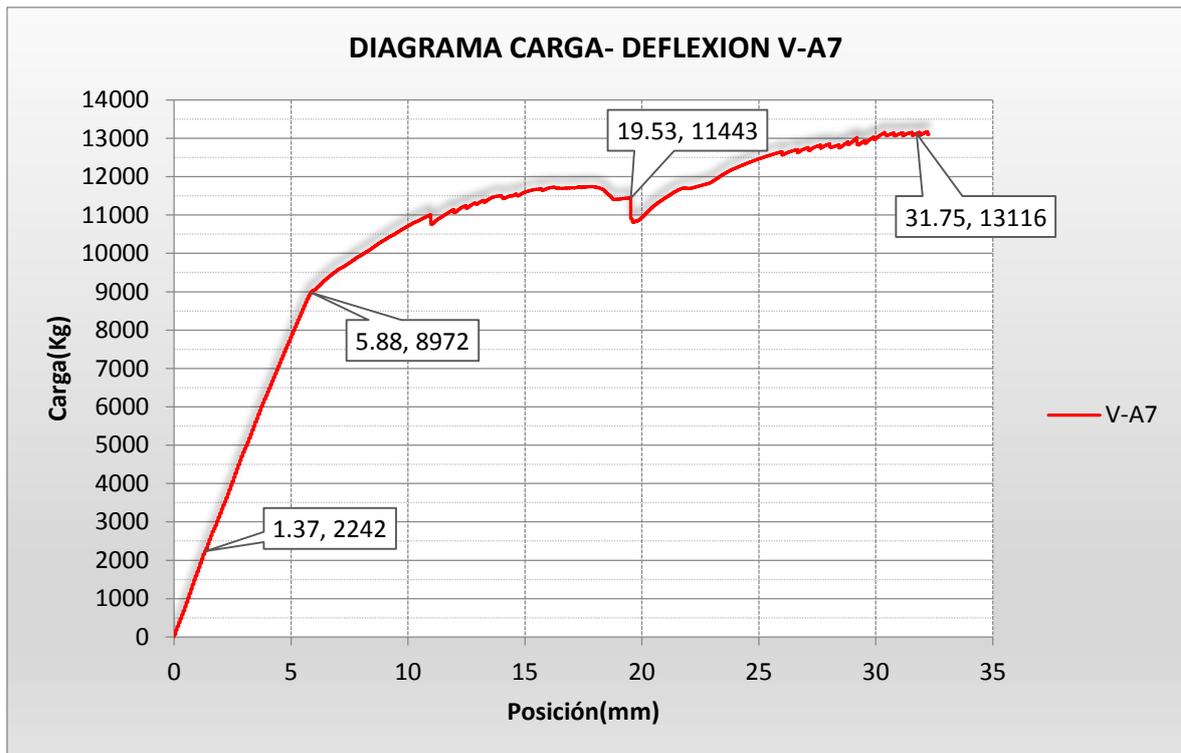
6.3.1.1.7. VIGA A7:

Tabla 23. Resultados obtenidos en la viga V-A7

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.242
CARGA M_{fluencia} (Tn)	8.972
CARGA M_{ultima} (Tn)	13.116
DEFLEXION fisura (mm)	1.37
DEFLEXION fluencia (mm)	5.88
DEFLEXION ultima (mm)	19.53
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	170.21

Fuente: Elaboración Propia

Figura 102 Diagrama de carga – deflexión V-A7



Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de la viga durante el ensayo se puede resumir en lo siguiente. Para una carga de aproximadamente 2.242 Tn en el tercio central aparecen 3 fisuras apenas perceptibles de 1.2cm de longitud que indica el límite de la resistencias del concreto a tracción, representado por el módulo de rotura, esto quiere decir que el concreto en tracción bajo el eje neutro de la sección, aporta muy poco o casi nada a resistir el momento y el cortante actuante, haciendo esto que en lo posterior el acero de refuerzo en tracción resista

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

todos los esfuerzos de tensión, y conjuntamente con los estribos que en este caso fueron separado a 8.5cm, resistan el remanente de contante que el concreto ya no pueda soportar.

La linealidad en el diagrama hasta el límite de carga de 8.972 Tn representa que la carga y la deformación aumentan proporcionalmente cumpliéndose en esta zona la ya conocida teoría de HOOKE.

La incursión en el rango inelástico también se muestra en el diagrama de la figura 102, en esta zona es en donde se aprecia más cuanto influyen el refuerzo a tracción conjuntamente con los estribos al generar una gran deformación con una pequeña variación en la carga aplicada.

Finalmente a la carga de 11.443 Tn y una deflexión de 19.53 mm la viga llega a la falla, posterior a este instante de comportamiento la viga tiende a seguir soportando carga, esto debido a la presencia del acero en tracción y a su gran elasticidad y deformabilidad que este material tiene; además se puede señalar que en estos instantes de carga el acero tiende a llegar a su endurecimiento por deformación, ganando todo el sistema una capacidad de seguir resistiendo cargas.

Figura 103. Aspecto de viga V-A7 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

La figura 103 muestra la viga V-7A finalizado el ensayo se observa nuevamente el patrón de fisuración, que anteriormente ya se había explicado; fisuras en la parte central que se dirigen verticalmente hacia los puntos de aplicación de carga donde hay gran concentración de esfuerzos, esta verticalidad se debe que los *estribos* no dejan que las fisuras de los costados lleguen a la zona de compresión sin antes pasar por un estribo.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

También se aprecia que la falla del elemento se dio por aplastamiento de la cabeza comprimida luego de la fluencia del acero, generando de esta manera un comportamiento dúctil y dando aviso antes de la falla.

Es importante mencionar que son tres las fisuras principales que crecen progresivamente cuando apenas se supera el módulo de rotura de concreto (resistencia a tracción del concreto) e inmediatamente después aparecen otras a sus alrededores, más delgadas pero no menos importantes, estas tres fisuras principales se muestran claramente en la figura 103 como las más anchas y ubicadas exactamente en el tercio central.

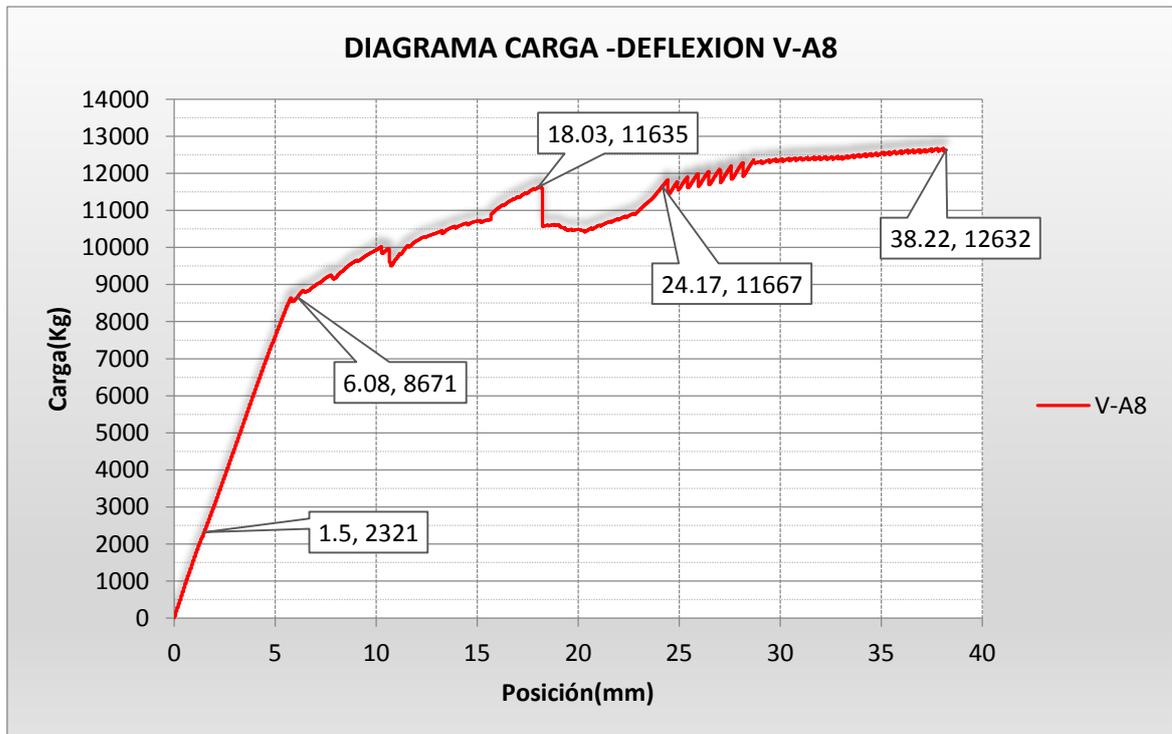
6.3.1.1.8. VIGA A8:

Tabla 24. Resultados observados y obtenidos en la viga V-A8

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.321
CARGA M_{fluencia} (tn)	8.671
CARGA M_{ultima} (tn)	11.635
DEFLEXION fisura (mm)	1.5
DEFLEXION fluencia (mm)	6.08
DEFLEXION ultima (mm)	18.03
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	145.91

Fuente: Elaboración Propia

Figura 104. Diagrama de carga – deflexión V-A8



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Al igual que los anteriores especímenes, la viga V-A8 tuvo un comportamiento similar, siendo esta la última muestra de este tipo de vigas elaboradas, donde la primera fisura debido a la flexión apenas perceptibles se presentaron cuando la carga bordeaba 2.321 Tn con una deformación de 1.5 mm como se aprecia en el diagrama de la figura 104.

Luego de esta primera etapa de comportamiento el elemento sigue deformándose proporcionalmente a la carga, hasta llegar al límite de proporcionalidad donde el material acero del elemento empieza a fluir, este instante se muestra cuando la curva cambia de dirección notablemente a una carga de 8.671 Tn con una deformación en este punto de 6.08 mm como se muestra en el diagrama, pasando a una zona de un comportamiento difícil de predecir, hasta que finalmente cuando la maquina Universal de Ensayos marca una carga de 11.635 Tn falla el concreto comprimido y por ende se llega a la carga de momento último.

Figura 105. Aspecto de viga V-A8 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Concluido el proceso de ensayo en la viga V-A8, en la figura 105 se muestra el aspecto final con las características similares a las ya antes señaladas; como la posición y dirección de las fisuras en el tercio central y tendiendo a extenderse hacia los puntos de aplicación de cargas, y como se esperaba la viga falló por flexión, por aplastamiento de la zona de compresiones en la parte central.

Además se puede notar una considerable deformación que se tuvo para llegar a la carga ultima esto debido al gran aporte del acero de tensión ubicada en la parte inferior, y obviamente al aporte de resistencia a la fuerza cortante generada por los estribos, espaciados según el diseño siguiendo estrictamente lo que propone la Norma Peruana E-060

Finalmente cabe recalcar que las vigas del tipo1 fueron elaboradas idénticamente con los mismos materiales de refuerzo, las mismas dimensiones, la misma configuración de separación de estribos y siguiendo exactamente el mismo procedimiento de vaciado e

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

igualmente ensayadas, variando solo en pequeña medida la resistencia del concreto, es por eso que no se obtuvieron resistencias ultimas igual en las vigas como se esperaba, además se debe tomar en cuenta que una viga no será en ningún caso exactamente idéntica a la otra, esto debido a factores externos antes, durante y después de la elaboración (amasado, vibrado, transporte, e inclusive posición al momento de colocarlo en la maquina universal para su ensayo) variando así en pequeña o gran media la resistencia del concreto, y en última instancia la resistencia y deformación del elemento viga.

6.3.1.1.9. CUADRO DE RESUMEN DE LAS VIGAS DE TIPO 1.

Tabla 25. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 1.

PARAMETROS DE COMPARACION	VIGA V -A1	VIGA V -A2	VIGA V -A3	VIGA V -A4	VIGA V -A5	VIGA V -A6	VIGA V -A7	VIGA V -A8
CARGA Mfisura (tn)	2.328	2.543	2.899	2.499	2.619	2.718	2.242	2.321
CARGA Mfluencia (tn)	9.586	10.012	9.547	9.533	8.972	9.359	8.972	8.671
CARGA Multima (tn)	12.908	11.862	11.597	13.034	12.969	12.743	13.116	11.635
DEFLEXION fisura (mm)	2.68	1.7	1.83	1.76	1.5	1.57	1.37	1.5
DEFLEXION fluencia (mm)	7.84	6.4	6.21	6.21	5.68	6.34	5.88	6.08
DEFLEXION ultima(mm)	22.02	19.47	15.94	19.67	19.6	17.9	19.53	18.03
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	191.78	175.27	131.58	176.01	177.72	151.81	170.21	145.91

Fuente: Elaboración Propia

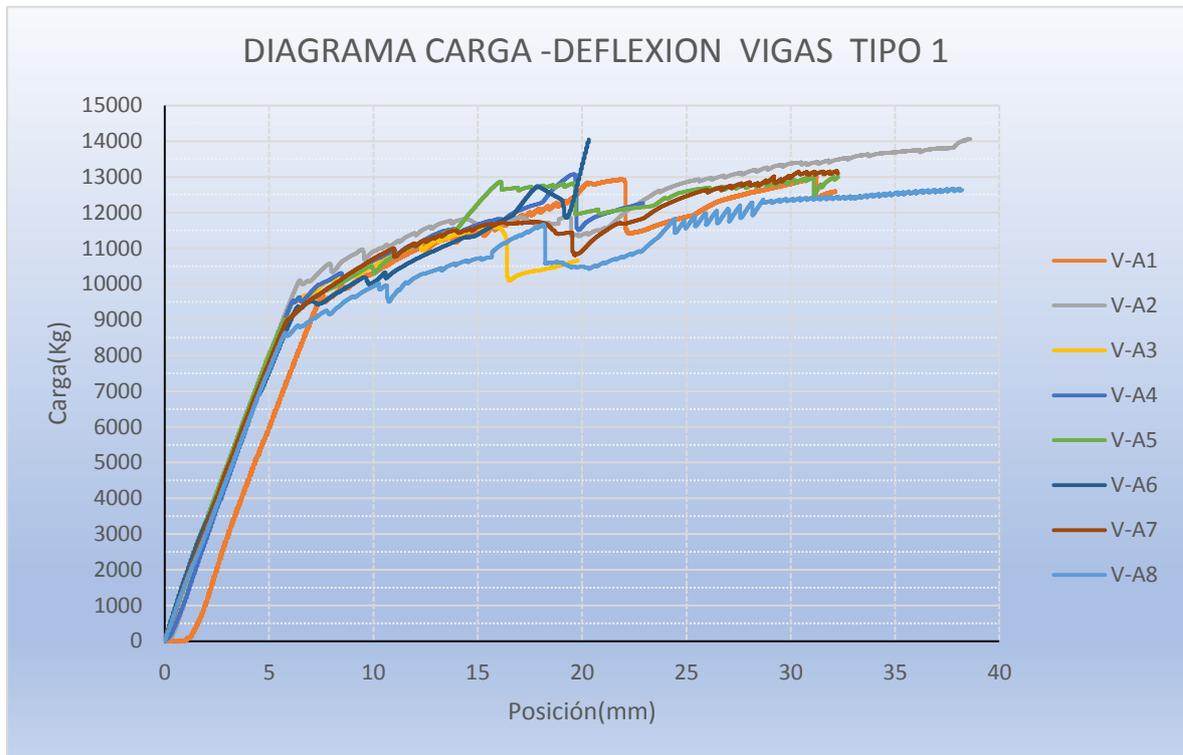
Tabla 26. Porcentajes de variación en vigas tipo 1

PORCENTAJE DE VARIACION DE VIGAS TIPO1 CON RESPECTO AL PROMEDIO						
VIGA	C.Mfisura (tn)	C.Mfluencia (tn)	C.Multima (tn)	D.fisura (mm)	D.fluencia (mm)	D.ultima(mm)
VIGA V -A1	2.328	9.586	12.908	0.41	1.2	3.37
VIGA V -A2	2.543	10.012	11.862	0.26	0.98	2.98
VIGA V -A3	2.899	9.547	11.597	0.28	0.95	2.44
VIGA V -A4	2.499	9.533	13.034	0.27	0.95	3.01
VIGA V -A5	2.619	8.972	12.969	0.23	0.87	3
VIGA V -A6	2.718	9.359	12.743	0.24	0.97	2.74
VIGA V -A7	2.242	8.972	13.116	0.21	0.9	2.99
VIGA V -A8	2.321	8.671	11.635	0.23	0.93	2.76
coeficiente de variacion(%)	9	5	5	24	10	9

Fuente: Elaboración Propia

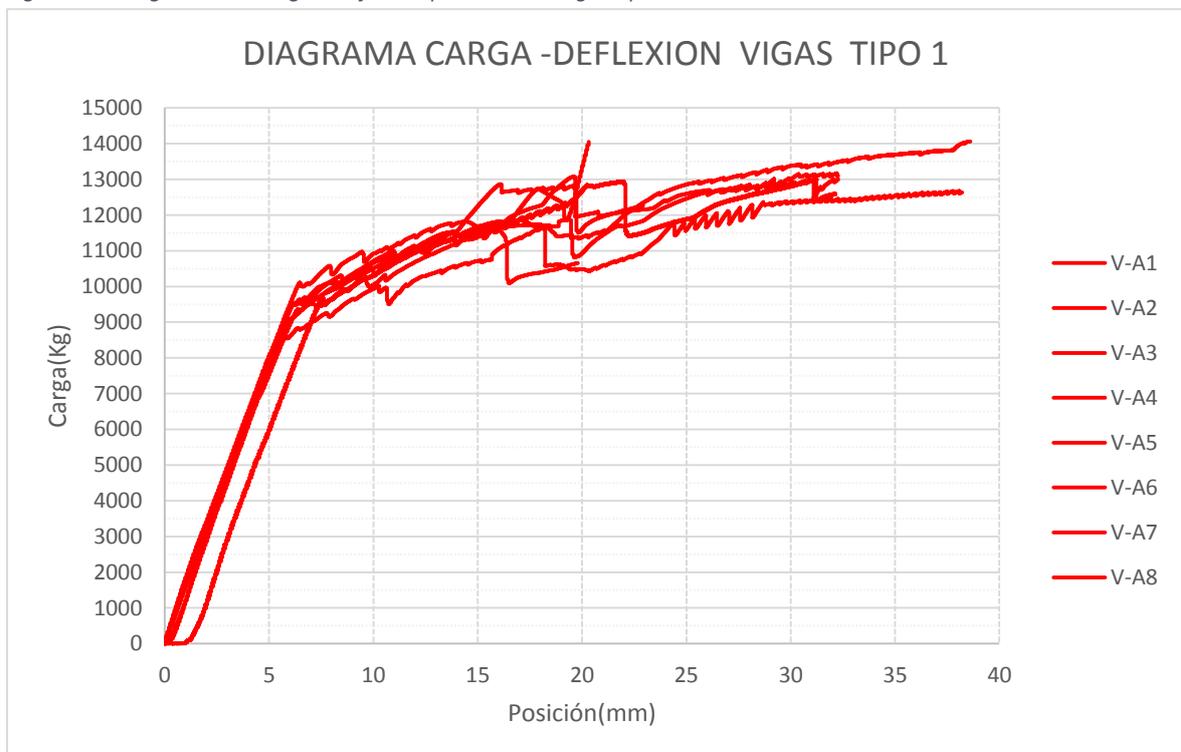
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 106 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 1



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 107 Diagramas de carga – deflexión promedio de vigas tipo 1



Fuente: Elaboración Propia

6.3.1.2. VIGAS TIPO 2, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=10.0cm

Del mismo modo al igual que los anteriores especímenes, las vigas de tipo 2 con las mismas características de dimensiones y materiales, solo en este caso modificando la configuración del espaciamiento de diseño 8.50 cm a un espaciamiento empírico de 10.0 cm que representa el 17.65 % de variación.

A continuación se analiza y explica la respuesta de las vigas tipo2 durante el proceso del ensayo, esta respuesta se representa mediante un diagrama carga – deflexión, además se analiza el comportamiento de estas vigas luego de ser sometida a carga hasta la falla.

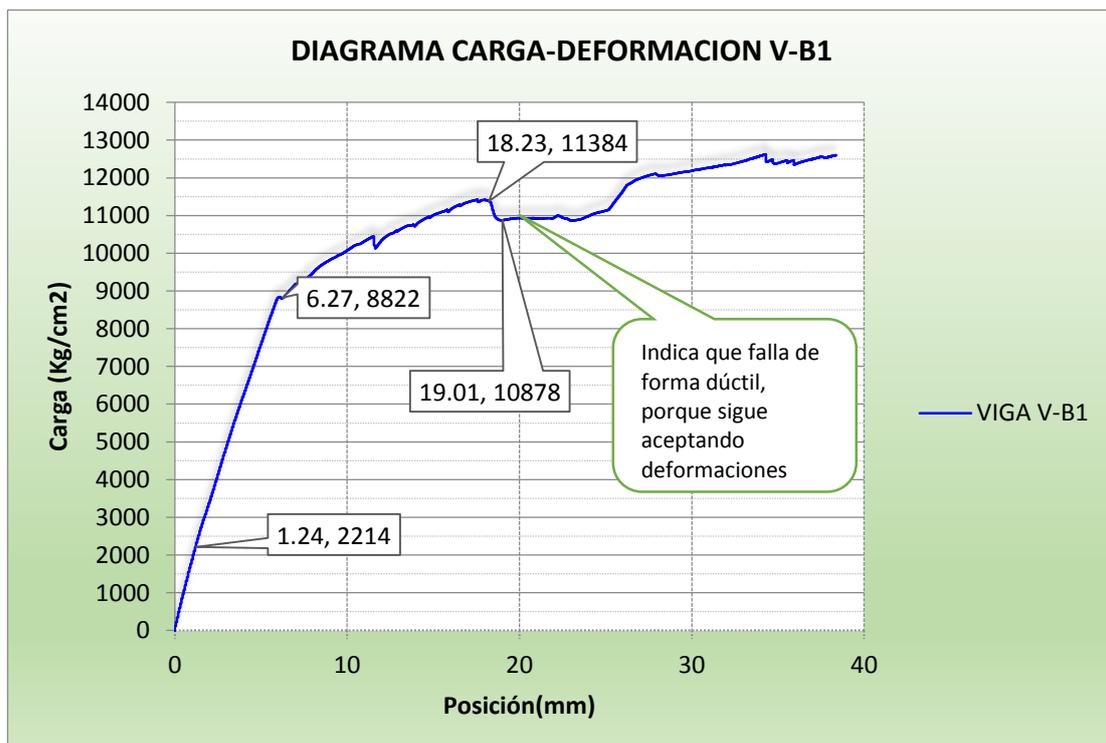
6.3.1.2.1. VIGA B1:

Tabla 27. Resultados obtenidos en la viga V-B1

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.214
CARGA $M_{fluencia}$ (Tn)	8.822
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.384
DEFLEXION $_{fisura}$ (mm)	1.24
DEFLEXION $_{fluencia}$ (mm)	6.27
DEFLEXION $_{ultima}$ (mm)	18.23
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	151.13

Fuente: Elaboración Propia

Figura 108 Diagrama de carga – deflexión V-B1



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En el diagrama de la figura 108 se muestra el comportamiento real de la viga V-B1, desde el inicio de la aplicación de carga hasta la carga de agrietamiento, 2.214 Tn, el comportamiento es elásticamente lineal y se traduce en que los esfuerzos en el refuerzo principal a tensión son proporcionales a las cargas.

Además la aparición de las primeras grietas sobre el elemento nos indica que los esfuerzos en esa zona han rebasado la resistencia límite a tensión del concreto y, a partir de ese momento, la resistencia a tensión del concreto se vuelve nula. Hasta antes de la carga de agrietamiento, las deformaciones unitarias tanto en el concreto como en el acero permanecen iguales en magnitud debido a los efectos de adherencia del agregado concreto y acero; una vez rebasada los límites de resistencia del concreto a tensión, el acero empieza a adquirir un nivel mayor de esfuerzos.

Posterior a esta carga de agrietamiento existe una degradación de rigidez en la sección; este comportamiento permanece constante hasta una carga denominada de fluencia de 8.822 Tn.

Finalmente, la falla se presentó con el aplastamiento de concreto en el tercio central en la parte superior del elemento, con un desplazamiento último vertical de 18.23 mm, correspondiente a una carga última de 11.384 Tn.

Se aprecia también que a pesar de la falla por flexión, esta viga sigue admitiendo cargas y deformaciones, demostrándose que la viga posee capacidad de soportar cargas aun después de la falla.

Figura 109. Aspecto de viga V-B1 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Es notable la rotura de carácter dúctil, con una fisuración de origen flector localizada en el tercio central que prácticamente atraviesa la sección de la viga. No se advierte ningún síntoma de fisuración por corte apreciable, el anclaje de la armadura estaba suficientemente asegurada, además que los estribos cumplieron su rol al no permitir el crecimiento desmesurado de las fisuras hacia los apoyos que en un principio serian fuente de una falla

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

por corte. En definitiva el único mecanismo de rotura fue el que ocasiona la flexión con un agotamiento de carácter dúctil.

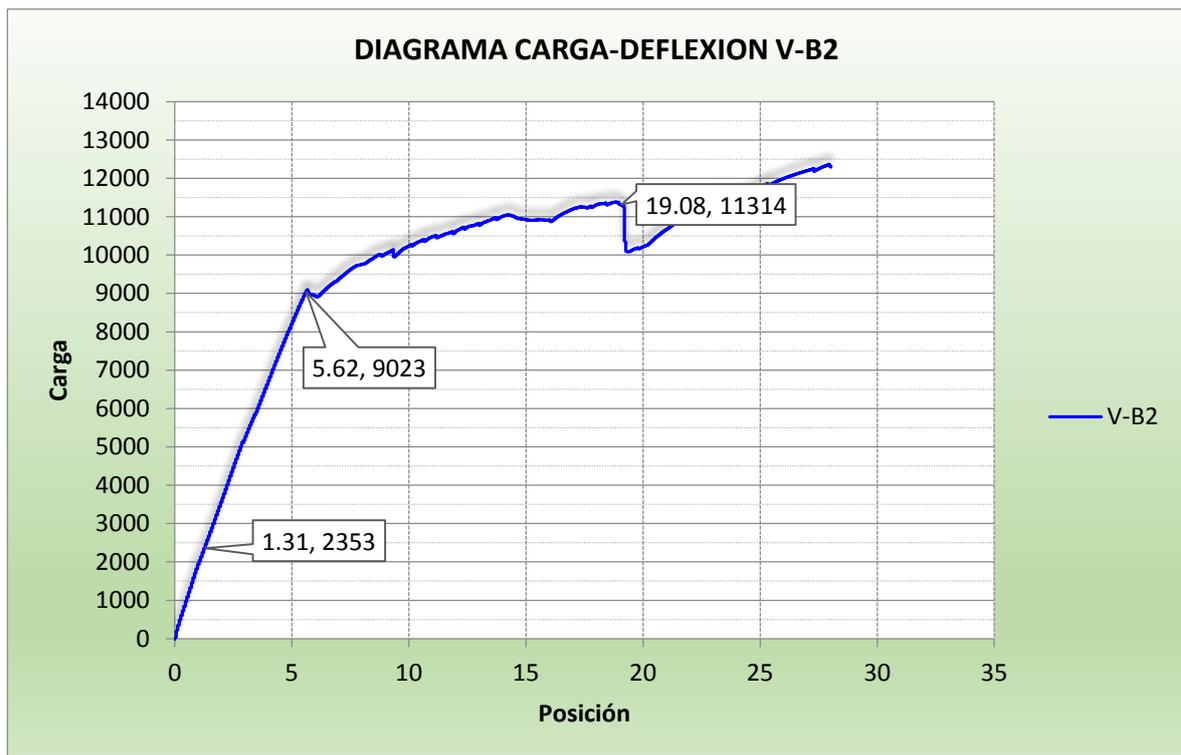
6.3.1.2.2. VIGA B2:

Tabla 28. Resultados obtenidos en la viga V-B2

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.353
CARGA M_{fluencia} (Tn)	9.023
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.314
DEFLEXION fisura (mm)	1.31
DEFLEXION fluencia (mm)	5.62
DEFLEXION ultima (mm)	19.08
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	163.93

Fuente: Elaboración Propia

Figura 110. Diagrama de carga – deflexión V-B2



Fuente: Elaboración Propia

La viga V-B2 cuya elaboración y refuerzo se realizó de manera idéntica a las anteriores, la ejecución del ensayo fue también desarrollada siguiendo los mismos pasos de los anteriores ensayos, el mismo programa, la misma velocidad de carga de 0.15mm/seg.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Del mismo modo la viga V-B2 tuvo un comportamiento similar durante el ensayo, de las anteriores vigas solo variando la carga y desplazamiento en un pequeño intervalo de la carga.

La curva carga –deflexión de la figura 110 muestra que la carga de falla de la viga, es de aproximadamente 11.314 Tn ligeramente menor a la viga V-B1. Para una carga de 2.353 Tn la deformación en el centro de la luz libre es de 1.31 mm con una ausencia de fisuras importantes apenas perceptibles, y un comportamiento perfectamente elástico, donde el total de la sección incluyendo concreto de la zona de compresión y de tensión trabaja ayudando a resistir el momento aplicado.

Posterior a esta posición de cargas el comportamiento continúa siendo linealmente elástico, es decir en esta zona se cumple la teoría de HOOKE, hasta alcanzar la carga de 9.023 Tn con una deformación del elemento de 5.62 mm donde es el límite de elasticidad.

Cuando el elemento incursiona en el rango inelástico este aun no colapsa, es ahí donde se aprovecha su mayor capacidad, midiéndose esta capacidad mediante la ductilidad del miembro que se representa en una gran energía disipada.

Figura 111. Aspecto de viga V-B2 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

El aspecto de la viga luego del ensayo se puede apreciar en la figura 111, en la que se distinguen fisuras de flexión en el tercio central, dejando libre una pequeña porción de sección en la parte superior. En los tercios centrales, también aparecen fisuras de idéntica longitud pero al final de su recorrido presentan una ligera inclinación hacia el punto central, lo cual demuestra la acción combinada de momento flector y esfuerzo cortante generando tensiones diagonales en esta zona.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

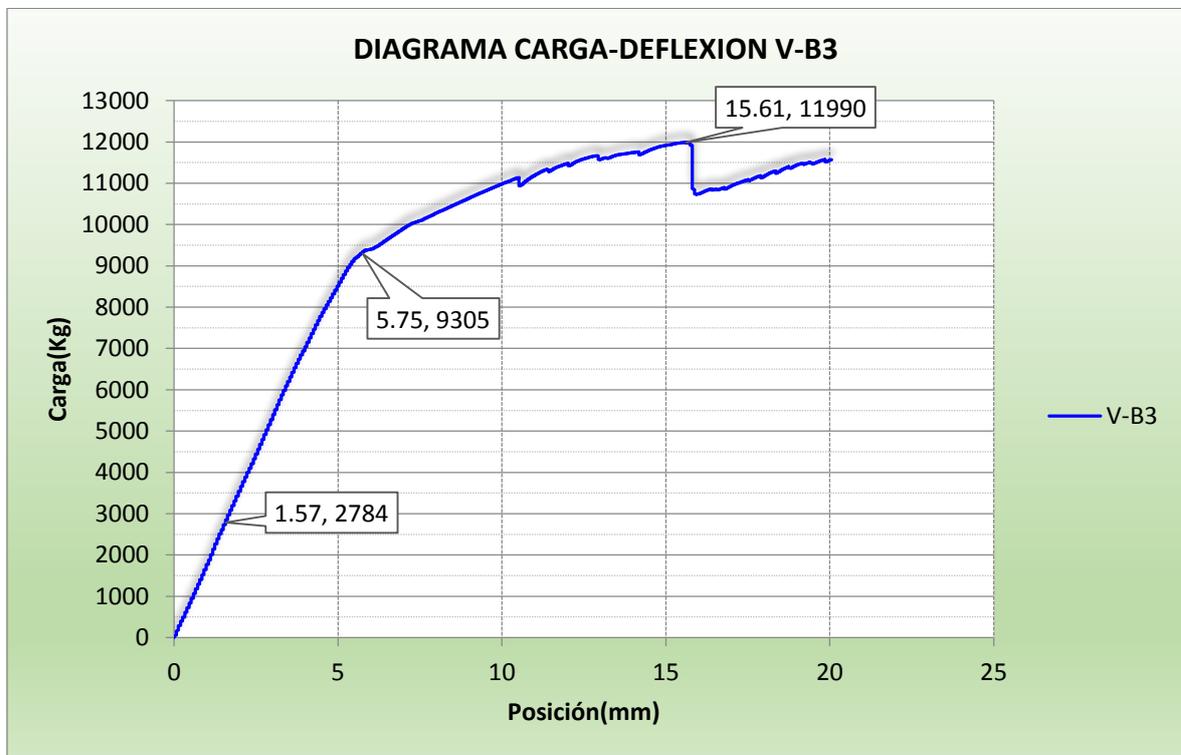
6.3.1.2.3. VIGA B3:

Tabla 29. Resultados obtenidos en la viga V-3B

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.784
CARGA M_{fluencia} (Tn)	9.305
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.990
DEFLEXION fisura (mm)	1.57
DEFLEXION fluencia (mm)	5.75
DEFLEXION ultima (mm)	15.61
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	130.86

Fuente: Elaboración Propia

Figura 112 Diagrama de carga – deflexión V-B3



Fuente: Elaboración Propia

La viga V-B3 muestra un comportamiento similar a la anterior muestra representada en el diagrama de la figura 112 en la primera fase se observa que la carga en donde aparecen las primeras fisuras y en donde la viga ha llegado al final del comportamiento homogéneo de toda la sección, es de 2.784 Tn con una deflexión de 1.57 mm. En la segunda fase de la respuesta del elemento se observa que se tiene un comportamiento elástico lineal hasta llegar a la carga de 9.305 Tn, pudiendo decirse que los materiales en especial el acero de tensión, están el límite antes de la plastificación.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Posteriormente continuando con la aplicación de carga se observa claramente en el diagrama el cambio notable de dirección en la curva, mostrando que el elemento ha incurrido en el rango inelástico hasta que se llegó al agotamiento del concreto para una carga de 11.990 Tn y una deflexión del elemento 15.61 mm en este instante de carga se muestran una gran crecida de la flecha, indicando que la viga ha entrado en una fase acelerada de plastificación. Simultáneamente se observó el en la zona de compresiones en el tercio central un aplastamiento de concreto, indicando esto la falla de la viga por flexión.

Figura 113. Aspecto de viga V-A8 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 113 se puede apreciar que el colapso de la viga se debe a una falla por flexión por aplastamiento de la cabeza comprimida de concreto que es de tipo sub armada, se muestra además que la distribución de las fisuras es simétrica con respecto al centro de vano.

La resistencia en la zona traccionada y en la zona de compresiones, con una armadura de 3 ϕ 3/8” y 2 ϕ 8mm respectivamente y conjuntamente con los estribos separados a 10.0cm que aminoran y en lo posterior restringen el crecimiento intempestivo de las fisuras, a tal punto que proporciona una parte de la resistencia a cortante; es superada en el transcurso de del ensayo en primera instancia la resistencia a tracción del concreto y luego la resistencia a compresión de concreto en la parte superior , provocando esto la falla del elemento viga.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

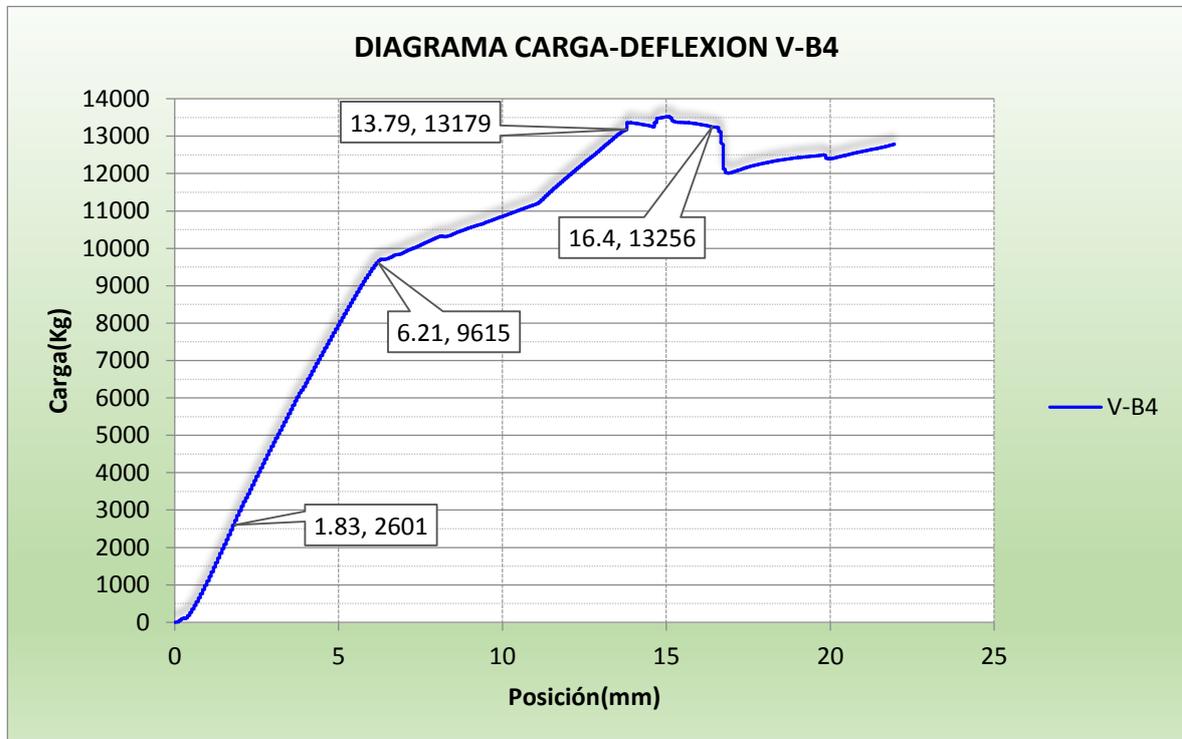
6.3.1.2.4. VIGA B4:

Tabla 30. Resultados obtenidos en la viga V-B4

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.601
CARGA M_{fluencia} (Tn)	9.615
CARGA M_{ultima} (Tn)	13.256
DEFLEXION fisura (mm)	1.83
DEFLEXION fluencia (mm)	6.21
DEFLEXION ultima (mm)	16.4
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	143.59

Fuente: Elaboración Propia

Figura 114. Diagrama de carga – deflexión V-B4.



Fuente: Elaboración Propia

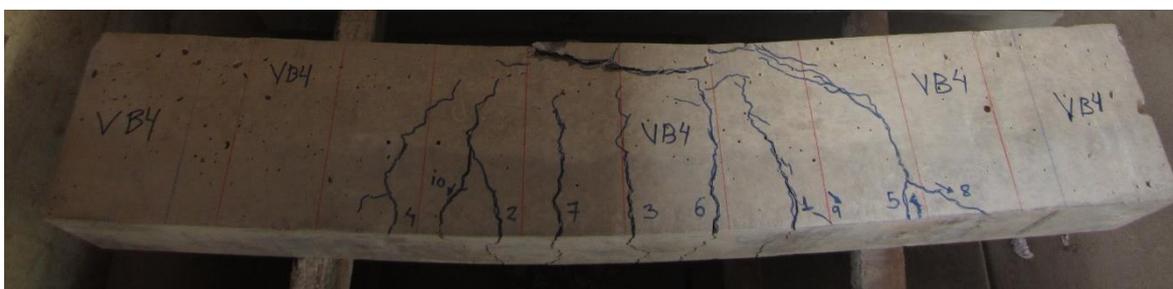
El último espécimen de este tipo en ser ensayada fue la viga V-B4 donde el comportamiento de la viga durante el ensayo se puede resumir en lo siguiente. Para una carga de aproximadamente 2.601 Tn en el tercio central aparecen 3 fisuras apenas perceptibles de 2cm de longitud que indica el límite de la resistencias del concreto a tracción, representado por el módulo de rotura, esto quiere decir que el concreto en tracción bajo el eje neutro de la sección, aporta muy poco a casi nada a resistir el momento y el cortante actuante, haciendo esto que en lo posterior el acero de refuerzo en tracción resista todos los esfuerzos de tensión,

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

y conjuntamente con los estribos que en este caso fueron separados a 10.0cm, resisten el remanente de cortante que el concreto ya no pueda soportar.

Hasta llegar a la carga de 9.615 Tn con una deformación del elemento del 6.21 mm el comportamiento fue totalmente lineal, las fisuras tenían una orientación vertical con un poco de inclinación hacia los puntos de aplicación de carga logrando pasar el eje neutro del elemento, siempre estas fisuras reducidas en su ancho debido a los estribos que esta pieza posee. Posterior a esta fase de respuesta la viga incursiona en el rango inelástico teniendo una gran deformación con una pequeña variación de la carga aplicada, hasta el instante de carga donde el concreto en compresión fallara por aplastamiento, mostrándose este punto en el diagrama como las coordenadas 16.4 mm con una carga de 13.256 Tn.

Figura 115. Aspecto de viga V-B4 concluido el ensayo.



Fuente: Elaboración Propia

Finalizado el ensayo, el aspecto de la viga se muestra en la figura 115 se observa cómo queda la viga después de ser sometida a carga hasta la falla o cercana a ella, mostrándose nuevamente la misma configuración de fisuras en la parte central que a diferencia de todas las anteriores esta tuvo una mayor inclinación en la parte derecha debido a que hubo una mayor concentración de esfuerzos cortantes, haciendo esto que se genere esfuerzos inclinados que hicieron cambiar en una pequeña medida en su dirección de las grietas, esto reflejada claramente en la ilustración de arriba, de un modo u otro al cambiar la inclinación de las mismas todos tienen un patrón igual que es dirigirse hacia los puntos de aplicación de carga donde la concentración de esfuerzos es considerable.

Como consecuencia de aplicación de carga por un tiempo considerable se da la rotura de la viga al igual que las anteriores se produjo por flexión por la concentración de esfuerzos en la cabeza comprimida; además la figura 115 muestra la configuración de las fisuras, todas casi verticales con una inclinación pequeña en dirección al tercio central superior del

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

elemento, lográndose generar que la fluencia del acero se produzca antes que el concreto alcance su máxima resistencia.

Nuevamente se demuestra que la viga falla a flexión de tipo subarmada, esto también se refleja en la foto.

Finalmente cabe recalcar que las vigas del tipo 2 fueron elaboradas idénticamente con los mismos materiales de refuerzo, las mismas dimensiones, la misma configuración de separación de estribos y siguiendo exactamente el mismo procedimiento de vaciado e igualmente ensayadas, variando solo en pequeña medida la resistencia del concreto, es por eso que no se obtuvieron resistencias ultimas igual en las vigas como se esperaba, además se debe tomar en cuenta que una viga no será en ningún caso exactamente idéntica a la otra, esto debido a factores externos antes, durante y después de la elaboración (amasado, vibrado, transporte, e inclusive posición al momento de colocarlo en la maquina universal para su ensayo) variando así en pequeña o gran media la resistencia del concreto, y en última instancia la resistencia y deformación del elemento viga.

6.3.1.2.5. CUADRO DE RESUMEN DE LAS VIGAS DE TIPO 2

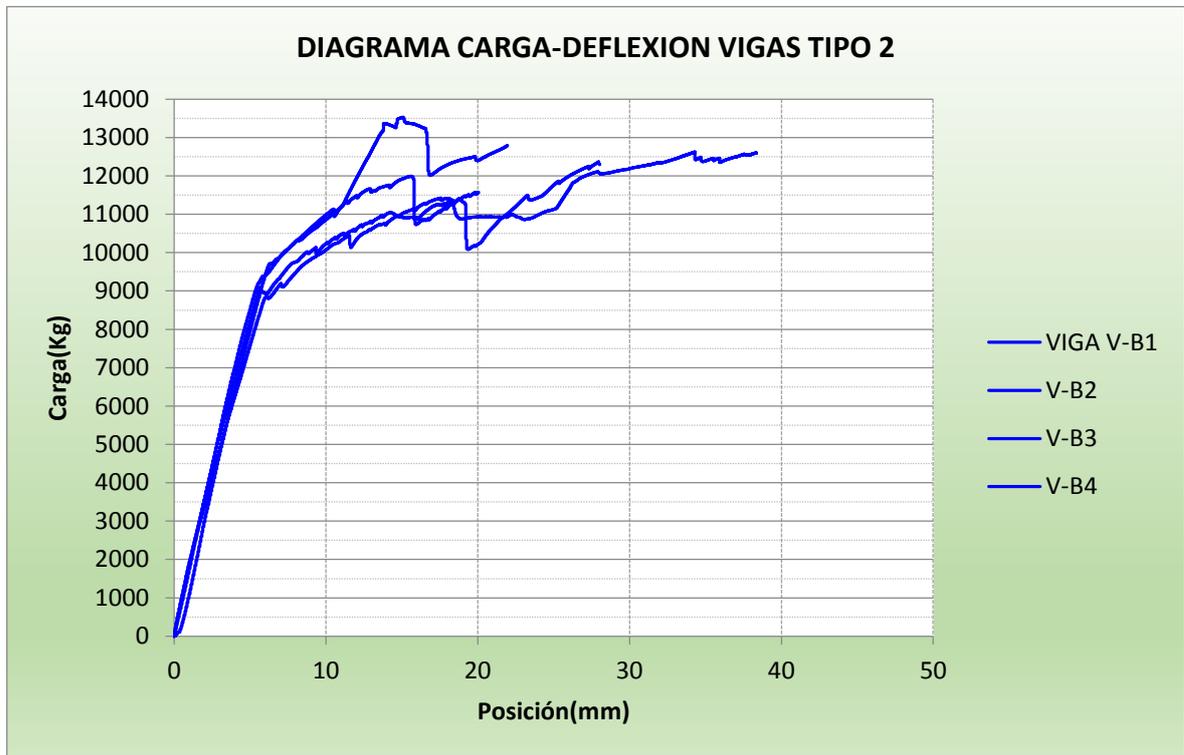
Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 2

PARAMETROS DE COMPARACION	VIGA V-B1	VIGA V -B2	VIGA V -B3	VIGA V -B4
CARGA M _{fisura} (tn)	2.214	2.353	2.784	2.601
CARGA M _{fluencia} (tn)	8.822	9.023	9.305	9.615
CARGA M _{ultima} (tn)	11.384	11.314	11.99	13.256
DEFLEXION _{fisura} (mm)	1.24	1.31	1.57	1.83
DEFLEXION _{fluencia} (mm)	6.27	5.62	5.75	6.21
DEFLEXION _{ultima} (mm)	18.23	19.08	15.61	16.4
ENERGIA ABSORBIDA _{ensayo} (kg/m)	151.13	163.93	130.86	143.59

Fuente: Elaboración Propia

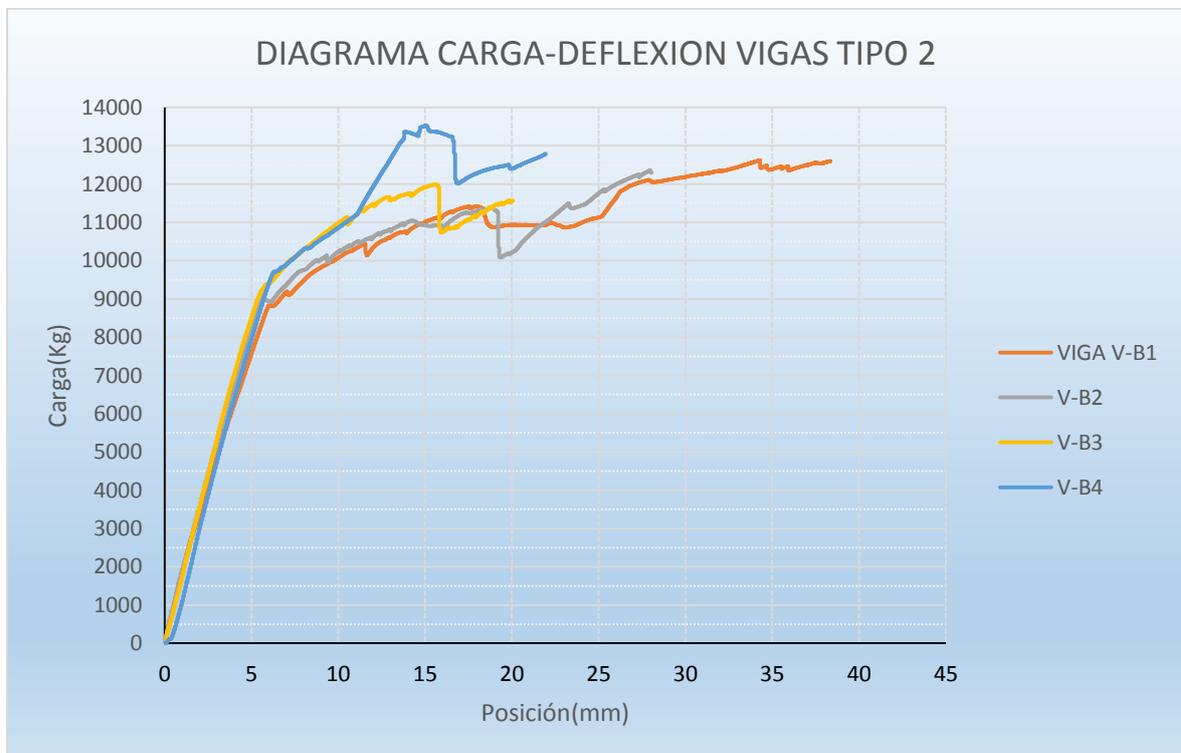
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 116. Diagramas de carga – deflexión de las vigas tipo 2.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 117 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 2



Fuente: Elaboración Propia

6.3.1.3. VIGAS TIPO 3, ESPACIAMIENTO DE ESTRIBOS S=15.0cm

Por último se realizó el ensayo a las vigas de tipo 3 con las mismas características de dimensiones y materiales, solo en este caso modificando la configuración a un espaciamiento empírico de 15.0 cm que representa un 76.47 % con relación a la dimensión del espaciamiento de diseño de 8.5cm

A continuación se analiza y explica la respuesta de las vigas tipo3 durante el proceso del ensayo, esta respuesta se representa mediante un diagrama carga –deflexión, además se analiza el comportamiento de estas vigas luego de ser sometida a carga hasta la falla.

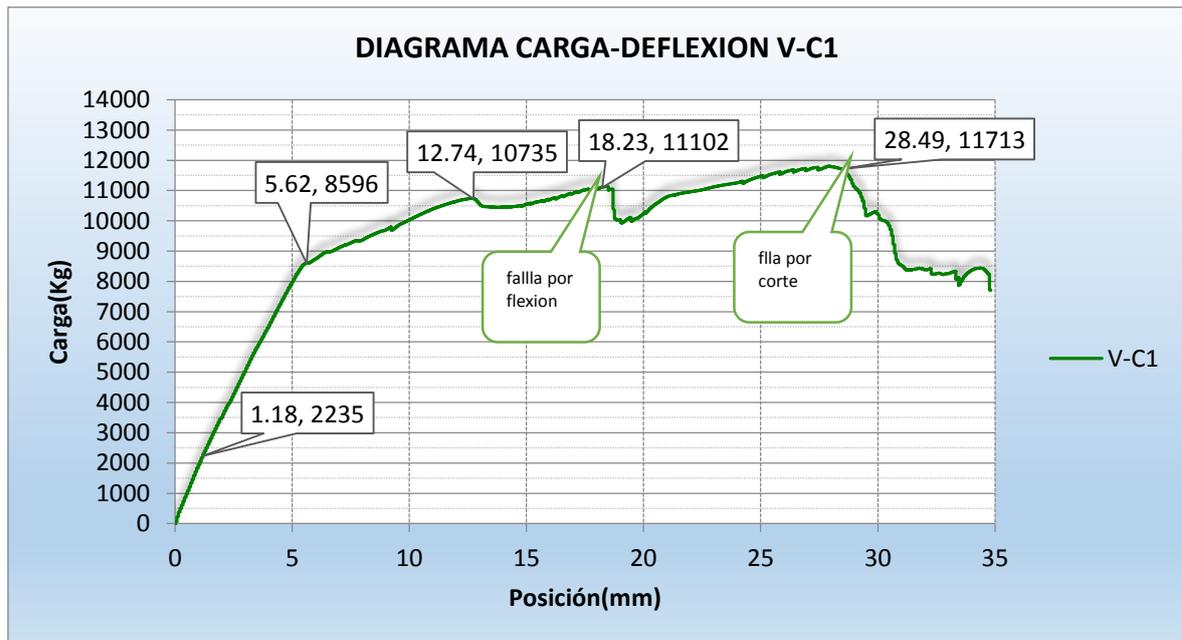
6.3.1.3.1. VIGA C1:

Tabla 32. Resultados obtenidos en la viga V-C1.

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.235
CARGA M_{fluencia} (Tn)	8.596
CARGA M_{ultima} (Tn)	11.102
DEFLEXION fisura (mm)	1.37
DEFLEXION fluencia (mm)	5.62
DEFLEXION ultima (mm)	18.23
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	149.75

Fuente: Elaboración Propia

Figura 118. Diagrama de carga – deflexión V-C1.



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La ejecución del ensayo fue desarrollado siguiendo los mismo pasos de los anteriores ensayos en las vigas de los tipos 1 y 2, del mismo modo se obtuvieron los resultados representados en el diagrama de la figura 118.

La viga V-C1 tuvo un comportamiento durante el ensayo muy similar al de las anteriores muestras. Donde se aprecia una zona elásticamente perfecta donde la sección completa aporta para resistir la combinación de cargas de momento y cortante; aproximadamente hasta una carga de 2.516 Tn es en este instante de carga que aparecen las primeras fisuras apenas perceptibles de aproximadamente 2cm cm de longitud. Posterior a esta carga el elemento sigue deformándose proporcionalmente a la carga, en una zona también linealmente elástica, pero con la no participación de la zona en tracción del concreto para resistir las cargas, solamente interviniendo en resistir la fuerza de tensión, el acero en la parte inferior y las compresiones en la zona superior por parte del concreto; toda esta fase hasta un instante de carga de 8.596 Tn y una deflexión de 5.62 mm.

Seguidamente la curva de respuesta sufre un considerable cambio en su dirección, esto significa que el elemento incursiona en su rango inelástico, soportando grandes deformaciones con un pequeño incremento de carga; en esta zona la viga sufre importantes reajustes y redistribución de esfuerzos como se muestra en el diagrama de la figura 118 en las coordenadas de carga y deformación 10.735 Tn, 12.74 mm respectivamente.

Del mismo modo en la misma figura muestra el punto que en principio la viga tiene una falla por flexión aparente, dicha carga y deflexión son 11.102 Tn y 18.23 mm; hasta este instante ocurre algunos fenómenos importante, se notó en la viga que aparecieron fisuras diagonales muy pronunciadas cercano a uno de los apoyos. Posterior a esto luego de que la zona de compresión en el tercio central falla por aplastamiento, la viga continuo absorbiendo esfuerzos y en el instante de carga 11.713 Tn el elemento falla a corte; algo que no se vio en las anterior tipos de vigas.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DELCUSCO, 2016”

Figura 119. Aspecto de viga V-C1 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

La figura 119 muestra la apariencia de la viga V-C1 después del ensayo notándose claramente que la rotura de la viga, fue consecuencia de la aparición de las fisuras de cortante en el extremo izquierdo, coincidiendo justamente debajo del punto de apoyo de la carga sobrepasando el eje geométrico de la viga, lo que ocasionó una falla explosiva. Nótese que el crecimiento de la fisura inclinada no fue interrumpido por ningún estribo, por lo menos hasta alcanzar el eje neutro del elemento, generando esto una gran concentración de esfuerzos cortantes en el extremo superior de la fisura diagonal, y que en lo siguiente causó la falla por tensión diagonal.

En el extremo derecho al dejar de actuar la carga las fisuras se cerraron, lo que quiere decir que la viga aún podía seguir soportando cargas y deformaciones.

6.3.1.3.2. VIGA C2:

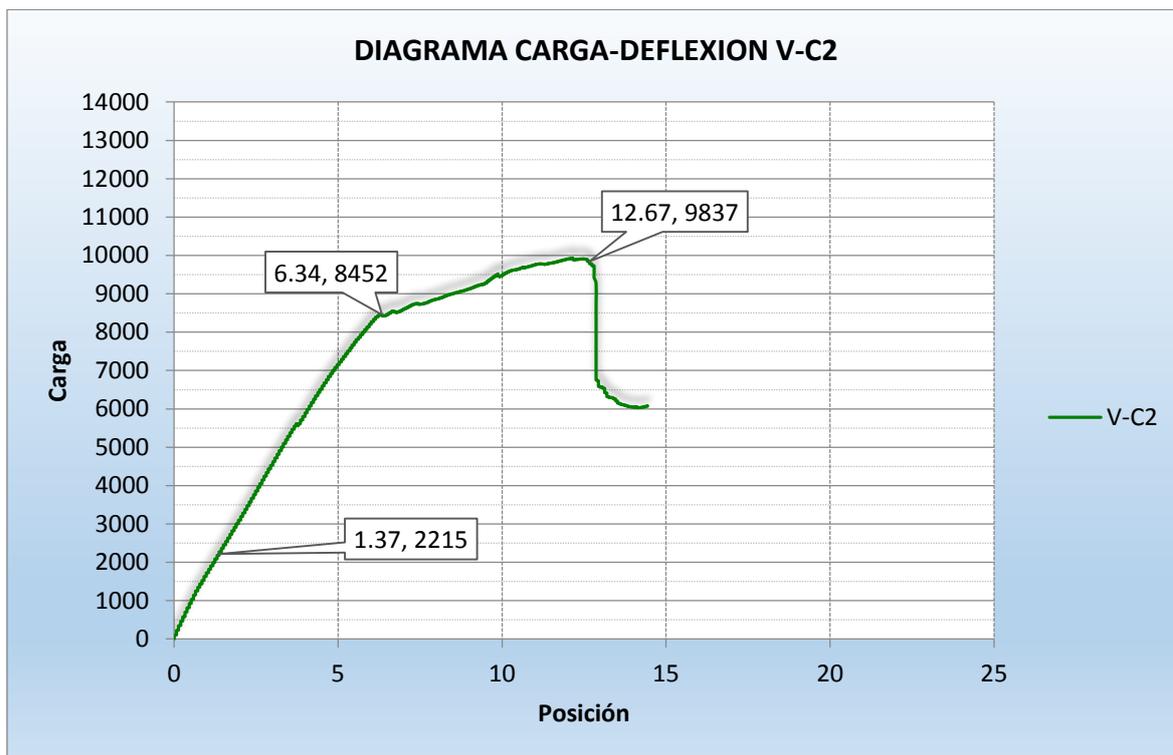
Tabla 33. Resultados obtenidos en la viga V-C2

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.215
CARGA M_{fluencia} (Tn)	8.452
CARGA M_{ultima} (Tn)	9.837
DEFLEXION fisura (mm)	1.37
DEFLEXION fluencia (mm)	6.34
DEFLEXION ultima (mm)	12.67
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	85.40

Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 120. Diagrama de carga – deflexión V-C2.



Fuente: Elaboración Propia

La viga V-C2 responde a un comportamiento diferente a la anterior muestra, esta respuesta representada en el diagrama de la figura 120 en la primera fase se observa al igual que las anteriores que la carga en donde aparecen las primeras fisuras y en donde la viga ha llegado al final del comportamiento homogéneo de toda la sección, es de 2.215 Tn con una deflexión de 1.37 mm. En la segunda fase de la respuesta del elemento se observa que se tiene un comportamiento elástico lineal hasta llegar a la carga de 8.452 Tn, pudiendo decirse que los materiales en especial el acero de tensión, están en el límite antes de la plastificación.

Posteriormente continuando con la aplicación de carga se observa claramente en el diagrama el cambio notable de dirección en la curva, mostrando que el elemento ha incursionado en el rango inelástico, en esta fase se puede notar un incremento carga mayor en relación a las deformaciones casi lineal homogéneo sin apreciarse ningún reajuste considerable.

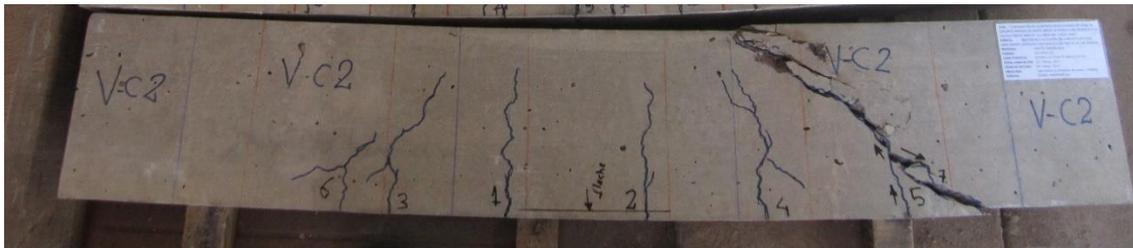
También se observó en esta fase la aparición de una fisura diagonal pronunciada en parte derecha del elemento como continuación de una fisura por flexión; hasta que finalmente al llegar al instante de carga 9.837 Tn y con una deflexión de 12.67 mm el elemento falló por corte de manera explosiva, simultáneamente no se observó en la zona de compresiones en

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

el tercio central un aplastamiento de concreto, indicando esto la falla de la viga por tensión diagonal.

Es importante también indicar que a diferencia de la V-C1 en este elemento no hubo una falla por flexión previa a una falla por cortante, esto indica que la viga falló predominantemente a corte, de manera frágil.

Figura 121. Aspecto de viga V-C2 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 121 se nota que a diferencia de la viga V-C1 esta no presentó un aplastamiento del concreto en el tercio central de la zona de compresiones.

En el extremo izquierdo al dejar de actuar la carga las fisuras se cerraron, lo que quiere decir que la viga aún podía seguir soportando cargas y deformaciones importantes, no llegando a su máxima capacidad del elemento.

También se observó la aparición de una fisura diagonal pronunciada en parte derecha del elemento como continuación de una fisura por flexión que a medida que se incrementaba la carga, esta grieta aumentaba considerablemente su ancho y posteriormente se dirigió hacia el apoyo derecho. No obstante en el otro lado del elemento las fisuras de flexión continuaron creciendo en dirección hacia los puntos de aplicación de carga pero con un ancho no muy importante; finalmente como consecuencia de la concentración de esfuerzos combinados de cortante y momento en el extremo de la grieta inclinada se produce una falla por tensión diagonal.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

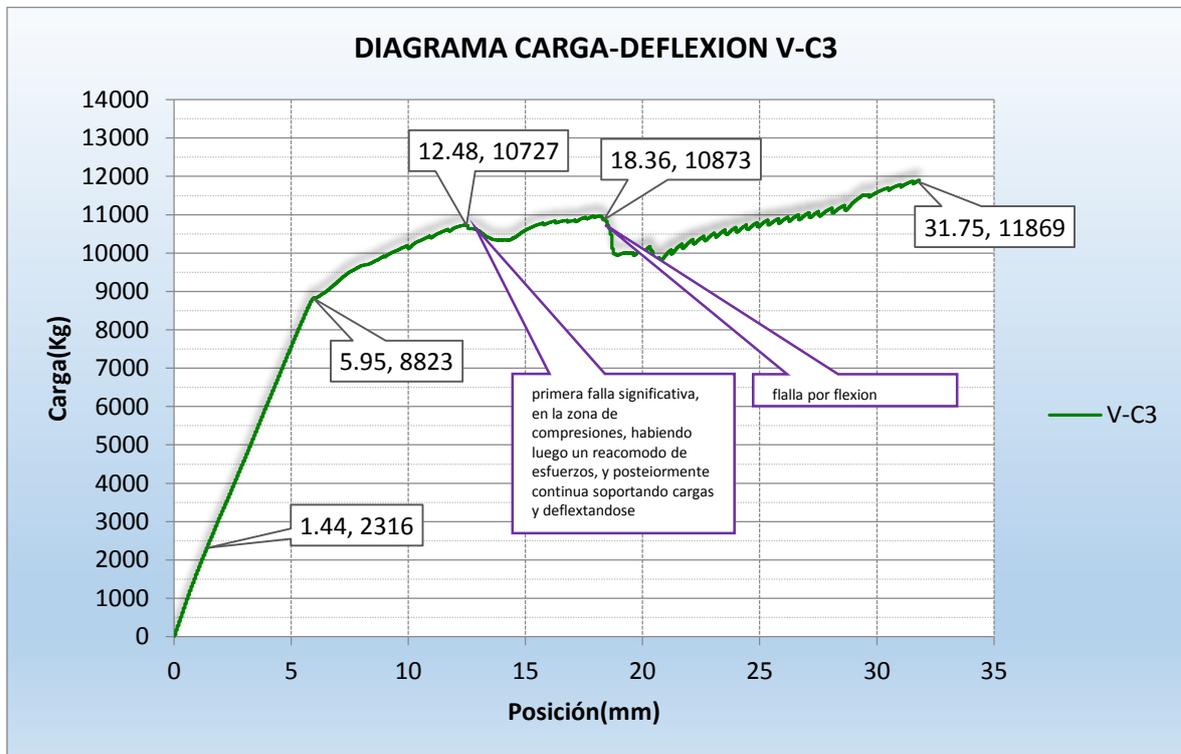
6.3.1.3.3. VIGA C3:

Tabla 34. Resultados obtenidos en la viga V-C3

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.316
CARGA M_{fluencia} (Tn)	8.823
CARGA M_{ultima} (Tn)	10.873
DEFLEXION fisura (mm)	1.44
DEFLEXION fluencia (mm)	5.95
DEFLEXION ultima (mm)	18.36
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	149.83

Fuente: Elaboración Propia

Figura 122. Diagrama de carga – deflexión V-C3.



Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo al hacer el ensayo de flexión en la maquina universal de ensayos mecánicas se obtuvo la respuesta del elemento al ser sometida a cargas, comportamiento representados en el diagrama de la figura 122, es importante señalar que la ejecución del ensayo fue desarrollado siguiendo los mismo pasos de los anteriores.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La viga V-C3 tuvo un comportamiento durante el ensayo muy similar a la viga V-C1. Donde se aprecia una zona elásticamente perfecta donde la sección completa aporta para resistir la combinación de cargas de momento y cortante; aproximadamente hasta una carga de 2.316 Tn es en este instante de carga que aparecen las primeras fisuras apenas perceptibles de aproximadamente 2.5cm de longitud. Posterior a esta carga el elemento sigue deformándose proporcionalmente a la carga, en una zona también linealmente elástica; toda esta fase hasta un instante de carga de 8.823 Tn y una deflexión de 5.95 mm.

Seguidamente la curva de respuesta sufre un considerable cambio en su dirección, esto significa que el elemento incursionó en su rango inelástico, soportando grandes deformaciones con un pequeño incremento de carga; en esta zona la viga sufre importantes reacomodos y redistribución de esfuerzos como se muestra en el diagrama de la figura 122 en las coordenadas de carga y deformación 10.727 Tn, mm respectivamente, muy similar en estos puntos al de la viga V-C1 como se aprecia en el diagrama de la figura 118.

Del mismo modo la figura 122 muestra el punto que en principio la viga tiene una falla por flexión por aplastamiento del concreto en el tercio central, dicha carga y deflexión son 10.873 Tn y 18.36 mm; hasta este instante ocurre algunos fenómenos importantes, se notó en la viga que no aparecieron fisuras diagonales pero si la presencia de fisuras en el tercio central de la viga; además. Posterior a esto luego de que la zona de compresión en el tercio central falla por aplastamiento, la viga continuo absorbiendo esfuerzos y no hubo presencia de una fisura diagonal considerable.

Figura 123. Aspecto de viga V-C3 concluido el ensayo



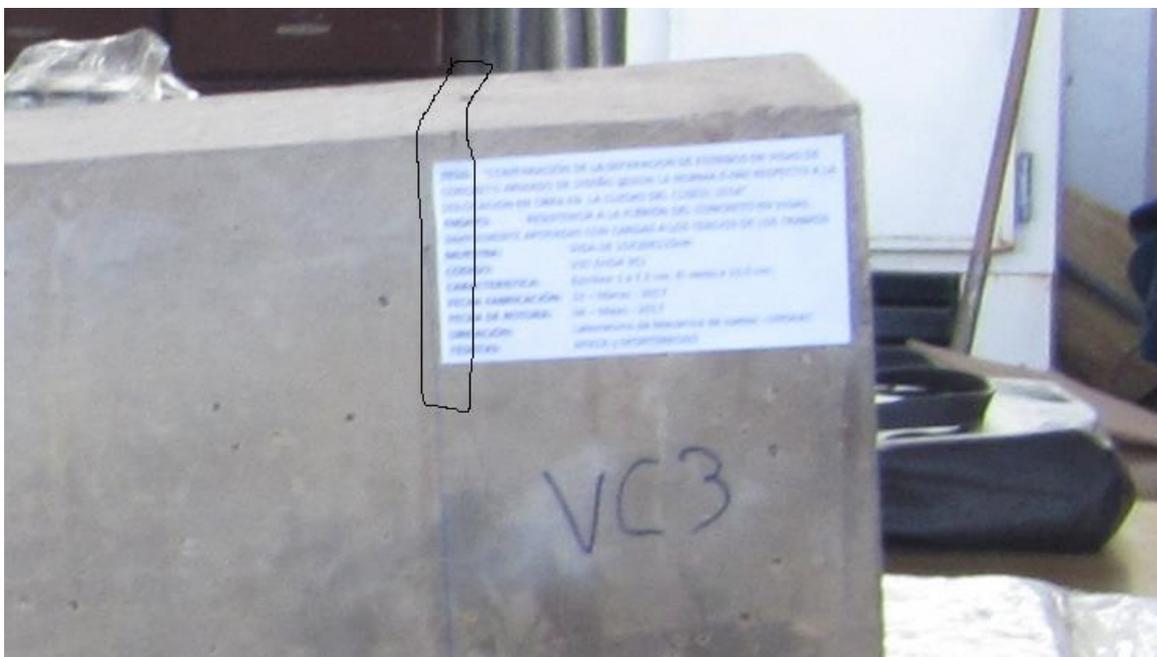
Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En la figura 123 se puede observar que el colapso del elemento se ha producido por como consecuencia de la perdida de adherencia en el extremo derecho. En cambio, en el otro extremo, el comportamiento de refuerzo es perfecto, las fisuras apenas alcanzan el eje geométrico y el cortante no influye en la evolución de éstas.

Es importante mencionar que en el elemento ocurre algunos fenómenos importantes, se notó en la viga que no aparecieron fisuras diagonales pero si la presencia poca cantidad de fisuras en el tercio central de la viga; además de una fisura en la parte superior de sección en donde se localiza el apoyo derecho como se parecía en la figura 123 y con más detalle en la figura 124; este fenómeno se genera debido a la concentración de esfuerzos en el apoyo derecho; posterior a esto la zona de compresión en el tercio central falla por aplastamiento; no es demás indicar que no se tuvo una falla por cortante debido a que los esfuerzos no solo se concentraron en la zona donde existe cortante (tercios extremos), sino que por una mala posición de la muestra o por efectos de vaciado, la concentración de esfuerzos también se concentró en el apoyo es por eso que falló por flexión pero con poca cantidad de fisuras.

Figura 124. Aspecto de viga V-C3 concluido el ensayo parte superior



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

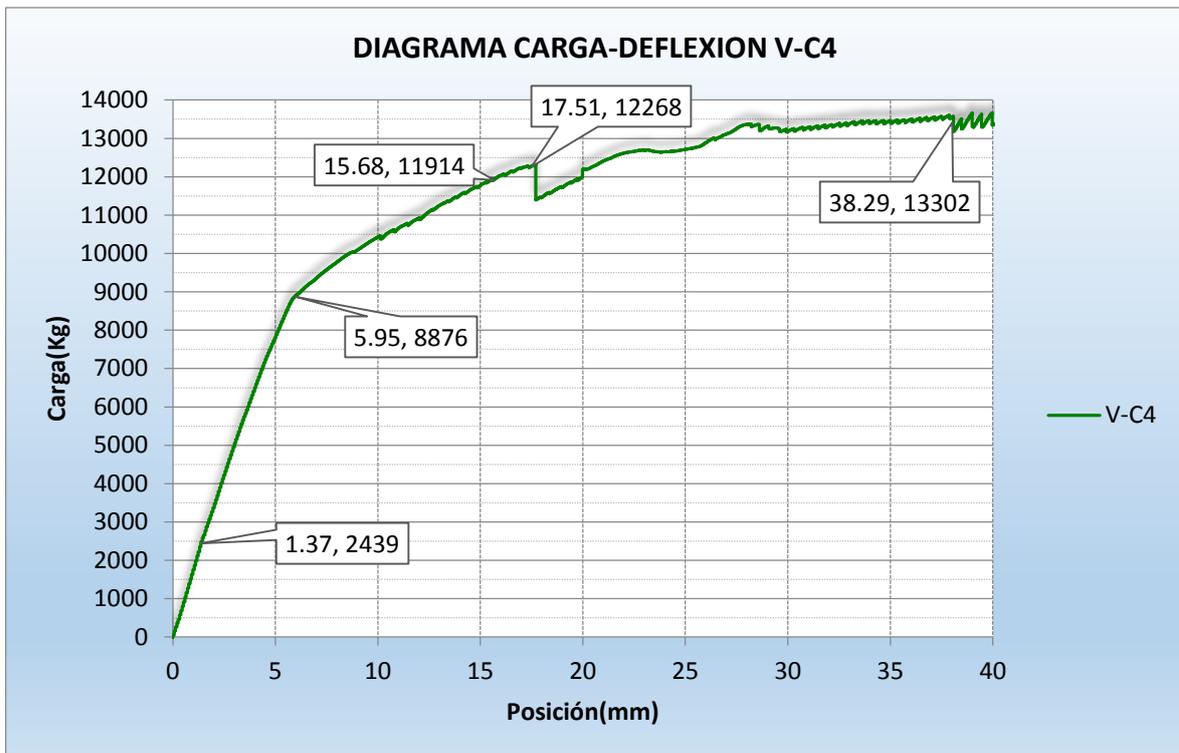
6.3.1.3.4. VIGA 4C:

Tabla 35. Resultados obtenidos en la viga V-C4

CARGA M_{fisura} (Tn)	2.439
CARGA M_{fluencia} (Tn)	8.876
CARGA M_{ultima} (Tn)	12.268
DEFLEXION fisura (mm)	1.37
DEFLEXION fluencia (mm)	5.95
DEFLEXION ultima (mm)	17.51
ENERGIA ABSORBIDA ensayo	125.57

Fuente: Elaboración Propia

Figura 125. Diagrama de carga – deflexión V-C4



Fuente: Elaboración Propia

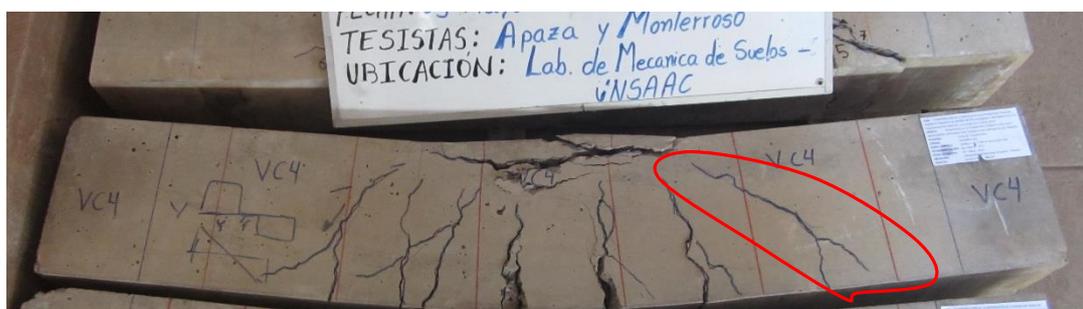
Finalmente se ensayó la viga V-C4, teniendo la respuesta representada en el diagrama de la figura 125 esta tuvo un comportamiento similar a la de la viga V-C3, donde las primeras fisuras aparecen a la carga de 2.439 Tn y una deformación de la pieza de 1.37 mm; luego continuando con la aplicación de cargas la viga siguió teniendo un comportamiento lineal y homogéneo hasta el instante de carga 8.876 Tn.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

En la curva se observa un cambio de dirección a una carga de 8.876 Tn que representa el límite del comportamiento elástico del elemento ,para posteriormente incursionar en la zona inelástica; cabe señalar que este punto también representa el momento de fluencia del acero de tracción; es después de este momento donde el acero transversal en forma de estribos cumple ya una función más importante que es el de absorber el cortante que el concreto ya no puede soportar, y además reducir al ancho y el crecimiento de las grietas.

En última instancia al llegar la aplicación de carga a los 12.268 Tn estas presenta una falla por aplastamiento del concreto, y posterior a esta la viga sigue resistiendo carga deflexiones, esto debido a que en esta pieza en particular se presentó una concentración de esfuerzos en uno de los apoyos como se verá en las siguientes fotos.

Figura 126. Aspecto de viga V-C4 concluido el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

La figura 126 muestra un patrón de fisuras por flexión en la parte central que se dirigen hacia la zona de compresiones, son tres de las fisuras que aparecen desde los primeros indicios donde se superó el momento de rotura son las que presentan mayor ancho.

Cabe señalar que después del momento que representa el momento de fluencia es el instante donde el acero transversal en forma de estribos cumple ya una función más importante que es el de absorber el cortante que el concreto ya no puede soportar, y además reducir al ancho y el crecimiento de las grietas; en este caso debido a la separación empírica de estribos de 15.00cm, las grietas formadas por flexión ya no tienen algún material que los restrinja, es por eso que se inclinan debido a la combinación de fuerza cortante y momento flector, y producen una grieta inclinada que en este caso producirá una falla de compresión por corte en la parte central de la sección , como se puede apreciar en la foto de la figura 127 parte derecha.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 127. Aspecto de viga V-4C concluido el ensayo parte superior



Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo no está de más mencionar que al mismo tiempo se presenta un patrón de fisuración similar al de la viga V-C4 fisura que atraviesa toda la sección en la parte superior esta vez en el apoyo izquierdo como se aprecia en la figura 127 que en lo posterior se concluye que es por esta razón que esta viga no falla de manera explosiva, ya que la concentración de esfuerzos no solo se dio en la parte inferior de la viga en los tercios extremos sino que fue distribuida también en los cercanos en la parte posterior al apoyo izquierdo.

En última instancia la viga falla en esta parte especialmente por adherencia por corte, debido a la gran concentración de esfuerzos que supero a la adherencia que se presenta en esta sección justo en la parte del anclaje.

Finalmente culminada los ensayos en las vigas del tipo 3 se observó que cuando se coloca estribos separados empíricamente a 15cm que representan un 76.47% de la separación de diseño, estas vigas luego del momento denominado fluencia, o donde se acaba el límite de comportamiento elástico es muy difícil de predecir teniendo diferentes respuestas, donde la concentración de esfuerzos no se predice con exactitud.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

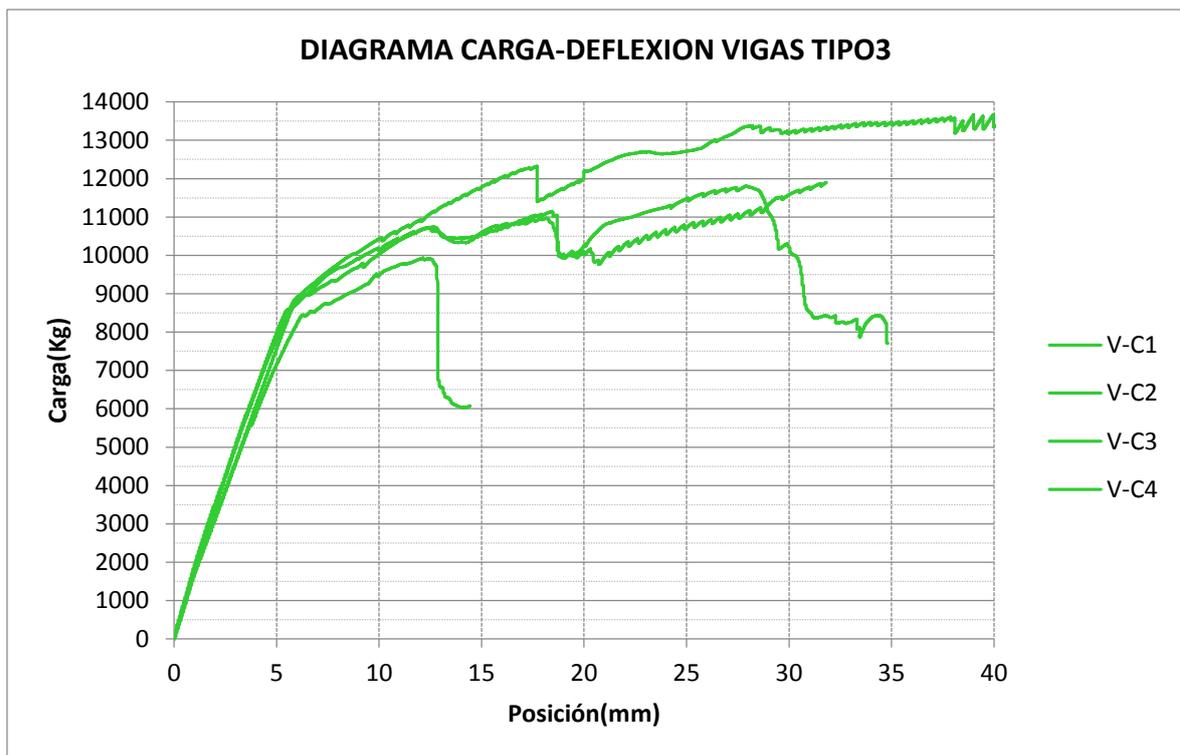
6.3.1.3.5. CUADRO DE RESUMEN DE LAS VIGAS DE TIPO 3

Tabla 36. Resumen de resultados obtenidos en las vigas tipo 3

PARAMETROS DE COMPARACION	VIGA V -C1	VIGA V -C2	VIGA V -C3	VIGA V -C4
CARGA Mfisura (tn)	2.548	2.215	2.316	2.439
CARGA Mfluencia (tn)	8.596	8.452	8.823	8.876
CARGA Multima (tn)	11.102	9.837	10.873	12.268
DEFLEXION fisura (mm)	1.37	1.37	1.44	1.37
DEFLEXION fluencia (mm)	5.62	6.34	5.95	5.95
DEFLEXION ultima (mm)	18.23	12.67	18.36	17.51
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg/m)	149.75	85.4	149.83	125.57

Fuente: Elaboración Propia

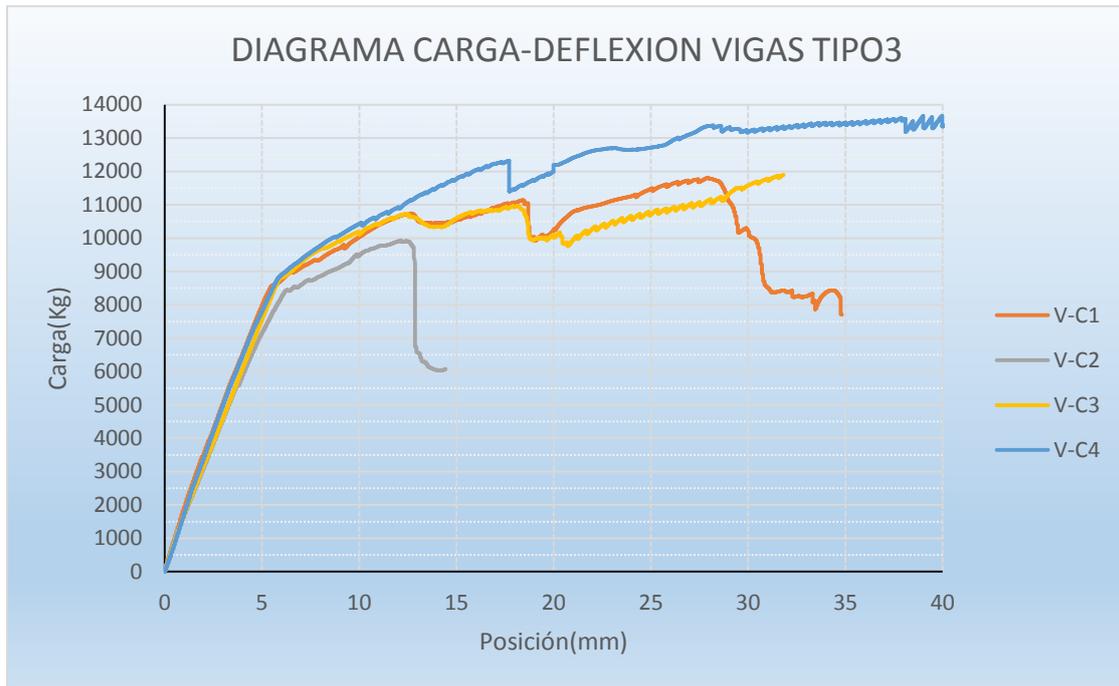
Figura 128. Diagramas de carga – deflexión promedio de vigas tipo 3



Fuente: Elaboración Propia

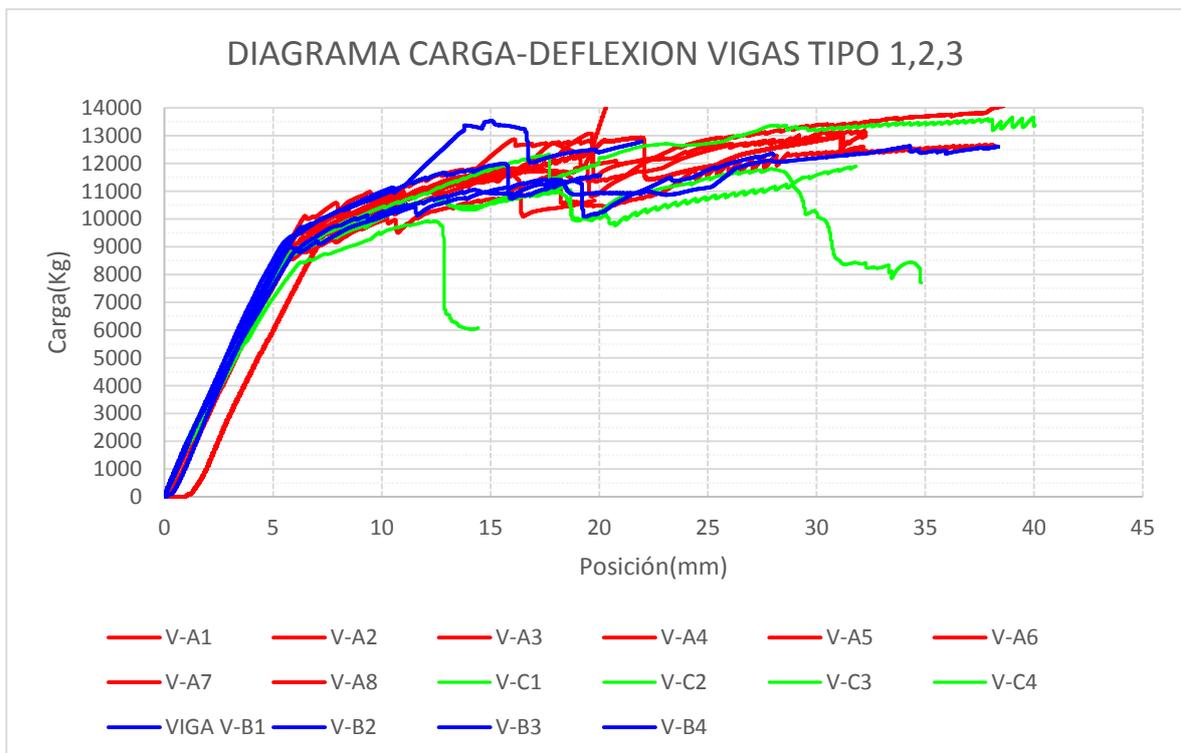
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 129. Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 3



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 130 Diagrama de carga – deflexión de vigas tipo 1,2 y -3



Fuente: Elaboración Propia.

6.3.2. ELABORACION DE LOS DIAGRAMAS ESFUERZO- DEFORMACION DE LAS VIGAS ENSAYADAS.

Para la elaboración de los diagramas esfuerzo - deformación, se parte del cálculo de la profundidad del eje neutro y la inercia para una sección no agrietada, y posterior a esto se analiza la profundidad del eje neutro y su inercia para una sección agrietada por el método de área transformada. Finalmente se determina el esfuerzo en base a los parámetros ya mencionados. Los cálculos se muestran con más detalles en el ANEXO V.

6.3.2.1.CALCULO DE PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN NO AGRIETADA.

$$f_c = \frac{(PL/6)y}{I}$$

y= 10.2 cm
I= 11246 cm⁴
L= 90 cm
 $(Ly)/6 I = 0.0136$

→ $f_c = (0.0136)P$

Donde:

y : profundidad del eje neutro para una sección no agrietada.

I : Inercia no agrietada.

L: luz libre.

6.3.2.2.CALCULO DE PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN AGRIETADA.

$$f_c = \frac{(PL/6) * y}{I}$$

y= 5.298 cm
I= 3470.30 cm⁴
L= 90 cm
 $(Ly)/6 I = 0.0229$

→ $f_c = (0.0229)P$

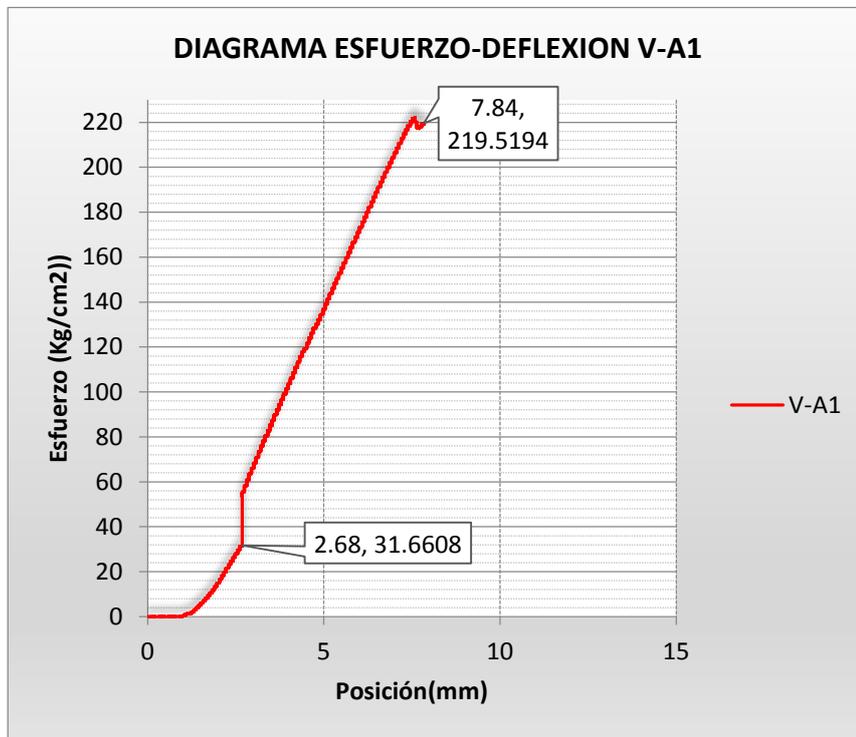
y : profundidad del eje neutro para una sección agrietada.

I : Inercia agrietada.

L: luz libre.

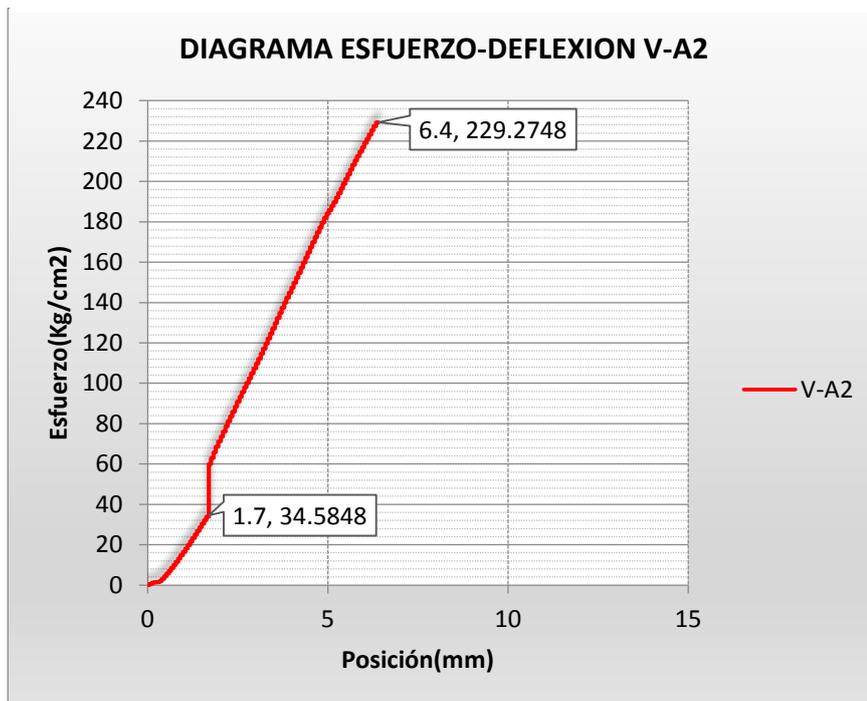
6.3.2.3. DIAGRAMAS ESFUERZO- DEFORMACION

Figura 131. Diagrama esfuerzo – deformación hasta la fluencia de la viga V-A1



Fuente: Elaboración Propia

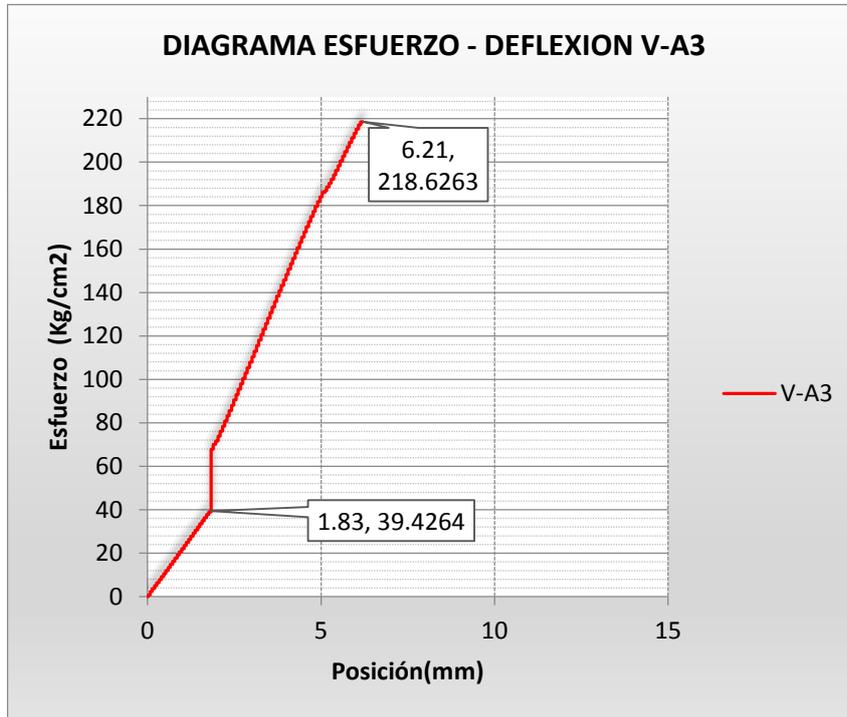
Figura 132. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-2A



Fuente: Elaboración Propia

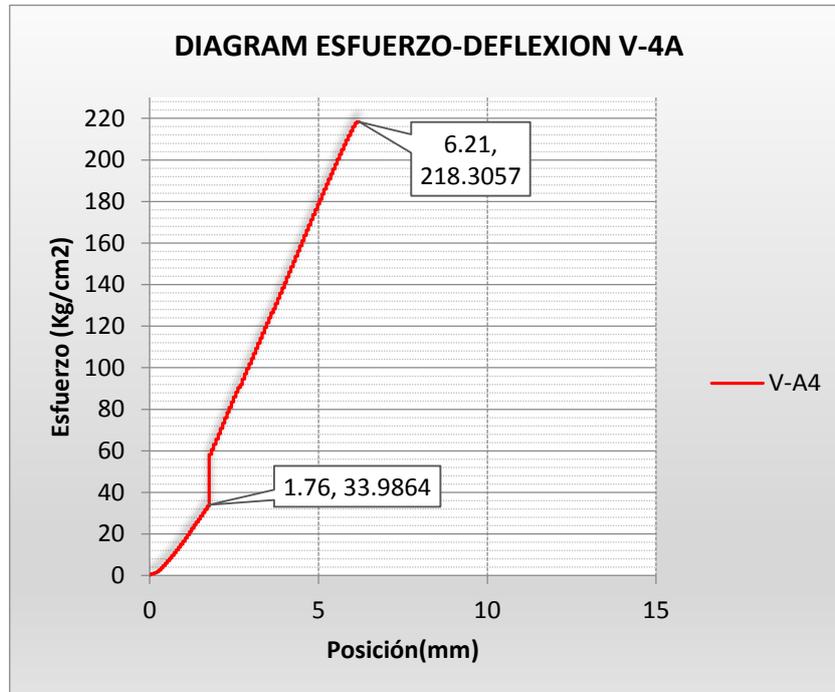
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 133. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A3



Fuente: Elaboración Propia

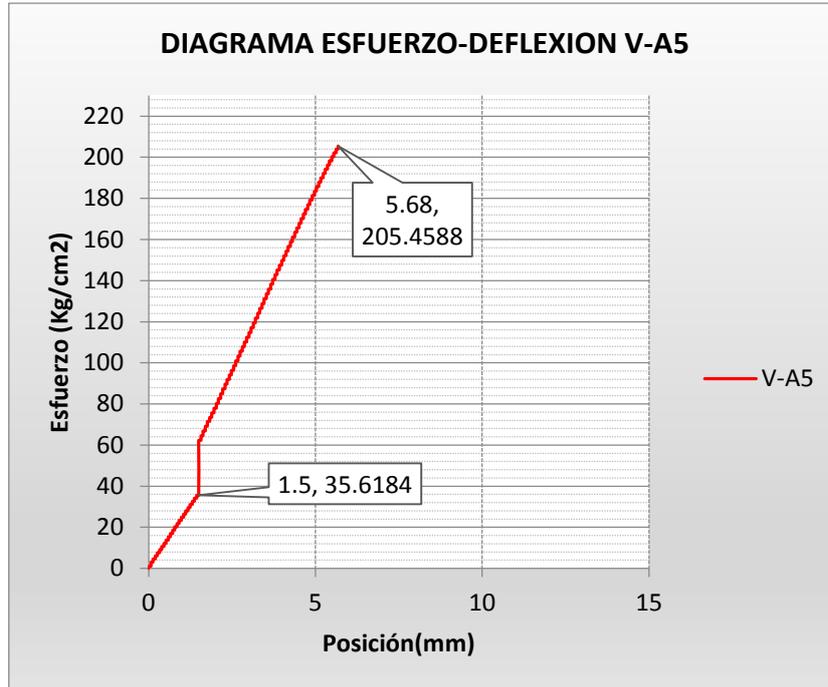
Figura 134. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A4.



Fuente: Elaboración Propia

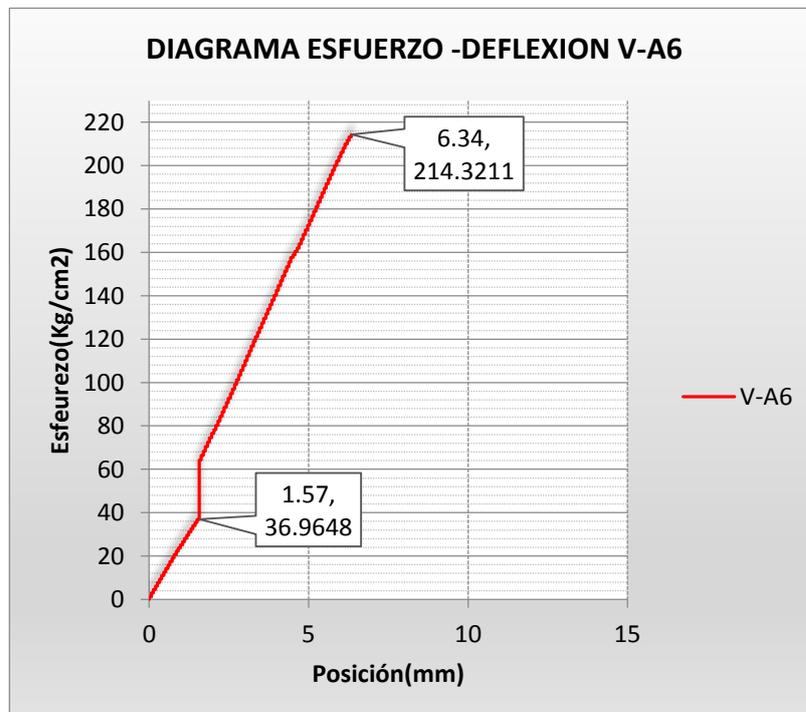
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 135. Diagrama Esfuerzo Deformación hasta la fluencia de la viga V-A5



Fuente: Elaboración Propia

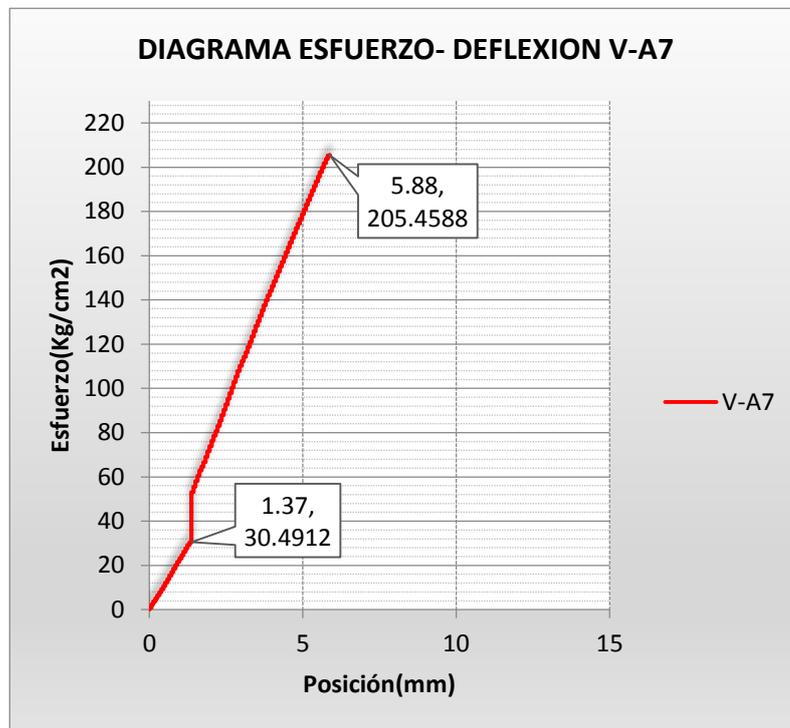
Figura 136. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A6



Fuente: Elaboración Propia

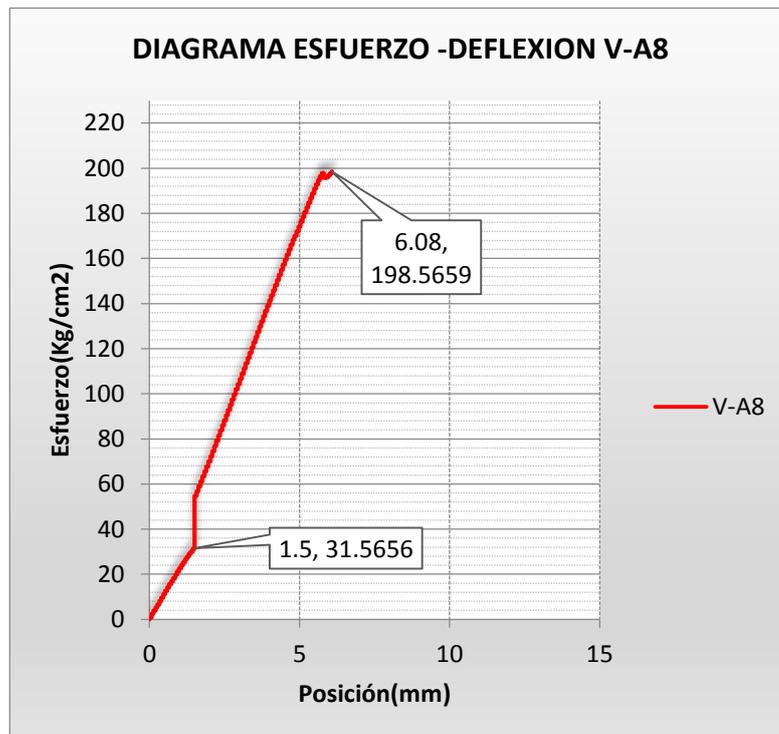
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 137. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A7



Fuente: Elaboración Propia

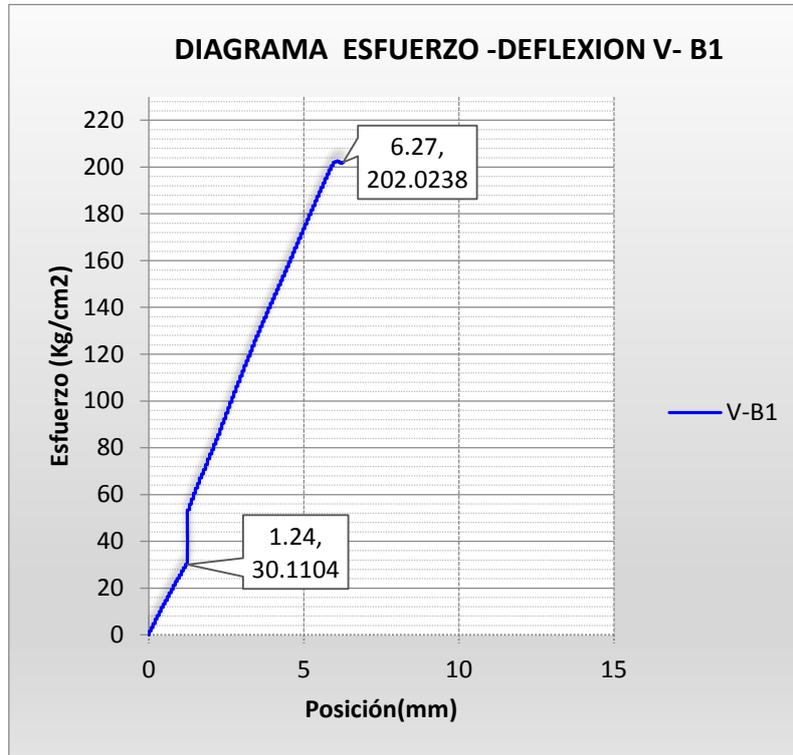
Figura 138. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-A8



Fuente: Elaboración Propia

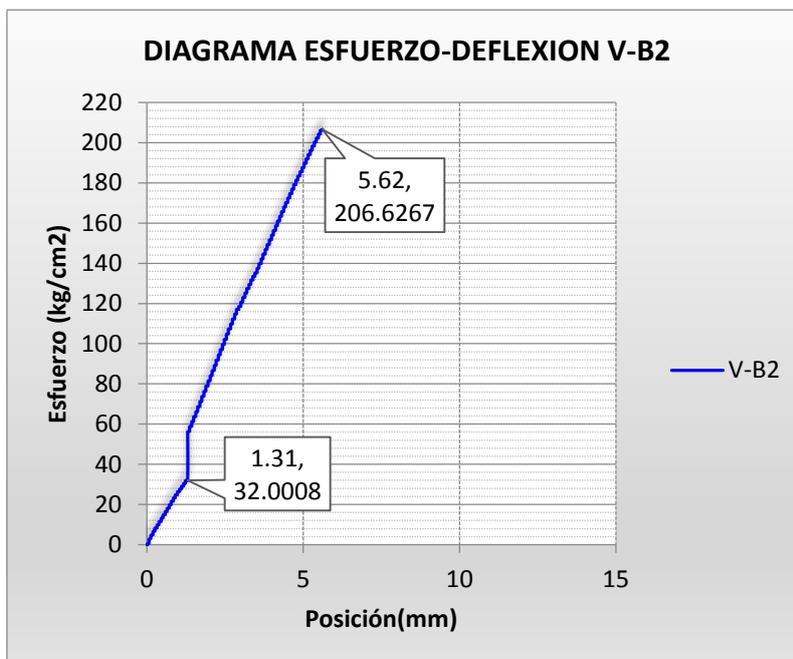
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 139. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-B1



Fuente: Elaboración Propia

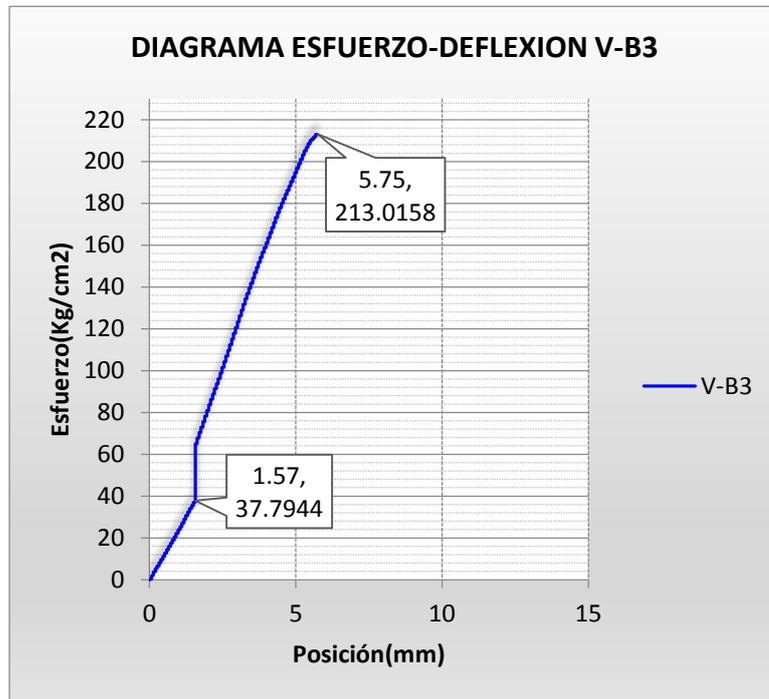
Figura 140. Diagrama Esfuerzo- Deformación hasta la fluencia de la viga V-B2



Fuente: Elaboración Propia

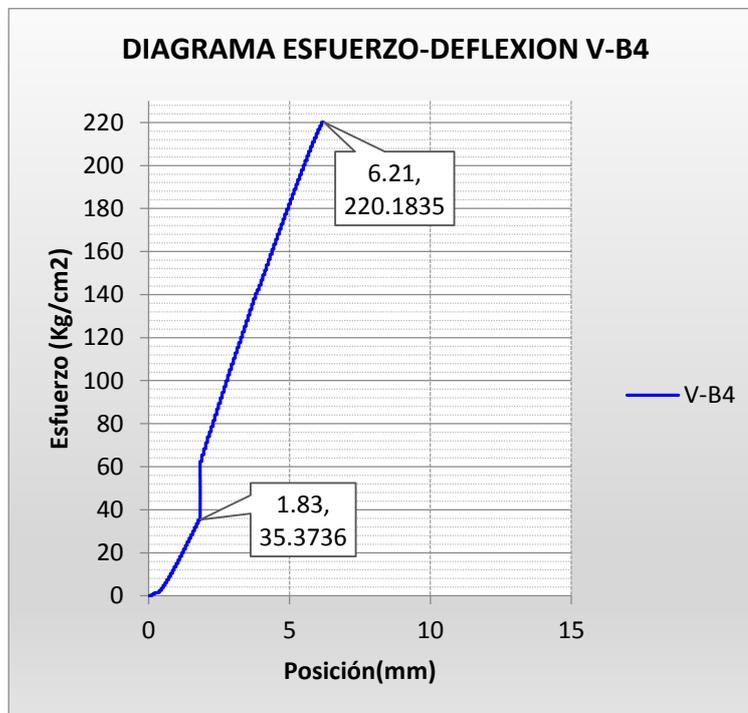
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 141. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-B3



Fuente: Elaboración Propia

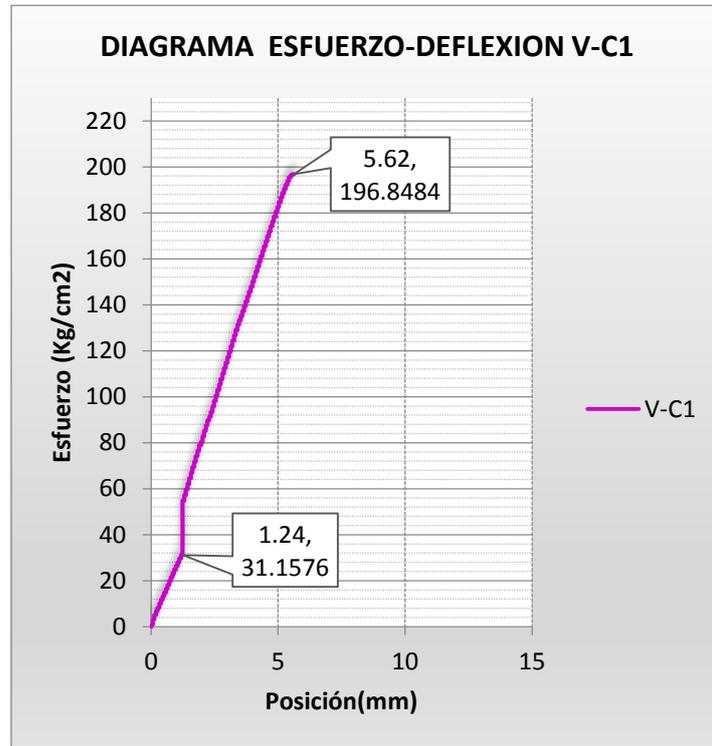
Figura 142. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-B4



Fuente: Elaboración Propia

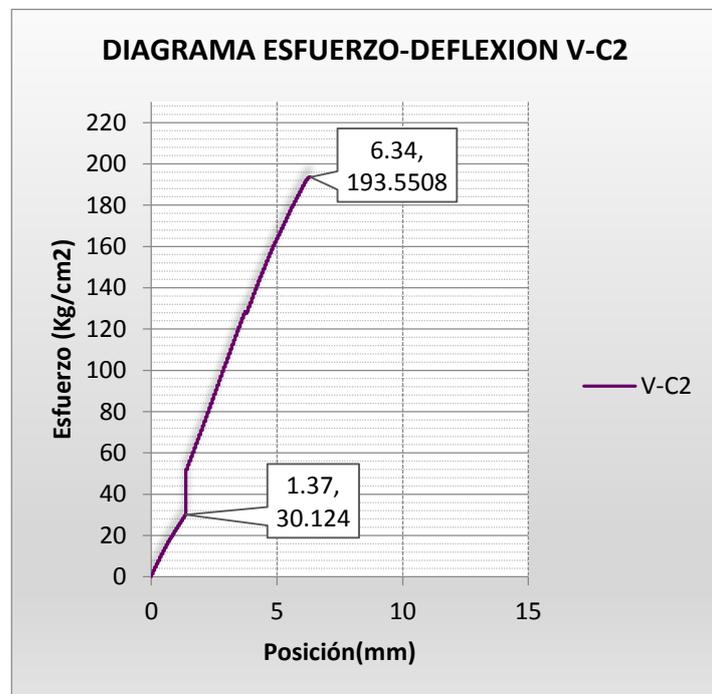
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 143. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C1



Fuente: Elaboración Propia

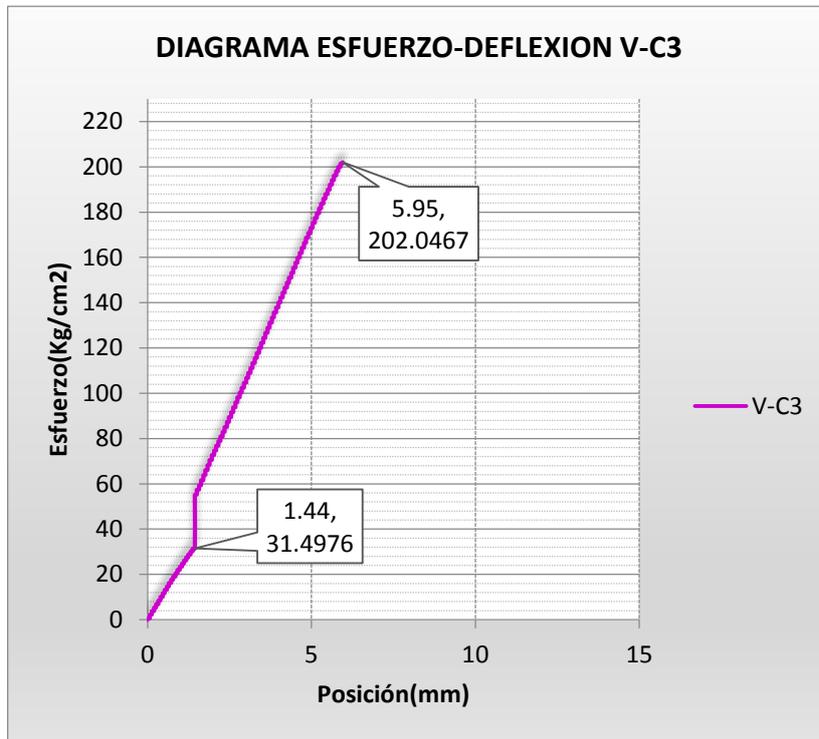
Figura 144. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C2



Fuente: Elaboración Propia

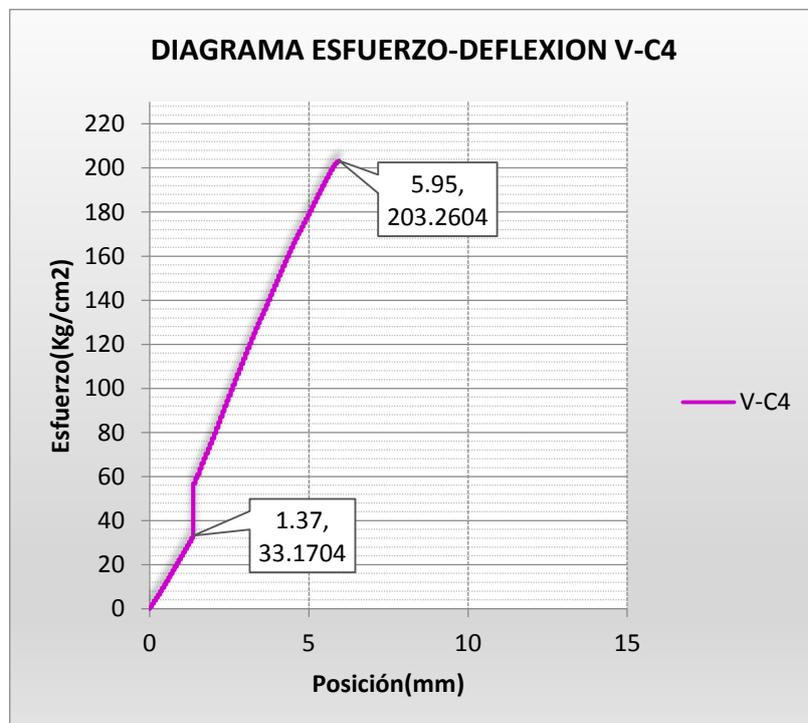
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 145. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C3



Fuente: Elaboración Propia

Figura 146. Diagrama Esfuerzo- Deformación para la Viga V-C4



Fuente: Elaboración Propia

6.3.2.4. CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS

Tabla 37. Resumen de valores de resistencia a la flexión en el momento de agrietamiento

RESISTENCIA A LA FLEXION EN EL MOMENTO DE AGRIETAMIENTO CON RESPECTO A F'C				
VIGA MODELO	RESISTENCIA COMPRESION (f'c)	ESFUERZO FLEXION AGRIETAMIENTO	PROMEDIO	%f'c
A1 B1	228.00	31.66 30.11	30.89	13.55
A2 B2	221.80	34.59 32.00	33.30	15.01
A3 B3	229.10	39.43 37.79	38.61	16.85
A4 B4	218.00	33.99 35.37	34.68	15.91
A5 C1	214.10	35.62 31.16	33.39	15.60
A6 C2	214.40	36.97 30.12	33.55	15.65
A7 C3	212.10	30.49 31.50	31.00	14.61
A8 C4	220.00	31.57 33.17	32.37	14.71
			PROMEDIO %(f'c)=	15.24

Fuente: Elaboración Propia

En la **tabla 37** se muestran los valores de resistencia del concreto a compresión en cada una de las tandas vaciadas, además se añade una columna en donde se destacan los esfuerzo de flexión de cada una de las vigas de prueba en el momento de agrietamiento.

En consecuencia de acuerdo al análisis, la resistencia a la flexión de las vigas modelo antes de que aparezca las primeras fisuras en la parte inferior es de aproximadamente 15.24%(f'c).

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 38. Resumen de valores de Resistencia a la flexión en el momento de fluencia

RESISTENCIA A LA FLEXION EN EL MOMENTO DE FLUENCIA CON RESPECTO A F'C				
VIGA MODELO	RESISTENCIA COMPRESION (f'c)	ESFUERZO FLEXION EN LA FLUENCIA	PROMEDIO	%f'c
A1	228.00	219.52	210.77	92.44
B1		202.02		
A2	221.80	229.28	217.96	98.27
B2		206.63		
A3	229.10	218.63	215.83	94.21
B3		213.02		
A4	218.00	218.31	219.25	100.57
B4		220.18		
A5	214.10	205.46	201.16	93.95
C1		196.85		
A6	214.40	214.32	203.94	95.12
C2		193.55		
A7	212.10	205.46	203.76	96.07
C3		202.05		
A8	220.00	198.57	200.92	91.33
C4		203.26		
			PROMEDIO %(f'c)=	95.25

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 38 se muestran los valores de resistencia del concreto a compresión en cada una de las tandas vaciadas, además se añade una columna en donde se destacan los esfuerzo de flexión de cada una de las vigas de prueba en el momento de fluencia.

En consecuencia de acuerdo al análisis, los esfuerzos de flexión en la fluencia de las vigas de prueba casi se acercan a la resistencia la compresión del concreto que en este caso son los promedios de las tres briquetas que se obtuvieron de cada vaciado.

Finalmente no es demás mencionar que con los resultados de la tabla 38 se puede demostrar que antes que ocurra la fluencia del acero, la resistencia del concreto no es sobrepasado, y que también existen otros mecanismos de resistencia que dotan de ductilidad al elemento como es el caso de la presencia de los estribos y los mencionados en la sección 3.1.6 del marco teórico.

6.3.3. COMPARACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS VIGAS ENSAYADAS.

Una vez analizado el comportamiento individual de cada viga de cada tipo, se pasa a comparar los comportamientos estructurales de vigas entre sí. Para ello se recuerdan las tablas siguientes, en donde se muestran las características del concreto empleado en cada comparación, además del armado longitudinal y el parámetro importante que se modificó siendo este la separación de los estribos.

Tabla 39. Características de las los tipos de Vigas

TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LAS VIGAS				
TIPO	COD.	REFUERZO LONGUITUDINAL		REFUERZO TRANSVERSAL
TIPO 1	V-A1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A5	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A6	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A7	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
	V-A8	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 4.25 cm, resto @ 8.50 cm
TIPO 2	V-B1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
	V-B4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 5.00 cm, resto @ 10.0 cm
TIPO 3	V-C1	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C2	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C3	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm
	V-C4	2 Ø 8 mm	3 Ø 3/8 plg.	1 a 7.50 cm, resto @ 15.0 cm

Fuente: Elaboración Propia.

Cabe señalar que para los ensayos se utilizaron tres tipos de vigas con las características que se muestran en la tabla 39, variando solo el espaciamiento de estribos de un tipo a otro.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 40. Sistema de Comparación

CUADRO DE COMPARACION		
SERIE	COD.	SEPARACION DE ESTRIBOS
SERIE 1	V-A1 → V-B1	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A2 → V-B2	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A3 → V-B3	8.5 cm → 10.0 cm
	V-A4 → V-B4	8.5 cm → 10.0 cm
SERIE 2	V-A5 → V-C1	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A6 → V-C2	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A7 → V-C3	8.5 cm → 15.0 cm
	V-A8 → V-C4	8.5 cm → 15.0 cm

Fuente: Elaboración Propia.

En concordancia con lo ya expuesto anteriormente la comparación de las vigas realizadas se divide en dos series, una primera serie con una comparación de vigas TIPO1 con las vigas TIPO 2 , y la segunda entre las vigas TIPO1 y vigas TIPO 3 como se indica en la tabla 40.

Según la tabla se va a comparar la viga V-A1 y V-B1, con refuerzo longitudinal y transversal además de la misma pasta de vaciado, pero una elaborada con una separación de refuerzo transversal en forma de estribos de 8.5cm diseñada según la Norma E-060; y la otra con una longitud de separación redondeada empíricamente con relación a la diseñada según Norma que es representada por una longitud de 10.00cm.

Además se comparan en esta misma serie las vigas V-A2 con V-B2, V-A3 con V-B3 y por último V-A4 con V-B4, elaboradas cada par con la misma pasta de vaciado (con la misma tanda) cuya diferencia solo radica como ya se mencionó en la disposición de la longitud de separación de estribos.

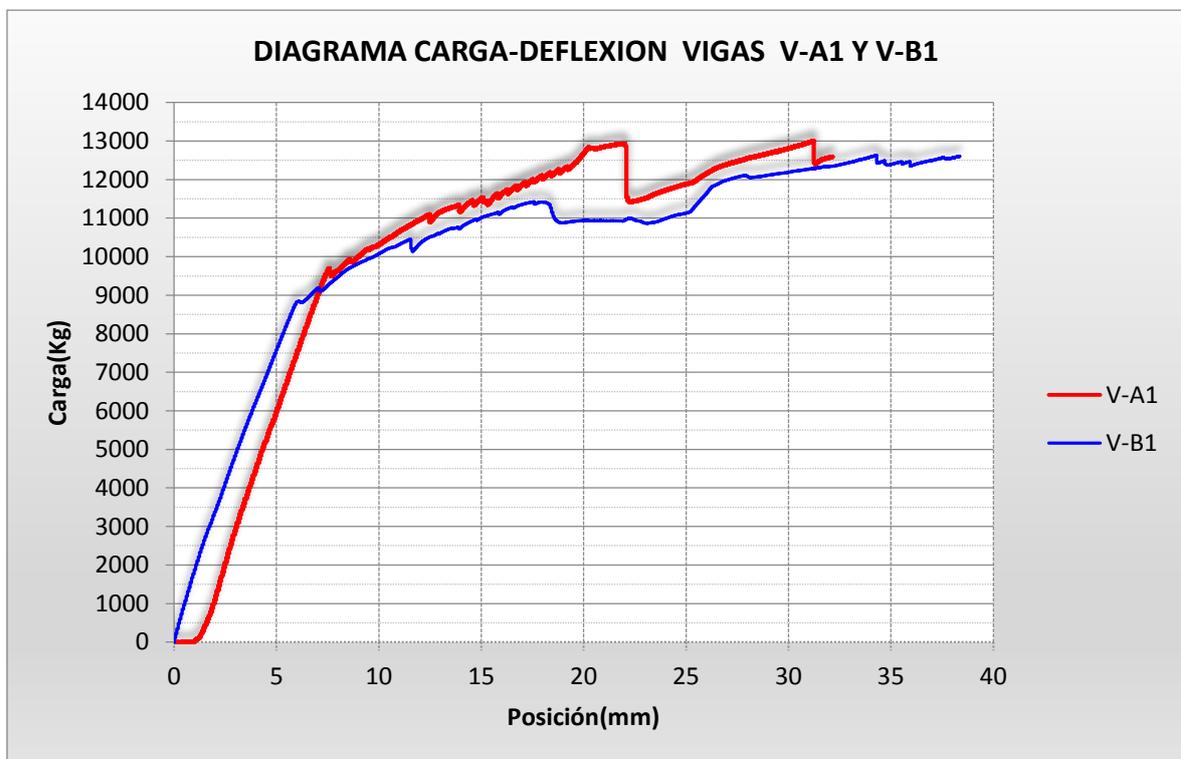
De manera análoga se comparan las vigas de la serie 2; vigas de tipo V-A5 con V-C1, V-A6 con V-C2, V-A7 con V-C3 y por ultimo las vigas V-A8 con V-C4; elaboradas dos a dos con el mismo concreto y cuya diferencia se encuentra en la distribución de estribos, una con una separación de 8.5 cm diseñada según criterios de Norma y la segunda con una separación empírica en base a un segundo redondeo de la separación de diseño.

6.3.3.1. SERIE 1:

6.3.3.1.1. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A1 Y V-B1:

Las dos curvas mostradas en la figura 147 corresponden al comportamiento real de las vigas V-A1 Y V-B1 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 10.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según los testigos cilíndricos se obtuvo 228 kg/cm² en promedio de las tres briquetas.

Figura 147. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A1 y V-B1



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 41. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A1 y V-B1.

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 01 (A1-B1)		
	f'c=228		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	10.0	17.65
CARGA Mfisura (tn)	2.328	2.214	-4.90
CARGA Mfluencia (tn)	9.586	8.822	-7.97
CARGA Multima (tn)	12.908	11.384	-11.81
DEFLEXION fisura (mm)	2.68	1.24	-53.73
DEFLEXION fluencia (mm)	7.84	6.27	-20.03
DEFLEXION ultima(mm)	22.02	18.23	-17.21
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg.m)	191.78	151.13	-21.19

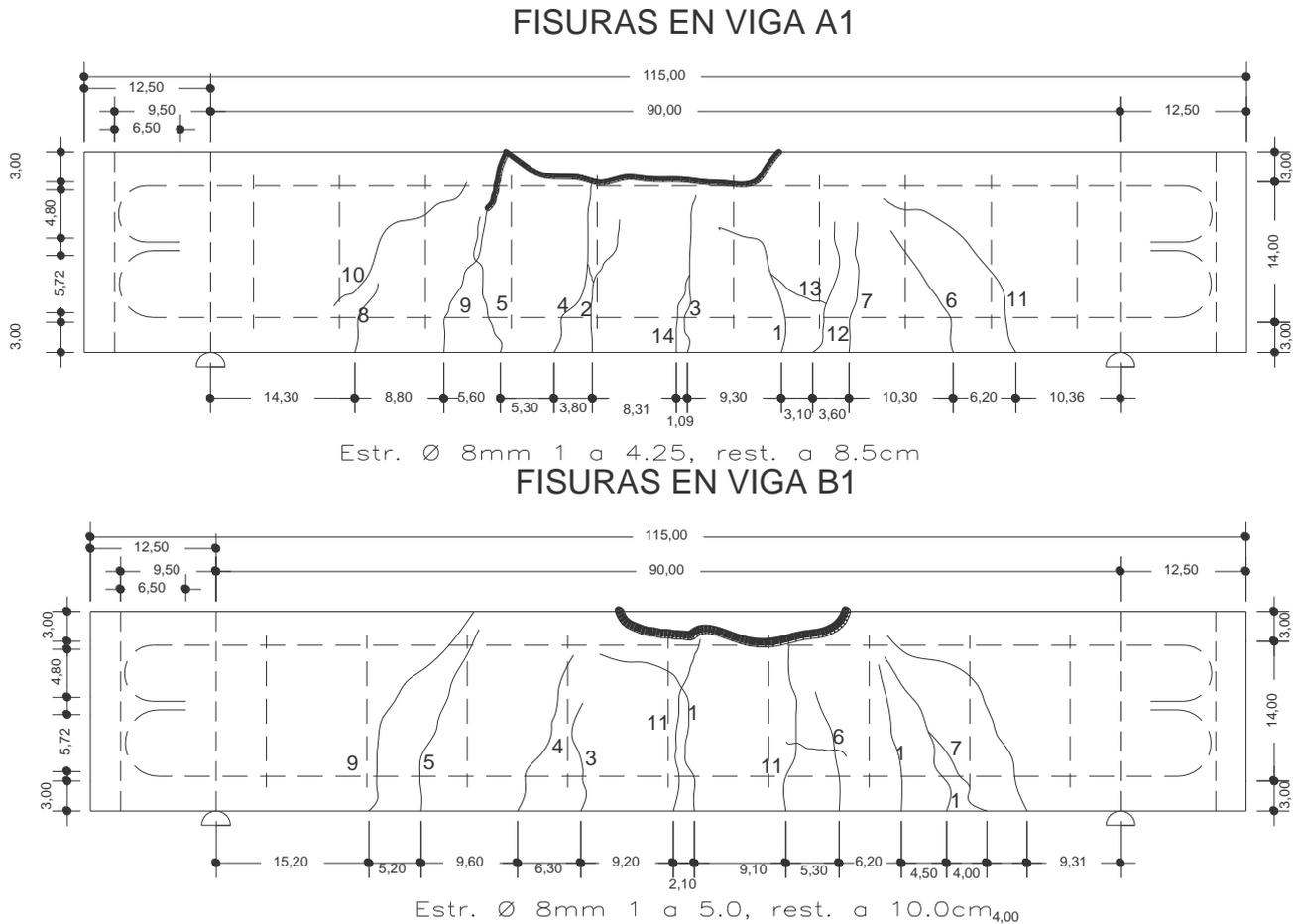
Fuente: Elaboración Propia.

Al comparar las dos curvas de respuesta de las vigas tipo 1 y tipo 2, en la viga A1 se observa un pequeño desfase que se traduce con un reajuste de la pieza cuando es sometido a carga antes que esta trabaje completamente. En estas curvas de respuesta se observa que las dos primeras fases de comportamiento son similares en ambas con solo un 4.90 y 7.97 % de variación con respecto a la carga de fisuración y fluencia respectivamente; así como también un 54 y 20 % de variación en la deflexión (estas grandes diferencias se deben al pequeño desfase que existe al inicio del comportamiento); mientras que la resistencia última y su respectiva deflexión en la viga A1 es mayor que la viga B1, es decir hay una variación en un 11.91% y 17% en relación a la viga de diseño.

Las primeras fases hasta el límite de elasticidad la pendiente de las rectas son muy similares; esto se traduce en que debido a que los dos elementos están elaborados con el mismo concreto de la misma tanda, sus propiedades del concreto son muy similares o casi iguales y que trabaja complementemente junto con el acero de tracción resisten todo el momento hasta alcanzar una fase de fluencia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 148. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A1 y V-B1



Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien si comparamos los dos modelos, en cuanto se refiere a la configuración de las fisuras como se muestra en la figura 148 de arriba. Se sabe que las fisuras más críticas son las que se acercan más a los apoyos, ya que en esta zona, el elemento es más vulnerable a esfuerzos de corte, por ende una fisura considerable en esta zona, traería peligro a la pieza para que falla de un modo frágil por corte.

En la viga A1 de la figura 148 muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo es de aproximadamente 10.36cm, mientras que en la viga B1 la menor dimensión es 9.31 cm distancia menor a la viga de comparación.

No está de más señalar algo importante que se observa en la misma figura ; la fisura N° 11 de la viga A1 por flexión es interceptada por un estribo, donde este minimiza el ángulo en

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

la parte inferior, lo que no ocurre en la viga V-B1 que casi tiene un mayor inclinación y está más cerca al apoyo derecho.

Debido a esto; colocando una cantidad adecuada de acero transversal y de acuerdo al diseño, es posible minimizar los efectos de la grieta antes de alcanzar la posición de apoyo.

Figura 149 Comparación fotográfica de fisuras de vigas V-A1 y V-B1.



Fuente: Elaboración Propia.

En la foto de la figura 149 se observa la apariencia final de las vigas en comparación, observándose que para una separación de estribos de 8.5cm diseñada según criterios de la Norma la respuesta en su comportamiento se caracterizan por tener fisuras más delgadas que en la viga B1 con una separación de estribos de 10.00cm, esto debido a que la separación más corta del refuerzo transversal absorbe mayor fuerza cortante, minimizando de un modo u otro el ancho de las fisuras. Además una barra en estado perfectamente plástico permitirá que el elemento de concreto armado desarrolle grietas más fácil que si la barra permanece en el rango elástico. Del mismo modo en la figura anterior se observa que solo las barras de acero de refuerzo horizontal fluyeron para cada espécimen; las barras verticales no presentaron ningún signo de fluencia a tensión.

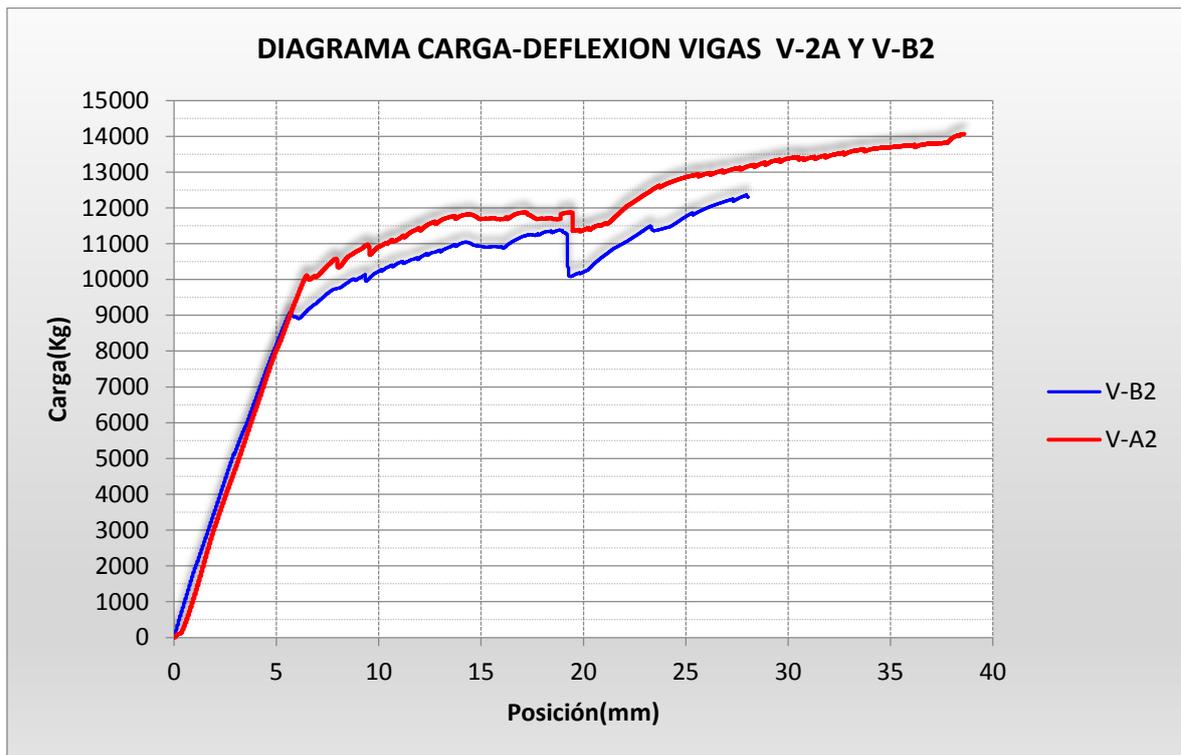
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Finalmente cabe mencionar que el tiempo para que la viga V-A1 llegue a su carga última fue de 36 min; mientras que de la viga V-B1 para llegar a este intervalo de carga y flexión última, tuvo que pasar aproximadamente 12min.

6.3.3.1.2. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A2 Y V-B2:

Como una segunda comparación de vigas del tipo 1 y 2 del mismo modo las curvas mostradas en la figura 150 corresponden al comportamiento real de las vigas V-A2 y V-B2 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 10.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 221 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 150 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A2 y V-B2



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

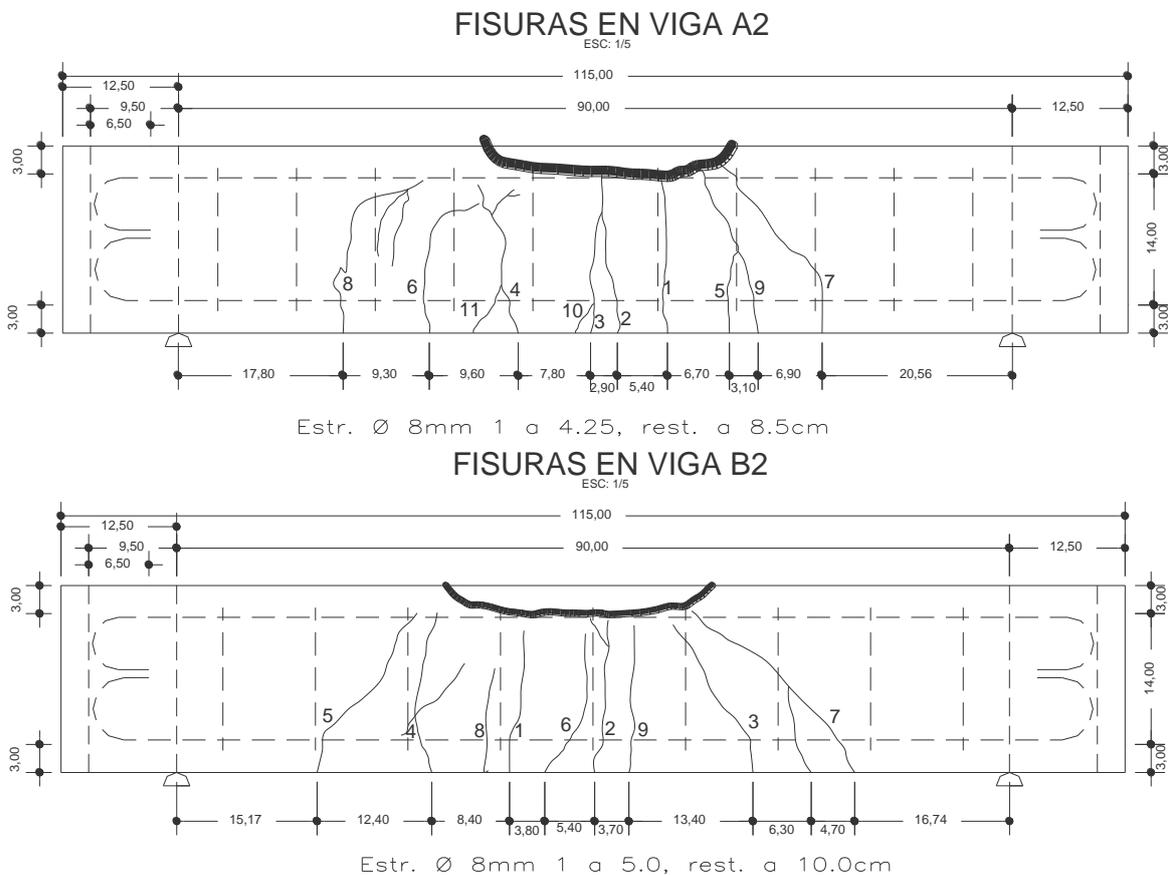
Tabla 42. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A2 y V-B2

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 02 (A2-B2)		
	f'c=221		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	10.0	17.65
CARGA Mfisura (tn)	2.543	2.353	-7.47
CARGA Mfluencia (tn)	10.012	9.023	-9.88
CARGA Multima (tn)	11.862	11.314	-4.62
DEFLEXION fisura (mm)	1.7	1.31	-22.94
DEFLEXION fluencia (mm)	6.40	5.62	-12.19
DEFLEXION ultima(mm)	19.47	19.08	-2.00
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg.m)	175.27	163.93	-6.47

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 42 muestra los valores experimentales de las vigas A2 y B2, es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas en los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

Figura 151. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A2 y V-B2



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Al comparar las dos curvas de respuesta como se muestra en los diagramas de la figura 150, en la viga A2 y B2 se observa que las dos primeras fases de comportamiento son similares en ambas, más aun en la zona elástica donde las pendientes de la recta lineal en ambos diagramas son casi iguales, no obstante el límite de elasticidad que representa el momento de fluencia difieren en ambas piezas en 1.00 ton aproximadamente, siendo mayor la viga donde se pusieron estribos espaciados a 8.50 cm, esto se debe que a menor distancia entre los estribos genera una sección más confinada y evita de un modo u otro el fisuramiento interno progresivo, esto también se nota en la zona inelástica donde hay una pequeña reducción en la carga ultima y en la deformación del elemento estos valores se muestran en la tabla 42.

Del mismo modo al comparar los dos modelos, en cuanto se refiere a la distribución de las fisuras como se muestra en la figura 151. Como se sabe la distancia donde ocurre el corte crítico está representada por una distancia “d (peralte efectivo)” y si se presenta una fisura en esta zona o cerca de ella, el elemento es más susceptible a sufrir una falla por corte de tipo frágil.

En la viga A2 de la figura 151 muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo es de aproximadamente 17.80cm, mientras que en la viga B2 la menor dimensión es 15.17 cm distancia menor a la viga de comparación.

Nuevamente algo importante se observa en la figura 151; la fisura N° 7 de la viga A2 en el lado derecho por flexión es interceptada por un estribo, donde este refuerzo transversal minimiza el ángulo en la parte inferior, lo que no ocurre en la viga V-B2 debido a que los estribos se encuentran más separados, aparece un fisura medianamente inclinada como continuación de una fisura por flexión y que se desarrolla en dirección al apoyo reduciendo la distancia entre la última fisura y la posición de apoyo, haciéndolo al elemento más vulnerable a que se presente un grieta inclinada considerable.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 152 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A2 y V-B2



Fuente: Elaboración Propia.

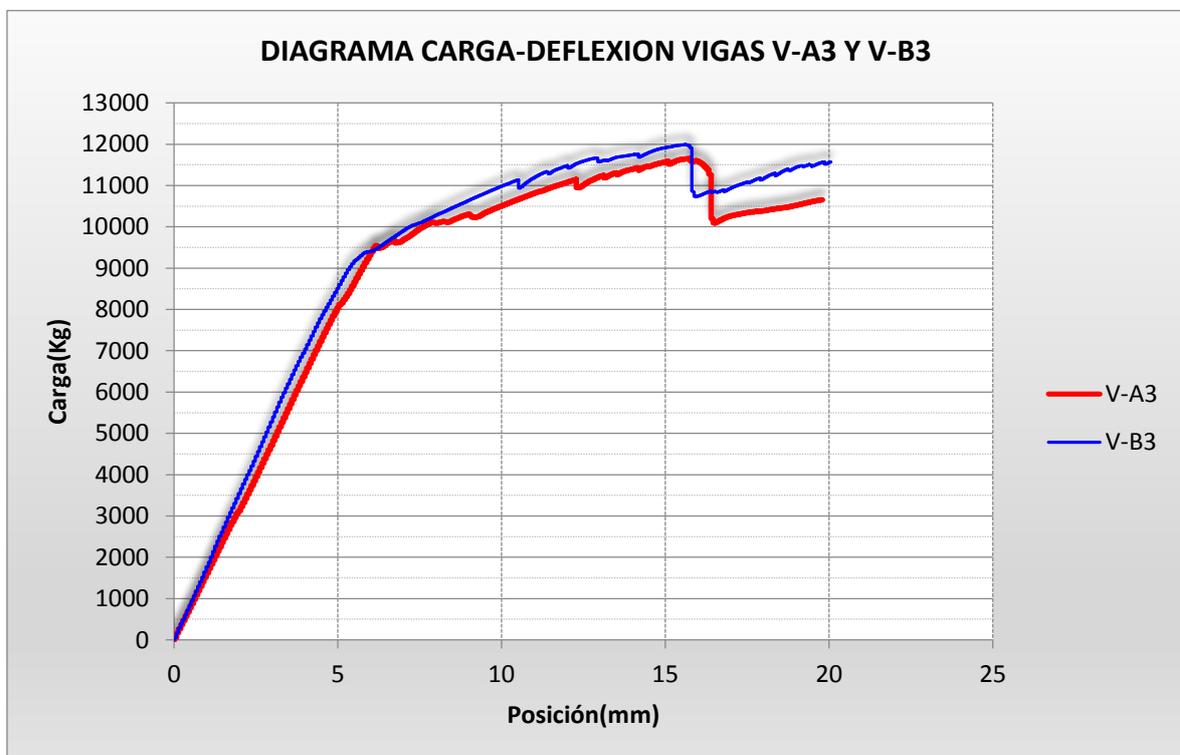
En la figura 152 se muestra la apariencia final de las vigas en comparación observándose que para la viga con una separación de estribos de 8.5 cm diseñada según criterios de la Norma la respuesta en su comportamiento se caracterizan por tener fisuras más delgadas y más concentradas en el tercio central a diferencia que en la viga B2 que tienen una separación de estribos de 10.00cm las fisuras sobrepasan el tercio central y se acercan más a los puntos de apoyo, esto debido a que la separación más corta del refuerzo transversal absorbe mayor fuerza cortante minimizando de un modo u otro el ancho y el progreso de las fisuras.

Finalmente se observa que las dos vigas fallan por aplastamiento de la cabeza comprimida, y no está de más mencionar que el tiempo para que la viga V-A2 llegue a su carga última fue de 12 min; mientras que de la viga V-B2 para llegar a este intervalo de carga y flexión última, tuvo que pasar aproximadamente 11.66 min. Nuevamente demostrándose que la viga elaborada con una separación de estribos diseñada según la norma E-060 demora unos pocos instantes más antes de llegar a la carga última.

6.3.3.1.3. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A3 Y V-B3:

Se realizó una tercera comparación de vigas en la serie 2 y del mismo modo las curvas mostradas en la figura 153 corresponden al comportamiento real de las vigas V-A3 y V-B3 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 10.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 229 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 153 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A3 y V-B3



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 43. Comparación de resultados observados y obtenidos de las vigas V-A3 y V-B3

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 03 (A3-B3)		
	f'c=229		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	10.0	17.65
CARGA Mfisura (tn)	2.899	2.784	-3.97
CARGA Mfluencia (tn)	9.547	9.305	-2.53
CARGA Multima (tn)	11.597	11.99	3.39
DEFLEXION fisura (mm)	1.83	1.57	-14.21
DEFLEXION fluencia (mm)	6.21	5.75	-7.41
DEFLEXION ultima(mm)	15.94	15.61	-2.07
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg.m)	131.58	130.86	-0.55

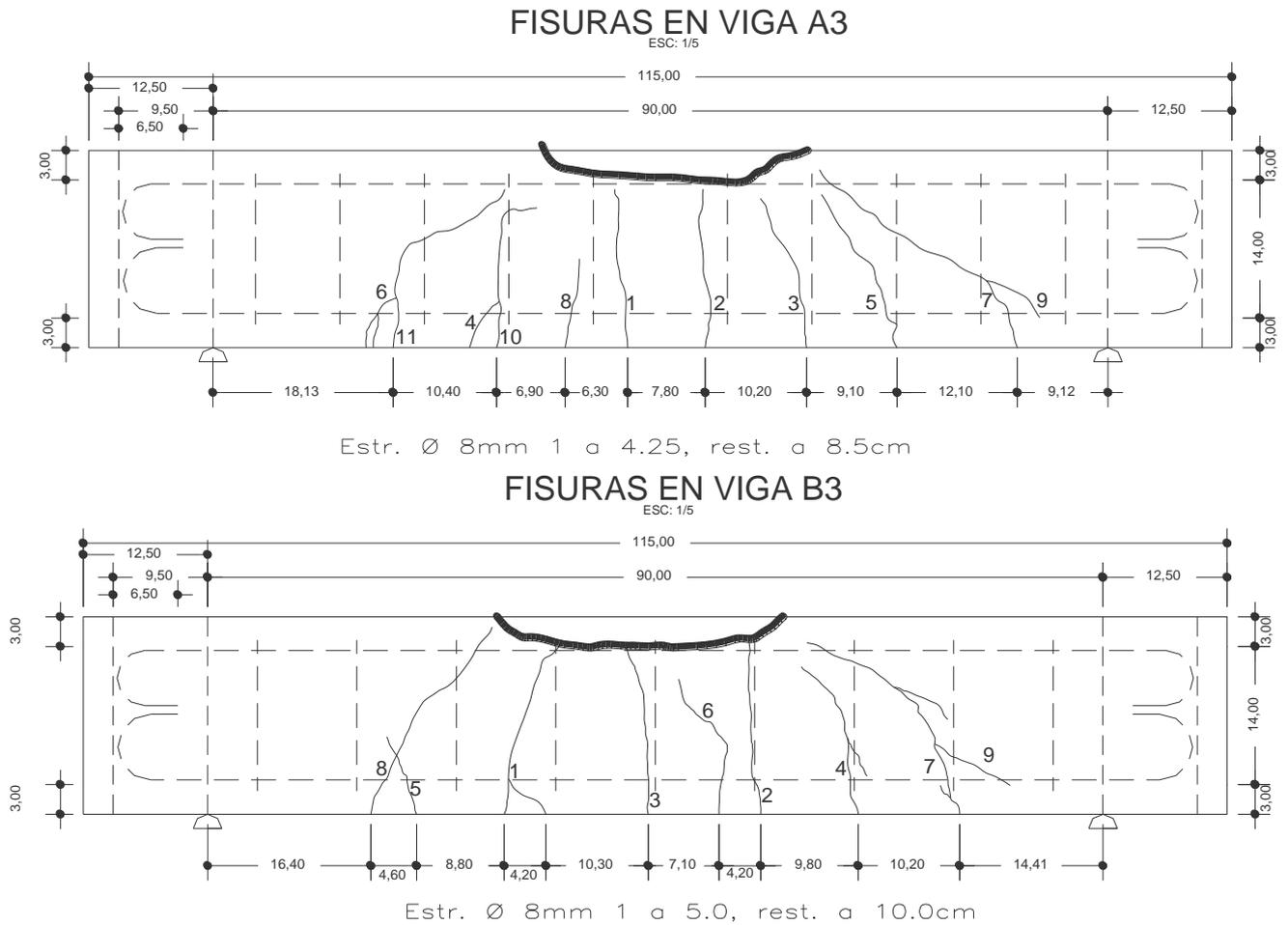
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 43 muestra los valores experimentales de las vigas A3 y B3, es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas en los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

Así mismo al comparar las dos curvas de respuesta como se muestra en los diagramas de la figura 153, en la viga A3 y B3 se observa que las dos primeras fases de comportamiento son similares en ambas, más aun en la zona elástica donde las pendientes de la recta lineal en ambos diagramas son casi iguales, además se observa que para una misma carga la viga A3 tiene un mayor desplazamiento que la viga B3, esto se debe que a menor distancia de los estribos la posibilidad de que una fisura pase por un estribo y este reduca su crecimiento, es mayor, por ende la pieza tiene la facilidad de deflectarse sin generar una fisura considerable en su espesor. Del mismo modo la menor distancia entre los estribos genera una sección más confinada y evita de un modo u otro el fisuramiento interno progresivo, esto también se nota en la zona inelástica donde en la viga B3 con respecto a la viga A3 hay una pequeña reducción en la carga ultima y en la deformación del elemento estos valores se muestran en la tabla 43.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 154. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A3 y V-B3



Fuente: Elaboración Propia.

Consecuentemente, en cuanto se refiere a la comparación en la distribución de las fisuras como se muestra en la figura 154. Se sabe que la distancia donde ocurre el corte crítico está representada por una distancia “d” (peralte efectivo), y si se presenta una fisura en esta zona o cerca de ella, el elemento es más susceptible a desarrollar una fisura diagonal considerable.

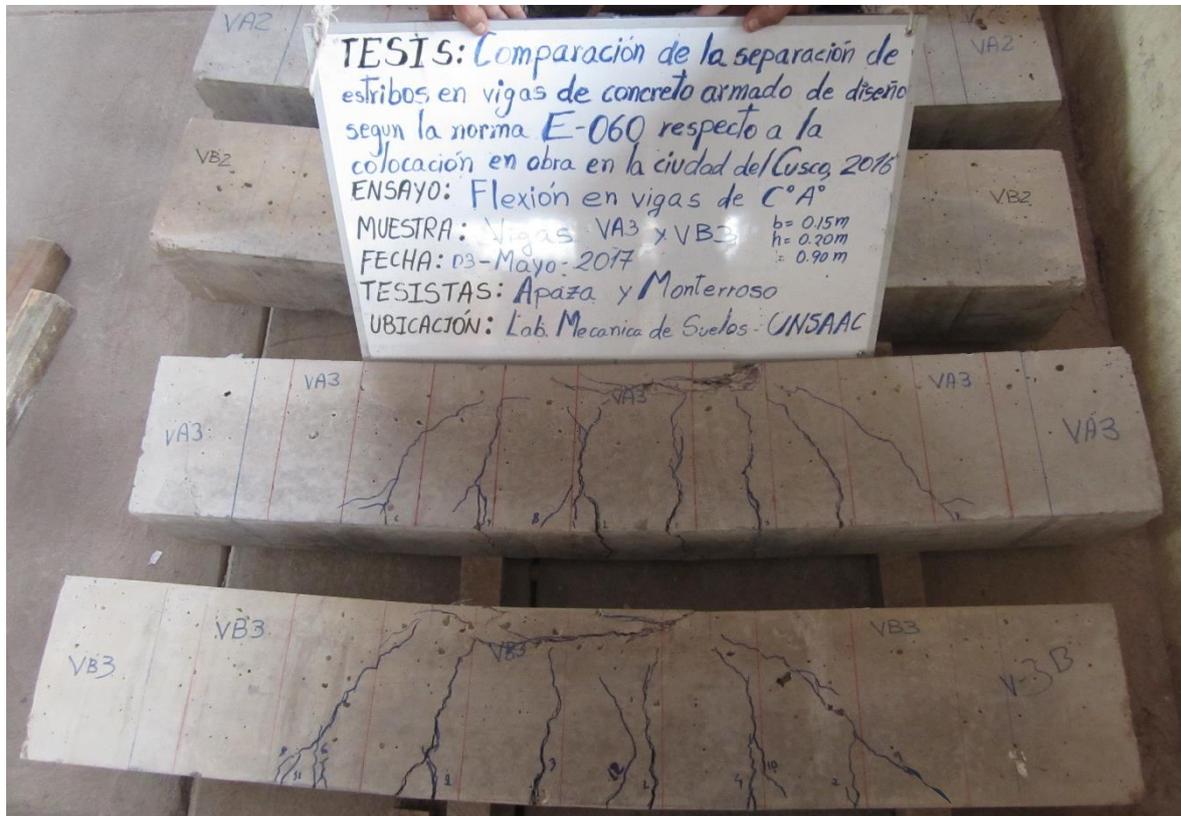
En la figura 154 muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo en la viga A3 es de aproximadamente 9.12cm, mientras que en la viga B3 la menor dimensión es 5.29 cm distancia menor en relación a la viga de comparación.

Nuevamente algo importante se observa en la figura mencionada, la fisura N° 9 de la viga B3 en el lado derecho aparece un fisura medianamente inclinada como continuación de una fisura por flexión y que se desarrolla en dirección al apoyo reduciendo la distancia entre la

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

última fisura y la posición de apoyo, haciéndolo al elemento más vulnerable a que se presente un grieta inclinada considerable.

Figura 155. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A3 y V-B3



Fuente: Elaboración Propia.

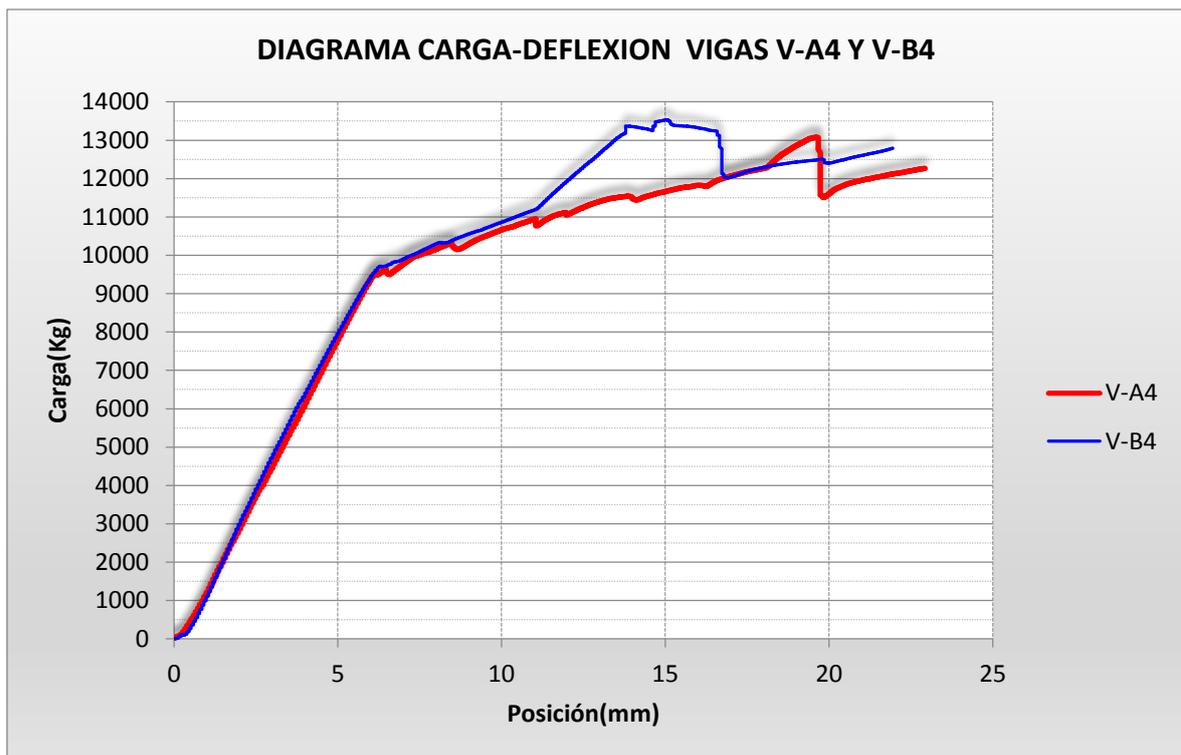
La figura 155 muestra la apariencia final de las vigas en comparación, observándose que para la viga con una separación de estribos de 8.5cm diseñada según criterios de la norma E-060 la respuesta en su comportamiento se caracterizan por tener fisuras más delgadas y en mayor cantidad a diferencia que en la viga B3 que tiene una separación de estribos de 10.00cm las fisuras sobrepasan el tercio central y se acercan más a los puntos de apoyo, esto debido a que la separación más corta del refuerzo transversal absorbe mayor fuerza cortante minimizando de un modo u otro el ancho y el progreso de las fisuras.

Finalmente no está de más mencionar que el tiempo para que la viga V-A3 llegue a su carga última fue de 10 min; mientras que de la viga V-B3 para llegar a este intervalo de carga y flexión última, tuvo que pasar aproximadamente 9.55 min. Nuevamente demostrándose que la viga A3 tiene un poco más de tiempo que la viga B3 antes que falle.

6.3.3.1.4. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A4 Y V-B4:

Para culminar la serie 1 de comparaciones se sobreponen las dos curvas mostradas en la figura 156 corresponden al comportamiento real de las vigas V-A4 Y V-B4 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 10.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según los testigos cilíndricos se obtuvo 218 kg/cm² en promedio de las tres briquetas.

Figura 156 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A4 y V-B4



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 44. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A4 y V-B4

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 04 (A4-B4)		
	f'c=218		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	10.0	17.65
CARGA Mfisura (tn)	2.499	2.601	4.08
CARGA Mfluencia (tn)	9.533	9.615	0.86
CARGA Multima (tn)	13.034	13.256	1.70
DEFLEXION fisura (mm)	1.76	1.83	3.98
DEFLEXION fluencia (mm)	6.21	6.21	0.00
DEFLEXION ultima(mm)	19.67	16.40	-16.62
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg.m)	176.01	143.59	-18.42

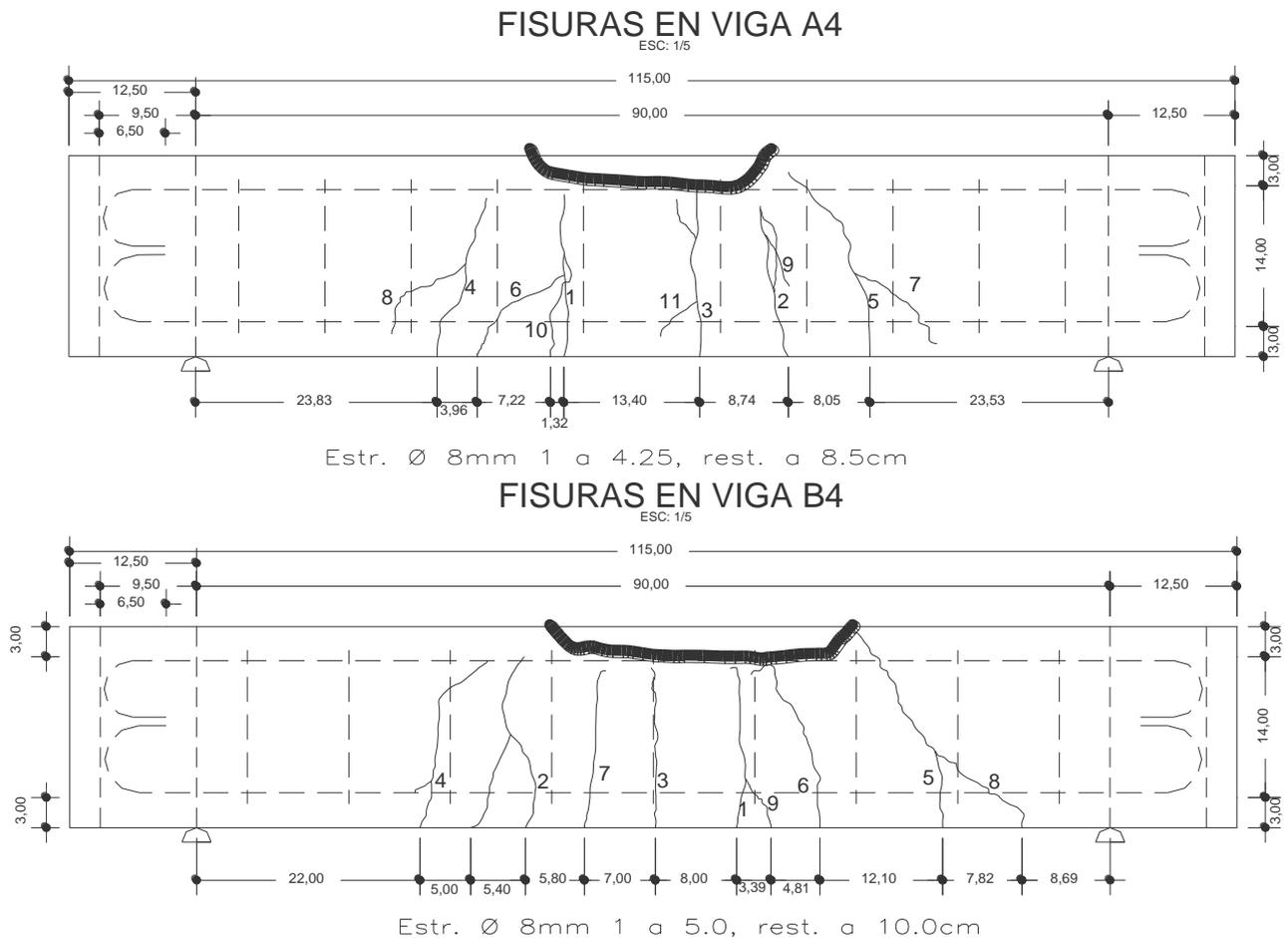
Fuente: Elaboración Propia.

Se comparó las dos últimas curvas de respuesta de las vigas tipo 1 y tipo 2, en estas curvas de respuesta se observa que las dos primeras fases de comportamiento son similares en ambas con solo un 4.0 y 0.86 % de variación con respecto a la carga de fisuración y fluencia respectivamente; así como también un 3.90 y 0.03 % de variación en la deflexión respectivamente como se observa en la tabla 44 (además estas pequeñas diferencia se muestran en los diagramas de la figura 156 donde la zona elástica lineal de ambas vigas casi se superponen), así también la resistencia ultima en la viga A4 es similar que la viga B4 variando solo en un 1.70 %.

Así mismo la diferencia considerable radica en la deflexión en el momento último, donde la viga con separación de estribos de 8.5cm diseñada según la Norma E-060 alcanza un valor mayor de 19.67mm en comparación con una deflexión de la viga B4 que tiene una separación de estribos de 10.00cm que representa un redondeo empírico de la longitud de separación de estribos donde alcanzo una deflexión de 16.40mm que denota una variación de 16.62%. Todo esto demuestra que la viga A4 tiene una mayor ductilidad.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 157. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A4 y V-B4



Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien si comparamos los dos modelos, en cuanto se refiere a la configuración de las fisuras como se muestra en la figura 157. Como se sabe las fisuras más críticas son las que se acercan más a los apoyos, ya que en esta zona, el elemento es más vulnerable a esfuerzos de corte, y por ende a desarrollarse una fisura considerable en esta zona. En la viga A4 de la figura 157 muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo es de aproximadamente 23.54cm, mientras que en la viga B4 la menor dimensión es 8.69 cm, distancia menor a la viga de comparación. Esto hace que la viga elaborada con una separación de estribos que no cumple estrictamente el diseño por Norma es más susceptible a la aparición de una grieta inclinada, que en lo posterior haría que el elemento fallase por corte de manera frágil.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Debido a esto; colocando una cantidad adecuada de acero transversal y de acuerdo al diseño, es posible minimizar los efectos de la grieta antes de alcanzar la posición de apoyo, que en lo posterior sería perjudicial para el elemento estructural.

En la mencionada figura también se observa la apariencia final de las vigas en comparación observándose que la viga A4 con una separación de estribos de 8.5cm diseñada según criterios de la norma la respuesta en su comportamiento se caracterizan por tener fisuras más delgadas que en la viga B1 elaborada con una separación de estribos de 10.00cm, esto debido a que la separación más corta del refuerzo transversal absorbe mayor fuerza cortante minimizando de un modo u otro el ancho de las fisuras.

Figura 158. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A4 y V-B4



Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente cabe mencionar que las dos vigas fallaron por aplastamiento del concreto en el tercio central de la parte superior. Además de que el tiempo para que la viga V-A4 llegue a su carga última fue de 12 min; mientras que de la viga V-B4 para llegar a este intervalo de carga y flexión última, tuvo que pasar aproximadamente 10min.

6.3.3.2. SERIE 2:

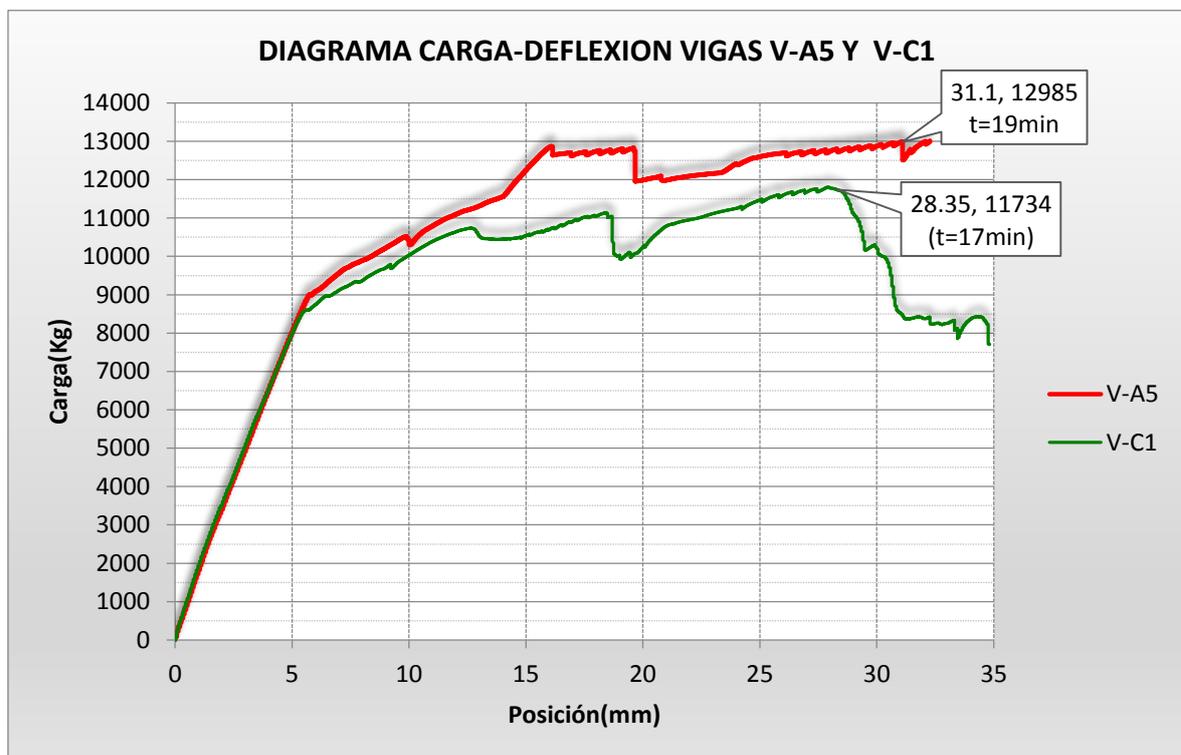
Una nueva serie de ensayos y comparaciones se realizó, para determinar la influencia de una separación más grande, para esto se elaboraron las vigas de tipo 3, que a diferencia de los elementos de tipo 2, las vigas C que pertenecen a este tipo de muestra, están elaboradas con una separación de estribos de 15.00 cm que representa un aumento de 76% en relación a la distancia de separación de diseño y un 50% al primer redondeo empírico.

A continuación se pasara a comparar el comportamiento tanto estructural como mecánico de las vigas de prueba.

6.3.3.2.1. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A5 Y V-C1:

Se realizó una primera comparación de esta segunda serie cuyos resultados de su respuesta ante las cargas aplicadas se muestran en la figura 159, cabe resaltar que las vigas V-A5 y V-C1 son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 15.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 214 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 159 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A5 y V-C1



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 45. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A5 y V-C1

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 01 (A5-C1)		
	f'c=214		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	15.0	76.47
CARGA Mfisura (tn)	2.619	2.548	-2.71
CARGA Mfluencia (tn)	8.972	8.596	-4.19
CARGA Multima (tn)	12.969	11.102	-14.40
DEFLEXION fisura (mm)	1.5	1.37	-8.67
DEFLEXION fluencia (mm)	5.68	5.62	-1.06
DEFLEXION ultima(mm)	19.60	18.23	-6.99
ENERGIA ABSORBIDA ensayo (kg.m)	177.72	149.75	-15.74

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 45 muestra los valores experimentales de las vigas A5 y C1, es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas de los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

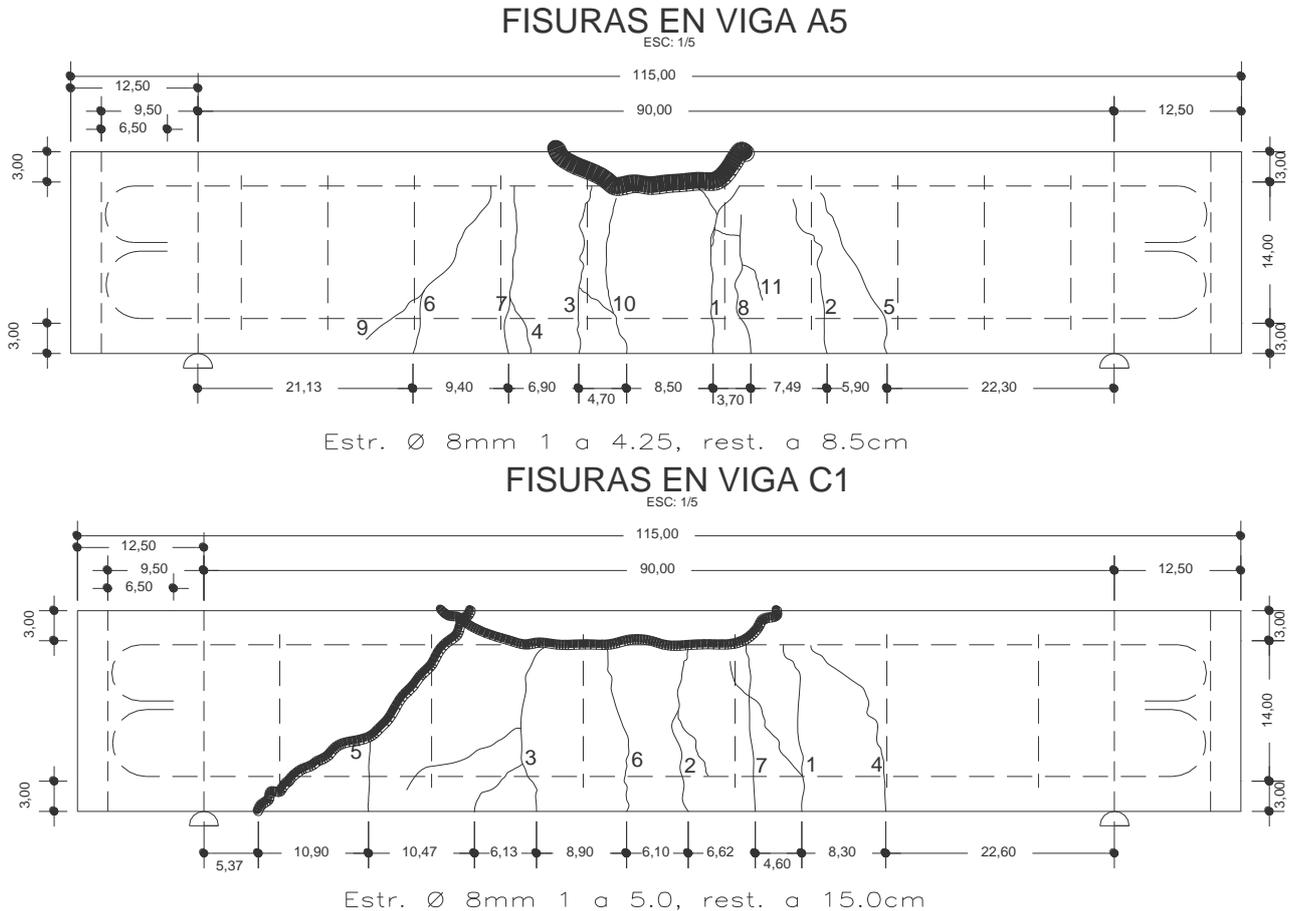
Así mismo al comparar las dos curvas de respuesta como se muestra en los diagramas de la figura 159, en la viga A5 y C1 se observa que en las primeras fases de comportamiento ambas son muy similares, es más, su curva lineal elástica casi se superpone variando solo en sus valores de carga de fisura y carga de fluencia en 8% y 1% respectivamente como se puede apreciar en la tabla 45. No obstante es importante también resaltar que hasta el instante de carga de fluencia, el tiempo que se tardó en ambas piezas son de 3.50min y 3.30min mostrándose una pequeña diferencia, pero siempre la viga A de tipo 1 demorándose más para alcázar esta carga.

Algo muy interesante se observa en la curva de la viga C1 y A5 posterior al instante de carga ultima, en la zona inelástica, que en primera instancia las vigas tienen una diferencia en su valor de carga de aproximadamente 2 ton que representa un 14.40% de variación; la gran diferencia radica en que después de que las dos vigas fallaran por flexión, aplastamiento de la cabeza comprimida, la viga A5 continua admitiendo deformaciones y pequeños incrementos de carga; algo que no ocurre en la viga C1, que solo continua admitiendo deformaciones hasta cierto punto, posterior a este instante, el elemento rompe de manera explosiva por la aparición de una grieta inclinada considerable en el lado izquierdo de la viga, la dimensión y posición de la grieta inclinada se observa en la figura 160.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Por consiguiente, la viga A5 es más dúctil que la viga C1 debido a que la viga C rompe de manera explosiva y ya no admite deformaciones, mientras que la viga A5 sigue admitiendo pequeños incrementos de carga, y más aún deformaciones.

Figura 160. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A5 y V-C1



Fuente: Elaboración Propia.

Del mismo modo si pasamos a comparar la configuración de las fisuras como se muestra en la figura 160. Como ya se mencionó las fisuras más críticas son las que se acercan más a los apoyos, ya que en esta zona, el elemento es más vulnerable a esfuerzos de corte, y por ende a desarrollarse una fisura considerable en esta zona. Es así que debido a que la viga C1 cuenta con una separación de estribos mayor a la separación de diseño por Norma, y que por esta razón la grieta que apareció en la zona crítica no tuvo elemento de refuerzo vertical que evite el progreso, generándose así una grieta diagonal a 5.39cm del apoyo izquierdo que causó una rotura explosiva, esto se observa en la parte izquierda de la viga C1.

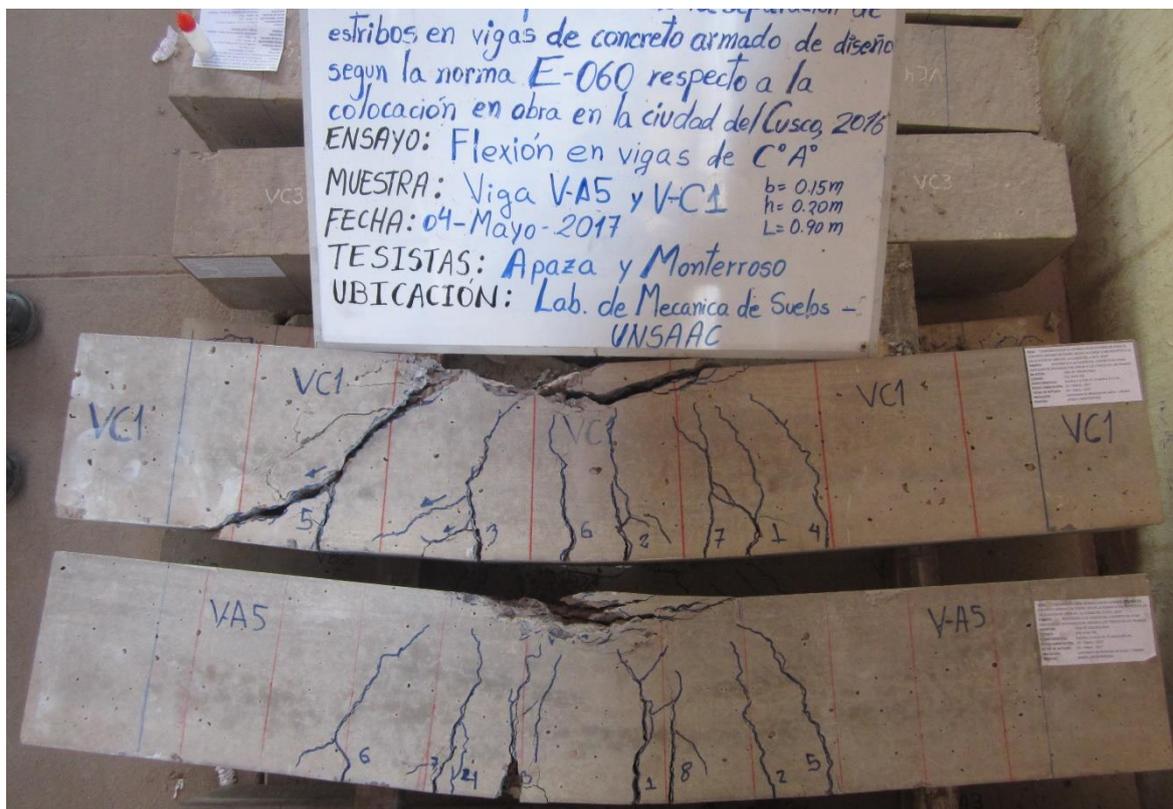
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Por lo contrario en la viga A5 de la misma figura muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo es de aproximadamente 21.13cm, un distancia considerable que permitió al elemento desarrollar sus capacidades máximas sin generarse una rotura explosiva.

Además se observa que la longitud aplastada de la cabeza comprimida de la viga C1 es más grande que la que se presenta en la viga A5.

Debido a esto; colocando una cantidad adecuada de acero transversal y de acuerdo al diseño, es posible minimizar los efectos de la grieta antes de alcanzar la posición de apoyo, que en lo posterior sería perjudicial para el elemento estructural, como es el caso de la viga C1 con una separación de estribos de 15cm.

Figura 161 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A5 y V-C1



Fuente: Elaboración Propia.

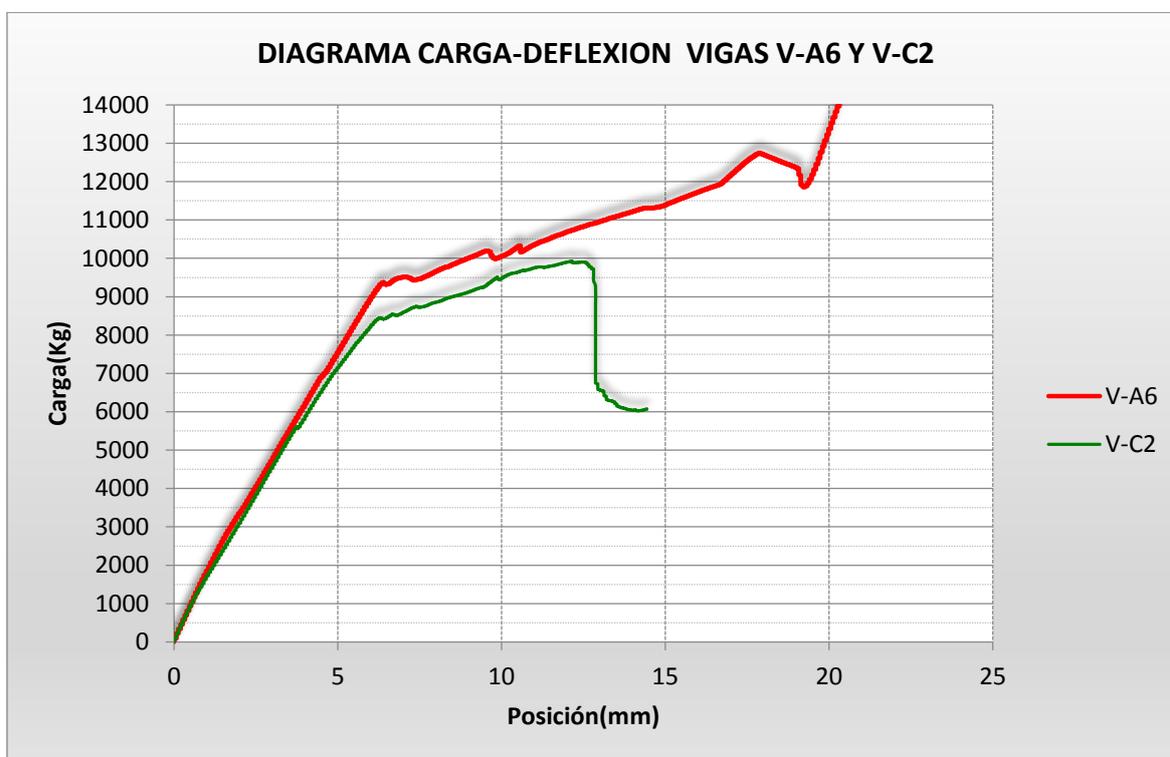
En definitiva no está de más mencionar que la viga C1 falla en algún momento por corte, mientras que la viga A5, el único tipo de falla que presenta es una falla por flexión. Además de que el tiempo para que la viga V-A5 llegue a su carga última fue de 12 min; mientras que de la viga V-C1 para llegar a la primera falla fue de aproximadamente de 10min.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.3.3.2.2. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A6 Y V-C2:

La segunda comparación de la serie 2 se realizó mediante las vigas V-A6 y V-C2 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 15.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 214 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 162. Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A6 y V-C2



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A6 y V-C2.

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 02 (A6-C2)		
	f'c=214		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	15.0	76.47
CARGA M _{fisura} (tn)	2.718	2.215	-18.51
CARGA M _{fluencia} (tn)	9.359	8.452	-9.69
CARGA M _{ultima} (tn)	12.743	9.837	-22.80
DEFLEXION _{fisura} (mm)	1.57	1.37	-12.74
DEFLEXION _{fluencia} (mm)	6.34	6.34	0.00
DEFLEXION _{ultima} (mm)	17.90	12.67	-29.22
ENERGIA ABSORBIDA ensayo (kg.m)	151.81	85.40	-43.75

Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

La tabla 46 muestra los valores experimentales de las vigas A6 y C2, es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas en los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

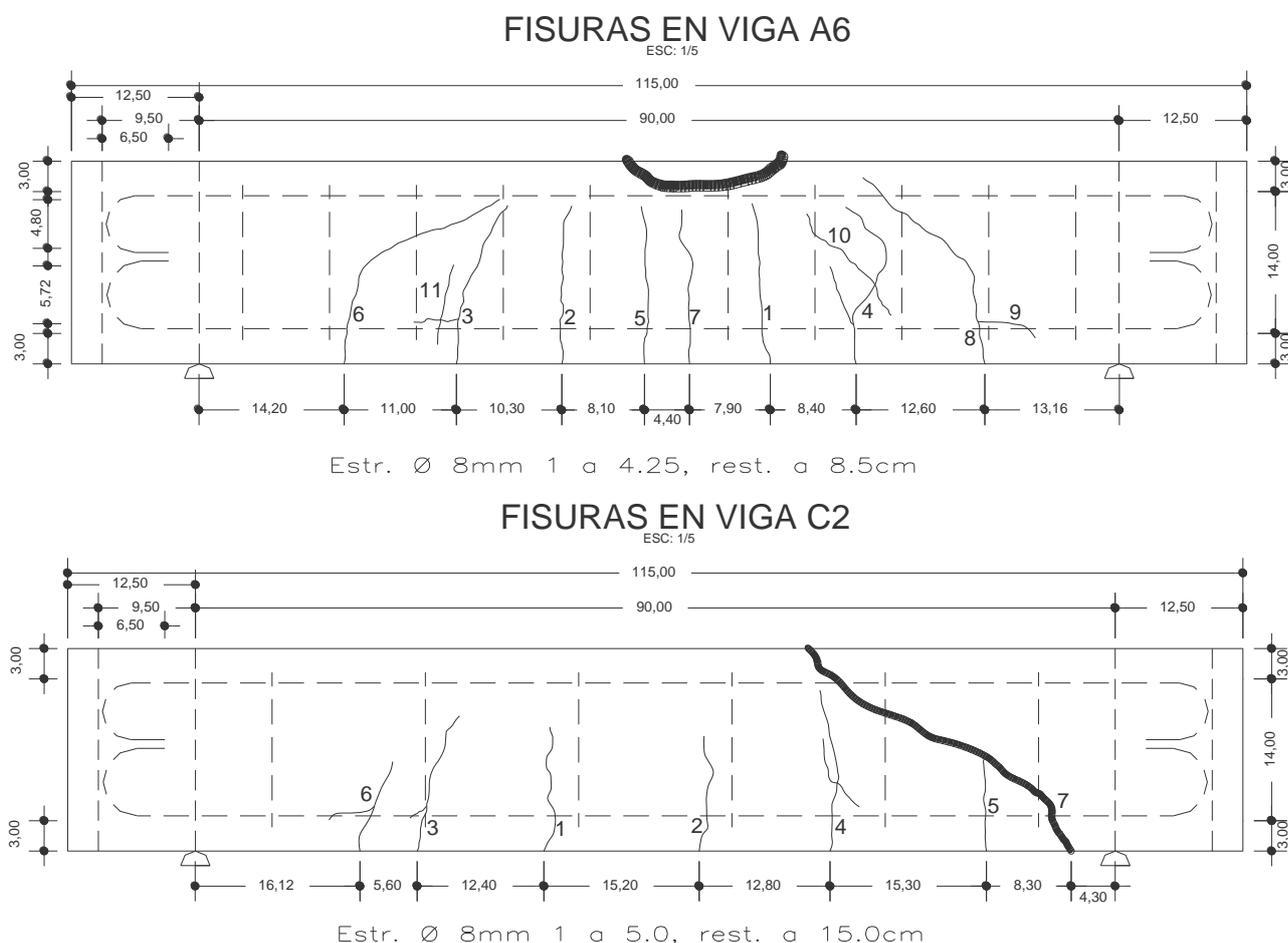
Cuando se compararan las dos curvas de respuesta como se muestra en los diagramas de la figura 162, se observa que hay nuevamente una coincidencia de la zona elásticamente lineal con una pendiente casi similar, solo variando en la carga del límite de esta zona denominado fluencia en un 10%.

Posterior a la zona elástica en ambas curvas se nota una diferencia importante en su comportamiento, se observa notoriamente que la viga C2 en su zona inelástica admite incrementos de carga y desplazamiento hasta cierto punto, exactamente hasta el intervalo de 12.67mm ,9.8ton respectivamente, posterior a este instante la viga falla explosivamente de manera frágil, por lo contrario ocurre en la viga A6, que debido a la separación más estricta de los estribos, absorben el cortante de una manera más homogénea dentro de la zona más crítica, haciendo esto que el elemento no falle, y en lo siguiente , siga admitiendo carga y deformación más que la viga C2.

Por consiguiente, la viga A6 es más dúctil que la viga C2 debido a que la viga C rompe de manera explosiva y frágil, como corresponde a una rotura por corte, y ya no admite deformaciones, mientras que la viga A6 sigue admitiendo pequeños incrementos de carga, y más aún deformaciones.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 163. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A6 y V-C2



Fuente: Elaboración Propia.

De igual manera cuando se pasa a comprar la distribución de las fisuras, existe una gran diferencia entre ambas configuraciones, en la figura 163 se observa con detalle la cantidad, espesores y distancias críticas de la fisura al apoyo; en la viga A6 solo se presentaron fisuras por flexión en el tercio central, una gran cantidad de fisuras con pequeño espaciamiento entre ellas, además de que ninguna produjo una fisura diagonal considerable, esto debido a que los estribos que también están representados en la figura adsorbieron el corte producto de la carga, esto se nota en los extremos de la viga, donde las fisuras en estas zonas fueron minimizadas e interrumpidas en su crecimiento.

Por lo contrario se observa en la viga C2, que debido a una separación mayor en relación a la viga de comparación, este elemento presentó en el lado derecho una fisura diagonal considerable, que en el tiempo que fue sometida la pieza a carga no hubo ningún elemento vertical que evitara su progreso, es así como la norma lo indica “una fisura diagonal inclinada

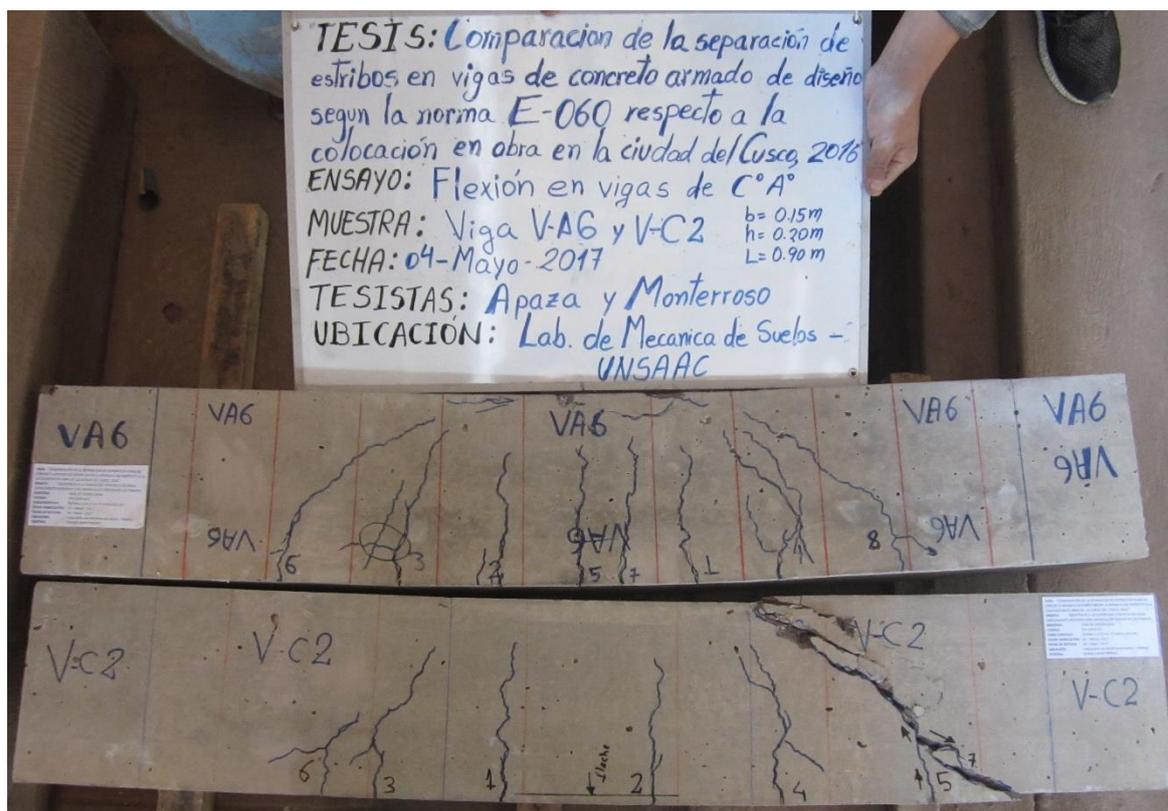
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

considerable debe ser interceptada por lo menos por un estribo antes de que el progreso de la fisura abarque los $d/2$ de una longitud horizontal, si no se cumpliera esto, el elemento sería susceptible a que se genere una grieta considerable”. Por lo dicho la viga V-C2 falla de manera frágil, correspondiente a una rotura por corte.

Además se observa que la viga de prueba C2 no presentó un aplastamiento de la cabeza comprimida, es decir que la grieta inclinada causó el colapso, antes de que se alcance la resistencia del concreto, y debido a esto no se presentaron las deformaciones esperadas, siendo mucho menores que la viga A6, teniendo una variación de un orden de 30%.

Por lo expuesto se concluye que, colocando una cantidad adecuada de acero transversal y de acuerdo al diseño, es posible minimizar los efectos de la grieta antes de alcanzar la posición de apoyo, que en lo posterior sería perjudicial para el elemento estructural, como es el caso de la viga C2 con una separación de estribos de 15cm.

Figura 164. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A6 y V-C2



Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente se observa en la figura 164 que en la viga C2 se presenta una fisura considerable debido a cortante en esta zona y aparece cerca al apoyo, con una trayectoria en diagonal de 45° aproximadamente provocando la falla repentina debido a la compresión que genera el

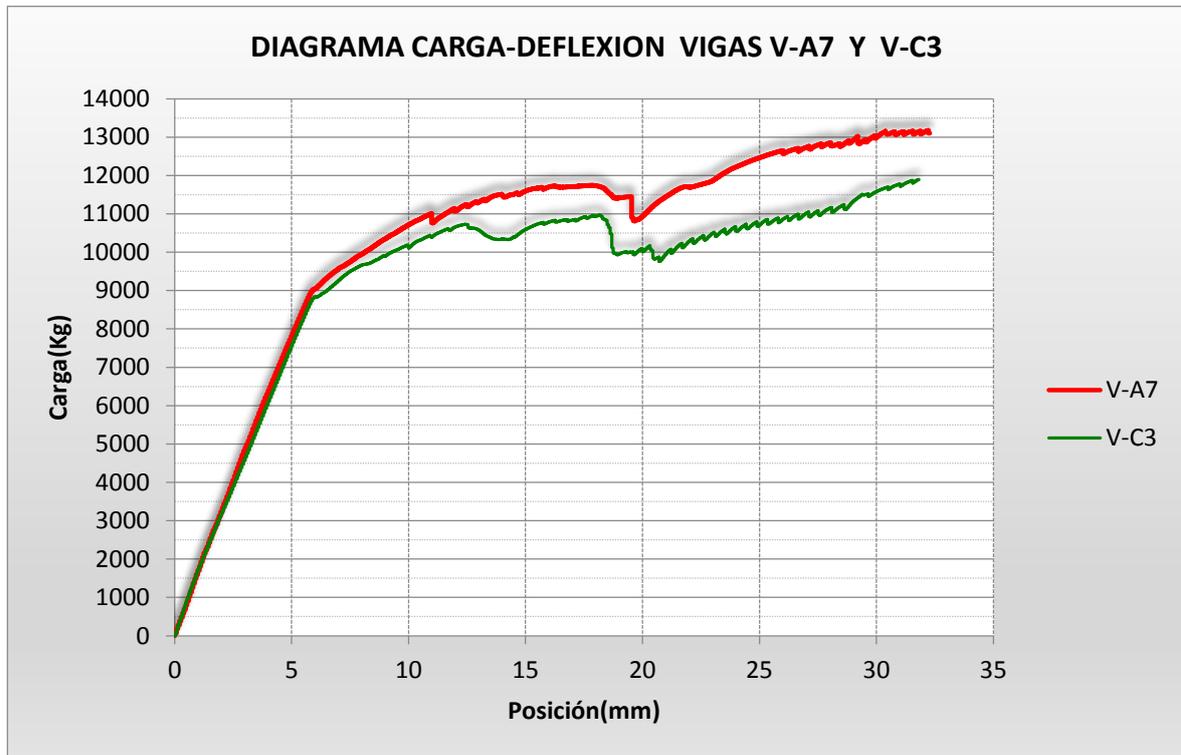
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

cortante. Este último es un fenómeno difícil de predecir o determinar en qué lado ocurrirá, sin embargo, es posible minimizarlo reforzando la zona en donde existen corte apreciable adecuadamente y de acuerdo al diseño mediante el refuerzo transversal en forma de estribos.

6.3.3.2.3. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A7 Y V-C3:

La tercera comparación de la serie 2 se realizó mediante las vigas V-A7 y V-C3 que son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 15.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. No obstante se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 212 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 165 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A7 y V-C3



Fuente: Elaboración Propia.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 47. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A7 y V-C3

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 03 (A7-C3)		
	f'c=212		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	15.0	76.47
CARGA Mfisura (tn)	2.242	2.316	3.30
CARGA Mfluencia (tn)	8.972	8.823	-1.66
CARGA Multima (tn)	13.116	10.873	-17.10
DEFLEXION fisura (mm)	1.37	1.44	5.11
DEFLEXION fluencia (mm)	5.88	5.95	1.19
DEFLEXION ultima(mm)	19.53	18.36	-5.99
ENERGIA ABSORBIDA ensayo (kg.m)	170.21	149.83	-11.97

Fuente: Elaboración Propia

Luego de ser sometidas a carga hasta la rotura las vigas en comparación, se obtuvieron valores experimentales de las vigas V-A7 y V-C3 mostrados en la figura 165 y tabla 47 es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas de los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

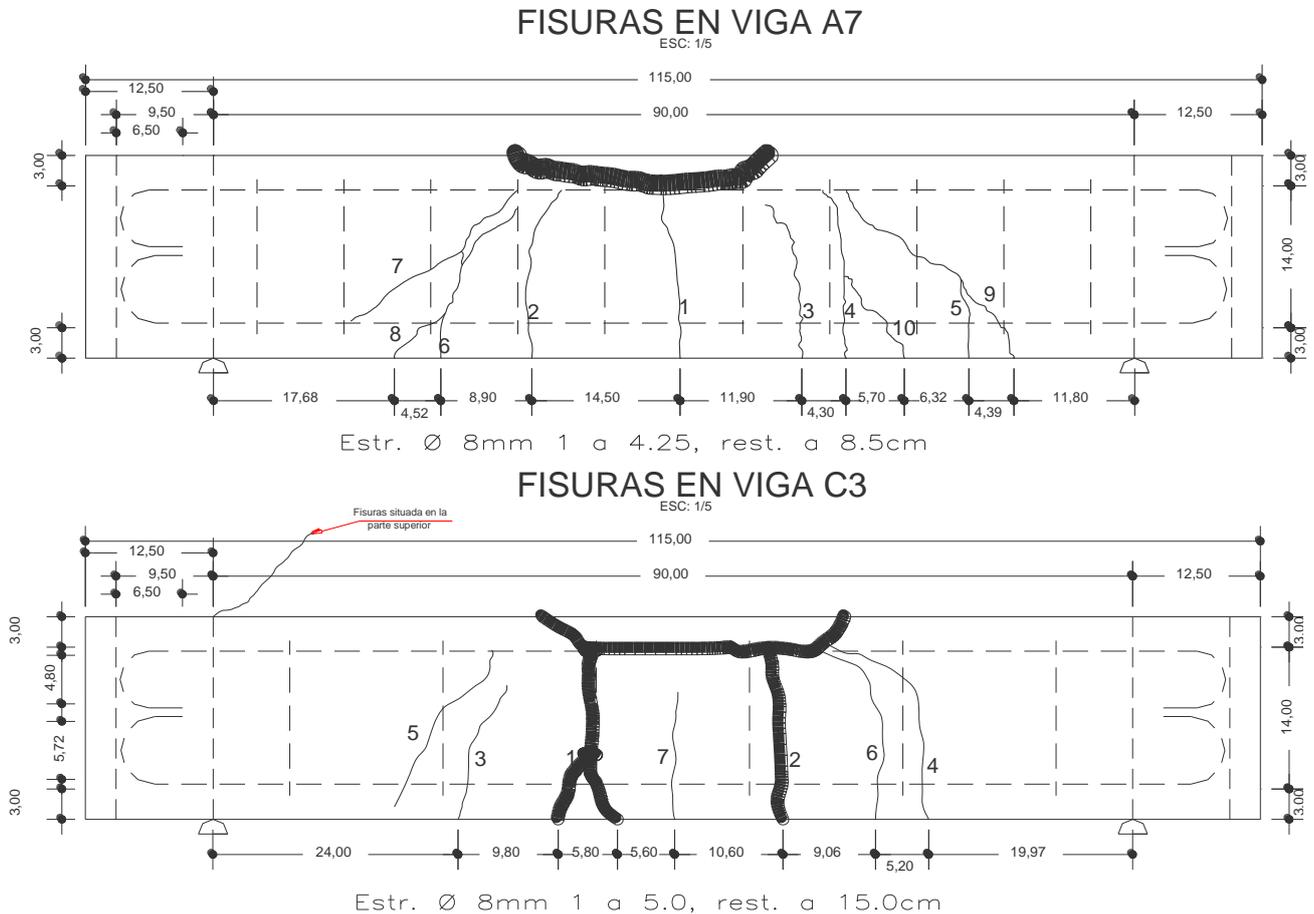
Como ya se había observado y señalado, las vigas en comparación tienen un comportamiento similar hasta la carga de fluencia, representada como el límite de la zona elástica lineal, esta superposición de líneas se observa en la figura 165, solo tendiendo a variar en su valor de la cargas de fluencia y deflexión en un 1% aproximadamente en ambos parámetros.

Posterior a la zona elástica en ambas curvas se nota una diferencia importante en su comportamiento, se observa notoriamente que en la viga C3 en su zona inelástica admite incrementos de carga y desplazamiento al igual que la viga A7, pero en la viga de prueba que tiene una separación de estribos de 15.0 cm existe una reducción en la carga y deflexión ultima aproximadamente de 3 ton y 2mm, que representa un 17.10 y 6 % de variación respectivamente.

Se observa también que a diferencia de las anteriores comparaciones de esta serie, ambas vigas luego de la falla siguieron admitiendo carga y deformaciones, algo que no ocurrió en las anteriores, donde las vigas de tipo C, fallaron en algún momento de manera explosiva, correspondiente a una falla por corte.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 166 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A7 y V-C3



Fuente: Elaboración Propia

La figura 166 muestra la configuración de fisuras luego se ser sometidas a carga ambas viga, teniéndose para la viga A7 una mayor cantidad y distribuida de manera homogénea y simétrica, mientras que en la viga C3 sucede algo inesperado, que en el proceso de aplicación de carga aparece una fisura en la parte superior del punto de apoyo, esto debido principalmente a una concentración de esfuerzos localizados en esta zona, que hicieron en lo posterior que el anclaje y la adherencia en este punto quede susceptibles a fallar, que causó la aparición de una fisura transversal al plano de apoyo, y esto hizo que los esfuerzos grandes que soportaba el concreto en esta parte, además de no tener una elemento de refuerzo que ayude a soportar el corte, quede distribuido en otras partes no estimadas que atribuyeron al

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

elemento una mayor capacidad de resistencia.; además se intuye que lo sucedido se debe a una mala posición de los puntos de aplicación de cargas o de los apoyos.

Figura 167 Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A7 y V-C3



Fuente: Elaboración Propia

La apariencia final de las vigas en comparación se muestra en la figura 167 observándose que la viga A7 con una separación de estribos de 8.5cm diseñada según criterios de la Norma, la respuesta en su comportamiento se caracterizan por tener fisuras más delgadas que en la viga elaborada con una separación de estribos de 15.00cm, esto debido a que las separación más corta del refuerzo transversal absorbe mayor fuerza cortante minimizando de un modo u otro el ancho de las fisuras.

Finalmente cabe mencionar que las dos vigas fallaron por aplastamiento del concreto en el tercio central de la parte superior. Las causas previstas se explicaron en párrafos anteriores. Además que el tiempo para que la viga V-A7 llegue a su carga última fue de 12 min; mientras que de la viga V-C3 para llegar a este intervalo de carga y deflexión ultima, tuvo que pasar aproximadamente 11min. Se pudo notar también que en el mismo tiempo que se paró el

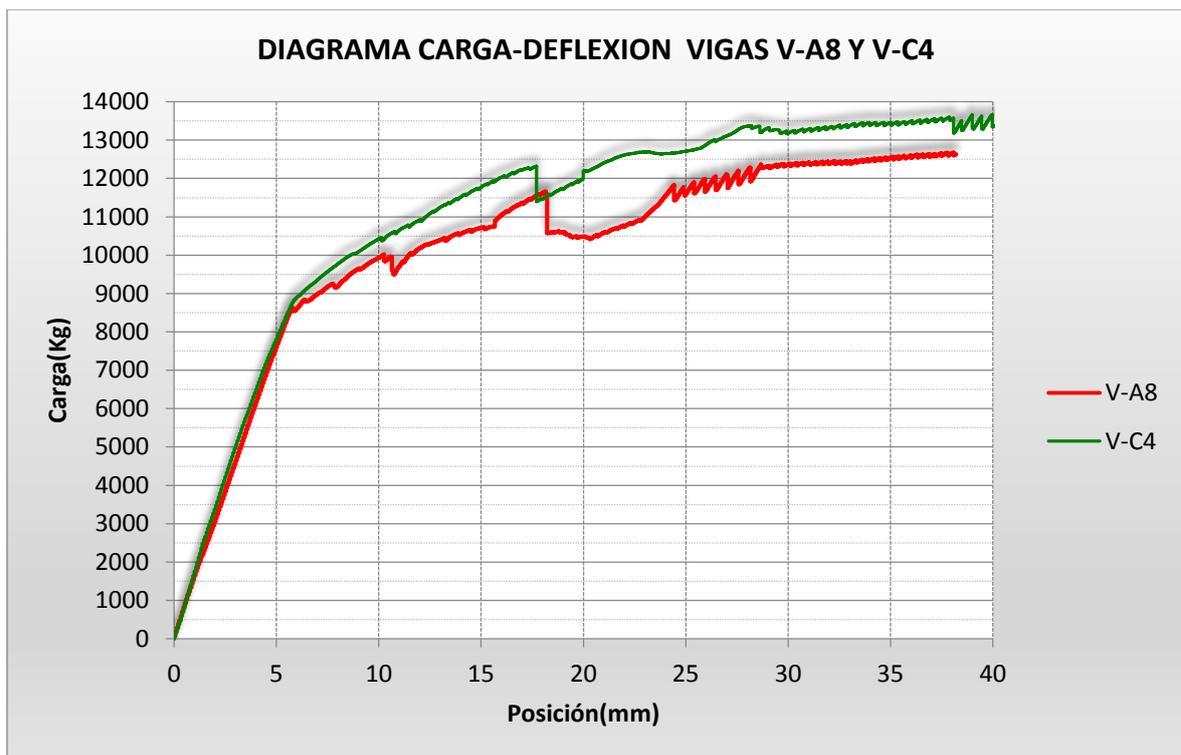
“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

ensayo a los 19min se ve que la viga A7 tuvo una mayor carga de 13116 kg, mientras que la otra a ese mismo tiempo solo tubo 11189kg, demostrándose así después de todo, que la viga del tipo 1 tiene una deformación y carga mayor para un mismo tiempo.

6.3.3.2.4. COMPARACION ENTRE LAS VIGAS V-A8 Y V-C4:

Por último se realizó una cuarta comparación de la serie 2 mediante las vigas V-A8 y V-C4, que del mismo modo de las anteriores son similares en todos sus características, solo variando en la separación de estribos de 8.5 cm hallada según diseño y de 15.00cm distancia que fue redondeada empíricamente en relación a la distancia de diseño. Además se debe mencionar que dichas vigas fueron elaboradas con el mismo concreto de la misma tanda, que según las briquetas se obtuvo 220 kg/cm² en promedio de los tres especímenes.

Figura 168 Comparación de diagramas de carga – deflexión de vigas V-A8 y V-C4



Fuente: Elaboración Propia

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Tabla 48. Comparación de resultados obtenidos de las vigas V-A8 y V-C4

PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 04 (A8-C4)		
	f'c=220		% variacion
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	15.0	76.47
CARGA Mfisura (tn)	2.321	2.439	5.08
CARGA Mfluencia (tn)	8.671	8.876	2.36
CARGA Multima (tn)	11.635	12.268	5.44
DEFLEXION fisura (mm)	1.5	1.37	-8.67
DEFLEXION fluencia (mm)	6.08	5.95	-2.14
DEFLEXION ultima(mm)	18.03	17.51	-2.88
ENERGIA ABSORBIDA ensayo (kg.m)	145.91	125.57	-13.94

Fuente: Elaboración Propia

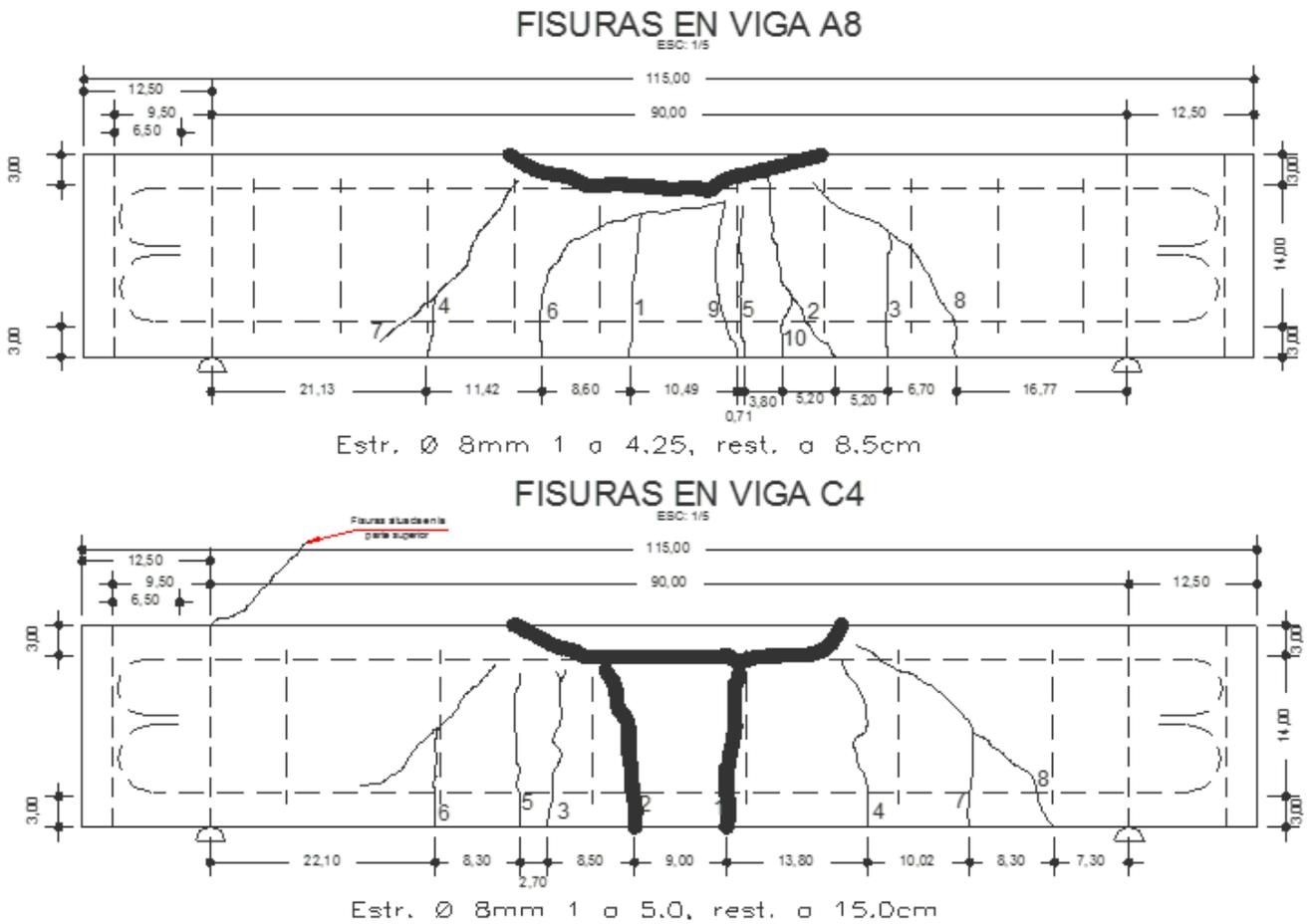
Al igual que las comparaciones anteriores de la serie, luego de ser sometidas a carga, se obtuvieron valores experimentales de las vigas V-A8 y V- C4 mostrados en los diagramas de la figura 168 y tabla 48 es decir valores del comportamiento real del elemento ante cargas aplicadas, como valores numéricos de las cargas de los límites de cada fase que pasa el elemento, así como los desplazamientos en cada instante de carga, además de la energía absorbida en el ensayo.

Nuevamente las vigas en comparación tienen un comportamiento similar hasta la carga de fluencia, representada como el límite de la zona elástica lineal, esta superposición de líneas se observa en la figura 168, solo tendiendo a variar en su valor de la cargas de fluencia y deflexión en 2% aproximadamente en ambos parámetros.

Posterior a la zona elástica en ambas curvas, a diferencia de lo expuesto y mostrado en la anterior comparación los comportamientos son casi similares variando solo en un +-5% en promedio de todos los parámetros.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

Figura 169. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A8 y V-C4



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 169 se muestra la configuración de fisuras luego de ser sometidas a carga ambas vigas, teniéndose para la viga A8 un mayor cantidad y distribuida de manera homogénea y casi simétrica con un ancho moderado entre las fisuras al pasar estas el eje neutro de la sección, mientras que en la viga C4 al igual que la comparación anterior sucede algo interesante, que en el proceso de aplicación de carga aparece una fisura en la parte superior del punto de apoyo, esto debido principalmente a una concentración de esfuerzos localizados en esta zona, que hicieron en lo posterior que el anclaje y la adherencia en este punto quede susceptibles a fallar.

La concentración de esfuerzos en zonas inesperadas se tradujo luego en la aparición de una fisura transversal al plano de apoyo, y esto hizo que los esfuerzos grandes que soportaba el concreto en esta parte debido a que no se tenía un elemento de refuerzo que ayude a soportar el corte, quede distribuido en otras partes no estimadas, que atribuyeron al elemento una

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

mayor capacidad de resistencia.; además se intuye que lo sucedido se debe a una mala posición de los puntos de aplicación de cargas o de los apoyos.

Asimismo no está de más mencionar que en la viga A8 de la figura mencionada se muestra las longitudes de separación entre fisuras, donde la menor dimensión entre la fisura más alejada del tercio central y el apoyo externo es de aproximadamente 16.77cm, llegando apenas a la zona crítica de corte, mientras que en la viga C4 la menor dimensión es 7.30 cm, distancia mucho menor a la viga de comparación.

Figura 170. Comparación gráfica de fisuras de vigas V-A8 y V-C4



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente a pesar que las dos vigas en comparación, fallaron por aplastamiento del concreto en la cabeza comprimida, la viga V-C4 presento fisuras más inclinadas y más cerca a los apoyos, que en lo posterior esto se traduce en una falla por compresión por corte, no obstante la viga A8 las fisuras se encuentran concentradas en la parte central, haciendo que el elemento tenga grandes deflexiones y presente una falla dúctil más limpia. Además de que el tiempo para que la viga V-A8 llegue a su carga última fue de 11 min; mientras que de la viga V-C4 para llegar a este intervalo de carga y flexión ultima, tuvo que pasar aproximadamente 10.50 min.

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

6.3.3.3. CUADROS DE RESUMEN DE RESULTADOS DE COMPARACION:

Tabla 49. Cuadro de resumen de comparación de las vigas modelo de la serie 1

CUADRO COMPARATIVO DE LA SERIA 1												
PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 01 (A1-B1)			COMPARACION 02 (A2-B2)			COMPARACION 03 (A3-B3)			COMPARACION 04 (A4-B4)		
	f_c=228	% variacion		f_c=221	% variacion		f_c=229	% variacion		f_c=218	% variacion	
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	10.0	17.65									
CARGA M _{fisura} (tn)	2.328	2.214	-4.90	2.543	2.353	-7.47	2.899	2.784	-3.97	2.499	2.601	4.08
CARGA M _{fluencia} (tn)	9.586	8.822	-7.97	10.012	9.023	-9.88	9.547	9.305	-2.53	9.533	9.615	0.86
CARGA M _{ultima} (tn)	12.908	11.384	-11.81	11.862	11.314	-4.62	11.597	11.99	3.39	13.034	13.256	1.70
DEFLEXION fisura (mm)	2.68	1.24	-53.73	1.7	1.31	-22.94	1.83	1.57	-14.21	1.76	1.83	3.98
DEFLEXION fluencia (mm)	7.84	6.27	-20.03	6.40	5.62	-12.19	6.21	5.75	-7.41	6.21	6.21	0.00
DEFLEXION ultima(mm)	22.02	18.23	-17.21	19.47	19.08	-2.00	15.94	15.61	-2.07	19.67	16.40	-16.62
ENERGIA ABSORBIDA ensayo(kg.m)	191.78	151.13	-21.19	175.27	163.93	-6.47	131.58	130.86	-0.55	176.01	143.59	-18.42

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50. Cuadro de resumen de comparación de las vigas modelo de la serie 2

CUADRO COMPARATIVO DE LA SERIA 2												
PARAMETROS DE COMPARACION	COMPARACION 01 (A5-C1)			COMPARACION 02 (A6-C2)			COMPARACION 03 (A7-C3)			COMPARACION 04 (A8-C4)		
	f_c=214	% variacion		f_c=214	% variacion		f_c=212	% variacion		f_c=220	% variacion	
SEPARACION DE ESTRIBOS	8.5	15.0	76.47									
CARGA M _{fisura} (tn)	2.619	2.548	-2.71	2.718	2.215	-18.51	2.242	2.316	3.30	2.321	2.439	5.08
CARGA M _{fluencia} (tn)	8.972	8.596	-4.19	9.359	8.452	-9.69	8.972	8.823	-1.66	8.671	8.876	2.36
CARGA M _{ultima} (tn)	12.969	11.102	-14.40	12.743	9.837	-22.80	13.116	10.873	-17.10	11.635	12.268	5.44
DEFLEXION fisura (mm)	1.5	1.37	-8.67	1.57	1.37	-12.74	1.37	1.44	5.11	1.5	1.37	-8.67
DEFLEXION fluencia (mm)	5.68	5.62	-1.06	6.34	6.34	0.00	5.88	5.95	1.19	6.08	5.95	-2.14
DEFLEXION ultima(mm)	19.60	18.23	-6.99	17.90	12.67	-29.22	19.53	18.36	-5.99	18.03	17.51	-2.88
ENERGIA ABSORBIDA ensayo (kg.m)	177.72	149.75	-15.74	151.81	85.40	-43.75	170.21	149.83	-11.97	145.91	125.57	-13.94

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Las vigas de tipo 1 tienen mayor ductilidad que las vigas de tipo 2 y 3.
- El refuerzo transversal en forma de estribos es muy eficaz mientras se siga estrictamente las longitudes de separación de diseño. En las vigas donde está prevista la rotura por flexión se produce esta, sin fallar a corte, mientras que en las vigas que son redondeadas dichas distancias de separación tienen un comportamiento no esperado, y es más susceptible a generarse fisuras inclinadas considerables, y posteriormente producirse una falla frágil, que corresponde a una falla por corte.
- Al aumentar un 17.65% en la distancia de separación de diseño, se genera una disminución en la carga ultima y en la deflexión, pero no en la misma proporción.
- Las vigas reforzadas con estribos a 8.5 cm fallan a flexión y de manera dúctil, por aplastamiento del concreto en el tercio central de la parte superior del elemento, siendo las grietas casi verticales, sin mucha inclinación; mientras que las vigas con una distancia de separación de estribos redondeadas empíricamente a 15 cm, fallan en la mayoría por tracción diagonal, con una inclinación de la grieta más crítica, aproximadamente en 45°, generando esto una falla explosiva.
- Para ambas vigas de la serie 1 la armadura traccionada se encontraba en su región plástica. lo que demuestra la ductilidad en ambas vigas.
- La presencia de refuerzo transversal en forma de estribos estrictamente colocado de acuerdo al diseño o redondeado a una distancia mayor a ella no influye en la capacidad de resistir cargas ni desplazamientos antes de que el acero longitudinal en tracción alcance la fluencia, sin embargo, posterior a ella el refuerzo transversal toma un papel importante en la capacidad para resistir mayores deformaciones, por ende es evidente que ayuda al elemento a tener una ductilidad adecuada.
- El refuerzo transversal en forma de estribos colocados estrictamente según diseño permite que en el elemento se desarrolle un múltiple agrietamiento, y este se reduce conforme se aumente el porcentaje de separación de estribos.
- El aumento empírico de la longitud en la separación de estribos de diseño, modifica la formación, propagación y tamaño de las fisuras. Lo observado en los ensayos

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

permite indicar que cuando se aumenta en un 17.65% la distancia de separación de estribos al momento de elaborar las vigas de prueba, se presentan fisuras más notorias y críticas, siendo la distancia promedio de 9.80cm entre la fisura más alejada del eje vertical del elemento al punto de apoyo. Donde se sobrepase la zona denominada “zona critica de corte”, representada por una distancia igual a la mitad del peralte útil de la sección, que en este caso es 17.00cm

Todas o la gran mayoría de las vigas al aumentar la separación de estribos con respecto a la separación de diseño, la distancia “d” queda reducida y aparecen en gran medida las llamadas fisuras diagonales.

- El aumento de la separación de estribos en cualquier porcentaje, no modifica de gran manera las dos primeras zonas de comportamiento de la vigas variando solo en un orden de 5% en promedio, tanto la carga de fisuración, carga de fluencia y sus respectivos desplazamiento; mientras que variando en un 17.65% la separación de estribos de diseño, se produce un 8.20% de reducción en la resistencia ultima.; y cuando se aumenta en un 76.00% La separación de diseño, la resistencia ultima disminuye en un 18.10 %. Esto sucede debido a que a bajos niveles de esfuerzo en el concreto, la participación del refuerzo transversal es casi nula, por lo contrario el concreto queda confinado cuando a esfuerzos que se aproximan a la resistencia de fluencia o que sobrepasan este valor de fluencia, las deformaciones transversales se hacen muy elevadas debido al agrietamiento interno progresivo y el concreto se apoya contra el refuerzo transversal, y este aplica una reacción de confinamiento al concreto; por ende se podría decir que el refuerzo transversal en forma de estribos proporciona un confinamiento pasivo a la sección.
- El comportamiento de una viga es muy difícil de predecir, y mucho más difícil es lograr muestras idénticas en todos sus características estructurales o mecánicas, el comportamiento de todas las muestras a pesar que fueron elaborados con todos los cuidados posibles, según recomendaciones de elaboración de muestras para ser ensayadas en laboratorio, varían de un modo u otro, debido a factores externos como son el clima, temperatura, traslado, etc. Es por eso que no se obtuvieron resistencias iguales en cada tipo de viga.
- La resistencia a las cargas aplicadas se puede observar en cada una de las gráficas, para la obtención de las cargas teóricas se utilizaron fórmulas matemáticas y

“COMPARACION DE LA SEPARACION DE ESTRIBOS EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA E-060 RESPECTO A LA COLOCACION EN OBRA EN LA CIUDAD DEL CUSCO, 2016”

elaboración de diagramas, pero a partir de un estado de fisuración avanzado hasta el límite de fluencia, estas expresiones dejan de ser operativas por la drástica reducción de la rigidez; del mismo modo el concreto a partir de una carga o momento de fisuración alcanza discrepancias significativas respecto a la deflexión teóricas del elemento, por lo que se decide no considerar como un factor de comparación entre el teórico y la deflexión experimental.

Asimismo se llega a la conclusión que las fórmulas matemáticas, solo están limitadas a analizar la viga hasta el momento de fisuración, entonces la fórmula que se considera cuando la inercia efectiva es determinada con el momento de fluencia, este coincide con la deflexión experimental al que pertenece al momento de fisuración.

- Todas las vigas del tipo 1 y del tipo 2 dan indicios de fluencia del acero longitudinal, antes de que se llegue a la resistencia del concreto, este falle por aplastamiento de la cabeza comprimida, mientras que en las vigas de tipo 3, como en las V-C1 y C2 sucede lo contrario, la resistencia del concreto y su aporte máximo sucede antes que la fluencia del acero se presente.
- El tiempo de duración hasta la falla de las vigas tipo 1 es en promedio 2 min mayor que las vigas tipo 2 y tipo 3, demostrándose con esto, que cuando se elaboran las vigas reforzadas con estribos y se separan estos elementos de acuerdo a una dimensión de diseño, lo logra tener una mayor capacidad de ductilidad que se traduce en un mayor tiempo de vida útil, ante una aplicación de carga considerable.
- En la segunda serie de comparaciones se obtuvieron comportamientos lineales hasta la carga de fluencia como se supuso, pero mientras que las vigas de tipo C muestran muy poca ductilidad, las vigas de tipo 1 experimentan grandes desplazamientos hasta falla y posterior a ella.
- El esfuerzo de flexión en las vigas de concreto armado para que ocurra las primeras fisuras por tracción en la parte inferior del elemento, es en promedio un 15.24% de la resistencia a la compresión del concreto f'_c .

7.2. RECOMENDACIONES

- Para ensayos futuros, si se desea desarrollar su mayor capacidad y desempeño de las vigas de prueba, se recomienda ser cauteloso y/o precavido en el dimensionamiento de la longitud de desarrollo, debido a que en los puntos de apoyo de la pieza y cercanos a ellos hay un gran concentración de esfuerzos de tipo cortante, por lo que es necesario elaborarlos con un buen anclaje y considerable longitud de esta misma.
- Debido a que el espaciamiento de los estribos tiene gran influencia en el tamaño y configuración de las fisuras; se recomienda colocar la cantidad de acero transversal adecuada y de acuerdo a diseño, así se garantizará que se minimice los efectos de la grieta crítica antes de alcanzar la posición más cercana a uno de los apoyos.
- Se recomienda la incorporación de elementos de refuerzo o materiales que ayuden al concreto a tener una mayor resistencia a tensión, y así tengan un mayor aumento en su zona elástica de comportamiento.
- Ensayar más especímenes con diferentes separaciones de estribos y con diferentes inclinaciones, para probar la efectividad de estos dos tipos de refuerzo en la reducción de la grieta diagonal principal que se origina cerca a los apoyos.
- Se debe estudiar más el problema de adherencia ensayando diferentes sistemas de anclaje, así como también el uso adecuado de las ecuaciones para diferentes longitudes de anclaje efectivas.
- Finalmente es importante que el ingeniero civil conozca las respuestas y los mecanismos de resistencia presentes en un elemento de concreto armado sujeta a diferentes solicitaciones, por ende se recomienda realizar más estudios experimentales generando modelos, donde se represente cada vez más con mayor precisión a lo real.

LINEAS DE INVESTIGACION FUTURA.

- Queda como labor para el interesado mejorar las condiciones de prueba y el detallado de los especímenes, con el fin de representar en forma más real al elemento estudiado, y así obtener mejores resultados en los experimentos; así como la búsqueda de geometrías a escala que puedan representar mejor el comportamiento de las vigas.
- La utilización de materiales a escala reducida, es incierta en nuestra realidad, es por ende que se deberían realizar trabajos donde, se pueda obtener resultados que ayuden a la determinación sus propiedades, y que en lo posterior puedan ser usadas en modelos a escala reducida, como es el caso de una dosificación de microconcretos utilizando los materiales disponibles en nuestra región y analizar sus propiedades.
- Estudiar la influencia del refuerzo longitudinal a compresión, en la ductilidad de una viga con la utilización de modelos teóricos, como el diagrama momento curvatura.
- Estudiar el comportamiento a corte pura del concreto reforzado. (ensayo push off para la estimación del comportamiento ante corte directo de un material, mediante la determinación de la carga aplicada y la apertura de la grieta, generado planos de corte y dando al espécimen).

BIBLIOGRAFÍA

- Harmesen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima: Fondo.
- Fenwick, R. C., & Paulay, T. (1968). *Mecanismos de Resistencia al corte en Vigas de Hormigon*. ASCE, 25-50.
- Gonzalez Cuevas , O. M. (2005). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado*. Mexico D.F: Limusa.
- Jiménez, M. (2000). *Hormigon Armado*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- McCormac, J., & Brown, R. (julio 2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. Mexico D.F.: Alfaomega.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Santafe de Bogota, Colombia: McGRAW-HLL.
- Ottazi Pasino, G. (2004). *Diseño de Concreto Armado*. Lima.
- Park, R., & Paulay, T. (1988). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Mexico,D.F.: Limusa.
- Pytel, A., & Singer, L. F. (2008). *Resistencia de Materiales*. Mexico, D.F: Alfaomega.
- Reglamento Nacional de Edificaciones*. (2010). lima: Macro E.I.R.L.
- Taylor, H. (1974). *Comportamiento Fundamental de las Vigas de Concreto Armado a Cortante*. ACI, 42, 43-78.
- Walraven, J. C. (1981). *Analisis Fundamental Bloque de agregado*. ASCE, 45-70.

ANEXOS