ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ENSAYO EXPERIMENTAL A MOMENTO NEGATIVO DE LOSAS TIPO DECK EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR A LOS VALLES CON DIFERENTE CUANTÍA DE ACERO DE REFUERZO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS

JUAN FERNANDO CHÁVEZ OLALLA
j_d_e_wey_91@hotmail.com

DIRECTOR: PAÚL GERMÁNICO GACHET GIACOMETTI
paulgachet@hotmail.com

Quito, Marzo 2014

DECLARACIÓN

Yo, Juan Fernando Chávez Olalla, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

JUAN FERNANDO CHÁVEZ OLALLA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Fernando Chávez Olalla, bajo mi supervisión.

_____

ING. ARQ. PAÚL GACHET GIACOMETTI

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A los Ingenieros Paúl Gachet, Patricio Placencia y Jorge Vintimilla por su acertada colaboración y guía.

Al Sr. Roberto Dibujés por su predisposición para trabajar en el laboratorio.

A mi familia por su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mi madre.

CONTENIDO

DECLARACIÓN……..…II

CERTIFICACIÓN……III

AGRADECIMIENTO……..…IV

DEDICATORIA……V

CONTENIDO……VI

ÍNDICE DE CUADROS……..XI

ÍNDICE DE FIGURAS……..XIII

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS……...XVI

RESUMEN……..XVII

ABSTRACT……..…..XVIII

PRESENTACIÓN……...…XIX

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN ……..……1

1.1. OBJETIVOS……..1

1.1.1. OBJETIVO GENERAL……...1

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS……1

1.2. GENERALIDADES DEL DECK……1

1.3. DISEÑO COMPUESTO……..2

1.3.1. VENTAJAS DEL DISEÑO COMPUESTO……2

1.3.2. DISEÑO COMPUESTO A MOMENTO NEGATIVO……...3

1.4. DUCTILIDAD……3

1.5. EQUIPOS DE LABORATORIO……4

1.6. CÓDIGOS DE REFERENCIA……7

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS MATEMÁTIOS Y DISEÑO…..…9

2.1. GENERALIDADES DE DISEÑO……...9

2.2. DISEÑO DE LA LOSA TIPO DECK Y DE LAS VIGUETAS DENTRO DE UNA ESTRUCTURA REAL……...10

2.2.1. HIPÓTESIS DE CARGA……11

2.2.2. DISEÑO DE LA LOSA DE HORMIGÓN TIPO DECK……11

2.2.2.1. DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN DE LA LÁMINA DECK ACTUANDO COMO ENCOFRADO (DEFLEXIÓN CALCULADA CON LA CONDICIÓN DE APOYO DE TRES O MÁS TRAMOS)……..12

2.2.2.2. ESFUERZOS DE TENSIÓN POR FLEXIÓN EN EL SISTEMA NO COMPUESTO (CONDICIÓN DE APOYO DE TRES O MÁS TRAMOS)……..13

2.2.2.3. CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL SISTEMA COMPUESTO……16

2.2.2.4. CONDICIONES DE MOMENTO ÚLTIMO O RESISTENCIA A LA FLEXIÓN……..22

2.2.2.5. DISEÑO POR CORTANTE……24

2.2.2.6. ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN DEL CONCRETO……26

2.2.2.7. DEFLEXIÓN DEL SISTEMA COMPUESTO DECK HORMIGÓN…27

2.2.3. DISEÑO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS……..29

2.2.3.1. SOLICITACIÓN……29

2.2.3.2. DISEÑO DE VIGA SECUNDARIA COMPACTA……31

2.2.3.3. DISEÑO DE VIGA SECUNDARIA NO COMPACTA……..36

2.3. RESISTENCIA DE MATERIALES……..42

2.3.1. ANÁLISIS PLÁSTICO……..44

2.3.1.1. VIGA COMPUESTA 1. SECCIÓN COMPACTA Y MALLA ELECTROSOLDADA……46

2.3.1.2. VIGA COMPUESTA 2. SECCIÓN COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……47

2.3.1.3. VIGA COMPUESTA 3. SECCIÓN COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……47

2.3.1.4. VIGA COMPUESTA 4. SECCIÓN NO COMPACTA Y MALLA ELECTROSOLDADA……48

2.3.1.5. VIGA COMPUESTA 5. SECCIÓN NO COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……49

2.3.1.6. VIGA COMPUESTA 6. SECCIÓN NO COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……50

2.3.2. ANÁLISIS ELÁSTICO……..51

2.3.2.1. VIGA COMPUESTA 1. SECCIÓN COMPACTA Y MALLA ELECTROSOLDADA……54

2.3.2.2. VIGA COMPUESTA 2. SECCIÓN COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……54

2.3.2.3. VIGA COMPUESTA 3. SECCIÓN COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……55

2.3.2.4. VIGA COMPUESTA 4. SECCIÓN NO COMPACTA Y MALLA ELECTROSOLDADA……56

2.3.2.5. VIGA COMPUESTA 5. SECCIÓN NO COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……57

2.3.2.6. VIGA COMPUESTA 6. SECCIÓN NO COMPACTA, MALLA ELECTROSOLDADA Y 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……58

2.3.3. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DE LOS ENSAYOS……59

2.3.4. CONECTORES DE CORTE……..61

CAPÍTULO 3. ENSAYOS EXPERIMENTALES……..64

3.1. CONSTRUCCIÓN DE MUESTRAS……..64

3.1.1. VIGAS DE ACERO……64

3.1.2. DECK……65

3.1.3. ENSAMBLAJE VIGAS DE ACERO Y DECK……66

3.1.4. ENCOFRADO……..67

3.1.5. FABRICACIÓN Y SOLDADURA DE CONECTORES……67

3.1.6. ARMADO DEL REFUERZO DE LAS LOSAS…….... 69

3.1.7. COLOCACIÓN DE LOS STRAIN GAGES (SG)……70

3.1.8. COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN, VIBRADO Y CURADO……..…...71

3.1.9. TRANSPORTE……73

3.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO……73

CAPÍTULO 4. RESULTADOS DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE CARGA…….77

4.1. DESCRIPCIÓN……..77

4.2. ENSAYO 1. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA……78

4.2.1. DESCRIPCIÓN……78

4.2.2. RESULTADOS……79

4.3. ENSAYO 2. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……..83

4.3.1. DESCRIPCIÓN……83

4.3.2. RESULTADOS……84

4.4. ENSAYO 3. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……..88

4.4.1. DESCRIPCIÓN……88

4.4.2. RESULTADOS……90

4.5. ENSAYO 4. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA……94

4.5.1. DESCRIPCIÓN……94

4.5.2. RESULTADOS……96

4.6. ENSAYO 5. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS……..99

4.6.1. DESCRIPCIÓN……99

4.6.2. RESULTADOS……...100

4.7. ENSAYO 6. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS……104

4.7.1. DESCRIPCIÓN……..104

4.7.2. RESULTADOS……..105

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS……..109

5.1. INERCIA EFECTIVA……..109

5.2. DSTRIBUCIÓN REAL DE ESFUERZOS……111

5.2.1. ESFUERZOS ENSAYO 1……111

5.2.2. ESFUERZOS ENSAYO 2……112

5.2.3. ESFUERZOS ENSAYO 3……113

5.2.4. ESFUERZOS ENSAYO 4……114

5.2.5. ESFUERZOS ENSAYO 5……115

5.2.6. ESFUERZOS ENSAYO 6……116

5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS……..117

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……124

6.1. CONCLUSIONES……124

6.2. RECOMENDACIONES……..126

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……128

ANEXOS……130

ANEXO N° 1 FICHA TÉCNICA KUBILOSA……131

ANEXO N° 2 FICHA TÉCNICA STRAIN GAGES……..133

ANEXO N° 3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN……135

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1. U.S. AND EUROPEAN DUCTILITY CLASSES FOR MOMENT RESISTING FRAMES…….....4
CUADRO 2.1. HIPÓTESIS DE CARGA……...11
CUADRO 2.2. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.1…….12
CUADRO 2.3. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.2……..14
CUADRO 2.4. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.3……..16
CUADRO 2.5. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.4……..22
CUADRO 2.6. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.5……..24
CUADRO 2.7. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.6……..26
CUADRO 2.8. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.7……..27
CUADRO 2.9. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.3.1…….31
CUADRO 2.10. DIMENSIONES DE LA VIGA COMPACTA……32
CUADRO 2.11. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DEL ALMA (VIGA COMPACTA)……...32
CUADRO 2.12. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DE LOS PATINES (VIGA COMPACTA)……....34
CUADRO 2.13. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA COMPACTA……...35
CUADRO 2.14. DIMENSIONES DE LA VIGA NO COMPACTA…….....36
CUADRO 2.15. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DEL ALMA (VIGA NO COMPACTA)……..…37
CUADRO 2.16. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA

ESBELTEZ DE LOS PATINES (VIGA NO COMPACTA)……..……38
CUADRO 2.17. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA NO COMPACTA……40
CUADRO 2.18. MUESTRAS A ENSAYAR CON VIGAS COMPACTAS……42
CUADRO 2.19. MUESTRAS A ENSAYAR CON VIGAS NO COMPACTAS……42
CUADRO 2.20. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN COMPUESTA POR VIGA DE ACERO Y LOSA DE HORMIGÓN……44
CUADRO 2.21. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 1……..46
CUADRO 2.22. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 2……..47
CUADRO 2.23. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 3……..47
CUADRO 2.24. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 4……..48
CUADRO 2.25. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 5……..49
CUADRO 2.26. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 6……..50
CUADRO 2.27. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO ELÁSTICO DE LA SECCIÓN COMPUESTA POR VIGA DE ACERO Y LOSA DE HORMIGÓN……52
CUADRO 2.28. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 1……..54
CUADRO 2.29. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 2…..……..54
CUADRO 2.30. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 3……....55
CUADRO 2.31. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 4……..56
CUADRO 2.32. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 5……..57
CUADRO 2.33. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 6……...…58
CUADRO 2.34. DEFORMACIÓN Y GIROS EN LAS VIGAS ENSAYADAS……60
CUADRO 2.35. RESISTENCIA NOMINAL DE LOS CONECTORES……..…62
CUADRO 4.1. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 1……...80
CUADRO 4.2. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 2……...84
CUADRO 4.3. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 3…….....90
CUADRO 4.4. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 4…….....96
CUADRO 4.5. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 5……..101
CUADRO 4.6. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 6…….....105
CUADRO 5.1. RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYOS 1 A 6……...122

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA PLANTEADA PARA DISEÑO Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS……...10
FIGURA 2.2. CONDICIÓN DE APOYO PARA TRES O MÁS TRAMOS Y CARGAS SOBRE EL DECK……..……13
FIGURA 2.3. DISTANCIAS PARA CALCULAR LA INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA FISURADA……..……18
FIGURA 2.4. DISTANCIAS PARA CALCULAR LA INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA NO FISURADA……..……19
FIGURA 2.5. ÁREA CONTRIBUYENTE A CORTE EN LA LOSA DECK……25
FIGURA 2.6. DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN VIGAS SECUNDARIAS (VERDE)……..……..30
FIGURA 2.7. MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS (VERDE)……..30
FIGURA 2.8. DIMENSIONES DE LA VIGA COMPACTA……..32
FIGURA 2.9. DIMENSIONES DE LA VIGA NO COMPACTA……...37
FIGURA 2.10. VISTA ESQUEMÁTICA TRANSVERSAL DE LAS MUESTRAS A ENSAYAR. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE), VARILLAS DE REFUERZO (CIAN), VIGA DE ACERO Y LOSA DECK (NEGRO)……43
FIGURA 2.11. DISTRIBUCIÓN PLÁSTICA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA……..……44
FIGURA 2.12. DISTRIBUCIÓN ELÁSTICA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA……..…52
FIGURA 2.13. MODELOS MATEMÁTICOS DE CORTE Y MOMENTO……59
FIGURA 2.14. DIMENSIONES DEL CONECTOR EN CENTÍMETROS……61
FIGURA 4.1. POSICIÓN DE LOS SG EN LOS ENSAYOS……...78
FIGURA 4.2. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 1. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE)……78
FIGURA 4.3. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 1……79
FIGURA 4.4. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 1…...79
FIGURA 4.5. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 2.

MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)…...83
FIGURA 4.6. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 2……83
FIGURA 4.7. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 2…...84
FIGURA 4.8. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 3.
MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)…...89
FIGURA 4.9. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 3……89
FIGURA 4.10. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 3.....90
FIGURA 4.11. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 4.
MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE)……95
FIGURA 4.12. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 4……95
FIGURA 4.13. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 4.....96
FIGURA 4.14. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 5.
MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)…...99
FIGURA 4.15. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 5……...100
FIGURA 4.16. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 5...100
FIGURA 4.17. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 6.
MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)….104
FIGURA 4.18. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 6……...104
FIGURA 4.19. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 6...105
FIGURA 5.1. INERCIA EFECTIVA VS. CARGA ENSAYOS 1 A 3 (VIGA
COMPACTA)……...109
FIGURA 5.2. INERCIA EFECTIVA VS. CARGA ENSAYOS 4 A 6 (VIGA NO
COMPACTA)……...110
FIGURA 5.3. POSICIÓN DE LOS SG EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS
SECCIONES ENSAYADAS……..111
FIGURA 5.4. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 1……112
FIGURA 5.5. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 2……113
FIGURA 5.6. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 3……114
FIGURA 5.7. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 4……115
FIGURA 5.8. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 5……116
FIGURA 5.9. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 6……117
FIGURA 5.10. COMPARACIÓN DE CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN

ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)……118
FIGURA 5.11. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. CURVATURA ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)……119
FIGURA 5.12. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. GIRO ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)……..119
FIGURA 5.13. COMPARACIÓN DE CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)……120
FIGURA 5.14. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. CURVATURA ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)……121
FIGURA 5.15. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. GIRO ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)……121

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.1. GATO HIDRÁULICO, CELDA DE CARGA, MARCO DE CARGA Y APOYOS……..5
FOTOGRAFÍA 1.2. TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO LINEAL (LVDT)….6
FOTOGRAFÍA 1.3. SG PEGADOS EN LA VIGA DE ACERO……7
FOTOGRAFÍA 1.4. SG PEGADOS EN EL REFUERZO DE LA LOSA……...7
FOTOGRAFÍA 3.1. ARMADO DE LAS VIGAS DE ACERO……..65
FOTOGRAFÍA 3.2. PEDAZO CORTADO DE DECK DE 1MX1M……66
FOTOGRAFÍA 3.3. ENSAMBLAJE DECK Y VIGA DE ACERO……...66
FOTOGRAFÍA 3.4. ENCOFRADO FINALIZADO……....67
FOTOGRAFÍA 3.5. FABRICACIÓN DE CONECTORES……....68
FOTOGRAFÍA 3.6. SOLDADURA DE LOS CONECTORES……..68
FOTOGRAFÍA 3.7. ARMADO MALLA ELECTROSOLDADA Y ACERO DE REFUERZO……..69
FOTOGRAFÍA 3.8. PROCESO DE LIMADO EN LAS VARILLAS CORRUGADAS……....70
FOTOGRAFÍA 3.9. PROCESO DE LIMADO EN LAS VIGAS DE ACERO……...70
FOTOGRAFÍA 3.10. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SG…..71
FOTOGRAFÍA 3.11. FUNDICIÓN DE LAS LOSAS……....72
FOTOGRAFÍA 3.12. CURADO DE LAS LOSAS……....72
FOTOGRAFÍA 3.13. SOPORTES LATERALES Y VERTICALES EN EL SITIO DE APLICACIÓN DE LA CARGA……74
FOTOGRAFÍA 3.14. INSTALACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN……75
FOTOGRAFÍA 4.1. ORIENTACIÓN TIPO DE LAS LOSAS……..77
FOTOGRAFÍA 4.2. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 1……..81
FOTOGRAFÍA 4.3. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 2……....85
FOTOGRAFÍA 4.4. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 3……..91
FOTOGRAFÍA 4.5. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 4……97
FOTOGRAFÍA 4.6. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 5……102
FOTOGRAFÍA 4.7. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 6……106

RESUMEN

El uso de secciones compuestas para la construcción de sistemas de piso sumado al diseño continuo son herramientas útiles para disminuir costos en la construcción de edificaciones. Consecuentemente, era necesario generar información experimental sobre el comportamiento a flexión negativa de secciones compuestas. En este proyecto se estudian secciones compuestas por viga de acero y losa de hormigón.

Las dimensiones de las muestras a ensayar se obtienen del diseño de una estructura real, es decir, con la distribución en planta de una estructura se diseñan para carga vertical la losa y las vigas secundarias. La losa se diseña con lámina acanalada de acero deck, mientras que las vigas secundarias se diseñan en acero, se plantean dos alternativas de diseño de viga, una de sección compacta y otra de sección no compacta.

Con las dimensiones de los elementos establecidos, se definen seis muestras a ensayar, tres muestras corresponden a la viga compacta conectada con la losa de hormigón, la diferencia entre estas radica en la cantidad de acero de refuerzo en la losa. Las otras tres muestras corresponden a la viga no compacta conectada con la losa de hormigón, la diferencia entre estas también radica en la cantidad de acero de refuerzo en la losa.

Los ensayos consisten en la aplicación de una carga puntual a los especímenes y la medición de la deformación vertical y esfuerzos en la sección transversal. Los ensayos se realizan para momento negativo, es decir se ensayan las muestras invertidas, de tal manera que se logra que la tracción se desarrolle en el refuerzo de la losa y la compresión en las fibras externas de la viga de acero, tal como sucede en el momento negativo.

De los resultados de los ensayos a flexión, se analiza la capacidad, inercia efectiva y ductilidad.

ABSTRACT

The use of composite sections for building floor systems coupled with continuous design are useful tools to reduce costs in building construction. Consequently, it was necessary to generate experimental data on negative bending behavior of composite sections. In this project sections composed of steel beam and concrete slab are studied.

The dimensions of the test samples are obtained from the design of a real structure which means that with the plan distribution of a structure, the slab and secondary beams are designed for vertical load. The slab is designed with corrugated steel deck plate, while the secondary beams are designed in steel, two alternatives for the steel beam design are proposed, a compact section and a non-compact section.

With the dimensions of the elements defined, six test samples are established, three samples correspond to the compact beam connected with the concrete slab, the difference between these lies in the amount of steel reinforcement in the slab. The other three samples correspond to the non- compact beam connected to the concrete slab, the difference between these also lies in the amount of steel reinforcement in the slab.

The tests consist of applying a point load to the specimen and measuring the vertical deflections and efforts in the cross-section. Tests are performed for negative moment which means that the samples are tested inversely, so that it makes the traction takes place on the reinforcement of the slab and the compression in the outer fibers of the steel girder, as happens in the negative moment.

From the results of the flexural testing, capability, ductility and effective inertia are analyzed.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto consta de seis capítulos divididos de la siguiente manera:

En el capítulo primero, se trata de manera general el diseño compuesto y el diseño a momento negativo. Adicionalmente, se describe la instrumentación de laboratorio usada para los ensayos y los códigos de referencia para el diseño de estructuras.

En el segundo capítulo, se dimensionan las muestras a ensayar y se calcula el comportamiento teórico de las muestras en los ensayos basados en los modelos matemáticos y la resistencia de materiales.

En el tercer capítulo, se describen las etapas de construcción de las muestras y el procedimiento del ensayo.

En el cuarto capítulo, se presenta la descripción detallada de las dimensiones de cada muestra a ensayar y los resultados obtenidos.

En el quinto capítulo, se analizan los resultados en base a la capacidad a flexión, inercia efectiva y ductilidad. Adicionalmente, se presentan los esfuerzos que se producen en la sección transversal de la sección compuesta.

En el sexto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones seguidas por los anexos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

- Generar información del comportamiento de una losa tipo deck a flexión negativa con diferente cuantía de acero de refuerzo mediante el ensayo experimental de losas.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar información para el diseño de losas tipo deck continuas.
- Determinar la resistencia teórica a momento negativo de las secciones compuestas por losa y viga de acero.
- Determinar la resistencia experimental de las secciones compuestas.
- Determinar la deformación, esfuerzos e inercia real de las muestras ensayadas.
- Comparar los resultados experimentales con el desarrollo teórico.
- Comparar los resultados obtenidos en este proyecto con los resultados obtenidos por estudios similares realizados en la EPN.
- Analizar el comportamiento de las vigas metálicas con alma compacta y alma no compacta.

1.2. GENERALIDADES DEL DECK

El deck es una sistema de losa unidireccional formado por láminas acanaladas conformadas en frío con sobresaltos que permiten que el hormigón se adhiera a este, de tal manera que el deck actúa como refuerzo para flexión positiva en la losa de hormigón. Su uso es recurrente en la industria de la construcción ecuatoriana, esto es principalmente por su fácil manejo, la reducción de encofrados y por ende la reducción de los tiempos de ejecución comparados con sistemas de losas macizas o alivianadas.

A pesar de que el deck presenta muchas ventajas y que su uso es cada vez más común, no existe suficiente información experimental de este sistema adaptado a las condiciones de la industria ecuatoriana.

1.3. DISEÑO COMPUESTO

El diseño compuesto se usa cuando hay contacto entre dos o más secciones y materiales, por ejemplo, un sistema compuesto de viga y losa se puede diseñar para que las vigas resistan completamente la acción de las cargas o para que la losa de hormigón colabore en la resistencia. Esto último se logra con el uso de conectores de corte, que impiden el desplazamiento entre las vigas y la losa de hormigón permitiéndoles trabajar en conjunto y así aumentar su resistencia y rigidez. Las losas colaborantes pueden ser construidas con deck o sin él, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la parte colaborante de hormigón de las losas tipo deck es la parte de hormigón sobre la cresta de la lámina acanalada.

1.3.1. VENTAJAS DEL DISEÑO COMPUESTO

La resistencia de la sección compuesta generalmente es mayor que la suma de las resistencias de las secciones simples. El aumento de capacidad nominal de los miembros compuestos habitualmente es significativo, sin embargo, existen casos en los que la resistencia de la sección compuesta no aumenta o aumenta poco con respecto a la de las secciones simples, esto porque la resistencia depende de otros factores como la esbeltez de los elementos de los miembros de acero y la capacidad de los conectores de corte.

Uno de los mayores problemas en el diseño de estructuras de acero son las deformaciones que se producen ante cargas horizontales y verticales. Mientras los miembros de acero soportan grandes deformaciones, los miembros de hormigón y los elementos no estructurales no lo hacen, lo que produce fisuras y daños que afectan la serviciabilidad de la estructura. Los sistemas compuestos contrarrestan este efecto porque la rigidez del conjunto aumenta y por ende las deformaciones disminuyen.

1.3.2. DISEÑO COMPUESTO A MOMENTO NEGATIVO

Las vigas secundarias generalmente se diseñan y construyen como simplemente apoyadas, sin embargo, esto no es eficiente en términos de fuerzas internas y deformaciones porque el momento flector actuante y deformaciones en una viga simplemente apoyada son mayores que en una viga continua o empotrada, además un sistema continuo es más estable. Consecuentemente, se pueden diseñar secciones más económicas si se construyen sistemas de piso compuestos continuos o empotrados porque se reduce solicitaciones y se aumenta la resistencia de los miembros estructurales.

1.4. DUCTILIDAD

La ductilidad es la capacidad que tiene un cuerpo para resistir carga mediante deformaciones, sin llegar a la ruptura. El hormigón simple es un material frágil, es decir, una vez que alcanza su esfuerzo máximo, este falla súbitamente. Por otro lado, el acero estructural y acero de refuerzo son materiales dúctiles, es decir, una vez que llegan a su esfuerzo máximo, resisten grandes deformaciones previas a la ruptura. La ductilidad es una característica fundamental que deben tener los miembros de una estructura sismoresistente, esto es porque la filosofía de diseño sismoresistente de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2011, NEC-11, es que una estructura pueda disipar energía de deformación inelástica, haciendo uso de las técnicas de diseño por capacidad o mediante la utilización de dispositivos de control sísmico, es decir, que resistan las fuerzas de diseño de los códigos en el rango elástico y que tengan la capacidad de disipar energía cuando el sismo de diseño tenga lugar[1]

La forma de disipar energía de una estructura es mediante la formación de rótulas plásticas en los lugares de momento máximo, esto es en los extremos de las vigas y las bases de las columnas, por tanto, los miembros estructurales que van a soportar dichos momentos máximos deben ser dúctiles. Los miembros estructurales se clasifican de acuerdo a su ductilidad en: altamente dúctiles, moderadamente dúctiles y de baja ductilidad.

[1] Convenio MIDUVI – CAMICON, 2011, Norma Ecuatoriana de la Construcción.

CUADRO 1.1. U.S. AND EUROPEAN DUCTILITY CLASSES FOR MOMENT RESISTING FRAMES

MRF Ductility Classes	**Country**	**Designation Of Moment Frame**	**Force Reduction *R* (US) Behaviour Factor *q* (EU)**	**Req. Plastic Rotation Capacity mrad**	**Capacity Designo of onnections**
Low Ductility	U.S.	OMF Ordinary Moment Frame	3,5	--------	Yes
	Europe	DCL Ductility Class Low	1,5-2,0	--------	No
Medium Ductility	U.S.	IMF Intermediate Moment Frame	4,5	20	Yes
	Europe	DCM Ductility Class Medium	4	25	Yes
High Ductility	U.S.	SMF Special Moment Frame	8	40	Yes
	Europe	DCH Ductility Class High	6	35	Yes

FUENTE: EARTHQUAKE LONG RESISTENT STEEL. ARCELOT MITTEL, FSC. EUR-COD-051203

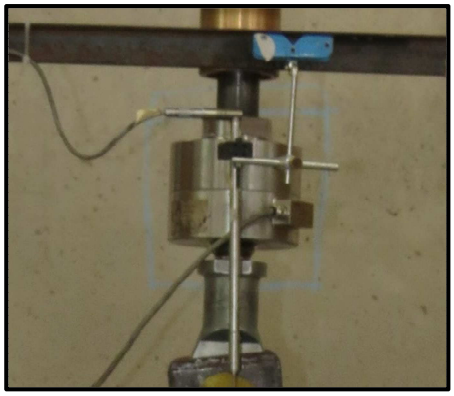
1.5. EQUIPOS DE LABORATORIO

Las variables a medir dentro del ensayo son la carga aplicada, la deformación vertical de la viga y las deformaciones unitarias en la sección transversal de la viga. El Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional dispone de todas las facilidades para llevar a cabo las pruebas. Para aplicar la carga se usa un gato hidráulico con celda de carga de 22 toneladas de capacidad montados en un marco de carga. Para medir las deformaciones verticales se usa un transductor de desplazamiento lineal LVDT y para medir las deformaciones unitarias que luego se transforman a esfuerzos se usan strain gages (SG) o galgas extensométricas (GE). Las vigas descansan sobre dos apoyos metálicos que proveen la condición de apoyo simple al ensayo.

FOTOGRAFÍA 1.1. GATO HIDRÁULICO, CELDA DE CARGA, MARCO DE CARGA Y APOYOS

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FOTOGRAFÍA 1.2. TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO LINEAL (LVDT)

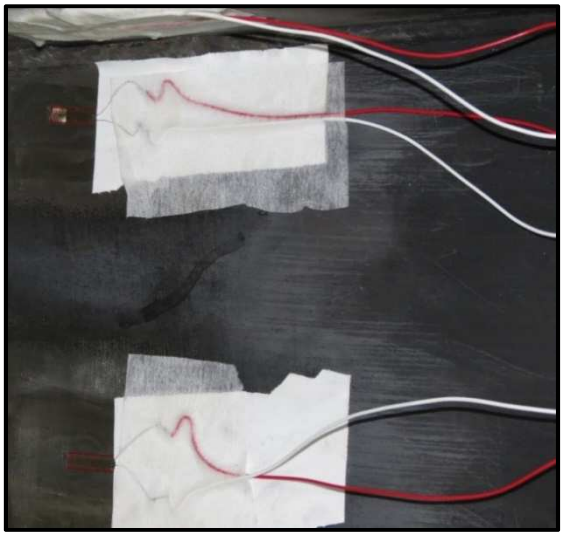


FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Los strain gages (SG) o galgas extensométricas (GE) son dispositivos que miden deformaciones unitarias en el lugar donde se adhieren. Específicamente, son resistencias eléctricas, cuya resistencia cambia conforme cambia su longitud, es decir, conforme se deforma. Estos cambios en la resistencia eléctrica de los SG son leídos como deformaciones unitarias y a partir de esas deformaciones se calcula por la ley de Hooke los esfuerzos en el lugar donde están los SG.

Los SG son extremadamente sensibles y precisos. Además son delicados por lo que se deben manejar con cuidado. Existe gran variedad de SG, por eso la elección de estos debe ser procedente con la magnitud de deformaciones que se van a medir, el material al que se van a adherir, al voltaje que se va a usar y a las condiciones ambientales, especialmente temperatura. El límite de uso de los SG es el rango elástico porque la resistencia de un SG obedece a una ecuación lineal. La superficie donde son adheridos los SG debe ser completamente lisa en el caso del acero, de lo contrario los valores leídos no son fiables. A pesar de que se tengan todas las precauciones en el manejo de los SG, los valores deben ser tomados con cautela y dependerá de la experticia del usuario discernir entre valores correctos y errados. Los SG fueron colocados en la viga de acero y las varillas de refuerzo de la losa, el objetivo de esto es medir los esfuerzos que se producen en la sección transversal de la viga de acero y el refuerzo de la losa.

FOTOGRAFÍA 1.3. SG PEGADOS EN LA VIGA DE ACERO



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FOTOGRAFÍA 1.4. SG PEGADOS EN EL REFUERZO DE LA LOSA

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Las características de los SG usados en este proyecto se adjuntan como Anexo número 1.

1.6. CÓDIGOS DE REFERENCIA

Para el diseño de los miembros armados de acero, deck y sección compuesta se usa la norma ANSI/AISC 360-2010. Sin embargo, para el diseño de estructuras sismoresistentes se deben cumplir las provisiones de los códigos ANSI/AISC 341-2010 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings y ANSI/AISC 358-2010

Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Aplications. En estas normas se definen las características de ductilidad que deben tener los miembros estructurales y conexiones para un buen desempeño sísmico. Dichas normas clasifican a las secciones compactas como moderadamente dúctiles y a las secciones sísmicamente compactas como altamente dúctiles. Las secciones de alma no compactas se consideran de baja ductilidad, sin embargo, estudios han demostrado que pueden tener comportamientos altamente dúctiles con el uso de atiesadores longitudinales[2].

[2] JOURNAL OF CONSTRUCTIONAL STEEL RESEARCH, VOL 81, FEBRUARY 2013, PAGES 114-123, WIE WANG, YANYAN ZHANG Y OTROS.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y DISEÑO

2.1. GENERALIDADES DE DISEÑO

Las secciones a ensayar deben responder a una situación real de ingeniería, además deben adaptarse a la disponibilidad y capacidad de los equipos en el laboratorio. Por esta razón, previo al ensayo experimental se plantea una distribución estructural en planta con las dimensiones apropiadas para representar una situación real de diseño y que se adapte las dimensiones y capacidades de los instrumentos del laboratorio. Es decir, primero se diseña las vigas secundarias y losa de una estructura real y con esas dimensiones se plantean las 6 muestras a ensayar.

El diseño de la losa tipo deck y las vigas secundarias se realiza para carga vertical de acuerdo a las dimensiones de la estructura de la Figura 2.1. Las cargas vivas y muertas utilizadas se definen en la hipótesis de carga (Cuadro 2.1.). Las vigas secundarias se diseñan como empotradas.

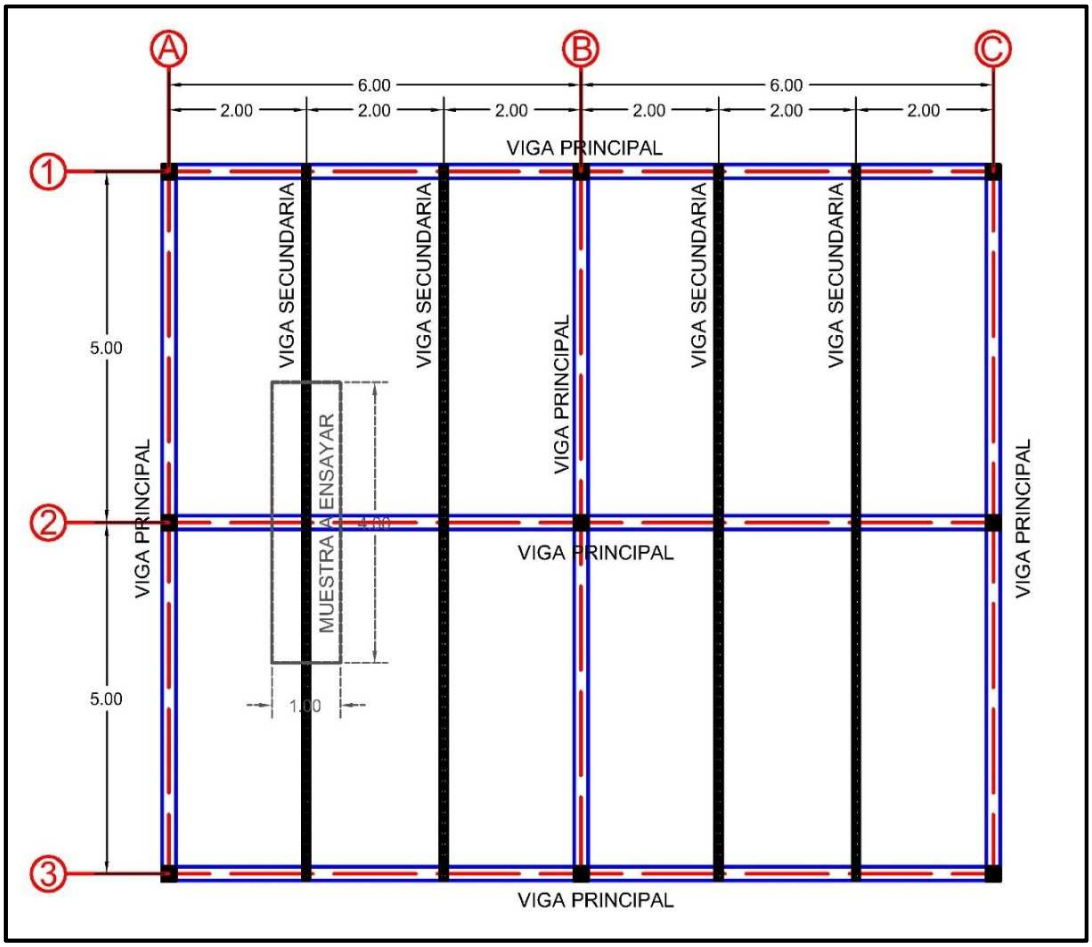
Para las vigas secundarias se plantean 2 diseños posibles, uno con viga compacta y otro con viga no compacta. De estos dos diseños se plantea para cada uno 3 variaciones en la cuantía de acero de refuerzo en la losa con lo que se obtuvo finalmente para ensayar 6 muestras, 3 de viga compacta y 3 de viga no compacta. La primera variación consiste en un refuerzo de malla electrosoldada, la segunda consiste en un refuerzo de malla electrosoldada más 4 varillas diámetro 12 milímetros y la tercera consiste en un refuerzo de malla electrosoldada más 4 varillas diámetro 18 milímetros. La malla electrosoldada probada en todas las muestras fue de diámetro 5 milímetros espaciada cada 10 centímetros.

Luego de definir las muestras a ensayar, se predice el comportamiento de las muestras en el laboratorio, para lo cual se plantea un modelo matemático para las condiciones de apoyo y en base a la teoría de resistencia de materiales se calcula el posible comportamiento de las 6 muestras en los ensayos, de tal manera que se puedan comparar los resultados teóricos y experimentales y determinar las posibles causas en las variaciones. Cabe recalcar que el ensayo se realiza para momento negativo, por tanto la predicción teórica se realiza para esa condición.

2.2. DISEÑO DE LA LOSA TIPO DECK Y DE LAS VIGUETAS DENTRO DE UNA ESTRUCTURA REAL

El diseño y las muestras a ensayar se extraen de la estructura planteada en la Figura 2.1.

FIGURA 2.1. VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA PLANTEADA PARA DISEÑO Y EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

2.2.1. HIPÓTESIS DE CARGA

Las cargas muertas y vivas planteadas en la hipótesis de carga corresponden al peso de los materiales y valores típicos de carga en una estructura.

CUADRO 2.1. HIPÓTESIS DE CARGA

Hipótesis de carga		
Carga muerta		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Peso del deck	6.37	kg/m^2
Volumen de hormigón	0.07	m^3/m^2
Peso del hormigón	166.80	kg/m^2
Mampostería	200.00	kg/m^2
Acabados	100.00	kg/m^2
Otros	120.00	kg/m^2
Total de carga muerta W_D	**593.17**	**kg/m^2**
Carga viva		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Carga viva	200.00	kg/m^2
Total de carga viva W_L	**200.00**	**kg/m^2**

FUENTE: Ficha Técnica Kubilosa

ELABORADOR POR: Juan Chávez

2.2.2. DISEÑO DE LA LOSA DE HORMIGÓN TIPO DECK

Para diseño y construcción de las muestras se usa el deck del fabricante KUBIEC. La ficha técnica del material provista por el fabricante se adjunta como Anexo número 2.

Los fabricantes de placas colaborantes proveen manuales sencillos para el diseño del deck, sin embargo, es responsabilidad del diseñador conocer la fiabilidad y los límites de aplicación de estos. Por esta razón, se hace un diseño detallado de la losa tipo deck basado en el manual Acero-Deck[3], y la distribución estructural en planta, esto es, siguiendo los pasos de 2.2.2.1 a 2.2.2.7.

[3] ACERO-DECK, (S.F.) MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO

2.2.2.1. Determinación de la deflexión de la lámina de deck actuando como encofrado (deflexión calculada con la condición de apoyo de tres o más tramos)

CUADRO 2.2. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.1.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Deformación admisible de la lámina como encofrado	δ_{adm}	Ec. (2.1)	cm
Luz libre de la losa	L_{sd}	1.00	m
Deformación calculada de la lámina como encofrado	δ_{calc}	Ec. (2.2)	cm
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Módulo de elasticidad del acero del deck	E_s	2000000.00	kg/cm^2
Inercia del deck	I_{sd}	29.30	cm^4/m
Ancho de análisis	b	100.00	cm

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

La luz libre de la losa es de 1.00 m y no de 2.00 m porque para reducir la deformación de la lámina se apuntala durante la construcción la losa en la mitad de la distancia entre vigas secundarias

$$\delta_{adm}=\frac{L_{sd}*100}{180} \quad \textbf{(2.1)}$$

$$\delta_{adm}=\frac{1*100}{180}$$

$$\delta_{adm}=0.56 \text{ cm}$$

$$\delta_{calc}=\frac{0.0069*Wd_{sd}*(L_{sd}*100)^4}{E_s*I_{sd}*b} \quad \textbf{(2.2)}$$

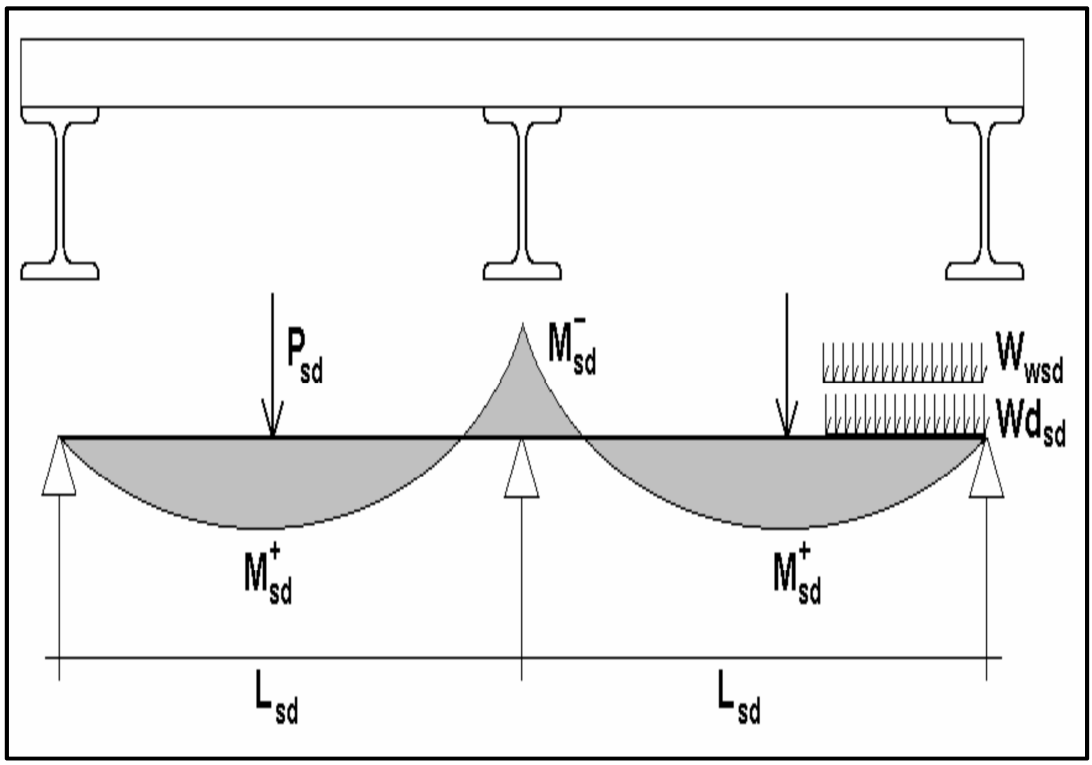
$$\delta_{calc}=\frac{0.0069*600*(1*100)^4}{2000000*29.30*100}$$

$$\delta_{calc}=0.07 \text{ cm}$$

$$\delta calc<\delta adm$$

2.2.2.2. Esfuerzos de tensión por flexión en el sistema no compuesto (condición de apoyo de tres o más tramos)

FIGURA 2.2. CONDICIÓN DE APOYO PARA TRES O MÁS TRAMOS Y CARGAS SOBRE EL DECK



FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

CUADRO 2.3. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.2.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento positivo en la lámina	$M^{+}sd$	Ec. (2.3) ó (2.4)	kg-m
Luz libre de la losa	L_{sd}	1.00	m
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Momento negativo en la lámina no compuesta	$M^{+}sd$	Ec. (2.5)	kg-m
Carga distribuida	W_{wsd}	100.00	kg/m
Esfuerzo positivo en la lámina	f^{+}	Ec. (2.6)	kg/cm^2
Módulo de sección superior	Sp_{sd}	9.61	cm^3/m
Esfuerzo negativo en la lámina	f^{-}	Ec. (2.7)	kg/cm^2
Módulo de sección inferior	Sn_{sd}	14.54	cm^3/m
Esfuerzo de fluencia del deck	f_y	2530.00	kg/cm^2

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

El momento positivo en la lámina $M^{+}sd$ es el mayor entre la Ecuación 2.3 y Ecuación 2.4.

$$M^{+}sd=0.20*P_{sd}*L_{sd}+0.094*Wd_{sd}*L_{sd}^{2} \quad \textbf{(2.3)}$$

$$M^{+}sd=0.20*75*1+0.094*600*1^{2}$$

$$M^{+}sd=71.4 \text{ kg-m}$$

$$M^{+}sd=0.096*(Wd_{sd}+W_{wsd})*L_{sd}^{2} \quad \textbf{(2.4)}$$

$$M^{+}sd=0.096*(600+100)*1^{2}$$

$$M^{+}sd=67.2\ kg\text{-}m$$

$$M^{-}sd=0.117*(Wd_{sd}+W_{wsd})*L_{sd}^{2} \quad \textbf{(2.5)}$$

$$M^{-}sd=0.117*(600+100)*1^{2}$$

$$M^{-}sd=81.9\ kg\text{-}m$$

$$f^{+}=\frac{M^{+}sd}{Sp_{sd}}*100 \quad \textbf{(2.6)}$$

$$f^{+}=\frac{71.4}{9.61}*100$$

$$f^{+}=742.98\ kg/cm^{2}$$

$$f^{-}=\frac{M^{-}sd}{Sn_{sd}}*100 \quad \textbf{(2.7)}$$

$$f^{-}=\frac{81.9}{14.54}*100$$

$$f^{-}=563.27\ kg/cm^{2}$$

$$f^{+}\leq 0.6f_{y}$$

$$742.98\leq 1518$$

$$f^{-}\leq 0.6f_{y}$$

$$563.27\leq 151$$

2.2.2.3. Cálculo de esfuerzos admisibles en el sistema compuesto

CUADRO 2.4. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.3.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Inercia de la sección transformada fisurada	I_c	Ec. (2.8)	cm^4
Ancho de análisis	b	100.00	cm
Distancia de diseño	Y_{cc1}	Ec. (2.9)	cm
Relación módulo de elasticidad del deck y el módulo de elasticidad del concreto	n	9.00	SU
Área de acero en el Deck	As_{sd}	8.84	cm^2
Distancia de diseño	Y_{cs}	Ec. (2.13)	cm
Inercia del deck	I_{sd}	29.30	cm^4/m
Distancia de diseño	d	Ec. (2.14)	cm
Centro de gravedad del trapecio medido desde la base de la lámina	Y_{sb}	Ec. (2.21)	cm
Medida menor del trapecio	A	12.00	cm
Medida mayor del trapecio	B	19.00	cm
Cuantía de deck en la losa	ρ	Ec. (2.10)	SU
Distancia de diseño	Y_{cc2}	Ec. (2.12)	cm
Altura de losa sobre la cresta del deck	t_c	5.00	cm
Altura total de la losa	t	10.10	cm
Espacio entre ejes de valles contiguos	C_s	33.00	cm
Ancho medio del valle del deck utilizado	w_r	15.00	cm
Altura del deck	h_r	5.10	cm
Inercia de la sección transformada no fisurada	I_u	Ec. (2.11)	cm^4

CUADRO 2.4. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Inercia efectiva de la losa	I_e	Ec. (2.15)	cm^4
Distancia de diseño	Y_{prom}	Ec. (2.16)	cm
Módulo de sección inferior del sistema compuesto	S_{ic}	Ec. (2.17)	cm^3
Momento producido en la losa por cargas muertas	Md_{sd}	Ec. (2.19)	kg-m
Momento producido en la losa por cargas vivas	Ml_{sd}	Ec. (2.20)	kg-m
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Luz libre de la losa	L_{sd}	2.00	m
Carga viva por unidad de longitud	Wl_{sd}	200.00	kg/m
Factor de reducción de carga según apuntalamiento	ψ	0.63	SU
Esfuerzo inferior del sistema compuesto deck-hormigón	f_{compi}	Ec. (2.18)	kg/cm^2

La luz libre de la losa L_{sd} es igual a 2.00 metros después de quitar el apuntalamiento.

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE DE LAS LOSAS TIPO DECK, GALÁN & JARAMILLO, 2012

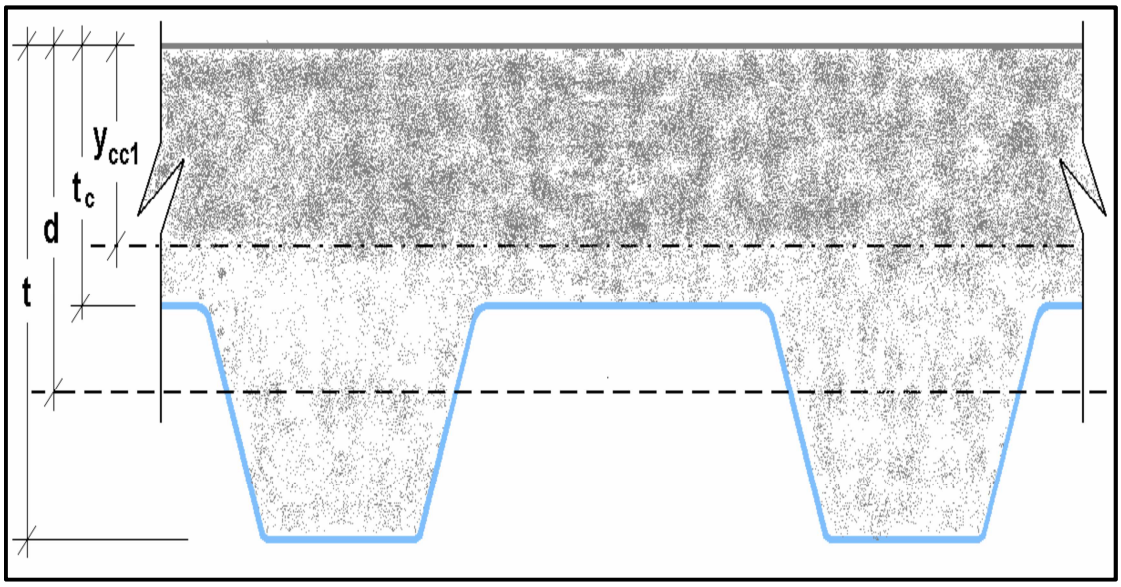
ELABORADO POR: Juan Chávez

$$I_c=\frac{b*Y_{cc1}{}^3}{3}+n*As_{sd}*Y_{cs}{}^2+n*I_{sd} \quad \textbf{(2.8)}$$

$$Y_{cc1}=d*(\sqrt{2*\rho*n+(\rho*n)^2}-\rho*n) \quad \textbf{(2.9)}$$

$$\rho=\frac{As_{sd}}{b*d} \quad \textbf{(2.10)}$$

FIGURA 2.3. DISTANCIAS PARA CALCULAR LA INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA FISURADA



FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

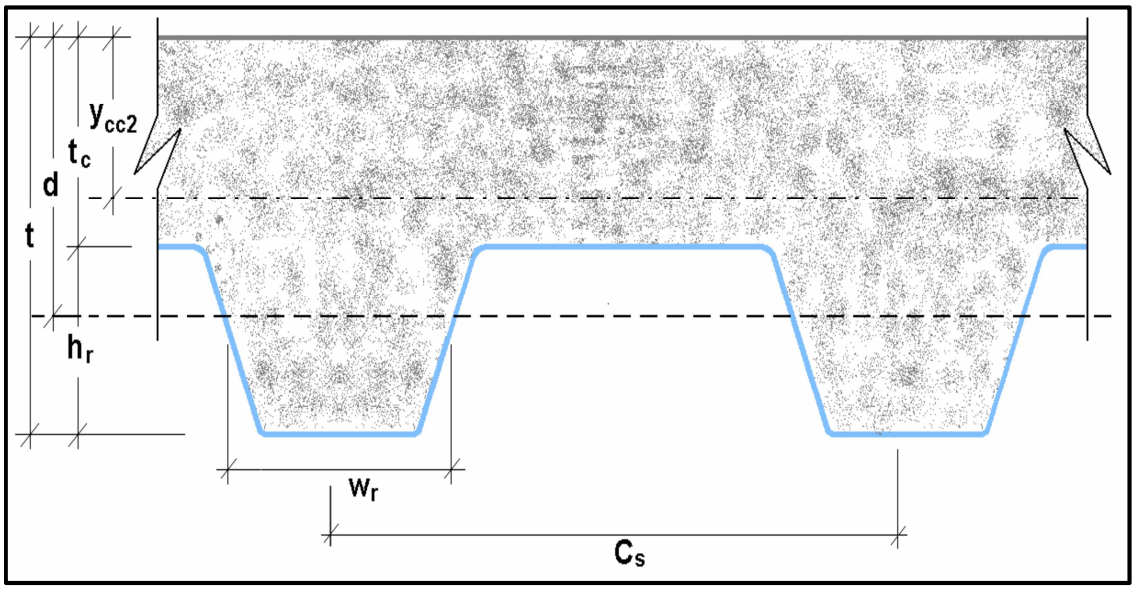
$$I_u=\frac{b*t_c^{3}}{12}+b*t_c*(Y_{cc2}-0.5*t_c)^2+n*I_{sd}+n*As_{sd}*Y_{cs}^{2} + \frac{b}{C_s}*\left\{w_r*h_r*\left[\frac{h_r^{2}}{12}+(t-Y_{cc2}-0.5*h_r)^2\right]\right\} \quad \textbf{(2.11)}$$

$$Y_{cc2}=\frac{0.5*b*t^2+n*As_{sd}*d-(C_s-w_r)*b*{}^{h_r}\!/_{C_s}*(t-0.5*h_r)}{b*t+n*As_{sd}-{}^{b}\!/_{C_s}*h_r*(C_s-w_r)} \quad \textbf{(2.12)}$$

$$Y_{cs}=d-Y_{cc2} \quad \textbf{(2.13)}$$

$$d=t-Y_{sb} \quad \textbf{(2.14)}$$

FIGURA 2.4. DISTANCIAS PARA CALCULAR LA INERCIA DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA NO FISURADA



FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

$$Ie=\frac{I_u+I_c}{2} \quad \textbf{(2.15)}$$

$$Y_{prom}=\frac{Y_{cc1}+Y_{cc2}}{2} \quad \textbf{(2.16)}$$

$$S_{ic}=\frac{I_e}{t-Y_{prom}} \quad \textbf{(2.17)}$$

$$f_{compi}=\frac{Ml_{sd}+Md_{sd}}{S_{ic}}*100 \quad \textbf{(2.18)}$$

$$Md_{sd}=\frac{\psi*Wd_{sd}*L_{sd}^{2}}{8} \quad \textbf{(2.19)}$$

$$Ml_{sd}=\frac{Wl_{sd}*L_{sd}^{2}}{8} \quad \textbf{(2.20)}$$

$$Y_{sb}=\frac{h_r*(2*A+B)}{3(A+B)} \quad \textbf{(2.21)}$$

$$Y_{sb}=\frac{5.1*(2*12+19)}{3(12+19)}$$

$$Y_{cg}=2.36 \text{ cm}$$

$$d=10.1-2.36$$

$$d=7.74 \text{ cm}$$

$$\rho=\frac{8.84}{100*7.74}$$

$$\rho=0.01142$$

$$Y_{cc1}=7.74*(\sqrt{2*0.01142*9+(0.01142*9)^2}-0.01142*9)$$

$$Y_{cc1}=2.80 \text{ cm}$$

$$C_s=33 \text{ cm}$$

$$Y_{cc2}=\frac{0.5*100*10.1^2+9*8.84*7.74-(33-15)*100*{}^{5.1}/_{33}*(10.1-0.5*5.1)}{100*10.1+9*8.84-{}^{100}/_{33}*5.1*(33-15)}$$

$$Y_{cc2}=4.46 \text{ cm}$$

$$Y_{cs}=7.74-4.46$$

$$Y_{cs}=3.28 \text{ cm}$$

$$I_c=\frac{100*2.80^3}{3}+9*8.84*3.28^2+9*29.30$$

$$I_c=1851.37\ cm^4$$

$$I_u=\frac{100*5^3}{12}+100*5*(4.46-0.5*5)^2+9*29.30+9*8.84*3.28^2+\frac{100}{33}*\left\{15*5.1*\left[\frac{5.1^2}{12}+(10.1-4.46-0.5*5.1)^2\right]\right\}$$

$$I_u=6797.98\ cm^4$$

$$I_e=\frac{6797.98+1851.37}{2}$$

$$I_e=4324.68\ cm^4$$

$$Y_{prom}=\frac{2.80+4.46}{2}$$

$$Y_{prom}=3.63\ cm$$

$$S_{ic}=\frac{4324.68}{10.1-3.63}$$

$$S_{ic}=668.42\ cm^3$$

$$Md_{sd}=\frac{0.63*600*2^2}{8}$$

$$Md_{sd}=189\ kg\text{-}m$$

$$Ml_{sd}=\frac{200*2^2}{8}$$

$$Ml_{sd}=100 \text{ kg-m}$$

$$f_{compi}=\frac{100+189}{668.42}*100$$

$$f_{compi}=43.23 \text{ kg/cm}^2$$

Se debe cumplir

$$f_{compi} \leq 0.6 f_y$$

$$43.23 \leq 1518$$

2.2.2.4. Condiciones de momento último o resistencia a la flexión

CUADRO 2.5. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.4.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Cuantía balanceada	ρ_b	Ec. (2.22)	SU
Cuantía de deck en la losa	ρ	0.01142	SU
Factor de Whitney para distribución de tensiones en el hormigón	β_1	0.85	SU
Esfuerzo máximo a comprensión del hormigón	f'_c	210.00	kg/cm^2
Altura total de la losa	t	10.10	cm
Altura del deck	h_r	5.10	cm
Esfuerzo de fluencia del deck	f_y	2530.00	kg/cm^2
Módulo de elasticidad del deck	E_s	2000000.00	kg/cm^2
Distancia de diseño	d	7.74	cm
Momento nominal de la losa	M_n	Ec. (2.23)	T-m
Área de acero en el Deck	As_{sd}	8.84	cm^2
Profundidad del bloque rectangular a compresión equivalente del ancho b	a	Ec. (2.24)	cm

CUADRO 2.5. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento de diseño de la losa	M_R	Ec. (2.25)	T-m
Coeficiente de reducción de momento	φ	0.90	SU

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\rho_b=\frac{0.85*\beta_1*f'_c}{f_y}*\frac{0.003*(t-h_{r)}}{\left(0.003+{}^{f_y}\!/_{E_s}\right)*d} \qquad \textbf{(2.22)}$$

$$\rho_b=\frac{0.85*0.85*210}{2530}*\frac{0.003*(10.1-5.1)}{\left(0.003+{}^{2530}\!/_{2000000}\right)*7.74}$$

$$\rho_b=0.02724$$

$$\rho=0.01142$$

Como $\rho<\rho_b$ entonces:

$$M_n=As_{sd}*f_y*(d-{}^{a}\!/_{2})*10^{-5} \qquad \textbf{(2.23)}$$

$$a=\frac{As_{sd}*f_y}{0.85*f'_c*b} \qquad \textbf{(2.24)}$$

$$a=\frac{8.84*2530}{0.85*210*100}$$

$$a=1.25\ cm$$

$$M_n=8.84*2530*\left(7.74-{}^{1.25}\!/_{2}\right)*10^{-5}$$

$$M_n=1.59 \text{ T-m}$$

$$M_R=\Phi*M_n \quad \textbf{(2.25)}$$

$$M_R=0.90*1.59$$

$$M_R=1.43 \text{ T-m}$$

2.2.2.5. Diseño por cortante

CUADRO 2.6. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.5.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Corte nominal de la losa	V_n	Ec. (2.26)	T
Esfuerzo máximo a comprensión del hormigón	f'_c	210.00	kg/cm^2
Área contribuyente de hormigón a corte	A_c	616.02	cm^2
Corte de diseño de la losa	V_R	Ec. (2.28)	T
Factor de reducción de corte	Φ	0.85	SU
Solicitación de corte	V_U	Ec. (2.27)	T
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Luz libre de la losa	L_{sd}	2.00	m
Carga viva por unidad de longitud	Wl_{sd}	200.00	kg/m
Factor de reducción de carga según apuntalamiento	ψ	0.63	SU

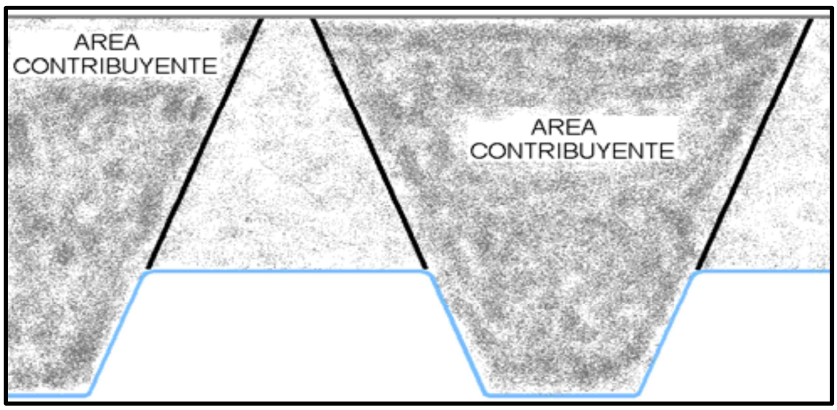
FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE DE LAS LOSAS TIPO DECK, GALÁN & JARAMILLO, 2012

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$V_n=0.53*\sqrt{f'_c}*A_c*10^{-3} \quad \textbf{(2.26)}$$

FIGURA 2.5. ÁREA CONTRIBUYENTE A CORTE EN LA LOSA DECK



FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

$$V_U=\left(1.4*\frac{\psi*Wd_{sd}*L_{sd}}{2}+1.7*\frac{Wl_{sd}*L_{sd}}{2}\right)*10^{-3} \quad \textbf{(2.27)}$$

Se debe cumplir

$$V_U \leq V_R$$

$$V_n=0.53*\sqrt{210}*616.02*10^{-3}$$

$$V_n=4.73\ T$$

$$V_R=\Phi*V_n \quad \textbf{(2.28)}$$

$$V_R=0.85*4.73$$

$$V_R=4.02\ T$$

$$V_U=\left(1.4*\frac{0.63*600*2}{2}+1.7*\frac{200*2}{2}\right)*10^{-3}$$

$$V_U=0.87T$$

$$0.87 \leq 4.02$$

2.2.2.6. Esfuerzo admisible a compresión del concreto

CUADRO 2.7. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.6.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento producido en la losa por cargas muertas	Md_{sd}	189	kg-m
Momento producido en la losa por cargas vivas	Ml_{sd}	100	kg-m
Módulo elástico de la sección superior para la sección compuesta	S_{cc}	Ec. (2.31)	cm^3
Relación módulo de elasticidad del deck y el módulo de elasticidad del concreto	n	9.00	SU
Inercia efectiva de la losa	I_e	4324.68	cm^4
Distancia de diseño	Y_{prom}	3.63	cm
Esfuerzo máximo a comprensión del hormigón	f'_c	210.00	kg/cm^2
Esfuerzo admisible del concreto	f_{adm}	Ec. (2.30)	kg/cm^2
Esfuerzo superior del sistema compuesto deck-hormigón	f_{comps}	Ec. (2.29)	kg/cm^2

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$f_{comps} = \frac{Md_{sd}+Ml_{sd}}{S_{cc}*n} \quad \textbf{(2.29)}$$

$$f_{adm}=0.45*f'_c \quad \textbf{(2.30)}$$

$$S_{cc}=\frac{I_e}{Y_{prom}} \quad \textbf{(2.31)}$$

$$S_{cc}=\frac{4324.68}{3.63}$$

$$S_{cc}=1191.37\ cm^3$$

$$f_{comps}=\frac{189+100}{1191.37*9}*100\leq f_{adm}=0.45*210$$

$$2.69\leq 94.5$$

2.2.2.7. Deflexión del sistema compuesto deck hormigón

CUADRO 2.8. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.2.7.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Deformación elástica	Δ'_{st}	Ec. (2.32)	cm
Carga muerta por unidad de longitud	Wd_{sd}	600.00	kg/m
Luz libre de la losa	L_{sd}	2.00	m
Carga viva por unidad de longitud	Wl_{sd}	200.00	kg/m
Módulo de elasticidad del hormigón	E_c	Ec. (2.33)	kg/cm^2
Esfuerzo máximo a comprensión del hormigón	f'_c	210.00	kg/cm^2
Inercia efectiva de la losa	I_e	4324.68	cm^4
Deformación diferida	Δ_{LT}	Ec. (2.34)	cm
Área de acero de la malla electrosoldada	A'_s	2.16	cm^2
Área de acero en el Deck	As_{sd}	8.84	cm^2
Deformación total	Δ_{TOTAL}	Ec. (2.35)	cm
Deformación admisible	Δ_{adm}	Ec. (2.36)	cm

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\Delta'_{st}=\frac{5}{384}*\frac{(Wd_{sd}+Wl_{sd})*L_{sd}^{4}}{E_c*I_e}*10^6 \quad \textbf{(2.32)}$$

$$E_c=13000*\sqrt{f'_c} \quad \textbf{(2.33)}$$

$$E_c=13000*\sqrt{210}$$

$$E_c=188387.90\ kg/cm^2$$

$$\Delta'_{st}=\frac{5}{384}*\frac{(600+200)*2^4}{188387.90*4324.68}*10^6$$

$$\Delta'_{st}=0.20\ cm$$

$$\Delta_{LT}=\Delta'_{st}*(2-1.2*\frac{A'_s}{As_{sd}}) \quad \textbf{(2.34)}$$

$$\Delta_{LT}=0.20*\left(2-1.2*\frac{2.16}{8.84}\right)$$

$$\Delta_{LT}=0.34\ cm$$

$$\Delta_{TOTAL}=\Delta'_{st}+\Delta_{LT} \quad \textbf{(2.35)}$$

$$\Delta_{TOTAL}=0.20+0.34$$

$$\Delta_{TOTAL}=0.54\ cm$$

$$\Delta_{adm}=\frac{L_{sd}}{360}*100 \quad \textbf{(2.36)}$$

$$\Delta_{adm}=\frac{2}{360}*100$$

$$\Delta_{adm}=0.55 \text{ cm}$$

Se debe cumplir $\Delta_{TOTAL} \leq \Delta_{adm}$

$$0.54 \leq 0.55$$

2.2.3. DISEÑO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS

Una de las partes fundamentales de este proyecto es observar el comportamiento de las secciones tipo I de alma no-compacta y patines compactos en las secciones compuestas y compararlos con el comportamiento de secciones tipo I de alma compacta y patines compactos en secciones compuestas. Es por es que se diseña para la misma estructura dos tipos de vigas.

El diseño de las vigas secundarias se realiza considerando únicamente carga vertical y sección simple de acero, es decir no compuesta, esto es porque parte de este proyecto consiste en comprobar la colaboración real de los elementos en el sistema compuesto.

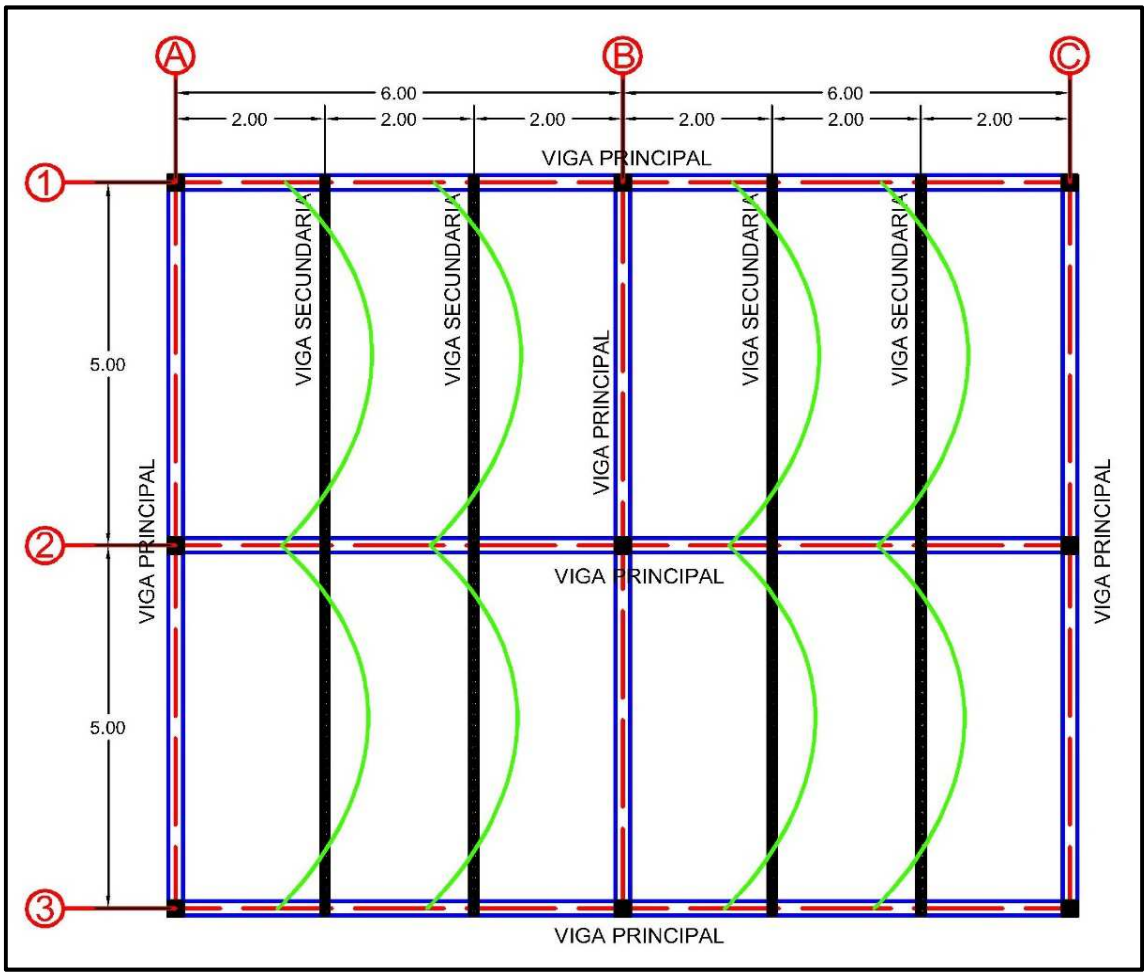
El uso de secciones de alma no compacta se da porque resultan más económicas con respecto a secciones compactas, pero su resistencia a corte resulta menor, ya que esta depende en su mayoría de la capacidad a cortante del alma, esto muchas veces restringe el uso de este tipo de vigas. Sin embargo, un objetivo de esta tesis es determinar la resistencia a flexión de las vigas no compactas con poca capacidad de absorber corte.

Para el diseño de las vigas de acero se sigue las provisiones del código ANSI/AISC 360-2010. El acero utilizado es del tipo A36.

2.2.3.1. Solicitación

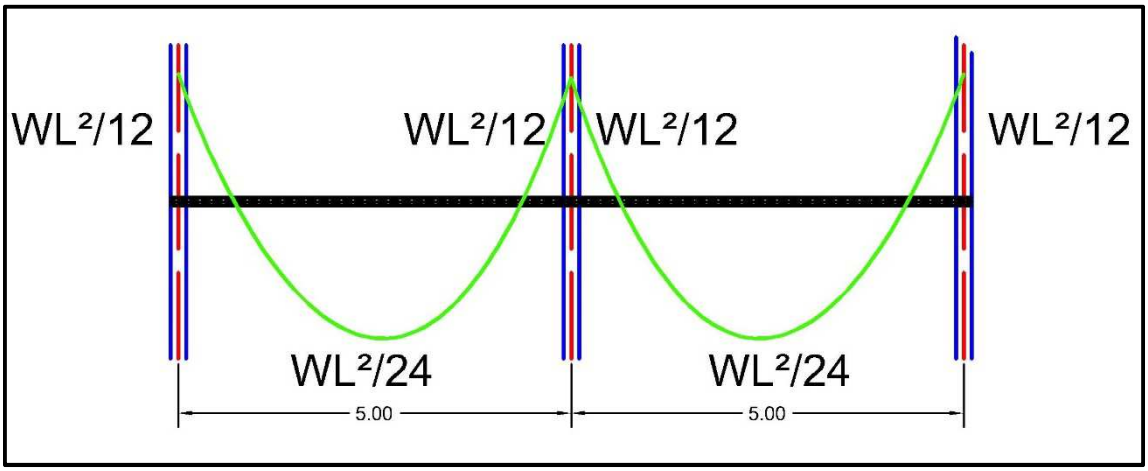
Las vigas secundarias usualmente se diseñan como simplemente apoyadas, sin embargo, este diseño no es eficiente pues los momentos y deformaciones son mucho mayores con respecto a un sistema de apoyos continuos o un sistema empotrado. Por ser competencia de este proyecto el análisis del momento negativo, se diseña las vigas secundarias como empotradas.

FIGURA 2.6. DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN VIGAS SECUNDARIAS (VERDE)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 2.7. MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PERFECTO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS (VERDE)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 2.9. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA LOS CÁLCULOS EN 2.2.3.1.

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Carga mayorada	W_U	Ec. (2.37)	kg/m
Total de carga muerta	W_D	600.00	kg/m^2
Total de carga viva	W_L	200.00	kg/m^2
Ancho de carga colaborante a las viguetas	a_{col}	2.00	m
Solicitación de momento	M_U	Ec. (2.38)	T-m
Longitud de las vigetas	L	5.00	m

FUENTE: MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. ACERO-DECK

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$W_U=1.4*W_D*a_{col}+1.7*W_L*a_{col} \quad \textbf{(2.37)}$$

$$W_U=1.4*600*2+1.7*200*2$$

$$W_U=2360 \text{ kg/m}$$

$$M_U=\frac{W_U*L^2}{12}*10^{-3} \quad \textbf{(2.38)}$$

$$M_U=\frac{2360*5^2}{12}*10^{-3}$$

$$M_U=4.91 \text{ T-m}$$

2.2.3.2. Diseño de viga secundaria compacta

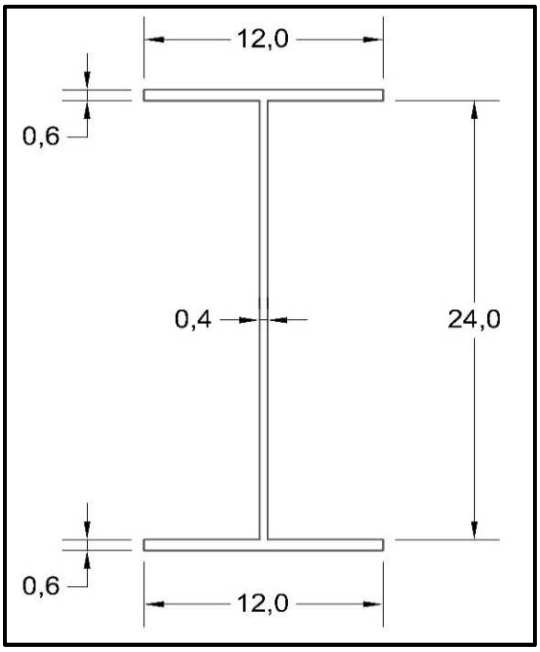
Se clasifica a la viga de acuerdo a la esbeltez de los elementos y se calcula el momento de diseño con las provisiones del código ANSI/AISC 360-2010. La viga compacta seleccionada en el diseño tiene las siguientes dimensiones:

CUADRO 2.10. DIMENSIONES DE LA VIGA COMPACTA

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Ancho de los patines	b_f	12.00	cm
Espesor de los patines	t_f	0.60	cm
Ancho del alma	h	24.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.40	cm

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 2.8. DIMENSIONES DE LA VIGA COMPACTA



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

2.2.3.2.1. Límite de esbeltez del alma

CUADRO 2.11. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DEL ALMA (VIGA COMPACTA)

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Relación ancho espesor del elemento	λ	Ec. (2.39)	SU
Ancho del alma	h	24.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.40	cm
Esbeltez límite para alma compacta	λ_{pw}	Ec. (2.40)	SU

CUADRO 2.11. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Módulo de elasticidad del acero estructural	E	2043000.00	kg/cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Esbeltez límite para alma no compacta	λ_{rw}	Ec. (2.41)	SU

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\lambda=\frac{h}{t_w} \quad \textbf{(2.39)}$$

$$\lambda=\frac{24}{0.4}=60$$

$$\lambda_{pw}=3.76*\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(2.40)}$$

$$\lambda_p=3.76*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_p=106.85$$

$$\lambda_{rw}=5.70*\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(2.41)}$$

$$\lambda_{rw}=5.70*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_{rw}=161.97$$

Como

$$\lambda<\lambda_p$$

Entonces, el alma es compacta.

2.2.3.2.2. Límite de esbeltez patines

CUADRO 2.12. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DE LOS PATINES (VIGA COMPACTA)

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Relación ancho espesor del elemento	λ	Ec. (2.42)	SU
Ancho de los patines	b_f	12.00	cm
Espesor de los patines	t_f	0.60	cm
Esbeltez límite para patín compacto	λ_{pf}	Ec. (2.43)	SU
Módulo de elasticidad del acero estructural	E	2043000.00	kg/cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Esbeltez límite para patín no compacto	λ_{rf}	Ec. (2.44)	SU
Factor de código	k_c	Ec. (2.45)	SU
Ancho del alma	h	24.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.40	cm

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\lambda=\frac{b_f}{2*t_f} \qquad \textbf{(2.42)}$$

$$\lambda=\frac{12}{2*0.6}=10$$

$$\lambda_{pf}=0.38*\sqrt{E/F_y} \qquad \textbf{(2.43)}$$

$$\lambda_{pf}=0.38*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_{pf}=10.80$$

$$\lambda_{rf}=0.95*\sqrt{k_c*E/(0.7*F_y)} \quad \textbf{(2.44)}$$

$$k_c=\frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad \textbf{(2.45)}$$

$$k_c=\frac{4}{\sqrt{60}}$$

$$k_c=0.52$$

$$\lambda_{rf}=0.95*\sqrt{0.52*2043000/(0.7*2530)}$$

$$\lambda_{rf}=23.26$$

Como

$$\lambda<\lambda_p$$

Entonces, los patines son compactos. Además, como el alma y los patines son compactos, la sección es compacta.

2.2.3.2.3. Momento nominal y momento de diseño viga compacta

CUADRO 2.13. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA COMPACTA

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Resistencia nominal a flexión	M_n	Ec. (2.46)	T-m
Momento plástico	M_p	Ec. (2.46)	T-m
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Módulo de sección plástico en torno al eje X	Z_x	234.72	cm^3

CUADRO 2.13. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento de diseño	M_R	Ec. (2.47)	T-m
Factor de reducción de momento	Φ	0.90	SU
Solicitación de momento	M_U	4.91	T-m

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$M_n=M_p=F_y*Z_x*10^{-5} \quad \textbf{(2.46)}$$

$$M_n=M_p=2530*234.72*10^{-5}$$

$$M_n=M_p=5.94 \text{ T-m}$$

$$M_R=\Phi*M_n \quad \textbf{(2.47)}$$

$$M_R=0.90*5.94$$

$$M_R=5.34 \text{ T-m}$$

Se debe cumplir $M_U<M_R$

$$4.91<5.34$$

2.2.3.3. Diseño de viga secundaria no compacta

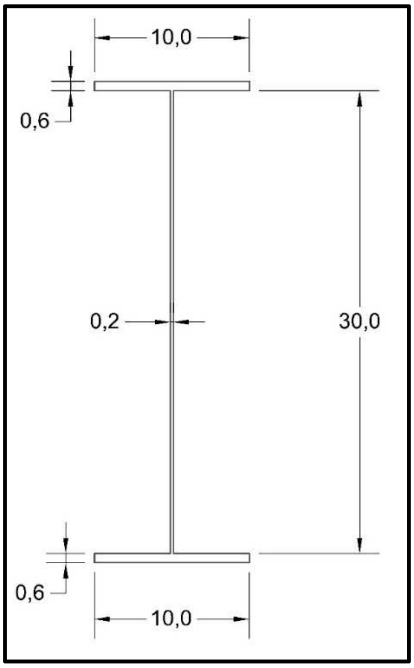
Se clasifica a la viga de acuerdo a la esbeltez de los elementos y se calcula el momento de diseño con las provisiones del código ANSI/AISC 360-2010. La viga no compacta seleccionada en el diseño tiene las siguientes dimensiones:

CUADRO 2.14. DIMENSIONES DE LA VIGA NO COMPACTA

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Ancho de los patines	b_f	10.00	cm
Espesor de los patines	t_f	0.60	cm
Ancho del alma	h	30.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.20	cm

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 2.9. DIMENSIONES DE LA VIGA NO COMPACTA



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

2.2.3.3.1. Límite de esbeltez del alma

CUADRO 2.15. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DEL ALMA (VIGA NO COMPACTA)

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Relación ancho espesor del elemento	λ	Ec. (2.48)	SU
Ancho del alma	h	30.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.20	cm
Esbeltez límite para alma compacta	λ_{pw}	Ec. (2.49)	SU
Módulo de elasticidad del acero estructural	E	2043000.00	kg/cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Esbeltez límite para alma no compacta	λ_{rw}	Ec. (2.50)	SU

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\lambda=\frac{h}{t_w} \quad \textbf{(2.48)}$$

$$\lambda=\frac{30}{0.2}=150$$

$$\lambda_{pw}=3.76*\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(2.49)}$$

$$\lambda_{pw}=3.76*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_{pw}=106.85$$

$$\lambda_{rw}=5.70*\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(2.50)}$$

$$\lambda_{rw}=5.70*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_{rw}=161.97$$

Como

$$\lambda_{pw}<\lambda<\lambda_{rw}$$

Entonces, el alma es no compacta.

2.2.3.3.2. Límite de esbeltez patines

CUADRO 2.16. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR LA ESBELTEZ DE LOS PATINES (VIGA NO COMPACTA)

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Relación ancho espesor del elemento	λ	Ec. (2.51)	SU
Ancho de los patines	b_f	12.00	cm
Espesor de los patines	t_f	0.60	cm
Esbeltez límite para patín compacto	λ_{pf}	Ec. (2.52)	SU

CUADRO 2.16. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Módulo de elasticidad del acero estructural	E	2043000.00	kg/cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Esbeltez límite para patín no compacto	λ_{rf}	Ec. (2.53)	SU
Factor de código	k_c	Ec. (2.54)	SU
Ancho del alma	h	24.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.40	cm

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\lambda=\frac{b_f}{2*t_f} \quad \textbf{(2.51)}$$

$$\lambda=\frac{10}{2*0.6}=8.33$$

$$\lambda_{pf}=0.38*\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(2.52)}$$

$$\lambda_{pf}=0.38*\sqrt{2043000/2530}$$

$$\lambda_{pf}=10.80$$

$$\lambda_{rf}=0.95*\sqrt{k_c*E/(0.7*F_y)} \quad \textbf{(2.53)}$$

$$k_c=\frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad \textbf{(2.54)}$$

$$k_c=\frac{4}{\sqrt{150}}$$

$$k_c=0.33$$

$$\lambda_{rf}=0.95*\sqrt{0.33*2043000/(0.7*2530)}$$

Como

$$\lambda<\lambda_p$$

Entonces, los patines son compactos. Sin embargo, como el alma es no compacta, la sección es no compacta.

2.2.3.3.3. Momento nominal y momento de diseño viga no compacta

CUADRO 2.17. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO NOMINAL DE LA VIGA NO COMPACTA

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Resistencia nominal a flexión	M_n	Ec. (2.55)	T-m
Factor de plastificación del alma	R_{pc}	Ec. (2.57)	SU
Momento plástico	M_p	Ec. (2.58)	T-m
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Módulo de sección plástico en torno al eje X	Z_x	234.72	cm^3
Momento elástico	M_{yc}	Ec. (2.56)	T-m
Módulo de sección elástico	S_{xc}	208.94	cm^3
Ancho del alma	h	30.00	cm
Espesor del alma	t_w	0.20	cm
Esbeltez límite para alma compacta	λ_{pw}	106.85	SU
Esbeltez límite para alma no compacta	λ_{rw}	161.97	SU
Momento de diseño	M_R	Ec. (2.59)	T-m

CUADRO 2.17. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Factor de reducción de momento	Φ	0.90	SU
Solicitación de momento	M_U	4.91	T-m

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$M_n=R_{pc}*M_{yc} \quad \textbf{(2.55)}$$

$$M_{yc}=F_y*S_{xc}*10^{-5} \quad \textbf{(2.56)}$$

$$M_{yc}=2530*208.94*10^{-5}$$

$$M_{yc}=5.29 \text{ T-m}$$

$$R_{pc}=\left[\frac{M_p}{M_{yc}}-\left(\frac{M_p}{M_{yc}}-1\right)*\left(\frac{\frac{h}{t_w}-\lambda_{pw}}{\lambda_{rw}-\lambda_{pw}}\right)\right]\leq\frac{M_p}{M_{yc}} \quad \textbf{(2.57)}$$

$$M_p=F_y*Z_x*10^{-5} \quad \textbf{(2.58)}$$

$$M_p=2530*228.60*10^{-5}$$

$$M_p=5.78 \text{ T-m}$$

$$R_{pc}=\left[\frac{5.78}{5.29}-\left(\frac{5.78}{5.29}-1\right)*\left(\frac{30/_{0.20}-106.85}{161.97-106.85}\right)\right]\leq\frac{5.78}{5.29}$$

$$R_{pc}=1.02<1.09$$

$$M_n=1.02*5.29$$

$$M_n=5.40\text{T-m}$$

$$M_R=\Phi*M_n \quad \textbf{(2.59)}$$

$$M_R=0.90*5.40$$

$$M_R=4.86 \text{ T-m}$$

Se debe cumplir $M_U<M_R$

$$4.91\approx4.86$$

La solicitación de momento es mayor que el momento de diseño de la sección, sin embargo, la diferencia de 0.05 entre los valores no es significativa, por lo que se considera que la sección puede soportar la solicitación.

2.3. RESISTENCIA DE MATERIALES

Con las dimensiones de losa (altura 10.1 centímetros) y vigas (compacta y no compacta) diseñadas en 2.2.2, 2.2.3.2 y 2.2.3.3 respectivamente, se definen las 6 muestras a ensayar.

CUADRO 2.18. MUESTRAS A ENSAYAR CON VIGAS COMPACTAS

Nro.	Sección compacta
1	Malla Φ5 mm c/10 cm
2	Malla Φ5 mm c/10 cm + 4Φ12 mm
3	Malla Φ5 mm c/10 cm + 4Φ18 mm

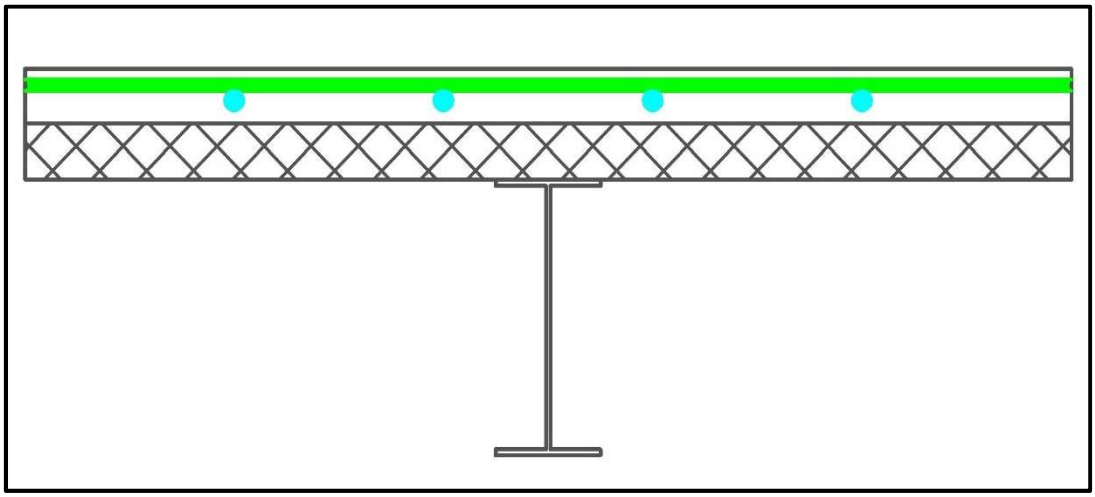
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 2.19. MUESTRAS A ENSAYAR CON VIGAS NO COMPACTAS

Nro.	Sección no compacta
1	Malla Φ5 mm c/10 cm
2	Malla Φ5 mm c/10 cm + 4Φ12 mm
3	Malla Φ5 mm c/10 cm + 4Φ18 mm

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 2.10. VISTA ESQUEMÁTICA TRANSVERSAL DE LAS MUESTRAS A ENSAYAR. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE), VARILLAS DE REFUERZO (CIAN), VIGA DE ACERO Y LOSA DECK (NEGRO).



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Debido a que en los ensayos se pretende observar el comportamiento a flexión negativa, se determina entonces la resistencia teórica a flexión negativa de la sección, es decir, cuando la compresión está en el patín externo de la viga y la tracción en el refuerzo de la losa. Se considera nula la colaboración a tracción del hormigón. Esta resistencia teórica de las muestras se basa en la resistencia de materiales, con este cálculo se tiene una referencia del comportamiento y resistencia que se obtiene en los ensayos.

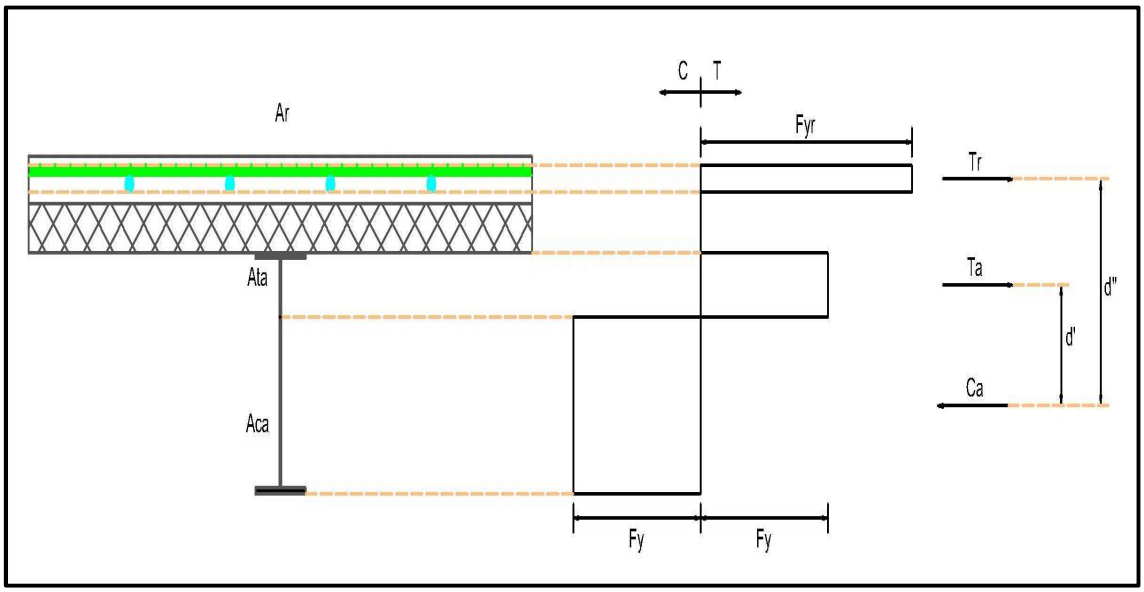
Con respecto a la resistencia nominal de las secciones compuestas compactas, el código ANSI/AISC 360-2010 dice que es el momento plástico, es decir, el momento que produce que todas las fibras de los elementos de la sección compuesta fluyan.

El código ANSI/AISC 360-2010 no trata acerca de las secciones no compactas, entonces conservadoramente se considera la resistencia nominal de estas como el momento elástico, es decir, el momento que produce la fluencia de la fibra externa de la sección compuesta.

2.3.1. ANÁLISIS PLÁSTICO

El análisis plástico no es aplicable para secciones compuestas de vigas no compactas porque la baja capacidad a corte de estas les impide plastificarse, aunque también se hace el análisis plástico de estas con el fin de tener una referencia teórica en los ensayos experimentales.

FIGURA 2.11. DISTRIBUCIÓN PLÁSTICA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA



FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

CUADRO 2.20. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO PLÁSTICO DE LA SECCIÓN COMPUESTA POR VIGA DE ACERO Y LOSA DE HORMIGÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	Ec. (2.60)	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	Ec. (2.61)	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2

CUADRO 2.20. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Área a tracción de la viga	A_{ta}	Valor propio de cada sección	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	Valor propio de cada sección	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	Ec. (2.62)	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	Valor propio de cada sección	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d’’	Valor propio de cada sección	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	Ec. (2.63)	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	Valor propio de cada sección	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$M_p=(T_a*d'+T_r*d'')*10^{-5} \quad \textbf{(2.60)}$$

$$T_a=F_y*A_{ta} \quad \textbf{(2.61)}$$

$$T_r=F_{yr}*A_r \quad \textbf{(2.62)}$$

$$C_a=F_y*A_{ca} \quad \textbf{(2.63)}$$

A continuación se calculan los valores del Cuadro 2.19., para cada una de las 6 vigas ensayadas.

2.3.1.1. Viga compuesta 1. Sección compacta y malla electrosoldada

CUADRO 2.21. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 1

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	7.60	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	25572.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Área a tracción de la viga	A_{ta}	10.10	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	19.20	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	9576.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	2.28	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200.00	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d’’	27.83	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	35148.00	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	13.89	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.1.2. Viga compuesta 2. Sección compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 12 milímetros

CUADRO 2.22. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 2

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	9.56	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	16076.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Área a tracción de la viga	A_{ta}	6.35	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	16.22	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	28566.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	6.80	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d’’	24.35	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	44643.00	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	17.64	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.1.3. Viga compuesta 3. Sección compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 18 milímetros

CUADRO 2.23. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 3

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	9.91	T-m

CUADRO 2.23. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Tensión producida en la viga de acero	T_a	4207.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Área a tracción de la viga	A_{ta}	1.66	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	10.56	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	52305.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	12.45	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d’’	18.10	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	56512.56	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	22.34	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.1.4. Viga compuesta 4. Sección no compacta y malla electrosoldada

CUADRO 2.24. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 4

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	7.50	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	17982.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Área a tracción de la viga	A_{ta}	7.11	cm^2

CUADRO 2.24. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d'	24.49	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	9576.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	2.28	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d'	24.49	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	9576.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	2.28	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d''	32.37	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	27558.00	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	10.89	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.1.5. Viga compuesta 5. Sección no compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 12 milímetros

CUADRO 2.25. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 5

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	8.34	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	8486.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2

CUADRO 2.25. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Área a tracción de la viga	A_{ta}	3.35	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	16.31	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	28566.00	kg
Área total de acero de refuerzo	A_r	6.80	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d’’	24.35	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	37053.00	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	14.65	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.1.6. Viga compuesta 6. Sección no compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 18 milímetros

CUADRO 2.26. MOMENTO PLÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 6

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento plástico de la sección compuesta viga de acero-acero de refuerzo	M_p	10.41	T-m
Tensión producida en la viga de acero	T_a	0.00	kg
Esfuerzo de fluencia del acero estructural	F_y	2530.00	kg/cm^2
Área a tracción de la viga	A_{ta}	0.00	cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_a	d’	0.00	cm
Tensión producida en el acero de refuerzo	T_r	45540.00	kg

CUADRO 2.26. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Área total de acero de refuerzo	A_r	12.45	cm^2
Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo	F_{yr}	4200	kg/cm^2
Brazo de palanca entre C_a y T_r	d''	22.86	cm
Compresión producida en la viga de acero	C_a	45540.00	kg
Área a compresión de la viga	A_{ca}	18.00	cm^2

Ver Figura 2.11.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

El área de la viga de acero no es suficiente para desarrollar completamente al refuerzo de la losa, por tanto el momento plástico es el momento que hace que toda la viga de acero fluya a tracción.

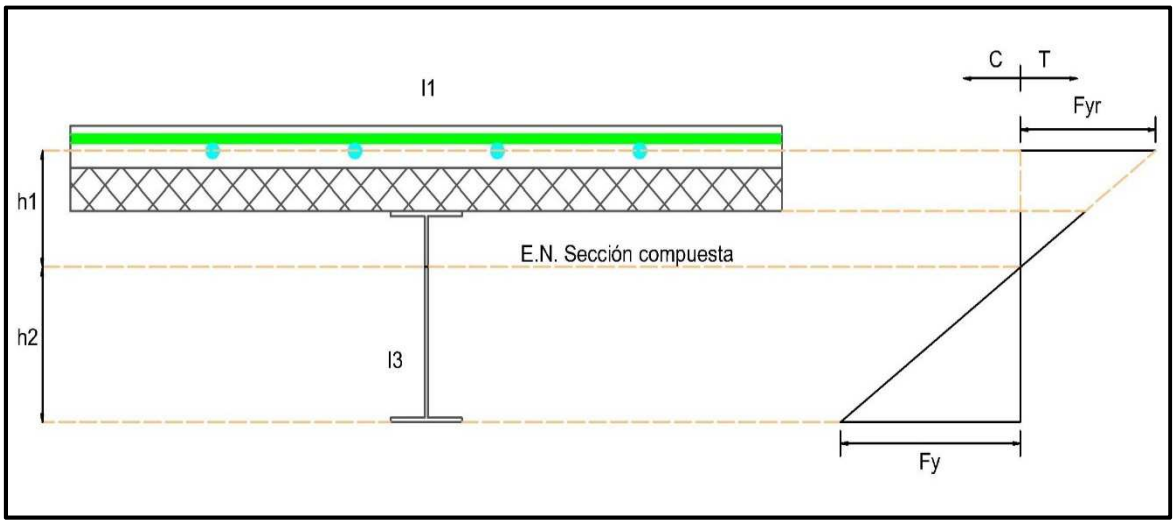
2.3.2. ANÁLISIS ELÁSTICO

Las vigas compactas por su capacidad de plastificación resisten a flexión un momento mayor al momento elástico, esto es, el momento plástico, siendo este su estado límite de resistencia a flexión. Sin embargo, para tener una referencia del comportamiento en los ensayos se hace el análisis elástico de las secciones compactas.

El código ANSI/AISC 360-2010 conservadoramente por falta de información experimental establece que el estado límite de resistencia a flexión de una sección compuesta de viga no compacta es el momento elástico, por lo tanto, el cálculo de este es indispensable para comparar la norma y los resultados experimentales. Esto es válido cuando la sección no compacta no falla antes por corte.

En el análisis elástico de una sección compuesta por el método de la sección equivalente se necesita transformar los materiales mediante sus módulos de elasticidad, sin embargo, como el acero de refuerzo y el acero estructural tienen iguales módulos de elasticidad, no se hace una equivalencia de materiales. En el análisis elástico se considera nula la contribución del hormigón a tracción.

FIGURA 2.12. DISTRIBUCIÓN ELÁSTICA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA



FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

CUADRO 2.27. DESCRIPCIÓN Y NOMENCLATURA PARA CALCULAR EL MOMENTO ELÁSTICO DE LA SECCIÓN COMPUESTA POR VIGA DE ACERO Y LOSA DE HORMIGÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	Ec. (2.64)	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	Valor propio de cada sección	cm

CUADRO 2.27. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	Valor propio de cada sección	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	Valor propio de cada sección	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	Valor propio de cada sección	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

El momento elástico de la sección compuesta es aquel que hace fluir a una de las fibras extremas, ya sea del acero de refuerzo o del acero de la viga, es decir es el menor valor entre:

$$M_y = \frac{F_y * (I_1 + I_3)}{h_2} \quad \textbf{(2.64)}$$

$$M_y = \frac{F_{yr} * (I_1 + I_3)}{h_1} \quad \textbf{(2.65)}$$

A continuación se calculan los valores del Cuadro 2.26., para cada una de las 6 vigas ensayadas.

2.3.2.1. Viga compuesta 1. Sección compacta y malla electrosoldada.

CUADRO 2.28. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 1

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	6.10	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	18.00	cm
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	14.31	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	737.97	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	2709.92	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.2.2. Viga compuesta 2. Sección compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 12 milímetros.

CUADRO 2.29. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 2

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	7.18	T-m

CUADRO 2.29. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	15.95	cm
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	17.12	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	1730.50	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	3130.12	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.2.3. Viga compuesta 3. Sección compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 18 milímetros.

CUADRO 2.30. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 3

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	7.73	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	13.20	cm

CUADRO 2.30. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	19.45	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	2173.46	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	3766.54	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.2.4. Viga compuesta 4. Sección no compacta y malla electrosoldada.

CUADRO 2.31. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 4

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	6.25	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	23.15	cm
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	18.15	cm

CUADRO 2.31. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	1221.68	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	3263.05	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.2.5. Viga compuesta 5. Sección no compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 12 milímetros.

CUADRO 2.32. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 5

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	7.00	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	19.26	cm
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	22.04	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	2524.47	cm^3

CUADRO 2.32. CONTINUACIÓN

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	3577.69	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.2.6. Viga compuesta 6. Sección no compacta, malla electrosoldada y 4 varillas diámetro 18 milímetros.

CUADRO 2.33. MOMENTO ELÁSTICO SECCIÓN COMPUESTA 6

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Momento elástico de la sección compuesta	M_y	7.47	T-m
Distancia desde el centroide del acero de refuerzo hasta el centroide de la sección compuesta	h_1	16.27	cm
Distancia desde la cara externa a compresión de la viga hasta el centroide de la sección compuesta	h_2	25.03	cm
Momento de inercia del acero de refuerzo con respecto al centroide de la sección compuesta	I_1	3299.27	cm^3
Momento de inercia de la viga de acero con respecto al centroide de la sección compuesta	I_3	4088.06	cm^3

Ver Figura 2.12.

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

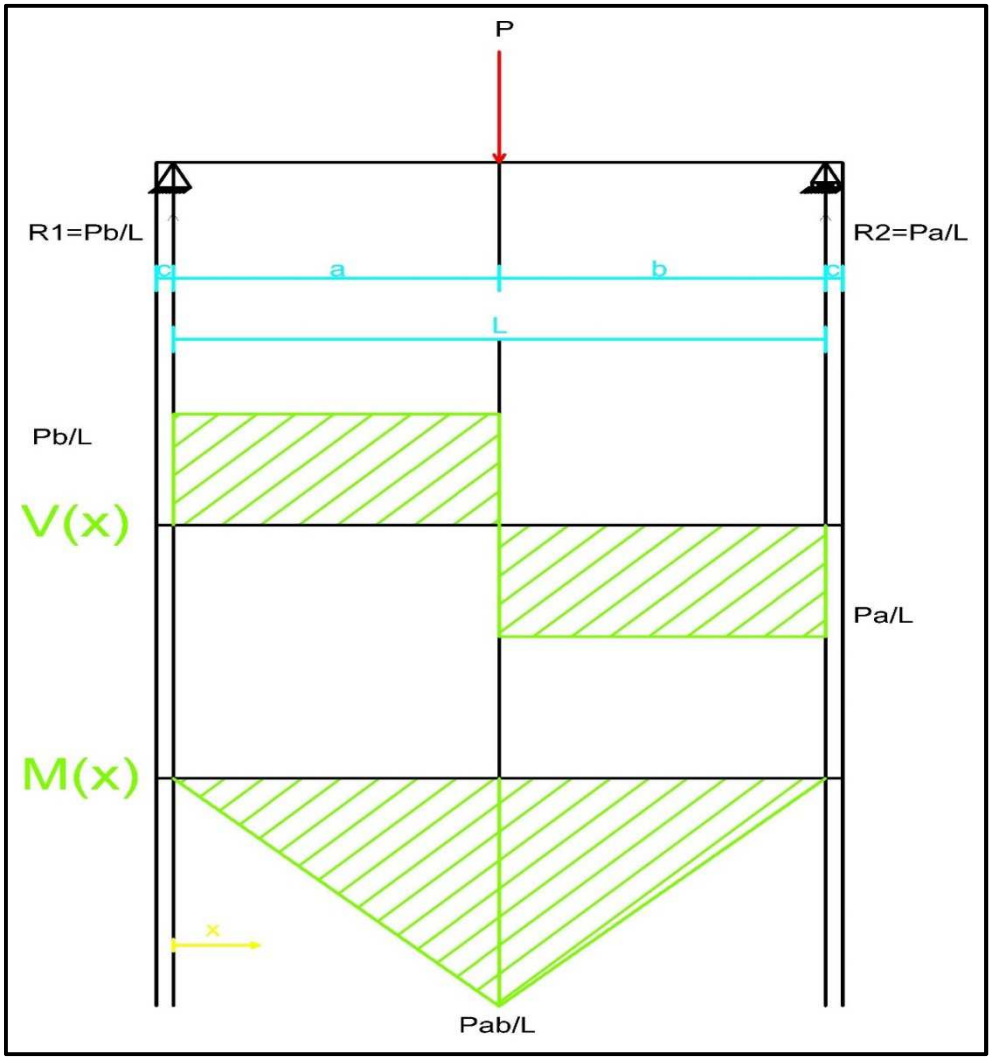
ELABORADO POR: Juan Chávez

2.3.3. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DE LOS ENSAYOS

Los modelos matemáticos sirven para determinar las fuerzas internas cortantes y flectoras que se producen en la viga compuesta sometida a una determinada carga. A partir de estas fuerzas internas se determina la deformación teórica en el sitio de aplicación de la carga y se compara con la deformación real medida en el ensayo con lo que se determina la rigidez a flexión real de cada sección compuesta.

En el modelo matemático se considera la carga puntual aplicada por el gato hidráulico, pero no se considera la carga distribuida producida por el peso propio de la sección, esto porque el medidor de deformación vertical registra deformaciones desde cero cuando la viga ya se ha deformado por el peso propio.

FIGURA 2.13. MODELOS MATEMÁTICOS DE CORTE Y MOMENTO



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Del momento matemático anterior se obtiene la deformación elástica en x=a, el giro izquierdo y el giro derecho.

CUADRO 2.34. DEFORMACIÓN Y GIROS EN LAS VIGAS ENSAYADAS

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Deformación elástica en x=a	δ	Ec. (2.66)	mm
Giro izquierdo	Θ_1	Ec. (2.67)	rad
Giro derecho	Θ_2	Ec. (2.68)	rad
Carga puntual en x=a	P	variable	kg
Distancia entre apoyos	L	Propio de cada viga	cm
Distancia desde el apoyo izquierdo hasta el sitio de aplicación de la carga	a	Propio de cada viga	cm
Distancia desde el sitio de aplicación de la carga hasta el apoyo derecho	b	Propio de cada viga	cm
Módulo de elasticidad de la sección compuesta	E	2043000.00	kg/cm^2
Inercia de la sección compuesta	I	Propio de cada viga	cm^4

FUENTE: DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CONSTRUCCIÓN COMPUESTA. BUEN LÓPEZ, 2004

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\delta=\frac{Pab}{6LEI}\left(L^2-a^2-b^2\right)*10 \qquad \textbf{(2.66)}$$

$$\Theta_1=\frac{Pb(L^2-b^2)}{6LEI} \qquad \textbf{(2.67)}$$

$$\Theta_2=\frac{Pa(L^2-a^2)}{6LEI} \qquad \textbf{(2.68)}$$

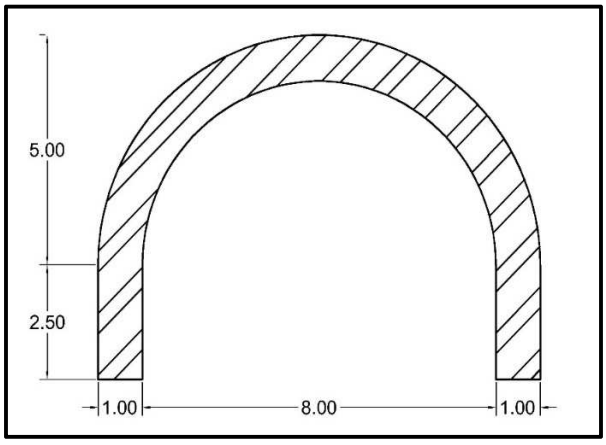
2.3.4. CONECTORES DE CORTE

Los conectores de corte juegan un papel fundamental en una sección compuesta, pues de estos depende el grado de conexión de los elementos que conforman la sección.Los conectores de corte resisten el cortante horizontal que se produce entre los elementos que conectan, en este caso, el cortante producido entre la viga de acero y la losa de hormigón.

Existe una gran variedad de conectores de corte, el código ANSI/AISC 360-2010 trata los tipo stud y los tipo canal, los cuales no son de uso común en la construcción ecuatoriana. En el país se han ideado muchos tipos de conectores, de los cuales existe poca información experimental, por lo que su uso y diseño es empírico y subjetivo al criterio del diseñador. En el presente proyecto se usan los conectores tipo arco, los cuales ya han sido estudiados antes[4] y son también de uso regular en el medio.

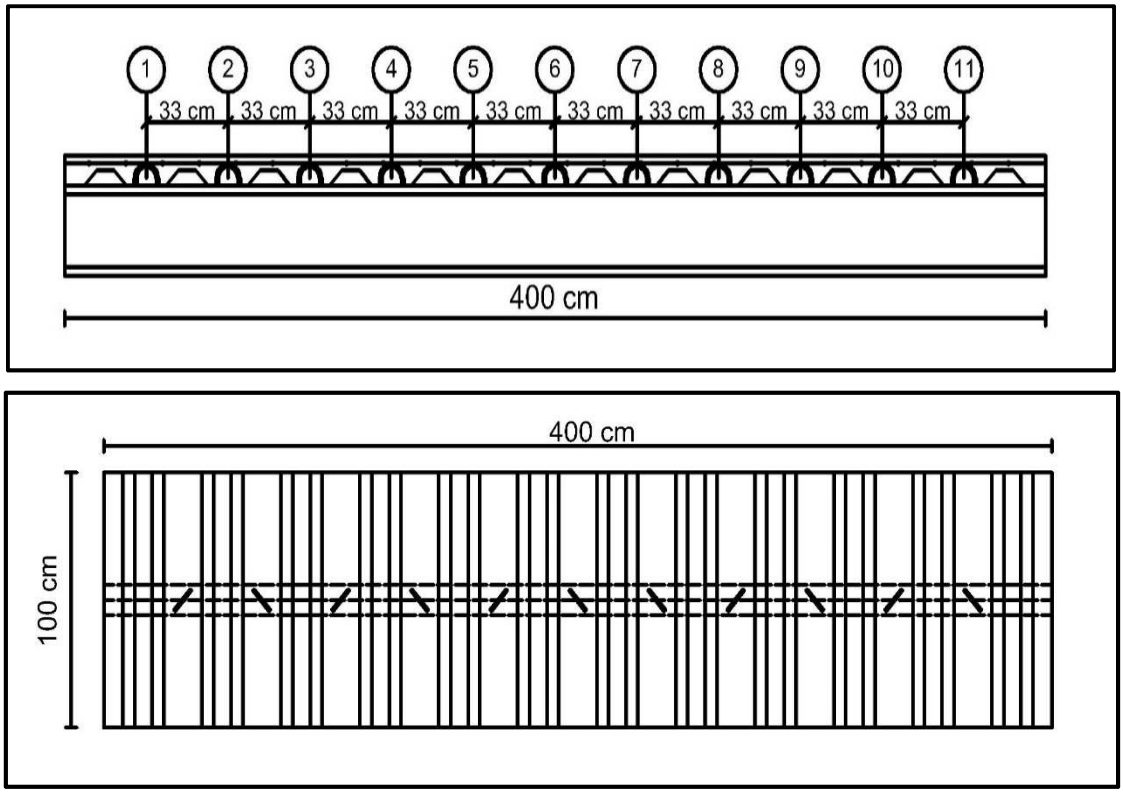
Para estimar la resistencia nominal de los conectores, se aplica la fórmula propuesta por el ANSI/AISC 360-2010 para conectores tipo Stud. La resistencia nominal de los conectores es diferente cuando las nervaduras del deck están en dirección perpendicular que cuando están en dirección paralela a la viga. El alcance de este proyecto se restringe a las nervaduras del deck que son perpendiculares a las vigas.

FIGURA 2.14. DIMENSIONES DEL CONECTOR EN CENTÍMETROS



[4] ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE DE LAS LOSAS TIPO DECK, GALÁN & JARAMILLO, 2012

FIGURA 2.14. CONTINUACIÓN



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 2.35. RESISTENCIA NOMINAL DE LOS CONECTORES

DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
Suma de las resistencias nominales de los conectores	ΣQ_n	Ec. (2.69)	T
Área de la varilla	A_{sc}	Ec. (2.70)	cm^2
Diámetro de la varilla	D	1	cm
Esfuerzo máximo a comprensión del hormigón	f'_c	210.00	kg/cm^2
Módulo de elasticidad del hormigón	E_c	1883387.90	kg/cm^2
Número de conectores tipo arco en cada losa	n_c	11	SU
Corte máximo posible que van a resistir los conectores. Fuerza para hacer fluir la malla electrosoldada más 4 varillas diámetro 18 milímetros.	V_{max}	52.27	T

FUENTE: ANSI/AISC 360-2010

ELABORADO POR: Juan Chávez

$$\sum Q_n = 0.5 * A_{sc} * \sqrt{f'_c * E_c} * n_c * 10^{-3} \quad \textbf{(2.69)}$$

$$A_{sc} = \frac{3.14 * D^2}{4} * 2 \quad \textbf{(2.70)}$$

$$V_{max} = 52.27 \text{ T}$$

$$A_{sc} = \frac{3.14 * 1^2}{4} * 2$$

$$A_{sc} = 0.785 \text{ cm}^2$$

$$\sum Q_n = 0.5 * 0.785 * \sqrt{210 * 1883387.90} * 11$$

$$\sum Q_n = 85.86$$

Como el corte máximo posible que resisten los conectores es menor que la suma de las resistencias nominales de los conectores tipo arco, la conexión en los 6 ensayos es completa, es decir, los conectores no fallan durante el ensayo.

CAPÍTULO 3

ENSAYOS EXPERIMENTALES

3.1. CONSTRUCCIÓN DE MUESTRAS

En la etapa de diseño se plantea una estructura real de la cual se extraen las dimensiones de las muestras a ensayar, de estas muestras se analiza su posible comportamiento en base a la resistencia de materiales y el modelo matemático de ensayo.

Cada una de las 6 muestras construidas consiste en una viga de acero y una losa deck unida a la viga por conectores de corte, el ancho de todas las losas es de 1.00 metros, el espesor de 10.1 centímetros y el largo de 4.00 metros. Las dimensiones detalladas de cada muestra ensayada se presentan en el Capítulo 4.

Todo el proceso constructivo se realiza en las cercanías del Laboratorio de Estructuras de la Escuela Politécnica Nacional para trasladarse luego las muestras mediante montacargas al interior.

3.1.1. VIGAS DE ACERO

Se construyen 6 vigas de acero A36 de acuerdo a lo especificado en el diseño, 3 de sección compacta y 3 de sección no compacta.

El armado de los elementos de la viga se realiza en un taller de soldadura con todas las facilidades y equipos para garantizar la calidad de los trabajos. Las vigas de acero acabadas son transportadas al lugar de construcción en las cercanías del Laboratorio de Estructuras de la Escuela Politécnica Nacional.

El largo de todas las vigas es 4.00 metros. Las dimensiones de los elementos diseñados son de difícil manejo al momento de soldar, especialmente las almas de la vigas de sección no compacta, por tal razón se usa suelda MIG, la cual no

perfora los elementos, sin embargo, el calor de la soldadura y el espesor del alma de las secciones no compactas causa pequeñas ondas en dichas vigas.

FOTOGRAFÍA 3.1. ARMADO DE LAS VIGAS DE ACERO

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.2. DECK

Las propiedades geométricas y mecánicas de las placas de acero colaborante deck varían de acuerdo al fabricante, para el diseño y construcción de las vigas de este proyecto se usa placa colaborante deck de 0.65 milímetros fabricada por la empresa Kubiec. (Ver Anexo número 1).

La presentación comercial del deck es de 6.00 metros de longitud en la dirección paralela a los valles y 1.00 metros de ancho útil en la dirección perpendicular a los valles. En el alcance del proyecto se establece que la dirección de los valles van en dirección perpendicular a las vigas de acero, por esta razón, se cortan las láminas en pedazos de 1.00 metros de longitud por 1.00 metros de ancho útil. La precisión del corte de las láminas del deck depende de la herramienta usada en el proceso, en este caso se usa cortadora de plasma.

FOTOGRAFÍA 3.2. PEDAZO CORTADO DE DECK DE 1MX1M

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.3. ENSAMBLAJE VIGAS DE ACERO Y DECK

Los pedazos de deck de 1.00 metros por 1.00 metros, se conectan al patín de la viga de acero mediante pernos autoroscantes provistos por el fabricante. Además, se atornillan los pedazos de deck entre sí mediante pernos para darles rigidez, de tal manera que no se deslicen entre ellos.

FOTOGRAFÍA 3.3. ENSAMBLAJE DECK Y VIGA DE ACERO

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.4. ENCOFRADO

El encofrado se realiza en 2 bloques de 3 vigas cada uno. La altura cubierta por el encofrado llega al límite de la altura de la losas, es decir 10.1 centímetros de espesor. Por lo tanto, no se timbra el encofrado, esto se hace para garantizar que la altura de las losas sea la misma en toda el área de las losas y además sea la especificada en el diseño. Cada losa de hormigón tiene 1.00 metros de ancho por 4.00 metros de longitud.

En el proceso se comienza por nivelar las vigas en el plano perpendicular a la gravedad, para luego pasar a fijar los bloques nivelados, para lo cual se usa pedazos de tablones de madera como apuntalamiento.

El apuntalamiento garantiza la rigidez y disminuye los desplazamientos en el encofrado durante la soldadura de los conectores, el armado del refuerzo y el vertido del hormigón.

FOTOGRAFÍA 3.4. ENCOFRADO FINALIZADO

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.5. FABRICACIÓN Y SOLDADURA DE CONECTORES

Los conectores tipo arco se construyen con varilla de acero corrugado diámetro 10 milímetros. Las varillas se doblan a mano siguiendo la forma de un molde.

FOTOGRAFÍA 3.5. FABRICACIÓN DE CONECTORES

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Los conectores de corte se sueldan inclinados con respecto al eje del patín con electrodos AWS E6011, cambiando la orientación en cada valle para evitar que se genere un plano de falla, su altura es de 7.5 centímetros. La soldadura se hace directamente entre el conector y el patín de la viga. Los conectores cubren todos los valles del deck con un espaciamiento de 33.00 centímetros que es el espacio entre centros de valles (ver Figura 2.14.).

FOTOGRAFÍA 3.6. SOLDADURA DE LOS CONECTORES

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.6. ARMADO DEL REFUERZO DE LAS LOSAS

Para 4 de las 6 losas que tienen acero de refuerzo adicional a la malla, se colocan las varillas bajo la malla electrosoldada para evitar que durante el ensayo sean expulsadas de la losa por efecto de flexión. La malla electrosoldada se fija al sistema mediante alambres amarrados a los conectores, esto evita que se levante la malla durante el vertido del hormigón. Además, la malla de cada losa termina en gancho, esto para dar la altura necesaria a la malla dentro de la losa y para generar adherencia.

La malla se coloca con un recubrimiento de 1.00 centímetros en las losas con acero de refuerzo adicional y con 2.5 centímetros de recubrimiento en las losas sin acero de refuerzo adicional. (Ver dimensiones en las figuras del Capítulo 4).

Las varillas que tienen SG se colocan minutos previos a la fundición del hormigón porque a pesar de que los SG se protegen adecuadamente, son dispositivos extremadamente delicados y no pueden ser expuestos al ambiente de forma directa por tiempo prolongado.

FOTOGRAFÍA 3.7. ARMADO MALLA ELECTROSOLDADA Y ACERO DE REFUERZO

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.7. COLOCACIÓN DE LOS STRAIN GAGES (SG)

Los SG usados en este proyecto se adhieren únicamente en superficies lisas para que sus resultados sean confiables. Los SG se colocan en todas las vigas de acero y en las varillas de refuerzo de los ensayos 2, 3, 5 y 6.

Para pegar los SG en las varillas es necesario trabajar la superficie para eliminar las corrugaciones en la zona de pegado. Este proceso consiste en limar y limpiar hasta que la superficie este totalmente libre de imperfecciones. Para eliminar el polvo y garantizar que la superficie esté seca se usa acetona pura. Se revisa el acabado final con lupa.

FOTOGRAFÍA 3.8. PROCESO DE LIMADO EN LAS VARILLAS CORRUGADAS

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

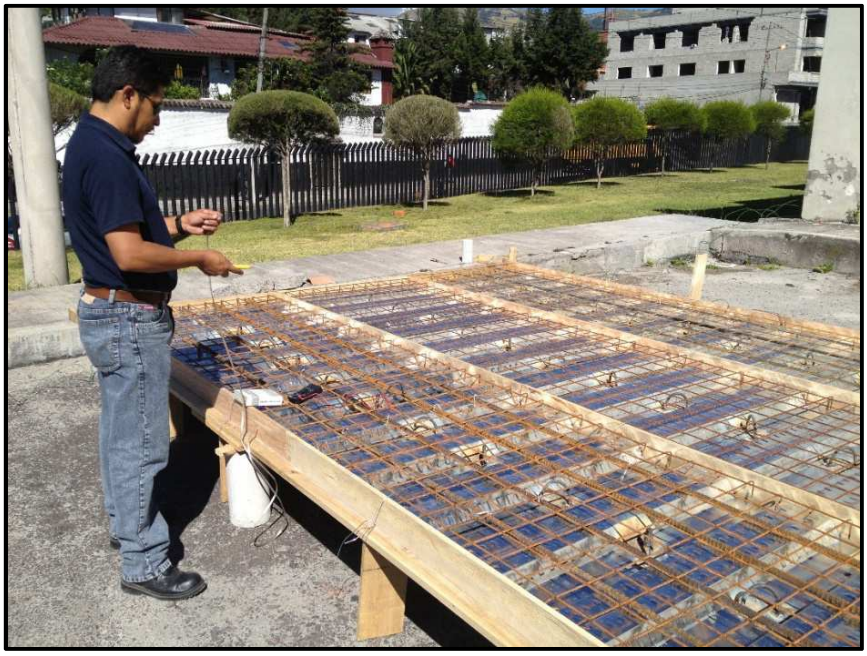
FOTOGRAFÍA 3.9. PROCESO DE LIMADO EN LAS VIGAS DE ACERO

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Los fabricantes de SG elaboran herramientas y adhesivos para su instalación correcta, sin embargo, no están disponibles en el mercado ecuatoriano, como reemplazo se usa pegamento Super Bonder el cual ha dado resultados satisfactorios en proyectos previos al presente. El pegamento se coloca en la superficie lisa, sin tocar los filamentos se pegan los SG y se exponen a la luz de un foco durante 24 horas para mejorar el proceso de fraguado del adhesivo. Luego del fraguado se coloca la protección necesaria para mantenerlos aislados y se instalan los cables que transmiten la información a los equipos.

Los SG de las varillas son forrados para evitar que se dañen en el proceso de fundición y son probados antes y después para verificar su correcto funcionamiento.

FOTOGRAFÍA 3.10. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SG



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.8. COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN, VIBRADO Y CURADO

El hormigón que se usa en las losas se diseña y fabrica en planta, y se transporta en concretera al lugar de fundición, los resultados de las pruebas de laboratorio se encuentran en el Anexo número 3. El vertido se realiza por losa para que no existan juntas de construcción, el vibrado se realiza en toda la superficie de las losas excepto en las zonas cercanas a los SG. Después, el hormigón se enluce

hasta el ras del encofrado pues la altura del encofrado es igual a la altura de la losa.

FOTOGRAFÍA 3.11. FUNDICIÓN DE LAS LOSAS

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

El curado es fundamental para evitar fisuras en las losas, especialmente porque son construidas en la intemperie durante la época soleada del año. Se usan esponjas de 3.00 centímetros de espesor para mantener húmeda la superficie de hormigón y se cubre con plástico para evitar que el agua se evapore.

FOTOGRAFÍA 3.12. CURADO DE LAS LOSAS

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

3.1.9. TRANSPORTE

Las 6 muestras a ensayar se construyen fuera del laboratorio, por lo que es necesario mover las muestras al interior para los ensayos, esto se hace después de que el hormigón fragua completamente. Las losas son desencofradas y volteadas para su transporte con montacargas como consecuencia de este proceso algunas losas reciben golpes que provocan despotillamientos menores, los cuales no afectan los ensayos.

3.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

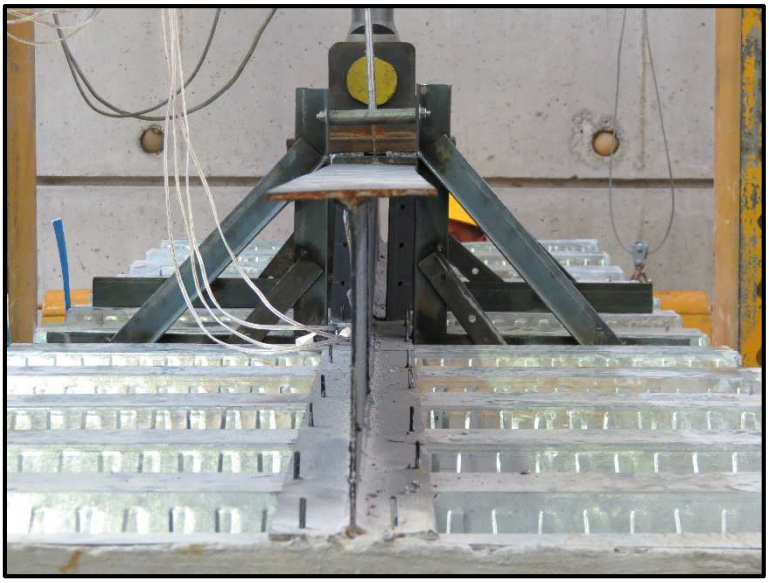
Previo a los ensayos es necesario preparar los equipos de laboratorio, se comienza por el marco de carga que es la estructura que soporta el gato hidráulico, este se nivela y ajusta para soportar las fuerzas del ensayo.

Los apoyos donde las losas descansan, se alinean y ajustan entre sí para mantener la misma separación durante la aplicación de las cargas, estos se engrasan en su parte superior para garantizar la condición de apoyo simple, prevista en el modelo matemático.

La celda de carga es delicada, si se desalinea con la viga se puede romper, esto hace necesaria la instalación de soportes laterales y verticales cercanas al sitio de aplicación de la carga.

Los soportes laterales se construyen con perfiles de acero laminados en caliente para formar una escuadra que impide el desplazamiento lateral de la viga de acero pero no impide el desplazamiento vertical. Se fabrican 4 escuadras las cuales se atornillan a la losa de hormigón. Los soportes laterales se ubican cerca del sitio de aplicación de la carga porque la fuerza del gato hidráulico vuelve a la viga de acero más inestable en esa zona. Además, se colocan 2 ángulos entre los patines de la viga, para evitar que la carga deforme al patín.

FOTOGRAFÍA 3.13. SOPORTES LATERALES Y VERTICALES EN EL SITIO DE APLICACIÓN DE LA CARGA



FOTOGRAFÍA 3.13. CONTINUACIÓN

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Los instrumentos de medición se instalan cuando las losas están colocadas y alineadas. Para el ensayo se usa un medidor de deformación vertical y SG para medir deformaciones unitarias en el refuerzo de la losa y en la viga de acero. Los medidores envían sus registros al computador en función de la carga puntual aplicada.

FOTOGRAFÍA 3.14. INSTALACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

FOTOGRAFÍA 3.14. CONTINUACIÓN

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE CARGA

4.1. DESCRIPCIÓN

El ensayo consiste en aplicar una carga puntual variable en las losas y medir la deformación vertical y deformaciones unitarias en la sección transversal de la sección compuesta. Las cargas se aplican desde cero hasta que las losas fallan.

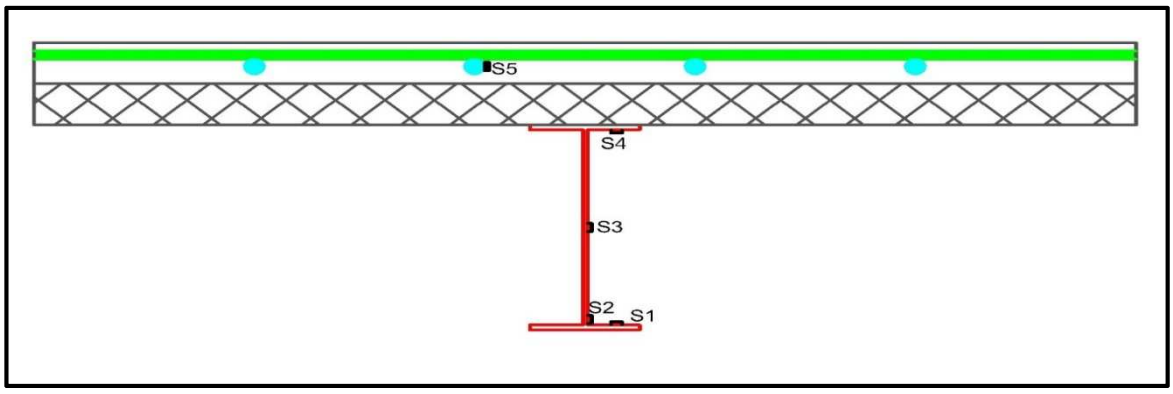
Para analizar la flexión negativa de las secciones compuestas se aplica la carga puntual en las losas invertidas, es decir que la losa de hormigón descansa sobre los apoyos y la viga de acero sobre la losa (ver Fotografía 4.1.). En cada ensayo se usa un medidor de deformación vertical LVDT en el sitio de aplicación de la carga.

FOTOGRAFÍA 4.1. ORIENTACIÓN TIPO DE LAS LOSAS

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Los SG se colocan a 10 centímetros de la carga para evitar que los registros sean afectados por los esfuerzos de corte. Para los ensayos 1 y 4 no se usa SG en el refuerzo, es decir no existe registro del SG 5 para esas losas.

FIGURA 4.1. POSICIÓN DE LOS SG EN LOS ENSAYOS



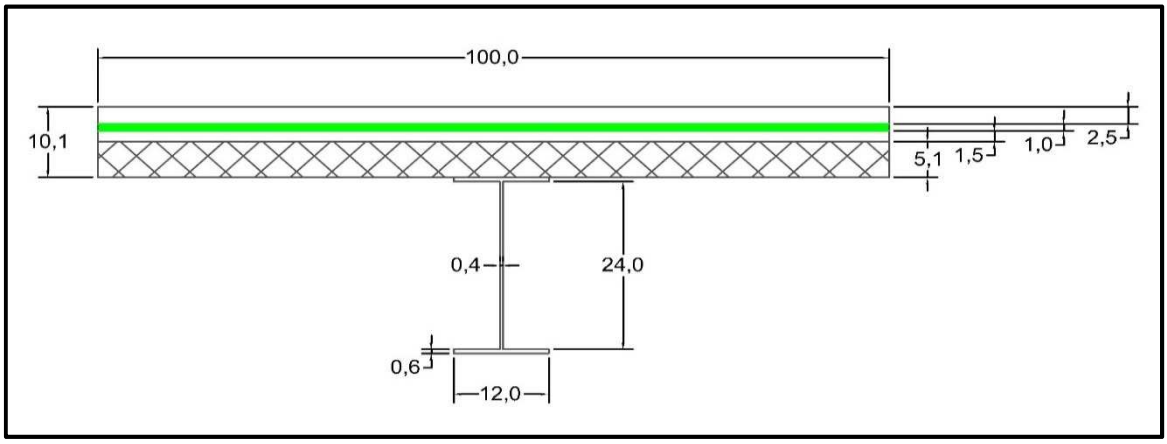
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.2. ENSAYO 1. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA

4.2.1. DESCRIPCIÓN

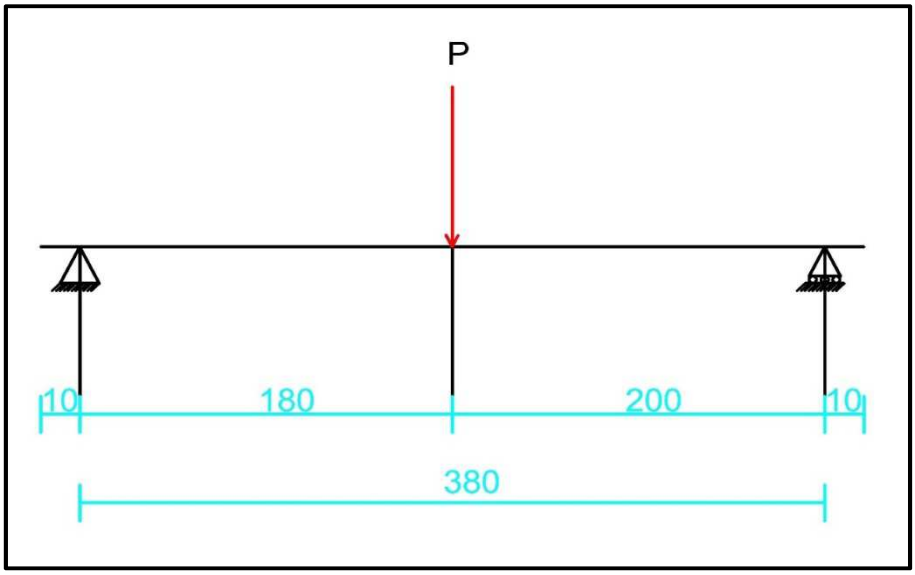
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Área=2.28 cm^2
- Viga de acero compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.2. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA Llosa 1. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

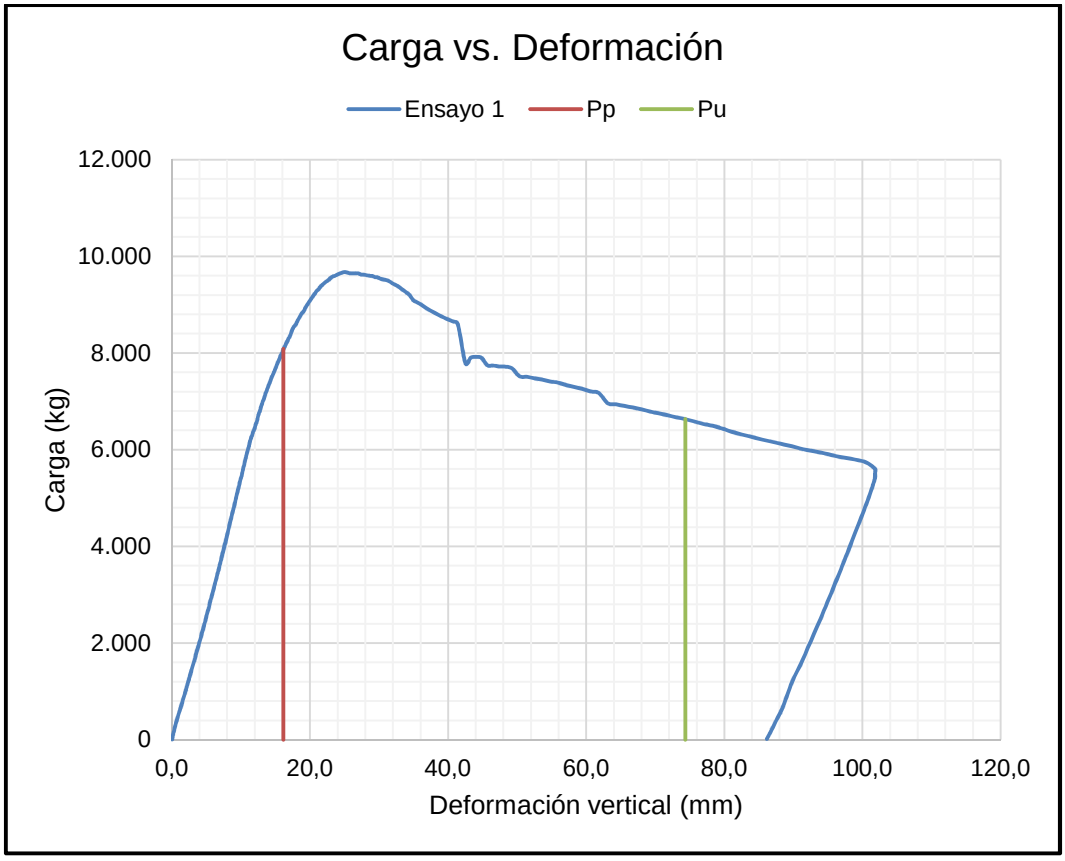
FIGURA 4.3. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 1



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.2.2. RESULTADOS

FIGURA 4.4. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 1



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 4.1. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 1

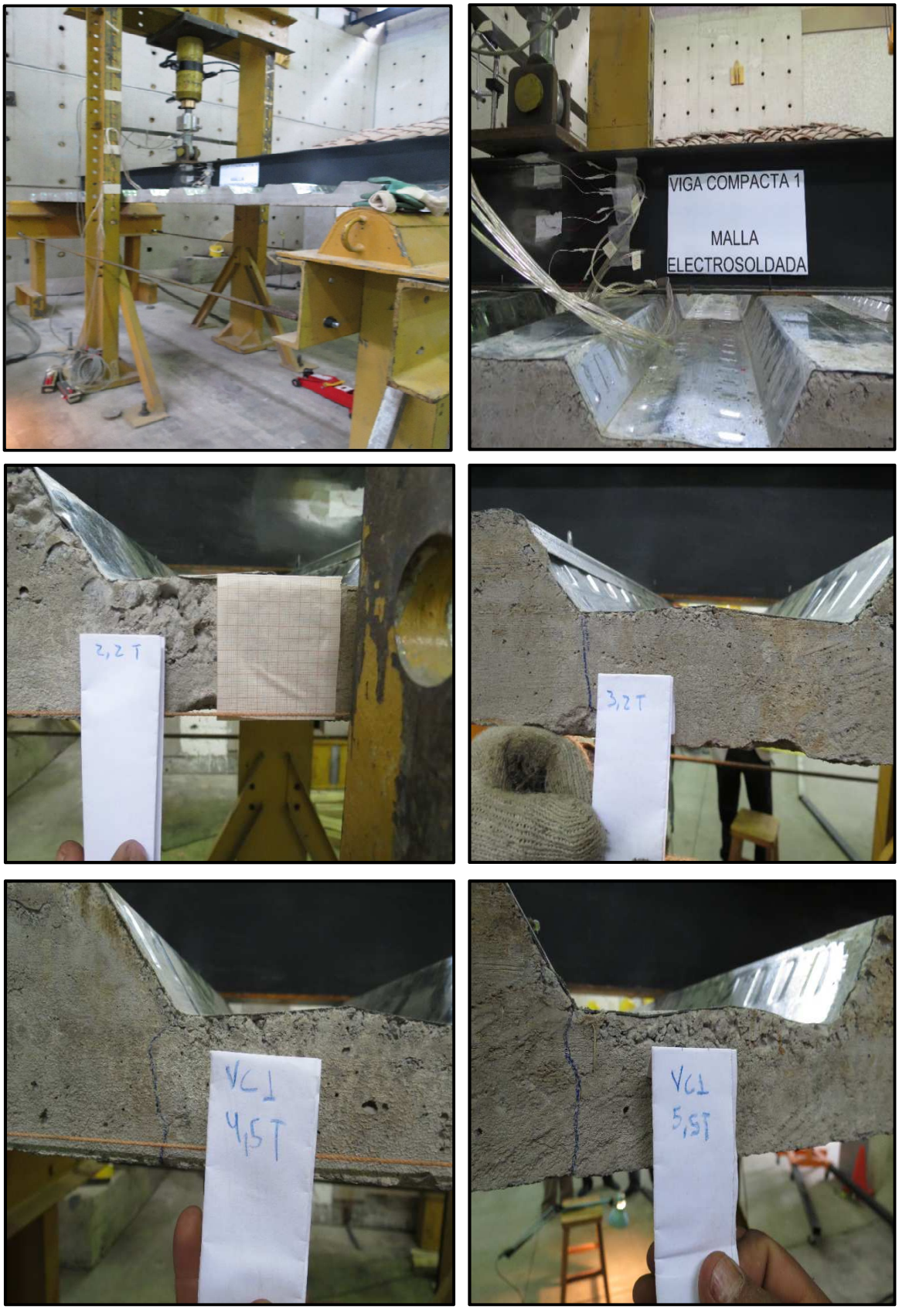
P	**δreal**	**δteórico**
kg	**mm**	**mm**
526	0.0	0.8
1,016	2.0	1.6
1,500	3.0	2.4
2,034	4.0	3.3
2,485	4.9	4.0
3,013	5.8	4.9
3,503	6.7	5.7
4,012	7.6	6.5
4,535	8.5	7.3
4,996	9.3	8.1
5,464	10.1	8.8
6,007	11.0	9.7
6,528	12.1	10.5
6,996	13.2	11.3

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En el ensayo 1, la sección llega hasta la carga de plastificación total y puede sostener una carga máxima de 9670 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 74.3 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[5]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo local del patín en compresión. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, revelando que la inercia efectiva es menor que la inercia compuesta completa principalmente porque la conexión permite pequeños desplazamientos entre viga y losa que disminuyen la inercia.

[5] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.2. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 1



FOTOGRAFÍA 4.2. CONTINUACIÓN

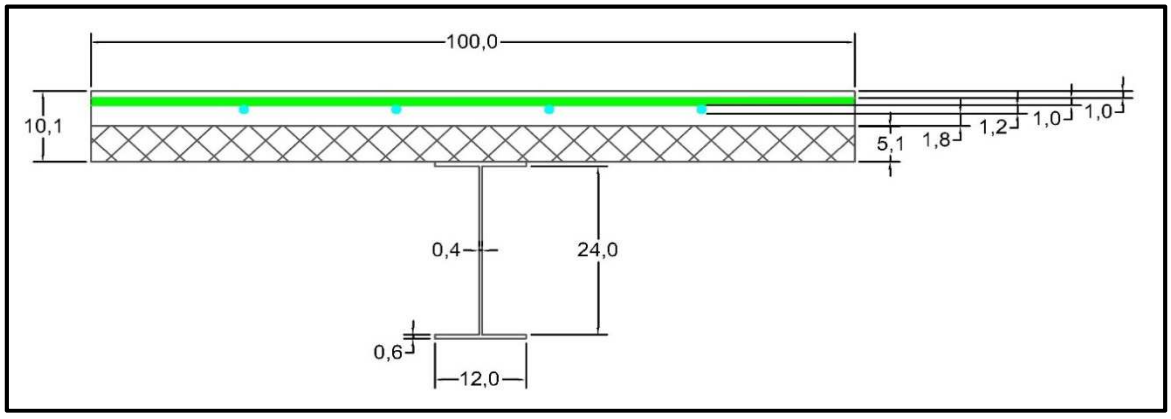
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.3. ENSAYO 2. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

4.3.1. DESCRIPCIÓN

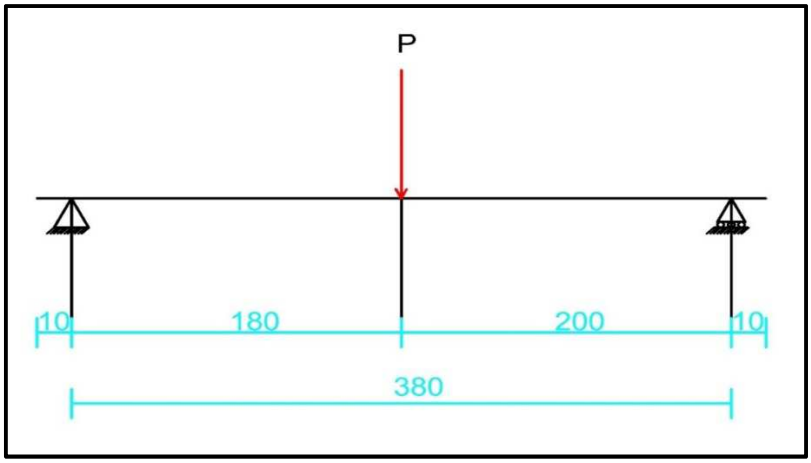
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Adicional 4 varillas diámetro 12 milímetros fy=4200 kg/cm^2. Área=6.80 cm^2
- Viga de acero compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.5. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA Llosa 2. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

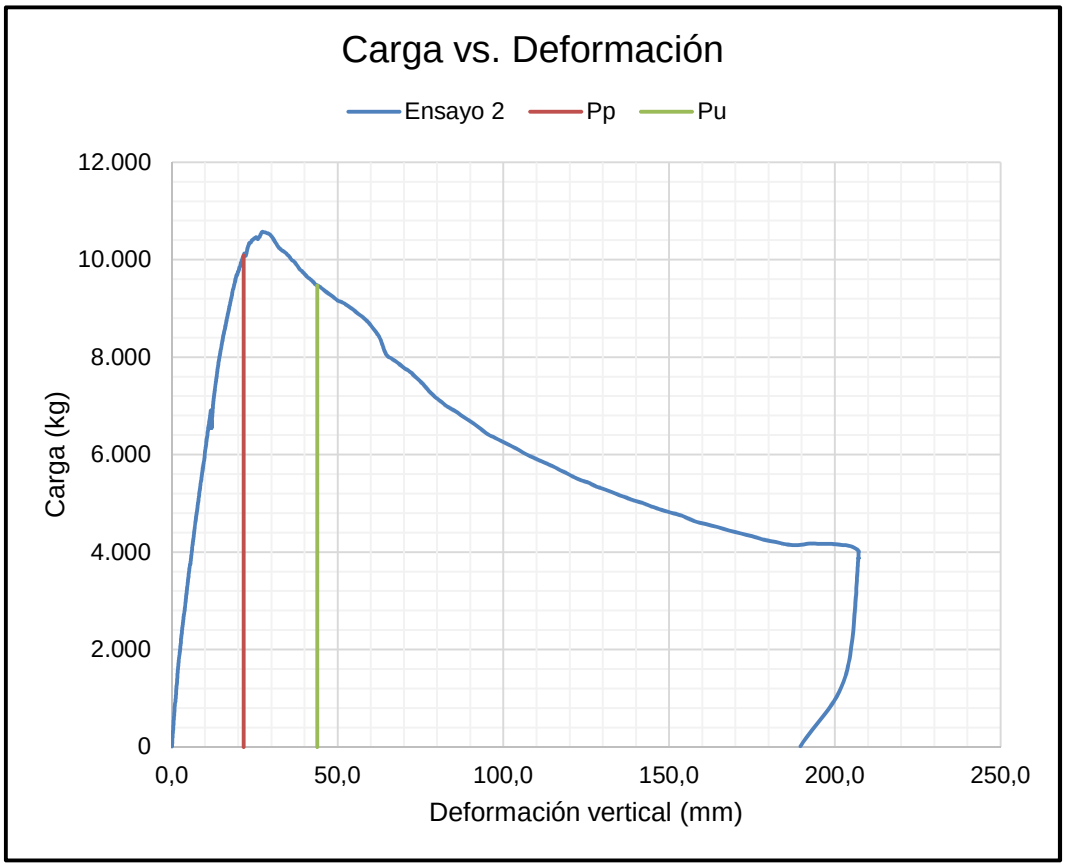
FIGURA 4.6. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 2



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.3.2. RESULTADOS

FIGURA 4.7. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 2



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 4.2. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 2

P	δreal	δteórico
kg	mm	mm
512	0.5	0.6
1,020	1.2	1.2
1,520	1.7	1.7
2,015	2.5	2.3
2,511	3.3	2.9
3,020	4.2	3.5
3,496	5.0	4.0
4,015	6.0	4.6
4,525	6.9	5.2
5,020	7.9	5.7

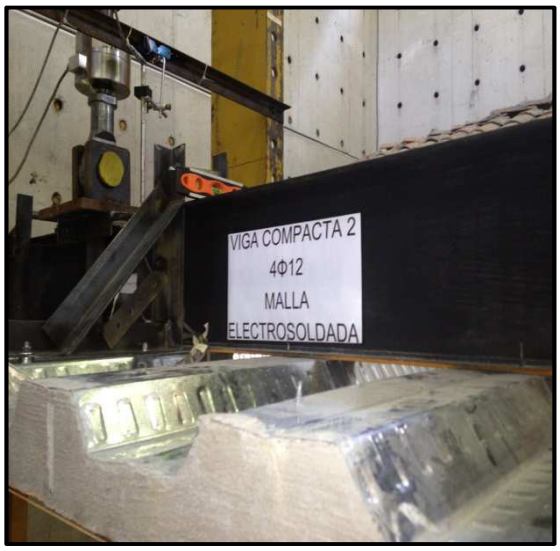
CUADRO 4.2. CONTINUACIÓN

P	δreal	δteórico
kg	mm	mm
5,525	8.9	6.3
6,001	9.9	6.9
6,479	10.8	7.4
6,982	12.4	8.0

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

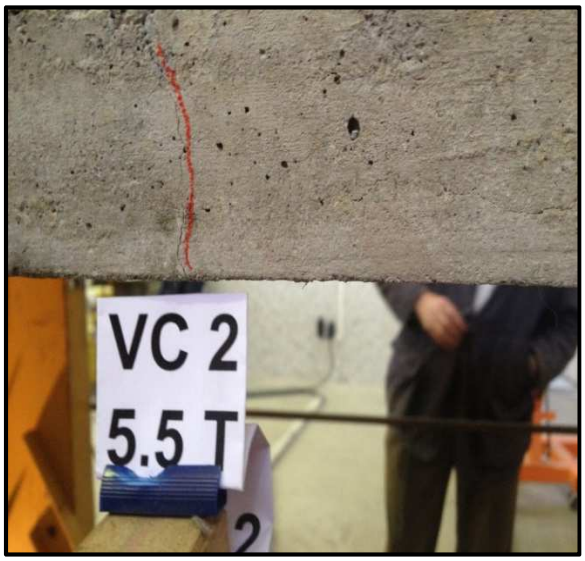
En el ensayo 2, la sección llega hasta la carga de plastificación total y puede sostener una carga máxima de 10570 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 43.8 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[6]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo local del patín en compresión. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, revelando que la inercia efectiva es menor que la inercia compuesta completa principalmente porque la conexión permite pequeños desplazamientos entre viga y losa que disminuyen la inercia. La losa de hormigón se desprende parcialmente de los conectores de corte.

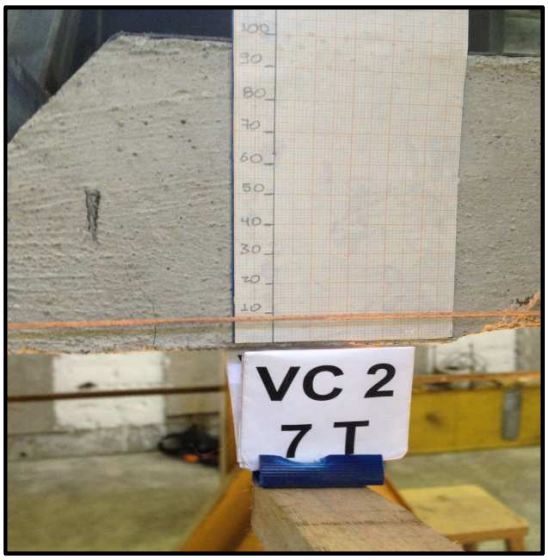
FOTOGRAFÍA 4.3. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 2

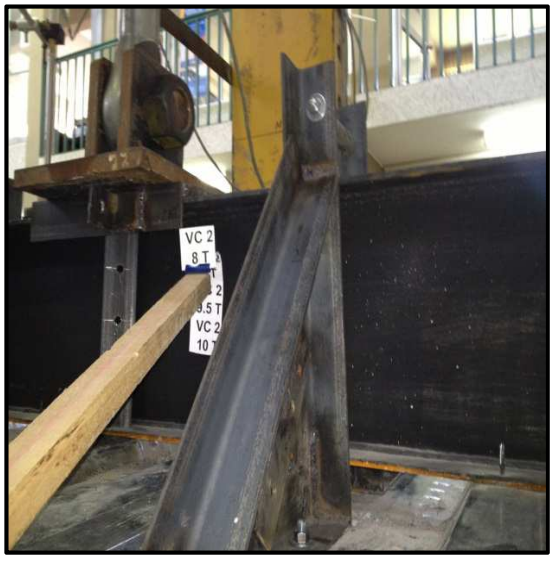


[6] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.3. CONTINUACIÓN

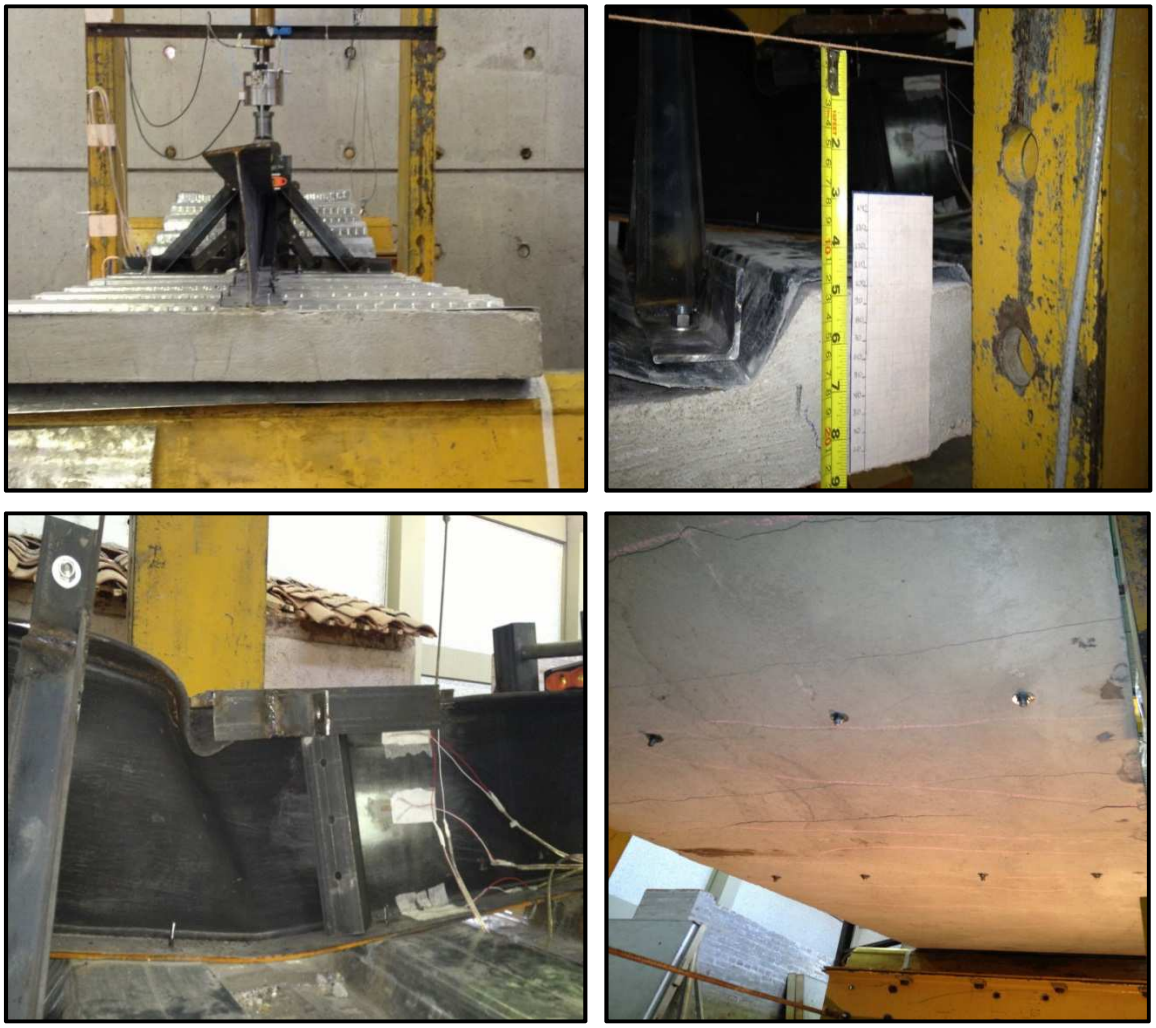






FOTOGRAFÍA 4.3. CONTINUACIÓN

FOTOGRAFÍA 4.3. CONTINUACIÓN



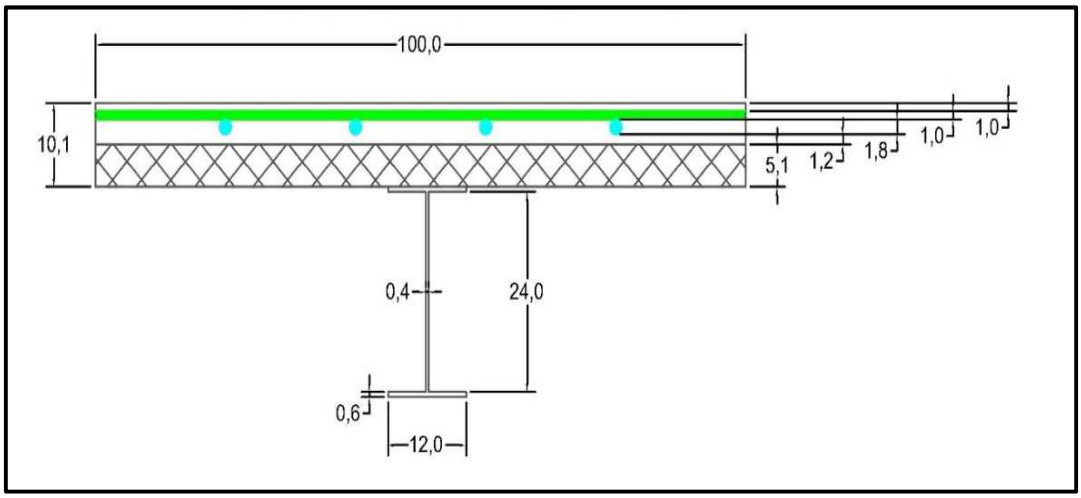
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.4. ENSAYO 3. VIGA COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS

4.4.1. DESCRIPCIÓN

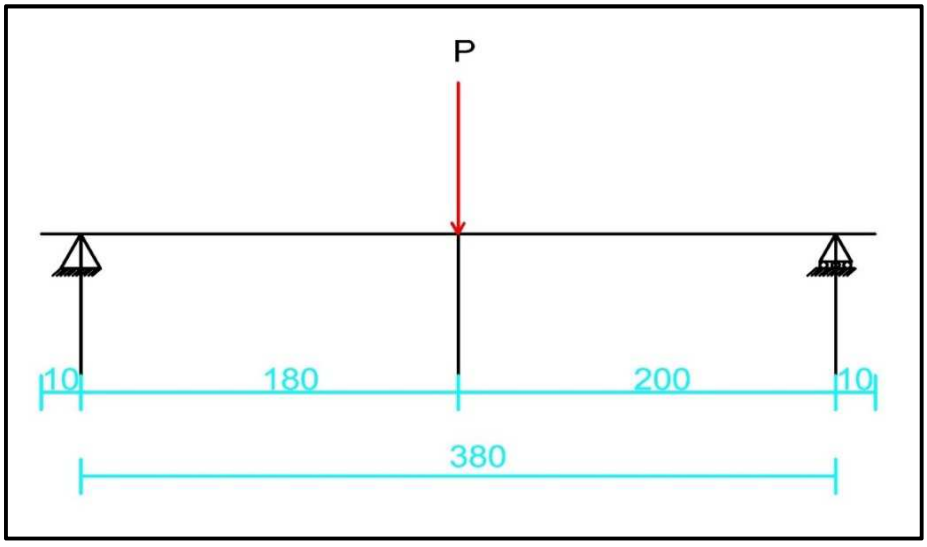
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Adicional 4 varillas diámetro 18 milímetros fy=4200 kg/cm^2. Área=12.45 cm^2
- Viga de acero compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.8. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 3. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

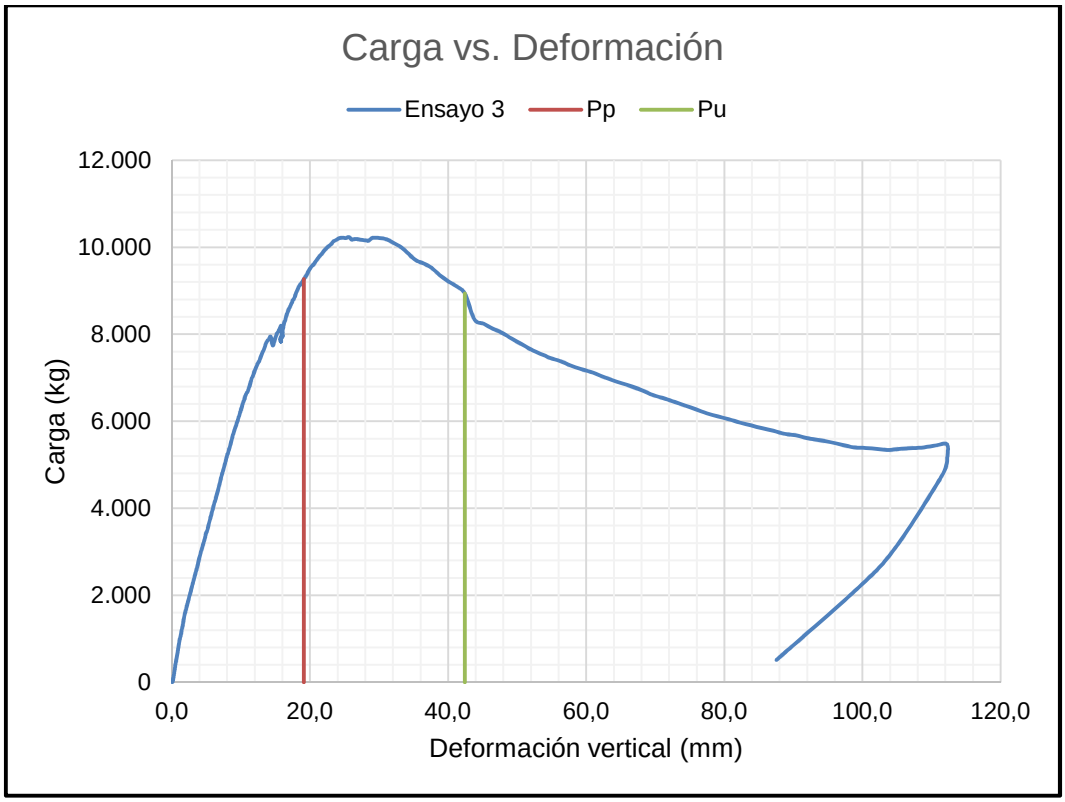
FIGURA 4.9. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 3



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.4.2. RESULTADOS

FIGURA 4.10. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 3



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 4.3. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 3

P	δreal	δteórico
kg	mm	mm
497	0.6	0.5
977	1.1	0.9
1,455	1.7	1.4
2,049	2.7	1.9
2,488	3.4	2.3
3,029	4.2	2.8
3,480	5.1	3.3
3,967	5.9	3.7
4,496	6.8	4.2
5,012	7.7	4.7
5,468	8.5	5.1

CUADRO 4.3. CONTINUACIÓN

P	δreal	δteórico
kg	**mm**	**mm**
6,016	9.5	5.6
6,504	10.5	6.1
6,972	11.5	6.5

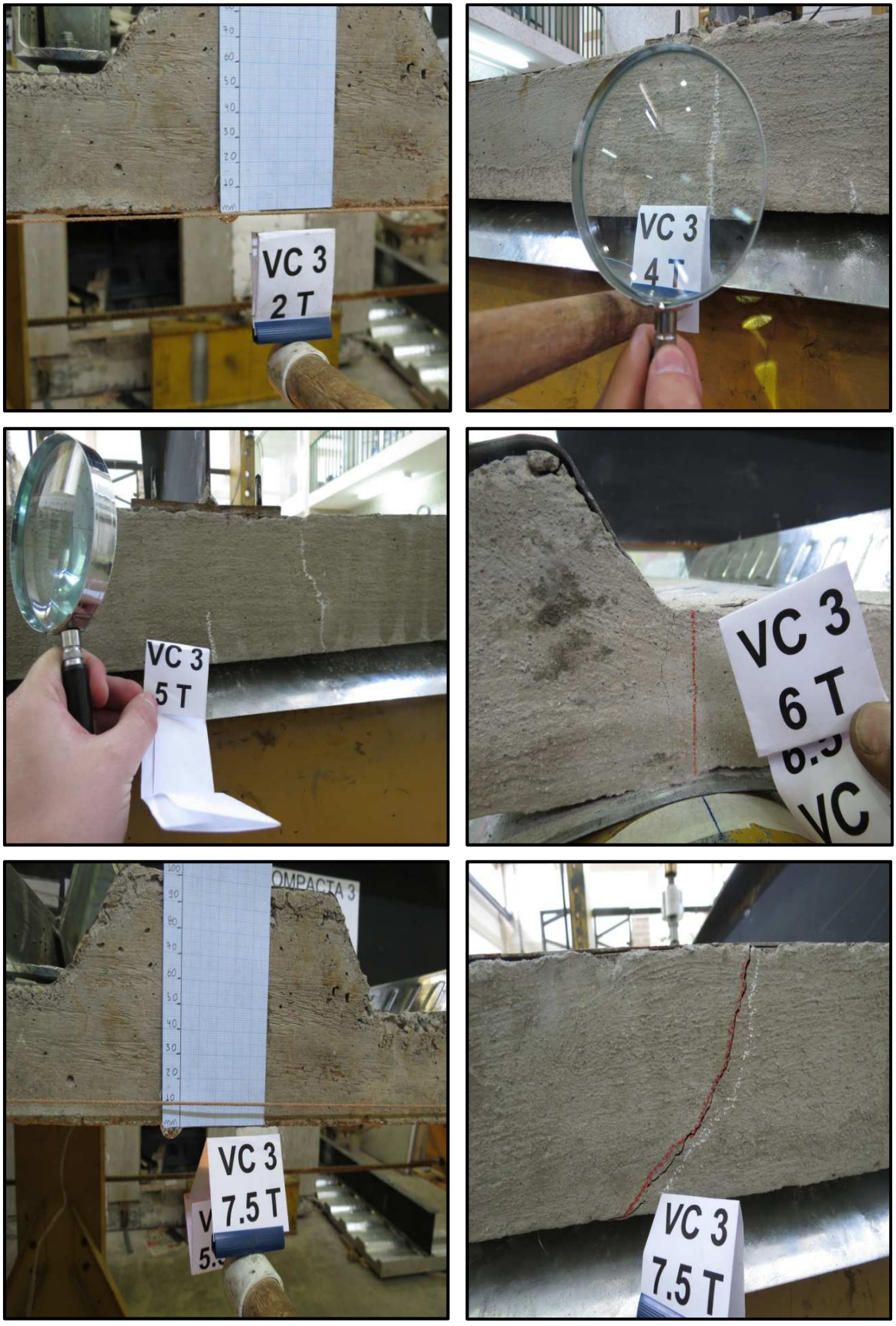
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En el ensayo 3, la sección no llega hasta la carga de plastificación total, la capacidad de carga real de la sección es de 8800 kilogramos y sostiene una carga máxima de 10230 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 42.4 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[7]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo local del patín en compresión. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, revelando que la inercia efectiva es menor que la inercia compuesta completa principalmente porque la conexión permite pequeños desplazamientos entre viga y losa que disminuyen la inercia. La losa de hormigón se desprende parcialmente de los conectores de corte y las fisuras son menores comparadas a los ensayos 1 y 2.

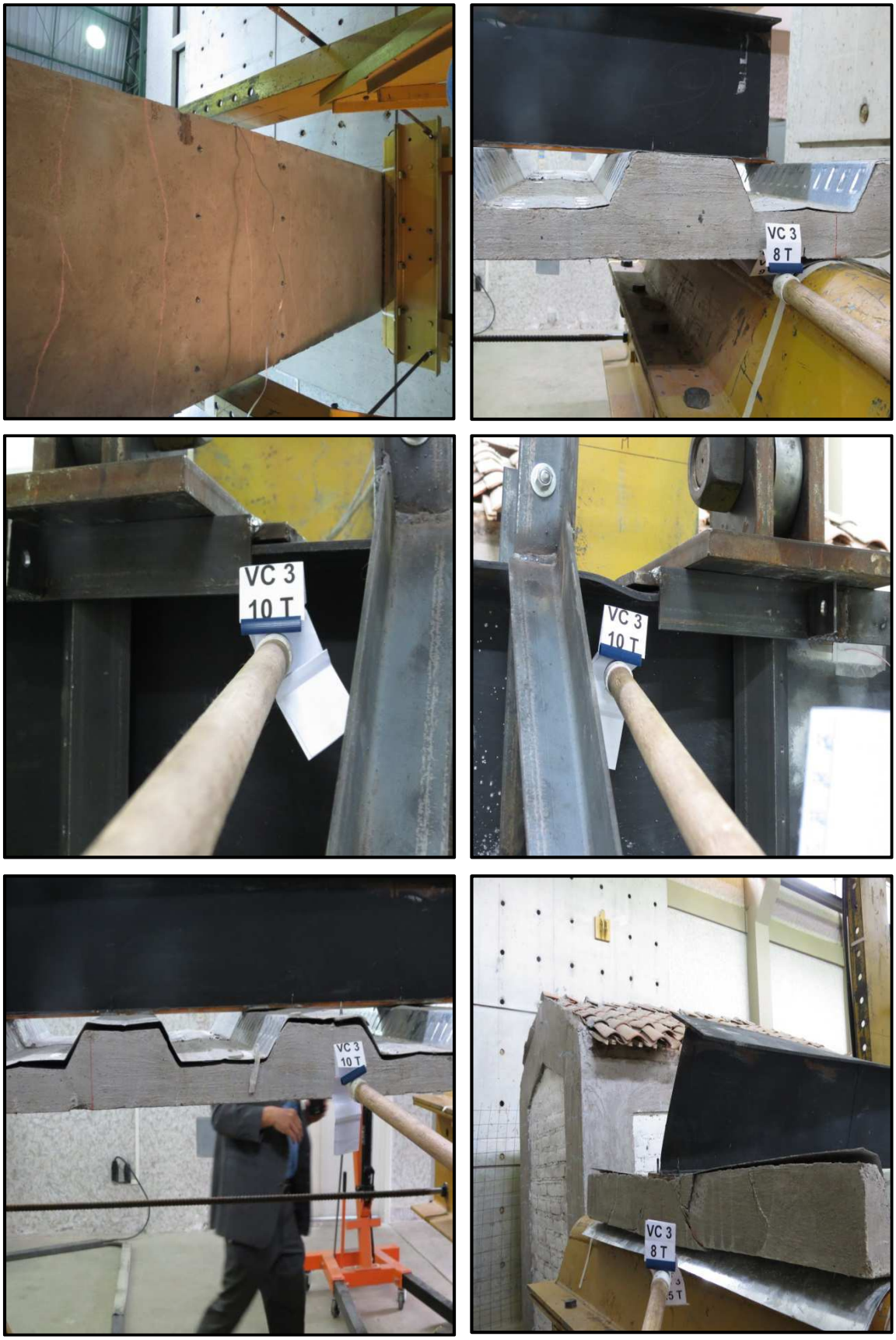
FOTOGRAFÍA 4.4. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 3

[7] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.4. CONTINUACIÓN



FOTOGRAFÍA 4.4. CONTINUACIÓN



FOTOGRAFÍA 4.4. CONTINUACIÓN

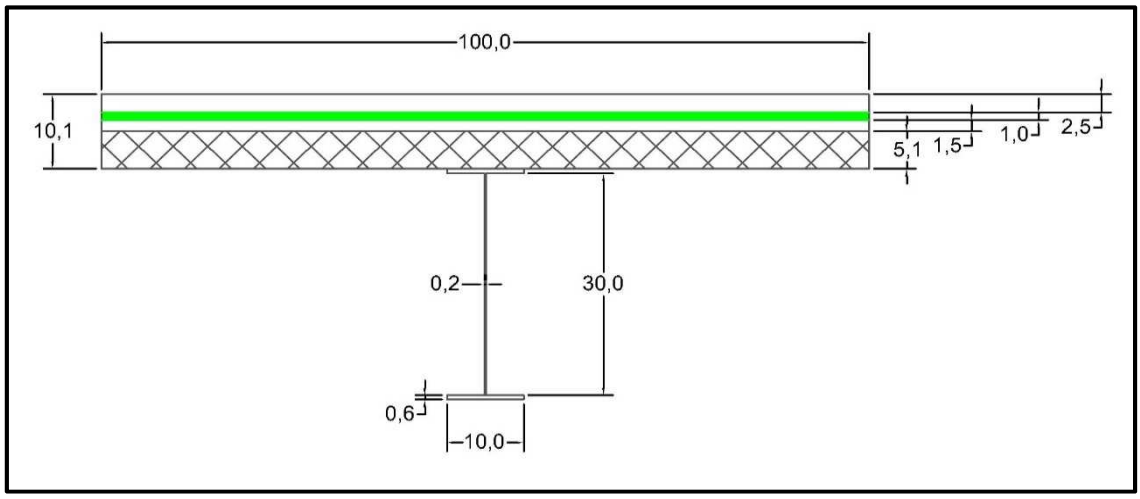
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.5. ENSAYO 4. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA

4.5.1. DESCRIPCIÓN

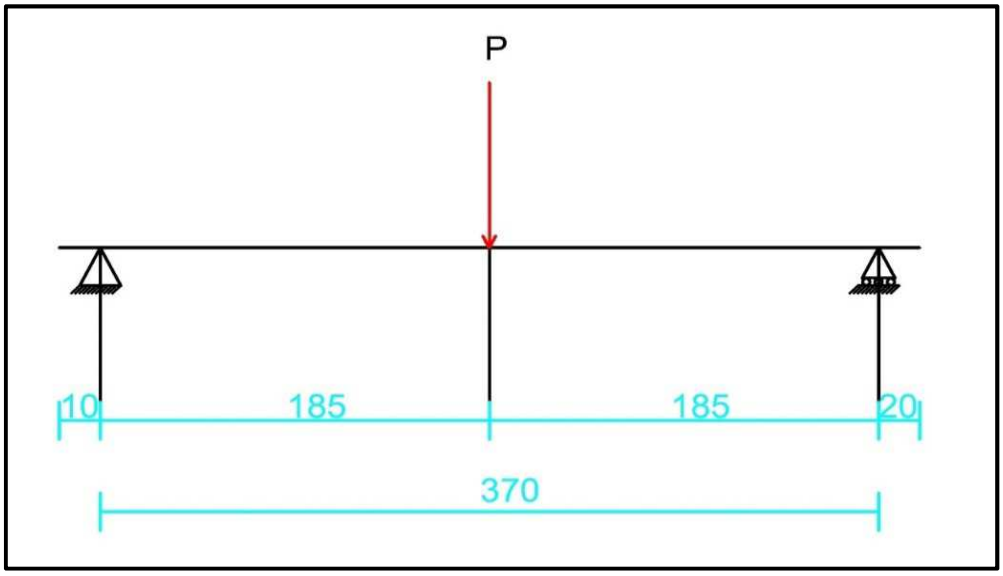
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Área=2.28 cm^2
- Viga de acero no compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.11. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 4. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

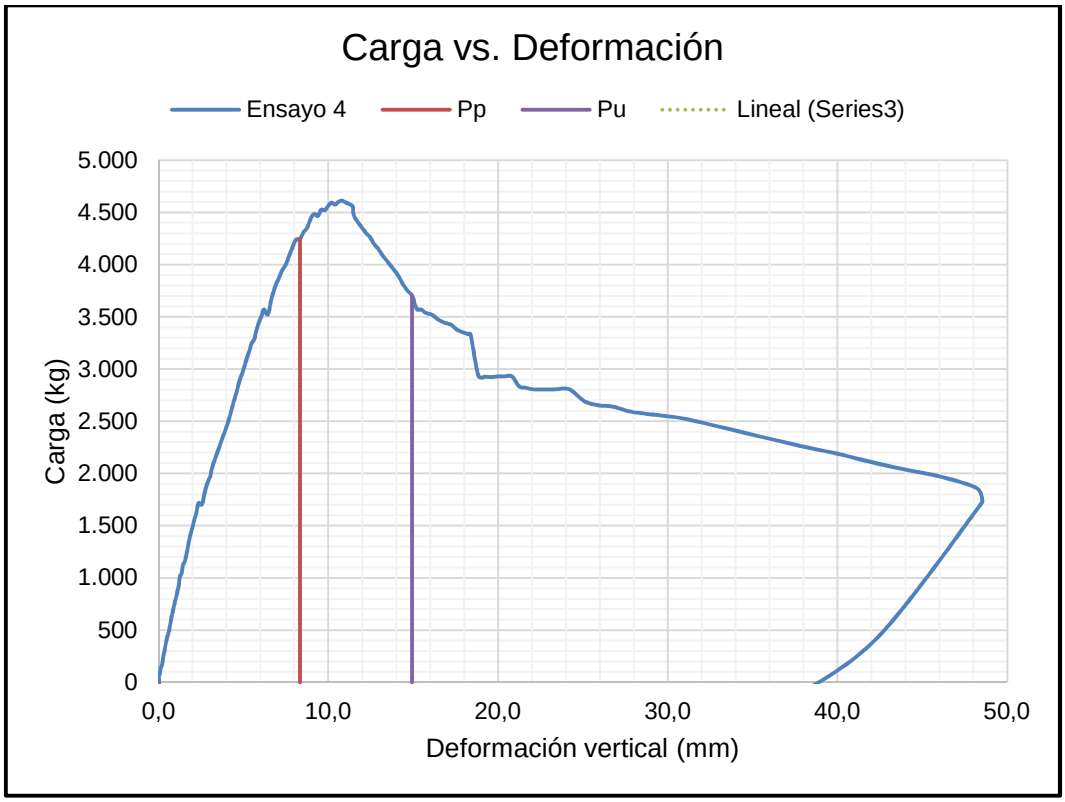
FIGURA 4.12. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 4



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.5.2. RESULTADOS

FIGURA 4.13. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 4



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

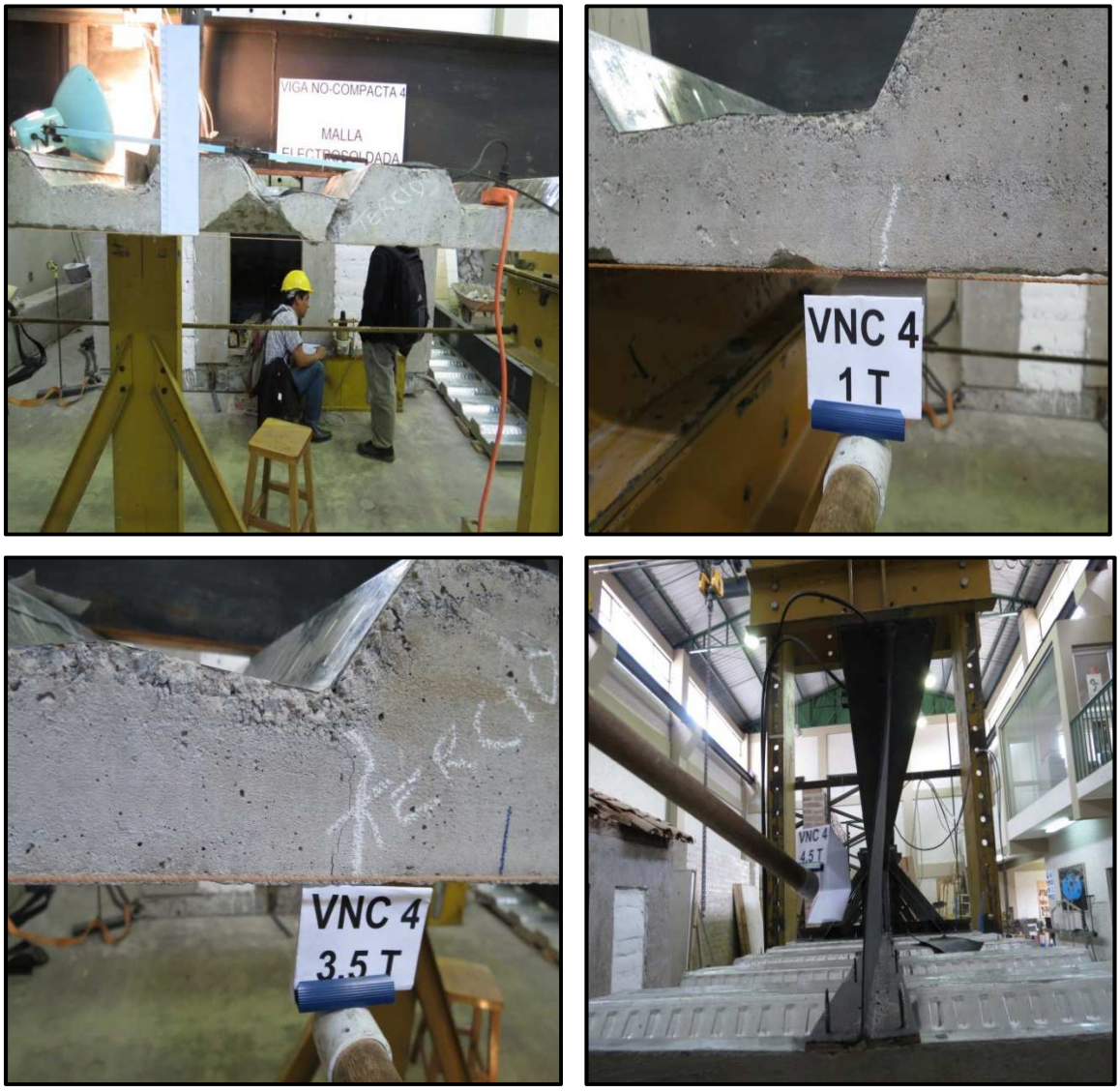
CUADRO 4.4. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 4

P	δreal	δteórico
kg	mm	mm
432	0.5	0.5
823	1.0	1.0
1,206	1.6	1.4
1,621	2.2	1.9
1,971	3.0	2.4
2,444	4.0	2.9
2,799	4.6	3.4
3,170	5.3	3.8
3,571	6.2	4.3
4,000	7.5	4.8

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En el ensayo 4, la sección no llega hasta la carga de fluencia, la capacidad de carga real de la sección es de 3900 kilogramos y sostiene una carga máxima de 4610 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 14.9 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[8]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo lateral de la viga de acero. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, incluso son menores a la inercia de la viga, esto debido a la inestabilidad del alma. La losa de hormigón se desprende parcialmente de los conectores de corte.

FOTOGRAFÍA 4.5. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 4



[8] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.5. CONTINUACIÓN

FOTOGRAFÍA 4.5. CONTINUACIÓN

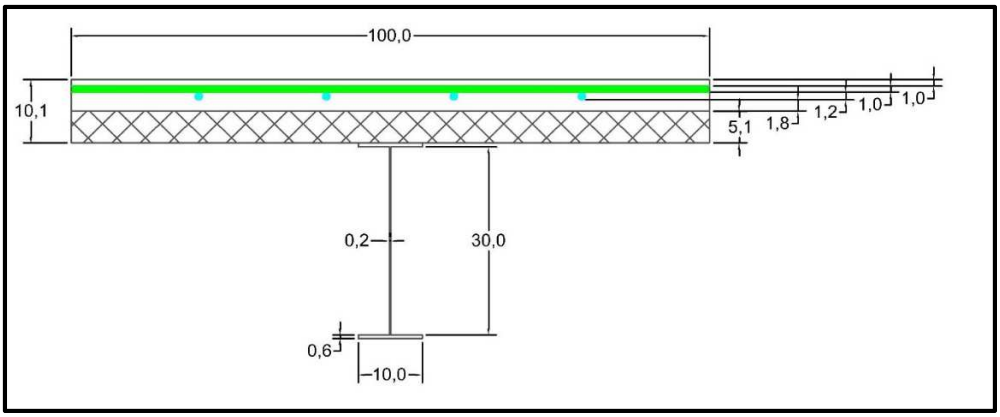
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.6. ENSAYO 5. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 12 MILÍMETROS

4.6.1. DESCRIPCIÓN

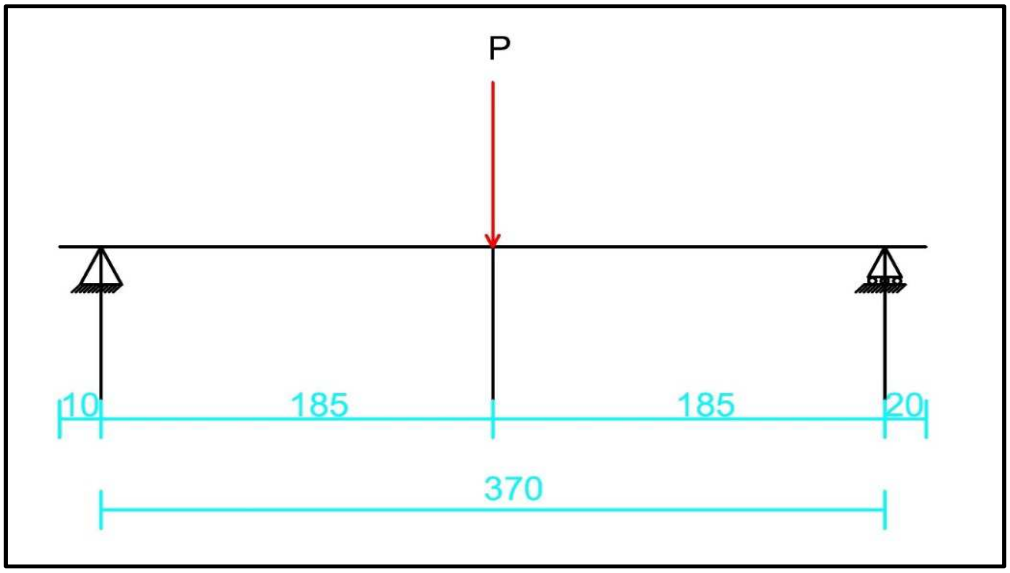
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Adicional 4 varillas diámetro 12 milímetros fy=4200 kg/cm^2. Área=6.80 cm^2
- Viga de acero no compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.14. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 5. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

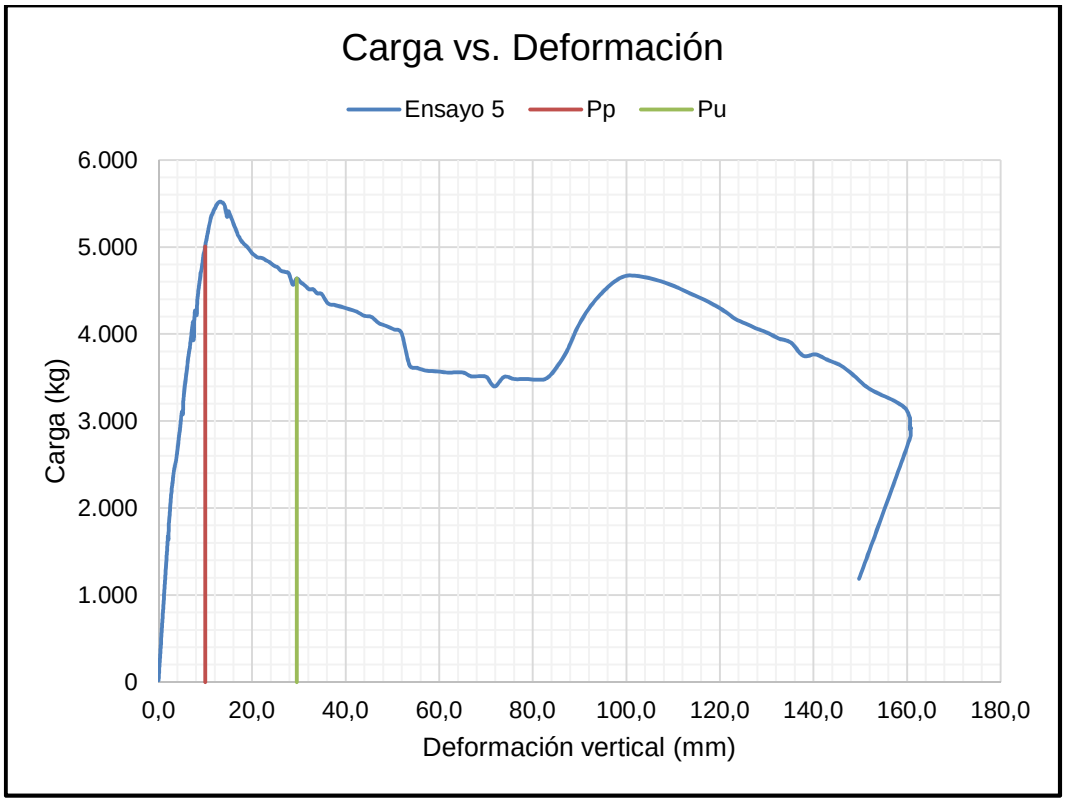
FIGURA 4.15. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 5



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.6.2. RESULTADOS

FIGURA 4.16. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 5



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 4.5. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 5

P	**δreal**	**δteórico**
kg	**mm**	**mm**
386	0.4	0.3
787	0.9	0.7
1,197	1.4	1.0
1,615	1.9	1.4
1,996	2.5	1.7
2,421	3.3	2.1
2,821	4.3	2.4
3,239	5.3	2.8
3,601	6.1	3.1
4,018	7.1	3.5

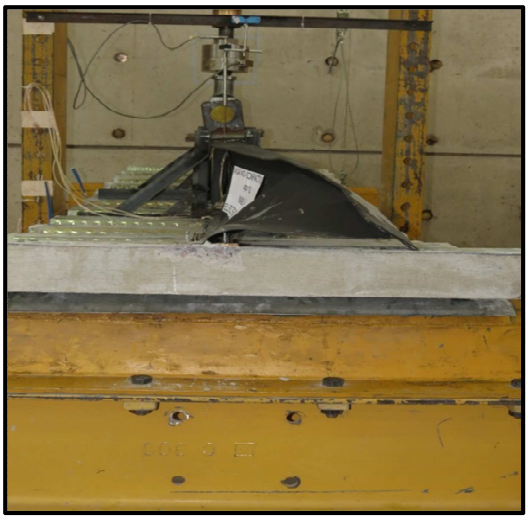
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En el ensayo 5, la sección no llega hasta la carga de fluencia, la capacidad de carga real de la sección es de 4400 kilogramos y sostiene una carga máxima de 5520 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 29.5 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[9]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo lateral de la viga de acero. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, incluso son menores a la inercia de la viga, esto debido a la inestabilidad del alma. La losa de hormigón se desprende parcialmente de los conectores de corte.

[9] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.6. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 5

FOTOGRAFÍA 4.6. CONTINUACIÓN



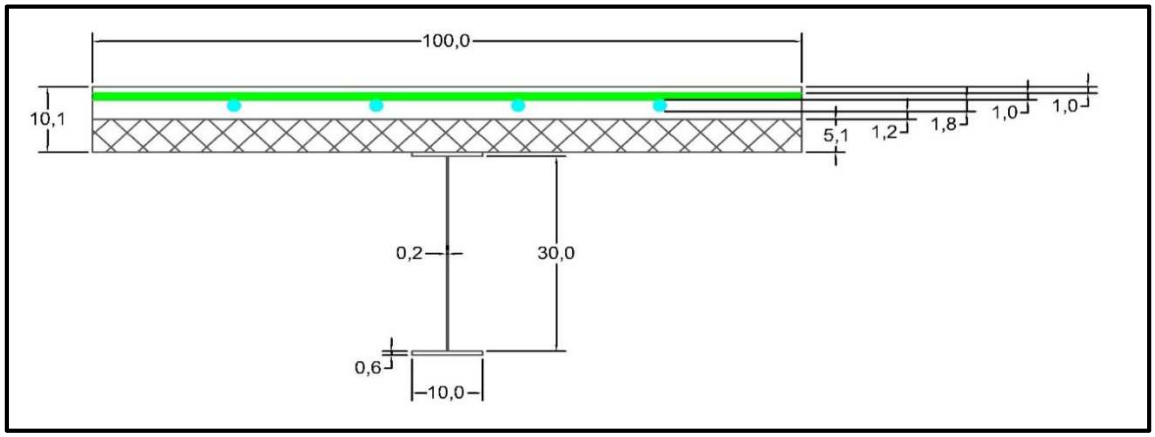
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.7. ENSAYO 6. VIGA NO COMPACTA Y REFUERZO DE MALLA ELECTROSOLDADA MÁS 4 VARILLAS DIÁMETRO 18 MILÍMETROS

4.7.1. DESCRIPCIÓN

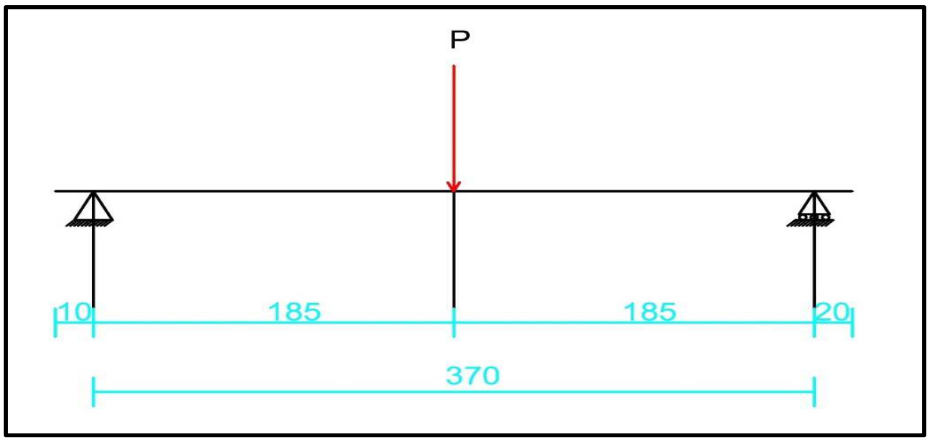
- Losa: Hormigón f'c=210 kg/cm^2
- Refuerzo: Malla electrosoldada fy=5400 kg/cm^2, diámetro 5 milímetros cada 10 centímetros. Adicional 4 varillas diámetro 18 milímetros fy=4200 kg/cm^2. Área=12.45 cm^2
- Viga de acero no compacta
- Conectores de corte tipo arco Figura 2.14.

FIGURA 4.17. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA LOSA 6. MALLA ELECTROSOLDADA (VERDE). VARILLAS DE REFUERZO (CIAN)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

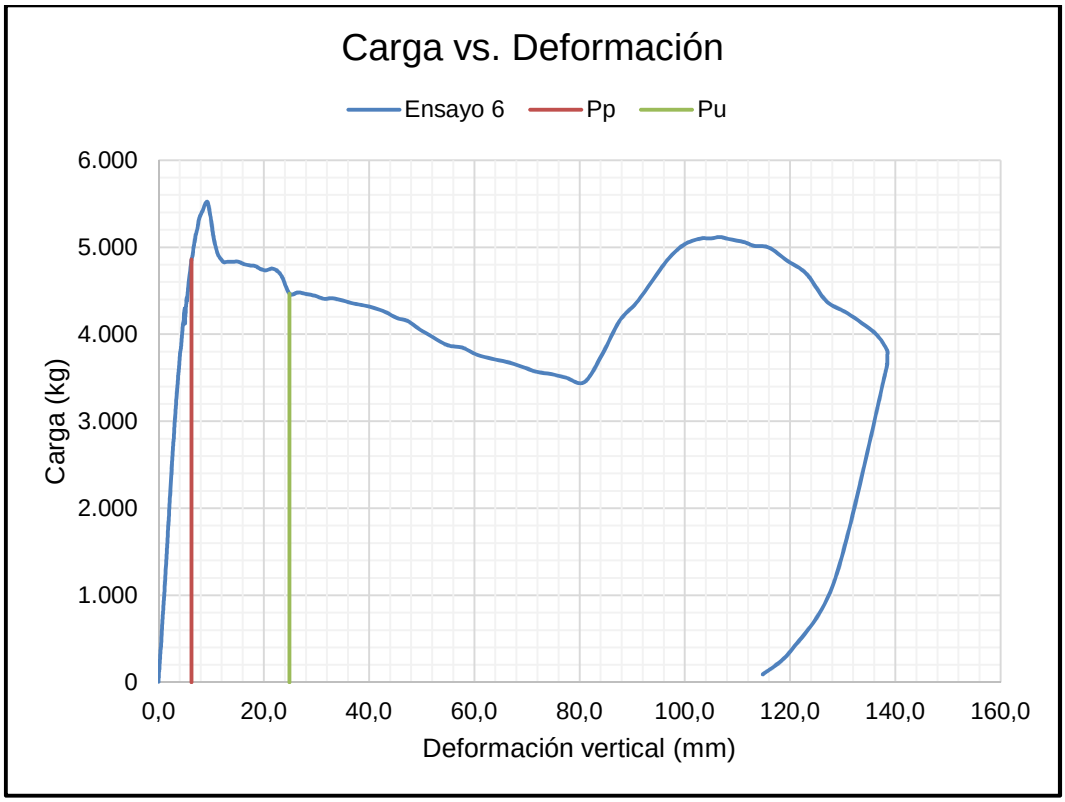
FIGURA 4.18. DISTANCIAS ENTRE APOYOS ENSAYO 6



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

4.7.2. RESULTADOS

FIGURA 4.19. CURVA CARGA VS. DEFORMACIÓN VERTICAL ENSAYO 6



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CUADRO 4.6. DEFORMACIONES REALES Y TEÓRICAS ENSAYO 6

P	δreal	δteórico
kg	mm	mm
398	0.4	0.3
789	0.8	0.6
1,178	1.2	0.8
1,588	1.6	1.1
2,006	2.1	1.4
2,389	2.4	1.7
2,812	2.9	2.0
3,171	3.3	2.3
3,603	3.9	2.6
4,023	4.5	2.9

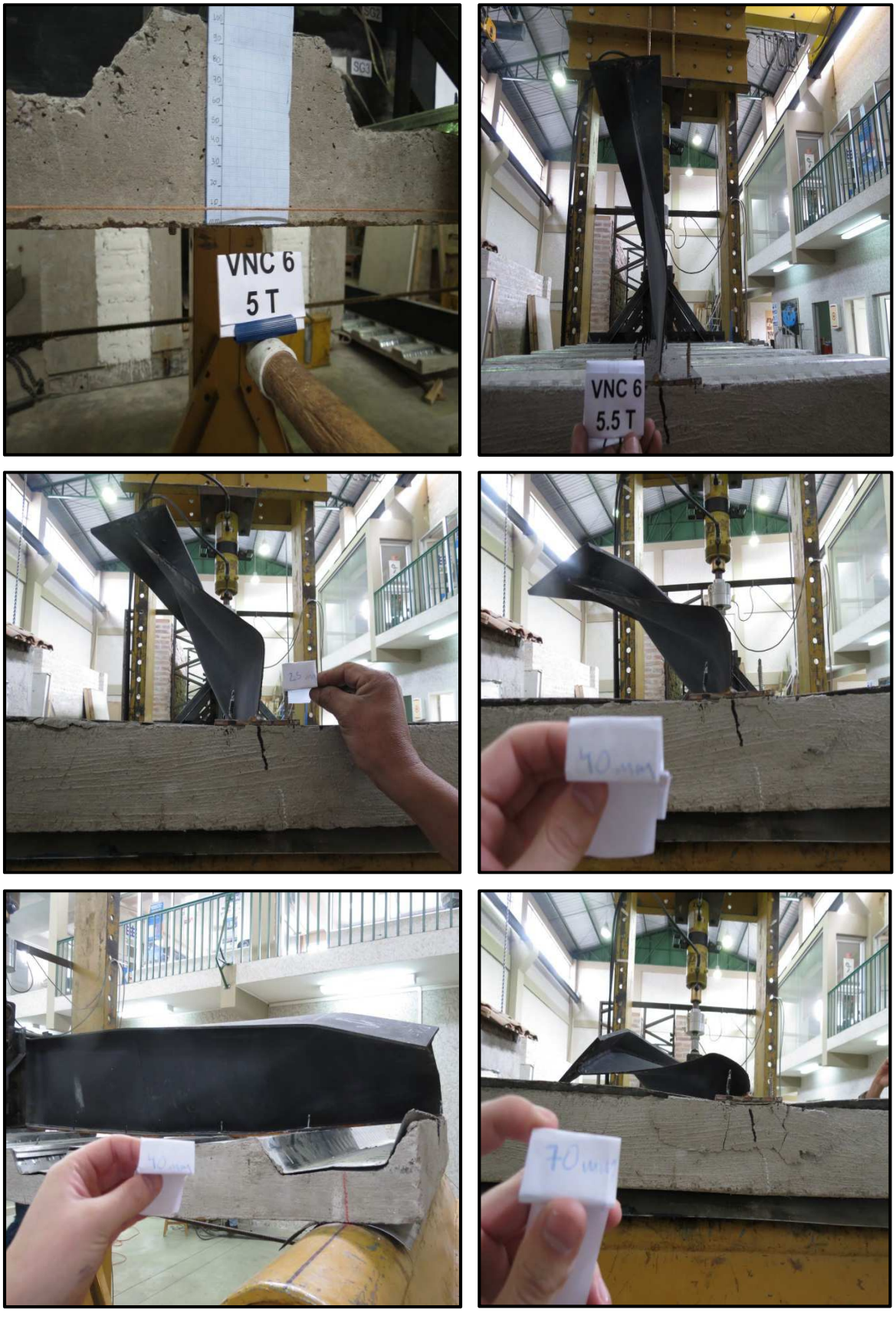
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En el ensayo 6, la sección no llega hasta la carga de fluencia, la capacidad de carga real de la sección es de 4500 kilogramos y sostiene una carga máxima de 5520 kilogramos, a partir de ese valor la sección absorbe deformación pero no carga. Se considera la deformación última de 24.9 milímetros en base al criterio que la sobre resistencia se compensa con la pérdida de resistencia[10]. La sección pierde su capacidad de resistir carga por el pandeo lateral de la viga de acero. Las deformaciones teóricas calculadas con la inercia de la sección compuesta completa son menores que las deformaciones reales, pero en este caso la inercia efectiva es mayor que la inercia de la viga sola. La losa de hormigón se desprende parcialmente de los conectores de corte.

FOTOGRAFÍA 4.7. CICLOS DE CARGA Y FALLAS DEL ENSAYO 6

[10] Vintimilla J., Criterio Personal, 2014

FOTOGRAFÍA 4.7. CONTINUACIÓN



FOTOGRAFÍA 4.7. CONTINUACIÓN

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

CAPÍTULO 5

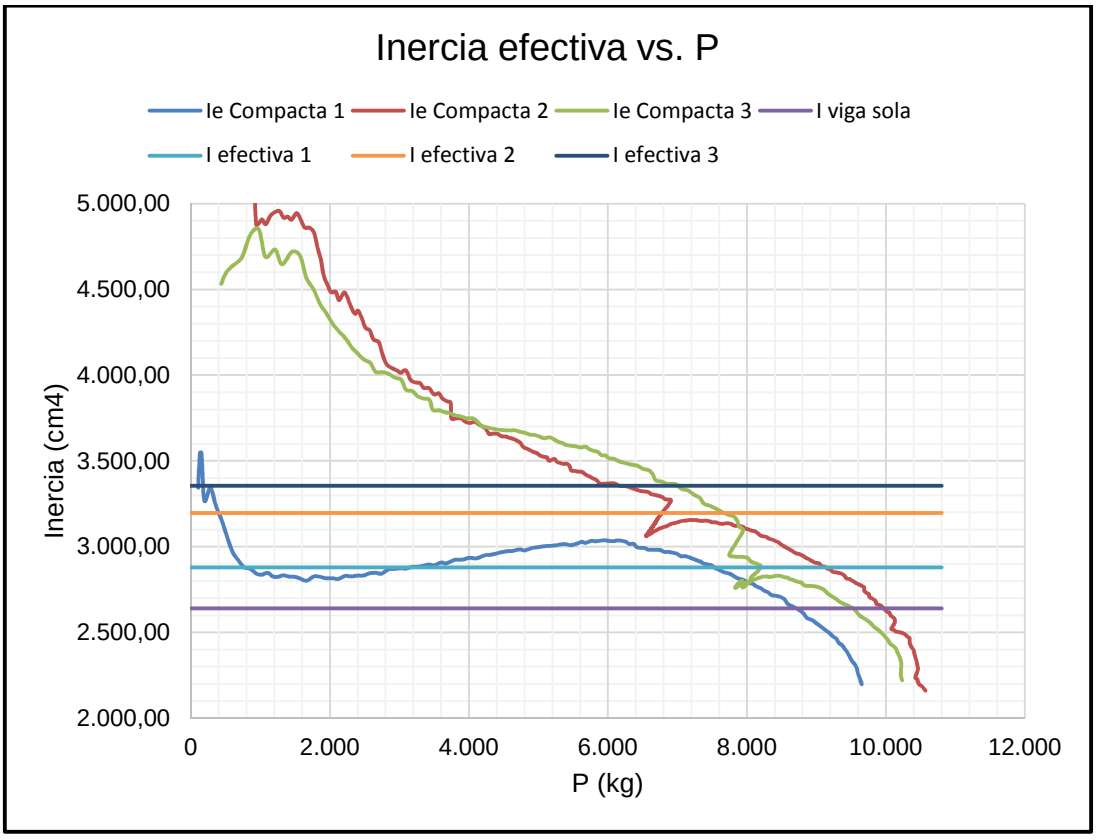
ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. INERCIA EFECTIVA

El LVDT mide las deflexiones instantáneas las cuales son consecuencia directa de la aplicación de las cargas y la rigidez de las secciones transversal. A partir de estas deflexiones reales se calcula la inercia efectiva mediante la ecuación 5.1, esta ecuación se obtiene de despejar la ecuación 2.66, el módulo de elasticidad usado es el del acero pues se considera nula la contribución del hormigón a tracción.

$$I_e = \frac{Pab(L^2-a^2-b^2)}{6L\delta_{real}*2043000} *10\ cm^4 \qquad \textbf{(5.1)}$$

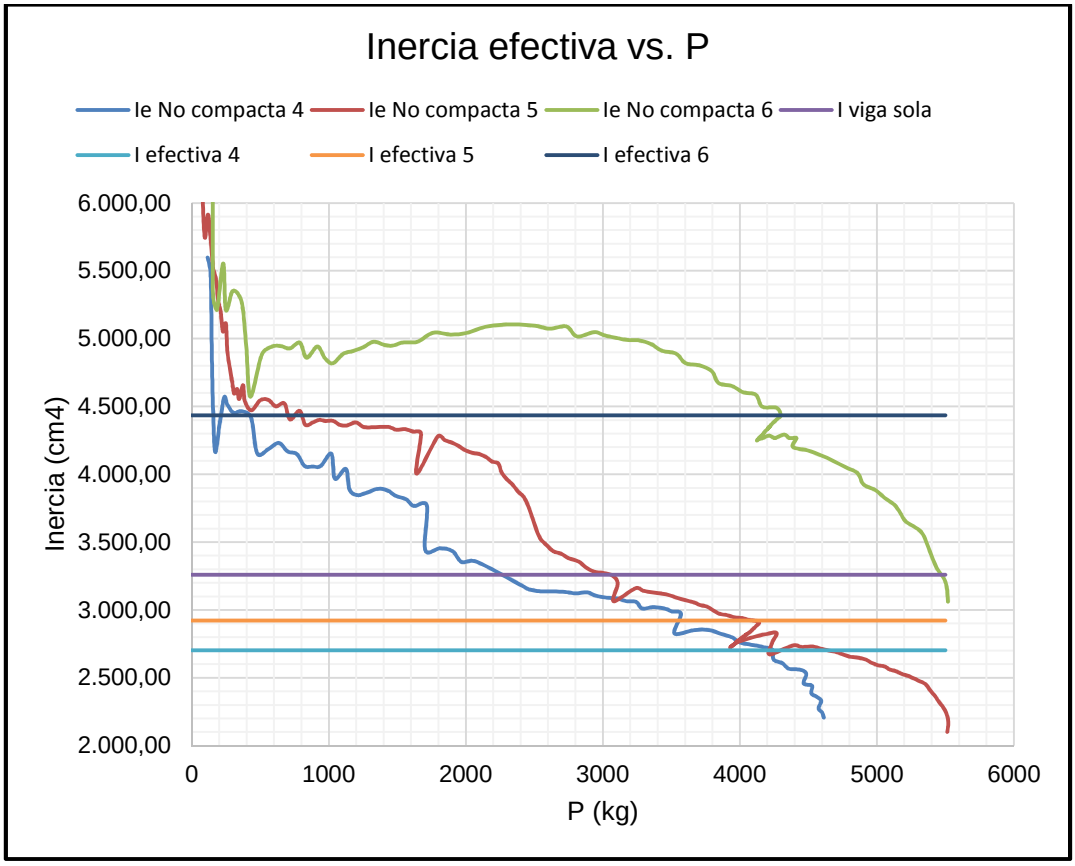
FIGURA 5.1. INERCIA EFECTIVA VS. CARGA ENSAYOS 1 A 3 (VIGA COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Las líneas rectas horizontales representan las inercias efectivas promedio de los ensayos 1 a 3 (viga de acero de sección compacta), las cuales se obtienen de la pendiente de la curva carga versus deformación. Las inercias efectivas son mayores a la inercia de la viga sola, sin embargo, son menores a la inercia compuesta completa, se puede ver un incremento de inercia efectiva conforme se aumenta la cuantía de refuerzo en la losa.

FIGURA 5.2. INERCIA EFECTIVA VS. CARGA ENSAYOS 4 A 6 (VIGA NO COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Las líneas rectas horizontales representan las inercias efectivas promedio de los ensayos 4 a 6 (viga de acero de sección no compacta), las cuales se obtienen de la pendiente de la curva carga versus deformación. Las inercias efectivas de los ensayos 4 y 5 son menores a la inercia de la viga sola, mientras que la inercia del ensayo 6 es mayor que la inercia de la viga sola. Se puede ver un incremento de la inercia efectiva conforme aumenta la cuantía de refuerzo de la losa.

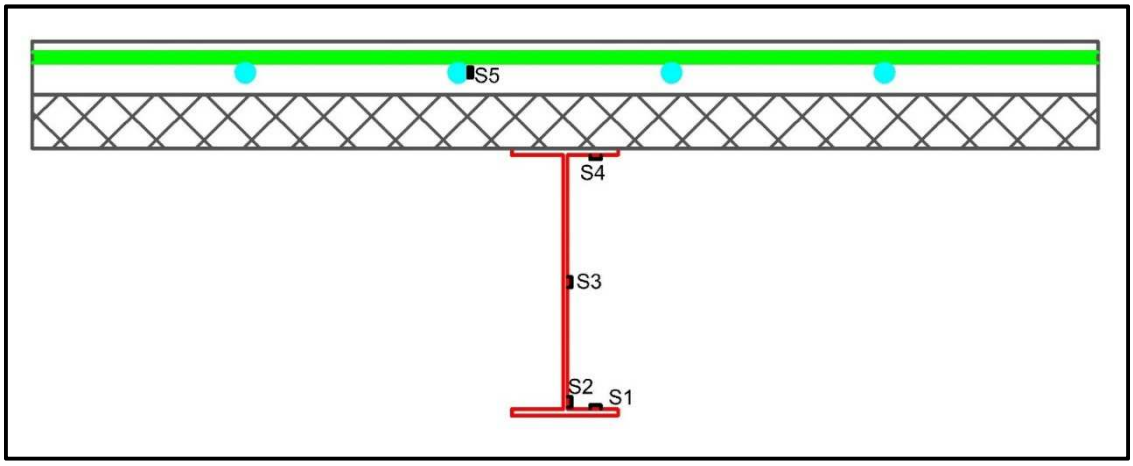
La resistencia de una sección compuesta no es afectada por pequeños desplazamientos relativos entre los elementos componentes, sin embargo estos desplazamientos disminuyen la inercia efectiva. Los conectores de corte son los responsables de mantener rígida la conexión, de acuerdo a la ecuación 5.2, se determina el grado de conexión para inercia (α) que los conectores tipo arco usados en este proyecto dan al sistema compuesto para cada ensayo.

$$\alpha = \frac{I_e - I_{viga}}{I_c - I_{viga}} \qquad \textbf{(5.2)}$$

5.2. DSTRIBUCIÓN REAL DE ESFUERZOS

Se usa medidores de deformación unitaria SG en la sección transversal de la sección compuesta para medir la distribución real de esfuerzos. La posición de los SG para todos los ensayos es la misma para todos los ensayos (Ver Figura 5.3.), con la excepción que para los ensayos 1 y 4 el SG 5 no se coloca. El ensayo se realiza a flexión negativa, es decir, las fibras externas de la viga de acero se comprimen y el refuerzo de la losa se tracciona.

FIGURA 5.3. POSICIÓN DE LOS SG EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS SECCIONES ENSAYADAS



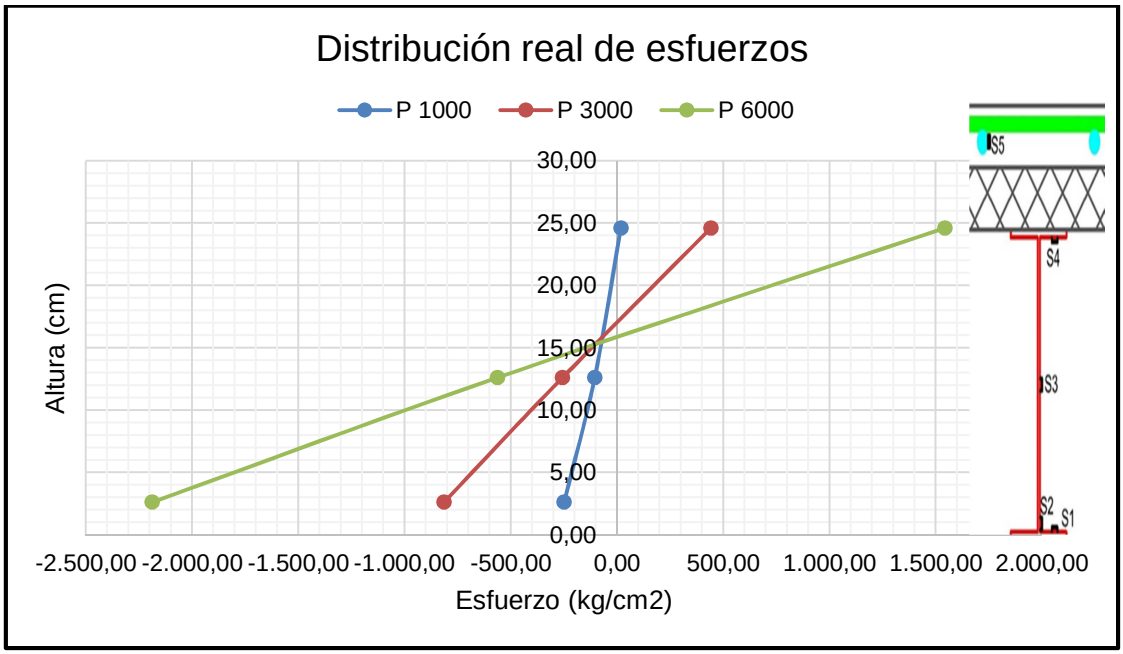
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

5.2.1. ESFUERZOS ENSAYO 1

Se colocan 4 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, los SG 2, 3 y 4 arrojan registros coherentes, el SG 1 arroja registros fuera de lo normal, por lo

tanto, no son considerados. No se coloca SG en el refuerzo de la losa del ensayo 1 (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.4., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.4. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 1



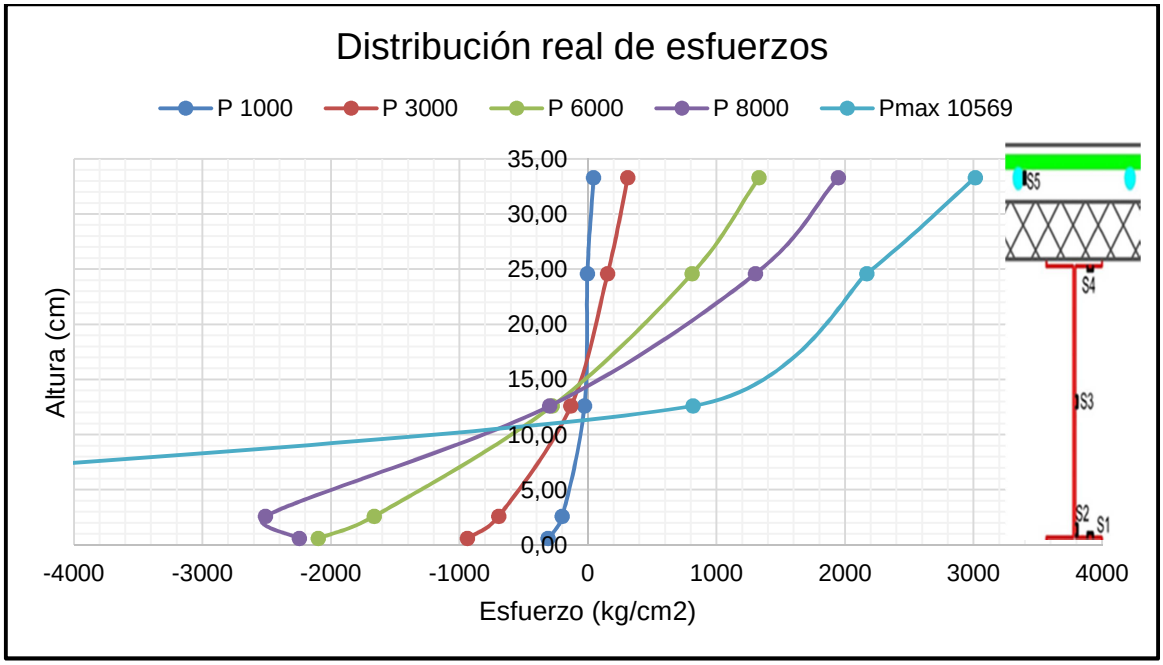
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.4., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. Se puede notar que el eje neutro de la sección sube, pues sin colaboración este se ubicaría a una altura de 12,6 centímetros

5.2.2. ESFUERZOS ENSAYO 2

Para el ensayo 2, se colocan 5 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, todos arrojan registros coherentes. Para este ensayo se coloca un SG en la varilla de refuerzo (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.5., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.5. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 2



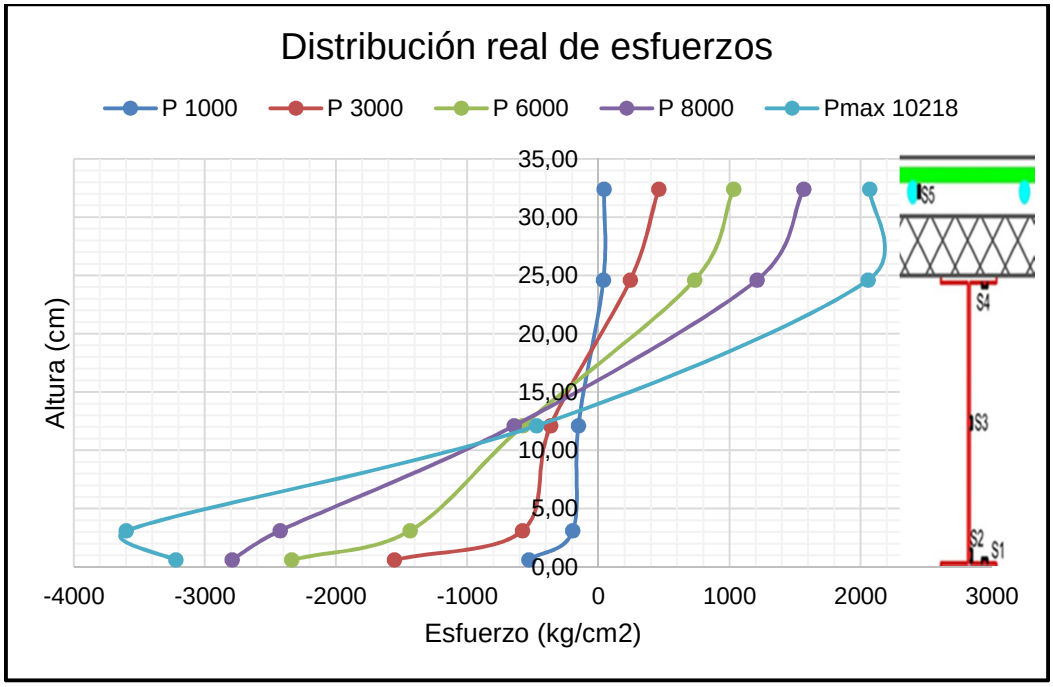
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.5., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. Se puede notar que el eje neutro de la sección sube, pues, sin colaboración este se ubicaría a una altura de 12,6 centímetros. El esfuerzo de fluencia del acero usado es 2530 kg/cm^2, para una carga de 8000 kilogramos se estima que el SG1 fluye, sin embargo, la Figura 5.5., muestra un valor menor al esfuerzo de fluencia, este es un error de lectura que se produce por desprendimiento del SG. Para la carga máxima el SG 2 fluye y el SG 4 se encuentra cerca de la fluencia. El SG 3 es el menos esforzado por su cercanía al eje neutro.

5.2.3. ESFUERZOS ENSAYO 3

Para el ensayo 3, se colocan 5 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, todos arrojan registros coherentes. Para este ensayo se coloca un SG en la varilla de refuerzo (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.6., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.6. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 3



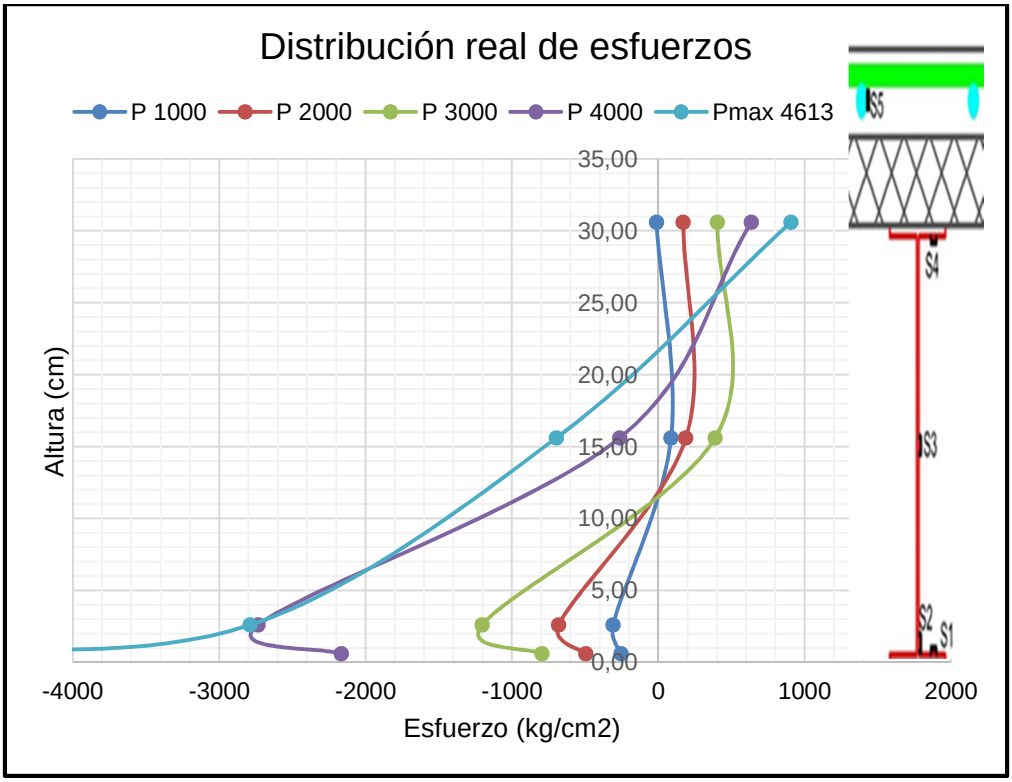
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.6., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. Se puede notar que el eje neutro de la sección sube, pues, sin colaboración este se ubicaría a una altura de 12,6 centímetros, aunque, mientras se aumenta la carga el eje neutro baja. Para una carga de 6000 kilogramos el SG 1 fluye. Para una carga de 8000 kilogramos el SG 2 fluye. La carga máxima no hace fluir a los SG 3, 4 y 5.

5.2.4. ESFUERZOS ENSAYO 4

Para el ensayo 4, se colocan 4 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, todos arrojan registros coherentes. Para este ensayo no se coloca un SG en el refuerzo (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.7., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.7. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 4



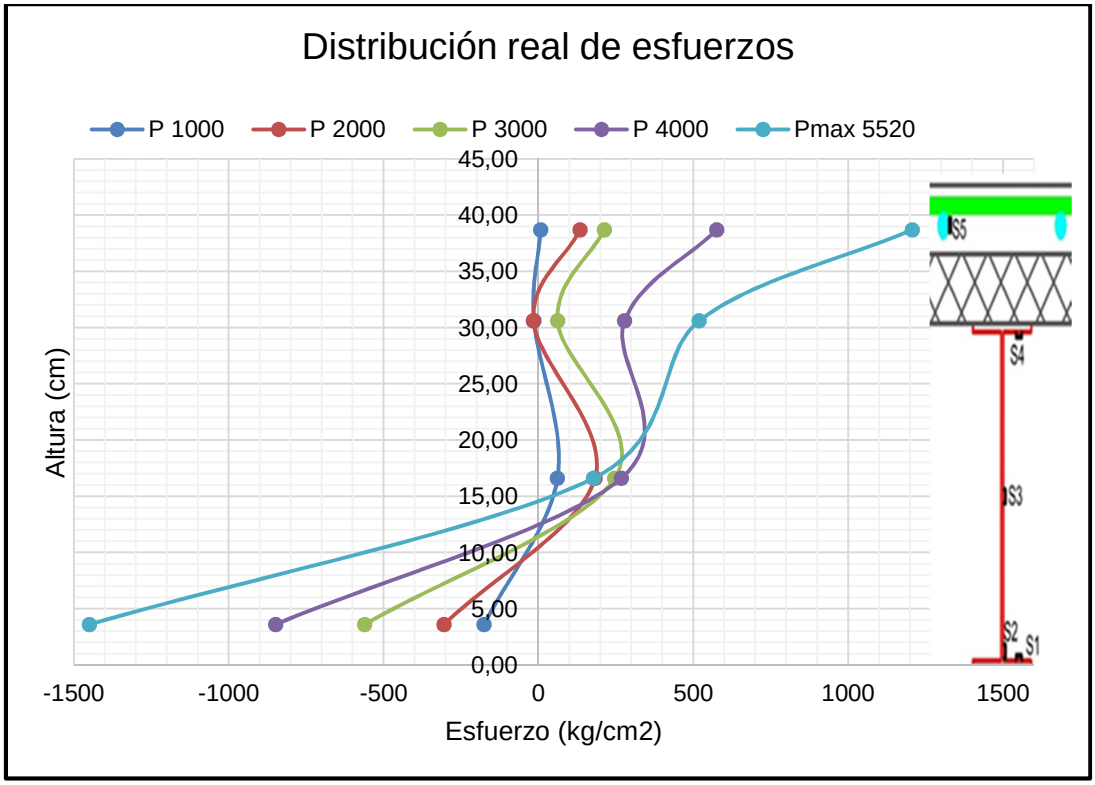
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.7., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. El SG 1 muestra desprendimiento y sus registros son poco confiables. La distribución de esfuerzos cambia bruscamente de una carga de 3000 a una carga de 4000 kilogramos, debido al estado de pandeo lateral. Los esfuerzos en la sección transversal son mucho menores al esfuerzo de fluencia.

5.2.5. ESFUERZOS ENSAYO 5

Para el ensayo 5, se colocan 5 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, los SG 2, 3, 4 y 5 arrojan valores coherentes, los registros del SG 1 no se consideran pues arrojan resultados fuera de lo normal. Para este ensayo se coloca un SG en el refuerzo (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.8., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.8. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 5



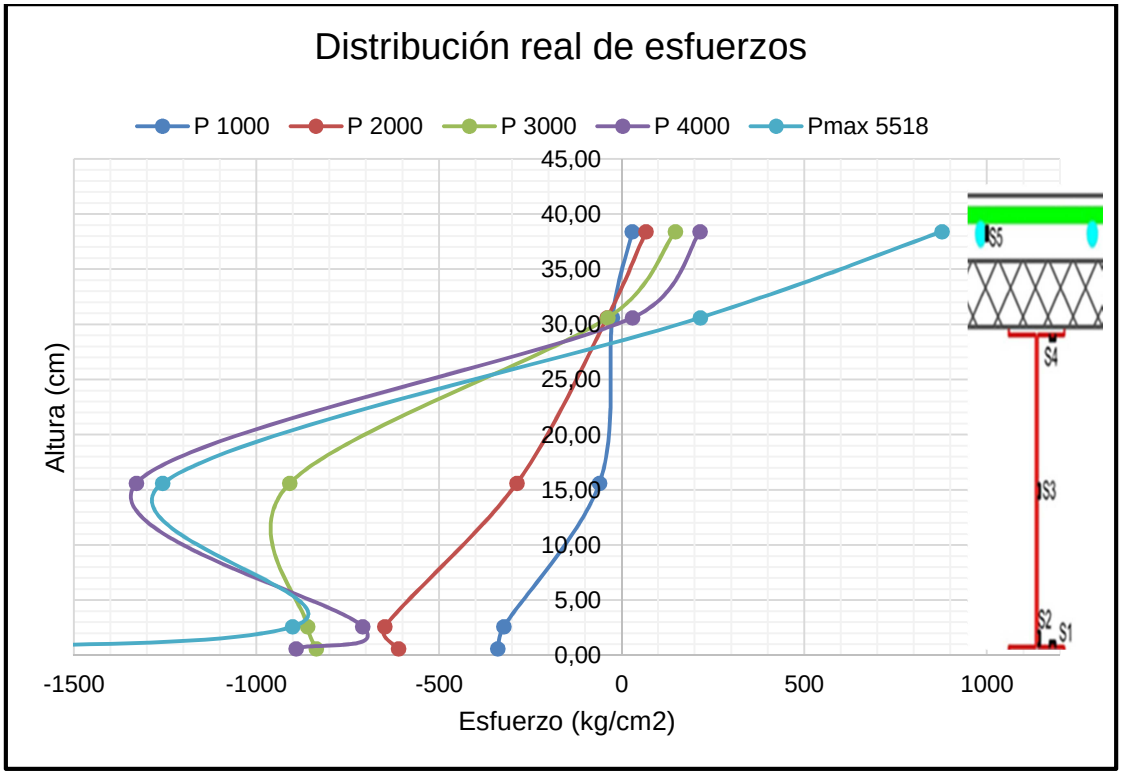
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.8., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. Ninguna fibra llega a fluir por flexión porque antes se llega al estado de pandeo lateral.

5.2.6. ESFUERZOS ENSAYO 6

Para el ensayo 6, se colocan 5 SG en la sección transversal de la viga, de los cuales, todos arrojan valores coherentes. Para este ensayo se coloca un SG en el refuerzo (SG 5). La posición de los SG se refleja en la Figura 5.9., la altura se mide desde la cara externa de la viga de acero.

FIGURA 5.9. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS ENSAYO 6



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Cada línea de la Figura 5.9., representa la distribución de esfuerzos a una determinada carga. El SG 1 muestra desprendimiento. El cambio brusco en la distribución de esfuerzos se debe al estado de pandeo lateral. Ninguna fibra fluye por flexión porque antes se llega al estado de pandeo lateral.

5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

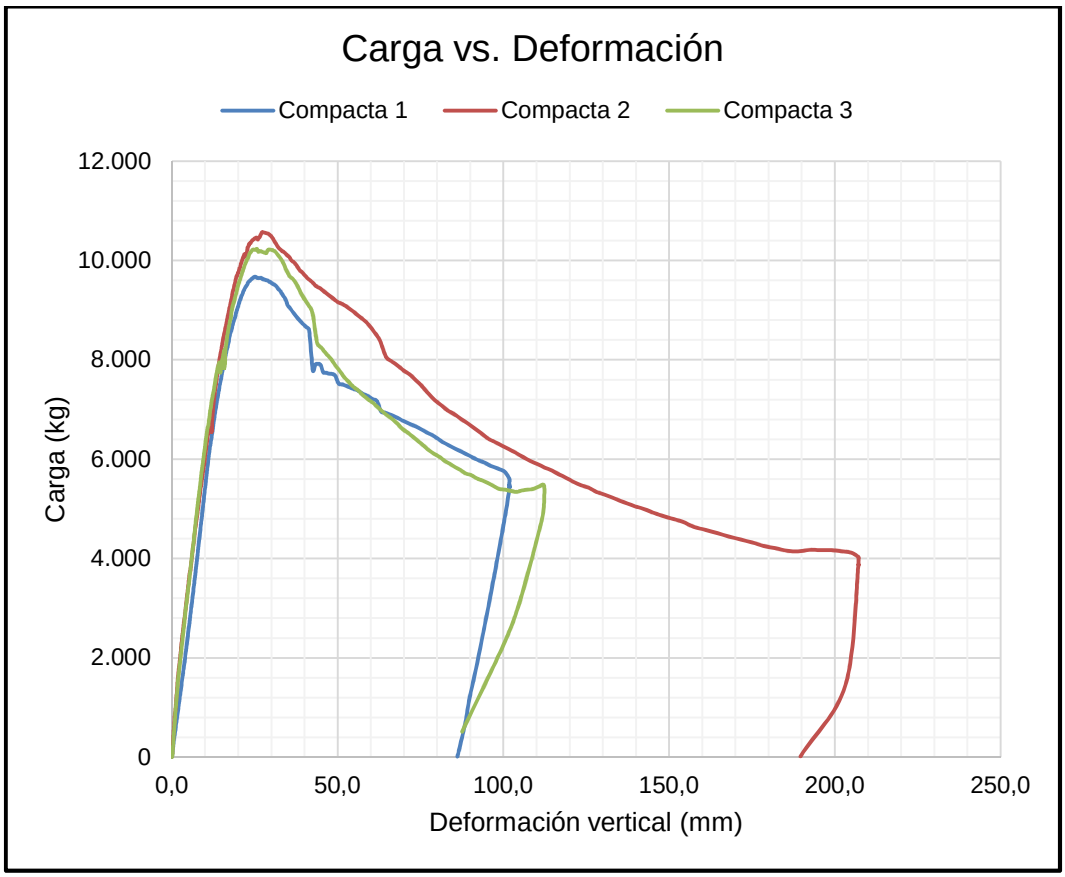
A partir de las curvas carga versus deformación obtenidas de los ensayos se calculan las curvas momento (ecuación 5.3) versus curvatura (ecuación 5.4) y momento (ecuación 5.3) versus giro (ecuación 5.5), las cuales representan un cambio de escala de las curvas carga versus deformación.

$$M=\frac{Pab}{L} \qquad \textbf{(5.3)}$$

$$\varphi=\frac{M}{EI} \qquad \textbf{(5.4)}$$

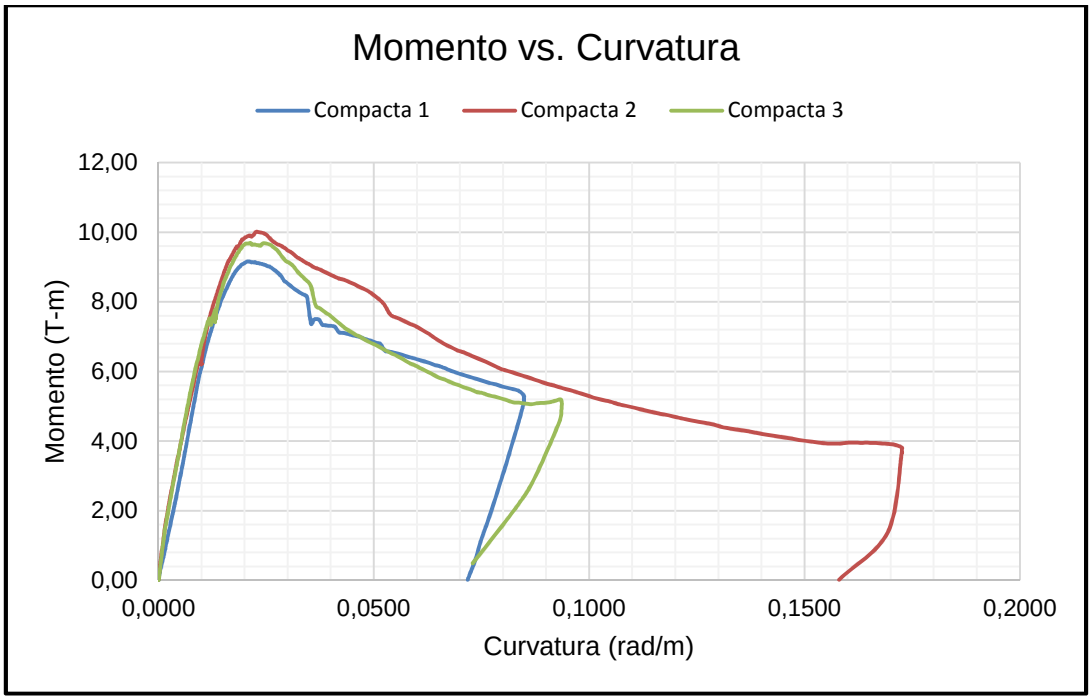
$$\Theta = \frac{Pb(L^2 - b^2)}{6LEI} \quad \textbf{(5.5)}$$

FIGURA 5.10. COMPARACIÓN DE CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)



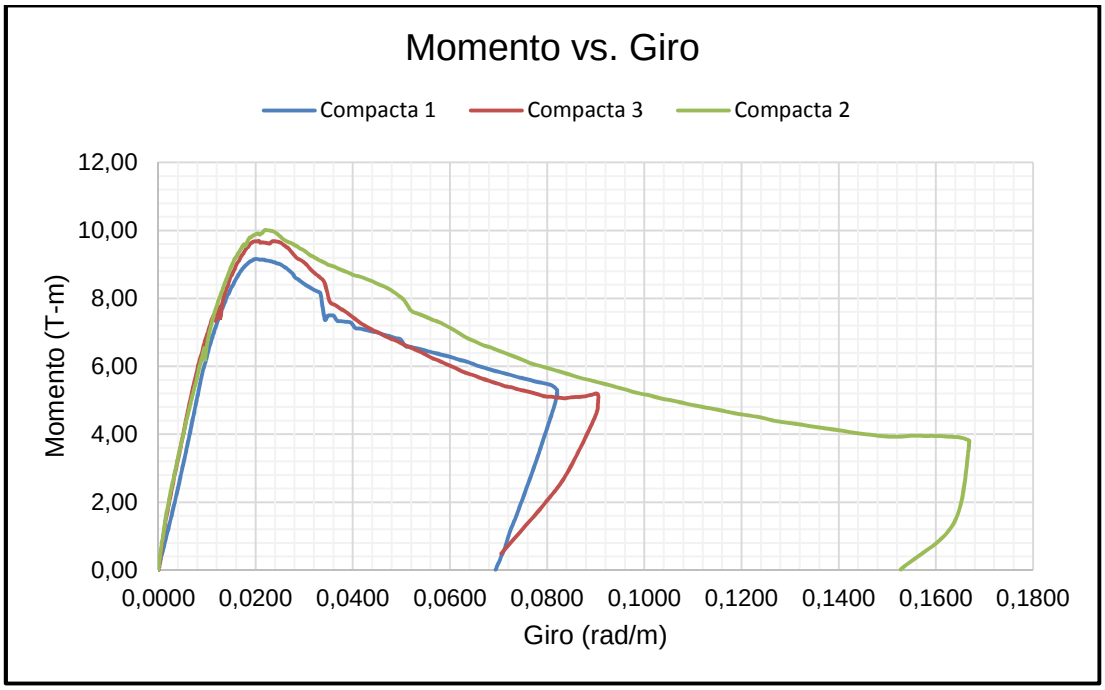
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 5.11. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. CURVATURA ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

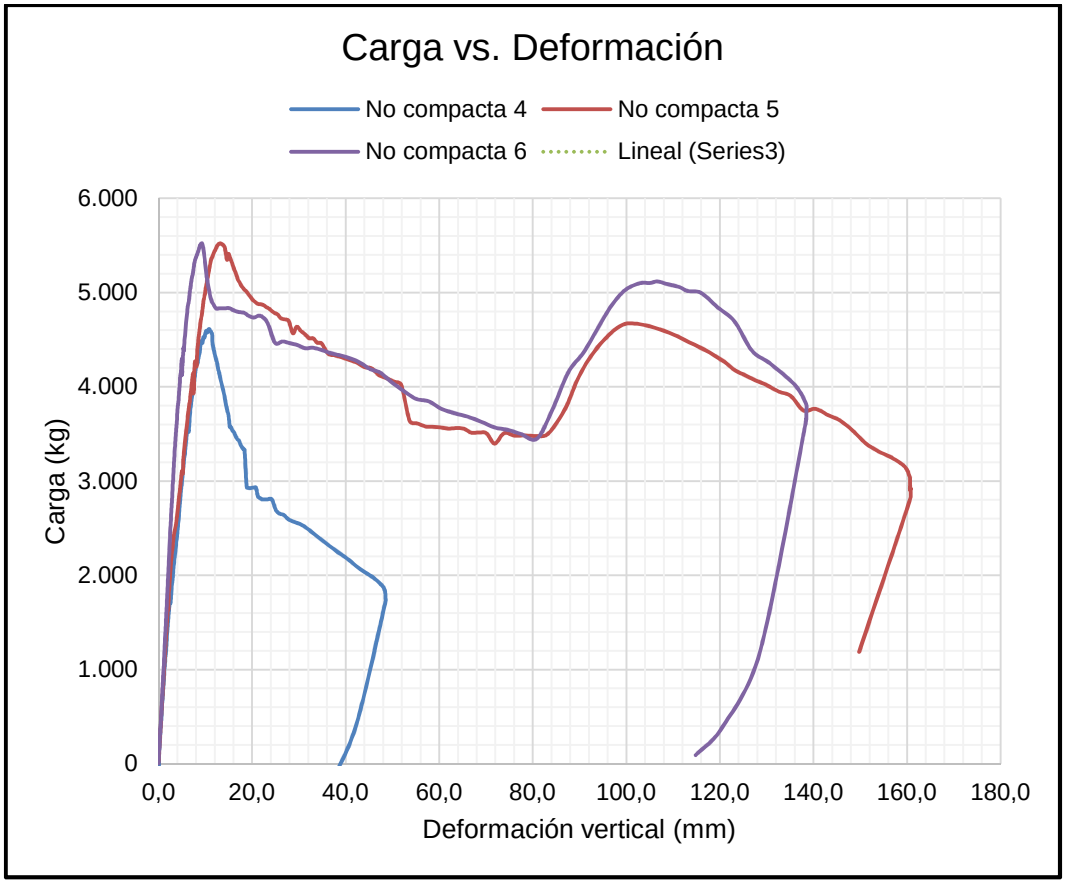
FIGURA 5.12. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. GIRO ENSAYOS 1 A 3 (SECCIÓN COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

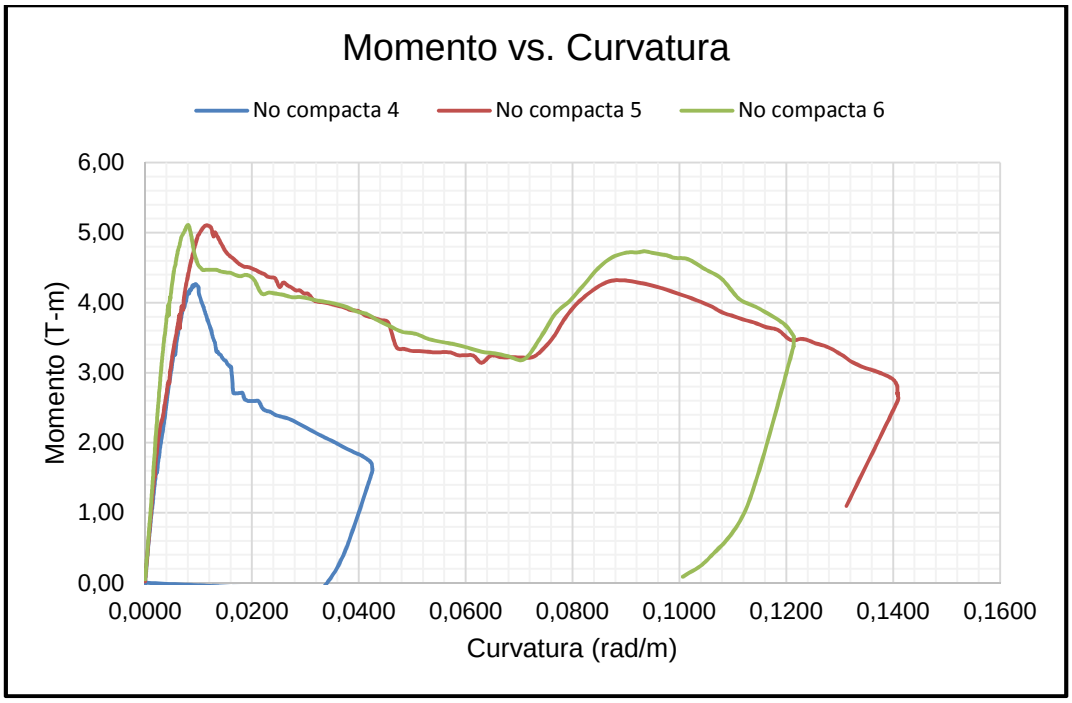
En las Figuras 5.10., 5.11. y 5.12., se ve un aumento en la carga máxima y momento máximo conforme aumenta la cuantía de refuerzo, sin embargo, la sección del ensayo 3 no llega a la carga de plastificación total.

FIGURA 5.13. COMPARACIÓN DE CURVAS CARGA VS. DEFORMACIÓN ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)



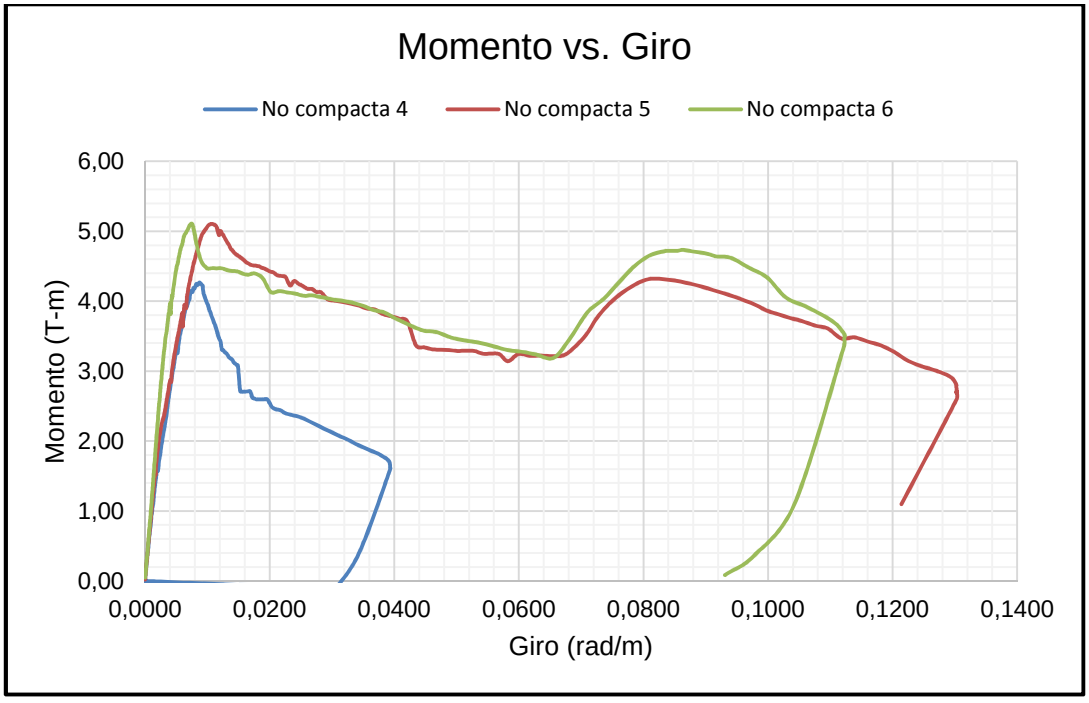
FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 5.14. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. CURVATURA ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

FIGURA 5.15. COMPARACIÓN DE CURVAS MOMENTO VS. GIRO ENSAYOS 4 A 6 (SECCIÓN NO COMPACTA)



FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

En las Figuras 5.13., 5.14. y 5.15., se ve un aumento en la carga máxima y momento máximo conforme aumenta la cuantía, sin embargo, las secciones no llegan a la carga de fluencia. El desplome de carga en el ensayo 4 es más pronunciado que en los ensayos 5 y 6.

CUADRO 5.1. RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYOS 1 A 6

	Descripción	U	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6
Sección compuesta	Pp	T	8.02	10.09	10.46	8.11	9.02	8.94
	Mp	T-m	7.60	9.56	9.91	7.50	8.34	8.27
	Py	T	6.44	7.59	8.16	6.48	7.42	7.84
	My	T-m	6.10	7.19	7.73	6.00	6.87	7.26
	Capacidad experimental	T-m	7.60	9.56	8.80	3.90	4.40	4.50
	Pmax	T	9.67	10.57	10.23	4.61	5.52	5.52
	Ic	cm4	3,447.93	4,862.49	5,943.70	4,302.26	5,980.57	7,178.19
	Ie	cm4	2,879.69	3,197.05	3,355.54	2,703.56	2,922.37	4,435.74
	α	su	0.30	0.25	0.22	0.00	0.00	0.30
	Ductilidad	su	4.59	2.03	2.22	1.80	2.98	3.96
	Energía absorbida	kg-m	471.86	404.43	228.88	28.35	98.26	91.15
Viga	Iv	cm4	2,639.81	2,639.81	2,639.81	3,259.44	3,259.44	3,259.44
	Mn	T-m	5.94	5.94	5.94	5.78	5.78	5.78
	Aumento de capacidad a momento	%	27.95	61.00	48.15	0.00	0.00	0.00

FUENTE Y ELABORACIÓN: Juan Chávez

Pp: Carga que produce la plastificación total de la sección compuesta (valor teórico).

Mp: Momento que produce la plastificación total de la sección compuesta (valor teórico).

Py: Carga que produce la fluencia de la primera fibra de la sección compuesta (valor teórico).

My: Momento que produce la fluencia de la primera fibra de la sección compuesta (valor teórico).

Capacidad experimental: Momento que resiste la sección compuesta visto en la curva momento versus giro. Para los ensayos 1 y 2 es el momento plástico, para

los ensayos 3, 4, 5 y 6 es el valor para el cual la curva comienza a disminuir la pendiente (valor experimental).

Pmax: Punto más alto de la curva carga versus deformación (valor experimental).

Ic: Inercia compuesta completa calculada bajo la suposición de que la conexión entre viga y losa es completamente rígida (α=1). (Valor teórico).

Ie: Inercia efectiva de la sección compuesta obtenida de la pendiente promedio de la curva carga versus deformación (valor experimental).

α: Grado de conexión para inercia calculado con la ecuación 5.2 (valor experimental).

Ductilidad: Cociente entre el desplazamiento último y el desplazamiento plástico (ver Capítulo 4). (Valor experimental).

Energía absorbida: Área bajo la curva carga versus deformación entre el desplazamiento plástico y el desplazamiento último (ver Capítulo 4). (Valor experimental).

Iv: Inercia de la viga sola (valor teórico).

Mn: Momento nominal de la viga sola de acuerdo a la norma ANSI/AISC 360-2010. (Valor teórico).

Aumento de capacidad a momento: Porcentaje de aumento entre Mn y la capacidad experimental.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En las secciones compuestas de vigas compactas, ensayos 1 a 3, la capacidad de resistir momento se incrementa con respecto a la capacidad de la viga sola. Las secciones de los ensayos 1 y 2 llegaron al momento plástico, mientras que la sección del ensayo 3 no llega por el pandeo local del patín comprimido de la viga de acero.

- El área de refuerzo en la losa del ensayo 2 es mayor que en la losa del ensayo 1, como se esperaba la capacidad de carga es mayor, sin embargo, en el ensayo 3 la capacidad de carga de la sección disminuye con respecto a la capacidad de la sección del ensayo 2 a pesar que el área de acero es mayor, esto se debe a que la capacidad de plastificación por flexión de secciones compuestas con vigas compactas está limitada por la esbeltez del patín comprimido, cuando el patín llega al estado límite de pandeo local, la sección pierde su capacidad de resistir carga, sin importar la cuantía de acero de refuerzo en la losa de hormigón; es decir, el aumento de cuantía de refuerzo en la losa no garantiza el aumento de resistencia de la sección compuesta.

- La ductilidad de las secciones de los ensayos 2 y 3 es menor que la ductilidad de la sección del ensayo 1, por lo que se concluye que la ductilidad en una sección compuesta disminuye con el incremento de acero de refuerzo en la losa.

- La ductilidad de la sección del ensayo 3 es mayor que la ductilidad de la sección del ensayo 2, pero la energía absorbida en la sección del ensayo 2 es mucho mayor que la del ensayo 3 por lo que la ductilidad calculada como el cociente entre el desplazamiento último y el desplazamiento plástico no es un

valor confiable, la ductilidad debe calcularse como el área bajo la curva carga versus deformación porque así representa la energía absorbida por el miembro estructural.

- Las vigas de acero compactas tienen una ductilidad moderada cuando trabajan solas, pero cuando trabajan en conjunto la ductilidad depende también de la cantidad de acero de refuerzo en la losa, la disminución de ductilidad de una sección compuesta debe ser considerada por el ingeniero civil en el diseño sismoresistente de estructuras. La sección compuesta del ensayo 1 cumple con los requisitos de ductilidad para denominarse moderadamente dúctil de acuerdo a las especificaciones del ANSI/AISC 341-2010, mientras que las secciones compuestas de los ensayos 2 y 3 son más resistentes, pero no son moderadamente dúctiles sino son de baja ductilidad a pesar de que su viga de acero es compacta.

- La capacidad a flexión de las secciones compuestas de viga no compacta, ensayos 4 a 6, no es mayor a la capacidad a flexión de la viga sola, esto porque el efecto de pandeo lateral impide el agotamiento por flexión lo que demuestra que las fórmulas propuestas por el código ANSI/AISC 360-2010 son acertadas en cuanto a resistencia a corte del alma se refiere.

- La ductilidad y la energía absorbida de las secciones de los ensayos 4 a 6 (no compactas) es baja, sin embargo, no se puede afirmar que la ductilidad de todas las secciones compuestas de viga no compacta es baja ya que si se usa atiesadores longitudinales y arriostramiento lateral se mejora la ductilidad, especialmente cuando la viga tiene las mismas características que las vigas de los ensayos 4 a 6, es decir, un patín comprimido sísmicamente compacto ya que esto disminuye el efecto del pandeo local.

- El comportamiento de las secciones compuestas es mejor en una estructura real comparado con el comportamiento en los ensayos, debido a que en una edificación las vigas están arriostradas en sus extremos disminuyendo el efecto de pandeo lateral.

- Para calcular la resistencia de los conectores tipo arco, se pueden usar las fórmulas de los conectores tipo stud planteadas por el código ANSI/AISC 360-2010, pero no se pueden usar para calcular la inercia efectiva de la sección compuesta.

- La baja rigidez de los conectores tipo arco permite desplazamientos entre viga y losa de tal manera que la inercia efectiva es menor que la inercia de la sección compuesta completa.

- La soldadura de los conectores a la viga de acero es de fundamental importancia para disminuir los efectos de pandeo lateral.

- En los ensayos realizados en este proyecto, las varillas de refuerzo trabajan después de que las secciones llegan a la carga máxima, esto se obtiene de los registros de deformaciones unitarias de los SG colocados en las varillas.

6.2. RECOMENDACIONES

- En el diseño de secciones compuestas con conectores tipo arco se debe considerar que la inercia efectiva no es la inercia de la sección compuesta completa, caso contrario se subestimaría las deformaciones que se producen en la estructura. Conservadoramente se debe emplear para el cálculo de deformaciones una conexión para inercia del 30 por ciento.

- Se debe considerar en el diseño sismoresistente de estructuras la disminución de ductilidad por el aumento de cuantía de acero de refuerzo en las secciones compuestas para garantizar un correcto desempeño sísmico.

- La ductilidad es fundamental en el diseño sismoresistente de estructuras, sin embargo, fabricar secciones de acero sísmicamente compactas es costoso, por esta razón se recomienda estudiar el comportamiento a flexión de secciones no compactas con atiesadores longitudinales para cuantificar el aumento de capacidad de plastificación y la ductilidad de las secciones no

compactas y así poder diseñar secciones más livianas y por ende más económicas.

- La malla electrosoldada no se debe obviar en la construcción de losas sobre vigas metálicas, incluso en el caso de que se diseñen las vigas secundarias como simplemente apoyadas, porque además de su función de contrarrestar los efectos de temperatura, la malla electrosoldada tiene la función de controlar la tracción del hormigón causada por las continuidades presentes en los sistemas de piso.

- Se recomienda hacer ensayos específicos para determinar la resistencia de los conectores de corte usados regularmente en la industria de la construcción ecuatoriana de acuerdo a la Norma Europea Experimental Proyecto de Estructuras Mixtas de Hormigón y Acero con el objetivo de eliminar la incertidumbre que existe en cuanto a resistencia.

- Se recomienda para la construcción de secciones compuestas con losas de bajo espesor colocar las varillas de refuerzo adicional bajo la malla electrosoldada para garantizar la estabilidad de la varilla, y así evitar que esta sea expulsada por efectos de flexión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero-Deck, (s.f.). Manual Técnico para el uso de placas colaborantes de entrepiso, Lima, Perú.

- American Institute of Steel Construction, (2010), Specification for Structural Steel Buildings.

- American Institute of Steel Construction, (2010), Prequalified Connections for Special and Intermidiate Steel Moment Frames for Seismic Aplications.

- Beer F, Johnston R, y Dewolf J, (2007), Mecánica de materiales, xxi, 4ta edición, México D.F., McGraw-Hill.

- Buen López O., (2004), Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, México D.F., Fundación ICA.

- Cadena F y Vintimilla J, (1983), Influencia del espaciamiento de estribos en vigas sometidas a flexión, Quito.

- Convenio MIDUVI – CAMICON, (2011), Norma Ecuatoriana de la Construcción, Quito.

- Gioncu V, Mosoarca M y Anastasiadis A, (2011), Prediction of available rotation capacity and ductility of wide-flange beams: Part 1: DUCTROT-M computer program, Journal of Constructional Steel Research, http://www.academia.edu/4421069/Prediction_of_available_rotation_capacity_and_ductility_of_wide-_ange_beams_Part_1_DUCTROT-M_computer_program.

- Placencia P, (1980), Implementación del laboratorio de modelos estructurales, Quito.

- Singer F, (1982), Resistencia de materiales, 3era edición, México D.F., Harla.

- Vintimilla J, Ingeniería Sismoresistente de Edificios de Acero, (2013), Quito

ANEXOS

ANEXO N° 1

FICHA TÉCNICA KUBILOSA

KUBIEC
... más que un buen acero

KUBILOSA

Placa colaborante para losas con diseño moderno y fácil de instalar

CARACTERISTICAS:

- Elimina el uso de encofrados y apuntalamientos
- Instalación ultra rápida
- Reduce consumo de hormigón y hierro
- Sustituye el acero de refuerzo positivo
- Gran ahorro de mano de obra
- Fabricación a medida
- Sismo resistente

Unico con sistema de fijación más fácil y seguro aprobado por el SDI Steel Deck Institute

TABLA DE PROPIEDADES KUBILOSA:

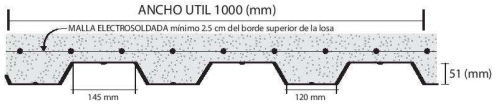
PROPIEDADES DEL PANEL					
ESPESOR	PESO	Is(+)	Is(-)	Ss(+)	Ss(-)
(mm)	(kg/m²)	(cm⁴/m)	(cm⁴/m)	(cm³/m)	(cm³/m)
0.65	6.37	29.30	28.86	9.61	14.54
0.70	6.85	32.29	31.83	10.72	15.71
0.76	7.44	35.97	35.47	12.10	17.13

VOLUMEN HORMIGON/m²	
*ESPESOR DE LOSA (cm)	HORMIGON (m³/m²)
5	0.06950
6	0.07954
7	0.08954
8	0.09954
10	0.11954
12	0.13954

TABLA DE AYUDA PARA DISEÑO KUBILOSA:

CARGA VIVA SOBREIMPUESTA (kg/m²)											
ESPESOR KUBILOSA	*ESPESOR LOSA	SEPARACION ENTRE APOYOS (m)									
(mm)	(cm)	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
0.65	5	1940	1487	1164	924	742	600	488	397	323	261
	6	2252	1734	1364	1089	881	719	590	486	401	331
	7	2252	1981	1564	1255	1020	837	692	575	479	400
	8	2252	2228	1764	1420	1159	955	794	664	557	469
	10	2252	2252	2164	1751	1437	1192	998	842	714	608
	12	2252	2252	2252	2081	1714	1428	1202	1020	870	746
0.70	5	2252	1612	1265	1008	812	660	530	442	362	296
	6	2252	1879	1481	1186	962	788	650	538	447	371
	7	2252	2145	1687	1365	1112	916	760	634	531	446
	8	2252	2252	1912	1543	1262	1043	870	730	615	521
	10	2252	2252	2252	199	1562	1299	1090	922	784	670
	12	2252	2252	2252	2252	1862	1555	1311	1114	953	819
0.76	5	2252	1760	1384	1107	895	731	601	495	409	338
	6	2252	2050	1619	1301	1059	870	720	600	501	419
	7	2252	2252	1854	1496	1222	1009	840	704	593	500
	8	2252	2252	2089	1689	1385	1148	960	809	685	582
	10	2252	2252	2252	2078	1711	1426	1200	1016	868	744
	12	2252	2252	2252	2252	2036	1704	1440	1226	1052	907

MAXIMA LUZ SIN APUNTALAR SEGÚN CONDICIONES DE APOYO				
ESPESOR KUBILOSA (mm)	*ESPESOR LOSA (cm)	1 LUZ (m)	2 LUCES (m)	3 LUCES (m)
0.65	5	1.58	2.10	1.94
	6	1.51	2.02	1.86
	7	1.46	1.95	1.80
	8	1.40	1.89	1.74
	10	1.33	1.79	1.65
	12	1.27	1.70	1.57
0.70	5	1.61	2.16	2.00
	6	1.55	2.08	1.91
	7	1.49	2.00	1.85
	8	1.45	1.94	1.79
	10	1.37	1.83	1.69
	12	1.30	1.74	1.61
0.76	5	1.66	2.23	2.00
	6	1.59	2.14	1.97
	7	1.53	2.06	1.90
	8	1.48	2.00	1.83
	10	1.41	1.88	1.74
	12	1.34	1.79	1.65



Tolerancias según norma INEN 2 221:99
Tolerancia longitud: la tolerancia en longitud para paneles de hasta 7m. será de +40mm, para longitudes mayores a 7m, se añadirá 5mm, por cada incremento de 1m.
Tolerancia ancho útil: Está entre 3 y 5mm, de acuerdo a los espesores de materia prima de los que disponemos.
KUBIEC se reserva el derecho de modificar las especificaciones de sus productos sin previo aviso.

Fabricado por: KUBIEC ... más que un buen acero

ANEXO N° 2

FICHA TÉCNICA STRAIN GAGES

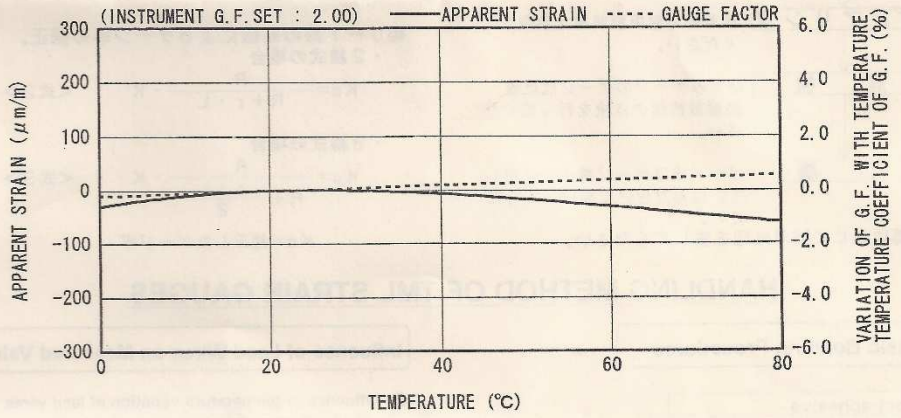
TML STRAIN GAUGE TEST DATA

GAUGE TYPE	: PFL-10-11	TESTED ON	: SS 400
LOT NO.	: A515311	COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION	: 11.8 $\times 10^{-6}$/℃
GAUGE FACTOR	: 2.12 ±1%	TEMPERATURE COEFFICIENT OF G.F.	: +0.1±0.05 %/10℃
ADHESIVE	: P-2	DATA NO.	: D0047

THERMAL OUTPUT (ε app : APPARENT STRAIN)

$\varepsilon app = -2.97\times10^{1}+2.73\times T^{1}-7.23\times10^{-2}\times T^{2}+5.30\times10^{-4}\times T^{3}-1.40\times10^{-6}\times T^{4}$ (μm/m)

TOLERANCE : ±0.85 [(μm/m)/℃] , T : TEMPERATURE



ひずみゲージ取扱いの注意事項

- ●上記の特性データは、リード線の取付けによる影響を含んでおりません。裏面記載のリード線の測定値への影響に従って補正してください。
- ●ゲージの使用温度は、接着剤の耐熱温度などにより変わります。
- ●絶縁抵抗などの点検は、印加電圧を５０Ｖ以下にしてください。
- ●ゲージリード線に無理な力を加えないでください。
- ●ゲージ裏面に接着剤を塗布して接着してください。
- ●ひずみゲージの裏面は脱脂洗浄してありますので、汚さないように取扱いしてください。
- ●ゲージの包装を開封後は、乾燥した場所で保管してください。
- ●ご使用に際してご不明な点などがございましたら、当社までお問い合わせください。

CAUTIONS ON HANDLING STRAIN GAUGES

- ● The above characteristic data do not include influence due to lead wires. Correct the data in accordance with the influence of lead wires on measured values described overleaf.
- ● The service temperature of strain gauge depends on the operating temperature of adhesive, etc.
- ● Check of insulation resistance, etc. should be made at a voltage of less than 50V.
- ● Do not apply an excessive force to the gauge leads.
- ● Apply an adhesive to the back of a strain gauge and stick the gauge to a specimen.
- ● As the back of strain gauge has been degreased and washed, do not contaminate it.
- ● After unpacking, store strain gauges in a dry place.
- ● If you have any questions on strain gauges or installation, contact TML or your local agent.

Made in Japan

TML 株式會社 東京測器研究所
〒 140-8560 東京都品川区南大井 6 - 8 - 2
TEL 03 - 3763 - 5611
FAX 03 - 3763 - 6128

Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.
8 - 2, Minami - Ohi 6 - Chome
Shinagawa - ku, Tokyo 140-8560

ANEXO N° 3

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 13 - 1662
Hoja 1 de 1

Quito, 20 de Diciembre de 2013.

SOLICITA: JUAN CHAVEZ
CONTRATISTA: ***
PROYECTO: TESIS
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: INDICADOS
NORMA: ASTM C39/C39M - 05

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (dias)	P. ESPEC. (gr/cm^3)	RESISTENCIA (Kg/cm^2)
1	28/08/2013	TESIS	19-dic-13	113	2,22	188
2	28/08/2013	TESIS	18-dic-13	112	2,26	157
3	28/08/2013	TESIS	19-dic-13	113	2,22	170
4	28/08/2013	TESIS	19-dic-13	113	2,24	184
5	28/08/2013	TESIS	19-dic-13	113	2,21	175
6	28/08/2013	TESIS	19-dic-13	113	2,23	179

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil Mezanine Ofic: M15, **email:** laboratoriociviepn@yahoo.com / **Telf.**: 2507 - 144 ext.: 2607