

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ENSAYO DE LOSAS PREFABRICADAS SOMETIDAS A FLEXIÓN.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCION ESTRUCTURAS**

WILSON RODRIGO BASANTES MALUSIN
Wilrodry.30@gmail.com

DIRECTOR: ING. NICOLAY BERNARDO YANCHAPANTA GÓMEZ
nicolaybernardoy@gmail.com

Quito, febrero 2017

DECLARACIÓN

Yo, Wilson Rodrigo Basantes Malusin, 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 en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**WILSON RODRIGO BASANTES
MALUSIN.**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por WILSON RODRIGO BASANTES MALUSIN, bajo mi supervisión.

PROF. ING. NICOLAY YANCHAPANTA
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi abuelita María, y a mi padre Rodrigo.

A mi familia y seres queridos, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y constancia.

Quiero agradecer muy cordialmente a la Escuela Politécnica Nacional, por todos los servicios prestados hacia mí, su infraestructura, sus laboratorios, y su cuerpo docente por brindarme todos sus conocimientos durante el transcurso de mi formación profesional.

Un especial agradecimiento al Ing. Nicolay Yanchapanta, y al Ing. Diego Sosa, por su dirección, paciencia y enseñanzas.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental; a sus autoridades, a su personal administrativo y de servicio por su colaboración y prestancia para la elaboración de este documento.

A la fábrica de bloques Prefabricados Grupo Santa Elena, por facilitarme las unidades necesarias para la realización de los ensayos.

A mis compañeros y amigos por su colaboración oportuna.

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre María Elena.

A las personas más importantes de mi vida, mis hermanos, Ligia, Juan y Mathías.

A mi padre Luis Rodrigo.

A todos mis tíos, en especial a mi tía María Francisca.

WILSON RODRIGO.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
PRESENTACIÓN	XIX
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 BREVE HISTORIA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3 ALCANCE.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.5 DEFINICIONES	6
CAPÍTULO 2	7
GENERALIDADES.....	7
2.1 LOSAS.....	7
2.1.1 TIPOS DE LOSAS DE HORMIGÓN.....	7
2.1.2 LOSAS ALIGERADAS.	8
2.1.2.1 Proceso constructivo	9
2.1.3 LOSAS ALIGERADAS POR VIGUETA Y BOVEDILLA.....	12
2.1.3.1 Viguetas.....	13
2.1.3.2 Bovedillas	14
2.1.3.3 Electromallas	15
2.1.3.4 Proceso constructivo.	16
2.2 VIGAS METÁLICAS TIPO I.	19

2.2.1 EL ACERO	20
2.2.1.1 Propiedades del acero.....	23
2.2.1.2 Clasificación del acero según la ASTM.	25
2.3 HORMIGÓN.....	28
2.3.1 ELEMENTOS DEL HORMIGÓN	28
2.3.1.1 Cemento	28
2.3.1.2 Agregado Grueso (Grava)	30
2.3.1.3 Agregado Fino (Arena)	31
2.3.1.4 Agua	32
2.3.1.5 Aditivos	34
2.4 SISTEMA COMPUESTO HORMIGÓN - ACERO	35
2.4.1 VENTAJAS DE UN SISTEMA COMPUESTO	35
2.4.2 DESVENTAJAS DE UN SISTEMA COMPUESTO.....	36
2.4.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	37
2.4.3.1 Miembros en flexión.....	37
2.4.3.1.1 Análisis elástico.....	37
2.4.3.1.2 Análisis plástico.....	38
2.4.3.2 Conectores de cortante	38
CAPÍTULO 3	39
ANÁLISIS DE LOS MODELOS Y DISEÑO	39
3.1 GENERALIDADES DEL DISEÑO.....	39
3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISEÑO	40
3.1.2 HIPOTESIS DE CARGA	40
3.2 DISEÑO DE LOSA	46
3.2.1 LOSA.....	46
3.2.1.1 Espesor de la losa	46
3.2.1.2 Refuerzo por agrietamiento	48
3.2.2 DISEÑO DE VIGAS.....	48
3.2.2.1 Geometría de las secciones	49
3.2.2.2 Capacidad a flexión de las vigas metálicas.	51
3.2.2.2.1 Solicitaciones	51
3.2.2.2.2 Estado límite de Fluencia	59
3.2.2.2.3 Pandeo Lateral Torsional	60
3.2.2.2.4 Cálculo de la capacidad a flexión de las vigas metálicas.	65
3.2.2.3 Análisis elástico en vigas metálicas.....	67
3.2.2.3.1 Cálculo del momento elástico en vigas metálicas.	67

3.2.3 ANÁLISIS A FLEXIÓN DE VIGA COMPUESTA	68
3.2.3.1 Capacidad a flexión de las vigas trabajando como viga compuesta. Análisis plástico	69
3.2.3.1.1 Cálculo de la capacidad a flexión de las vigas trabajando como viga compuesta	71
3.2.3.2 Análisis elástico	80
3.2.3.2.1 Cálculo del análisis elástico	83
3.2.3.3 Esfuerzo cortante en vigas metálicas	89
3.2.3.3.1 Cálculo de la capacidad nominal a corte	91
3.2.3.4 Conectores de corte	93
3.2.4 ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO	95
CAPÍTULO 4	97
ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
4.1 EQUIPOS DE ENSAYO	97
4.1.1 GATO HIDRÁULICO	97
4.1.2. LVDT	98
4.1.3. STRAIN GAUGE	98
4.2 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS A ENSAYAR.	99
4.3 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS	102
4.4 RESULTADOS	105
4.4.1 ENSAYO 1	105
4.4.1.1 Descripción	105
4.4.1.2 Resultados	107
4.4.2 ENSAYO 2	112
4.4.2.1 Descripción	112
4.4.2.2 Resultados	115
4.4.3 ENSAYO 3	119
4.4.3.1 Descripción	119
4.4.3.2 Resultados	122
4.4.4 ENSAYO 4	128
4.4.4.1 Descripción	128
4.4.2.2 Resultados	130
4.4.5 ENSAYO BOVEDILLA	136
4.5 RESUMEN DE RESULTADOS	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
CONCLUSIONES	138
RECOMENDACIONES	141

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	143
ANEXOS	145
ANEXO N° 1	146
PLANOS AS BUILT – LOSA #1	146
ANEXO N° 2	149
PLANOS AS BUILT – LOSA #2	149
ANEXO N° 3	152
PLANOS AS BUILT – LOSA #3	152
ANEXO N° 4	155
PLANOS AS BUILT – LOSA #4	155
ANEXO N° 5	158
PLANO AS BUILT – BOVEDILLA	158
ANEXO N° 6	160
ENSAYO DE LA BOVEDILLA	160
ANEXO N° 7	163
MEMORIAS	163

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LOSA TIPO COMPUESTA ...	2
FIGURA 2.1 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA VIGUETA-BOVEDILLA.....	12
FIGURA 2.2 PARTES SISTEMA VIGUETA - BOVEDILLA.....	13
FIGURA 2.3 DISPOSICIÓN DE VIGETAS.....	14
FIGURA 2.4 COLOCACIÓN DE MALLA EN SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA..	16
FIGURA 2.5 ALINEAMIENTO DEL SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA.....	17
FIGURA 2.6 ESQUEMA DE VACIADO Y VIBRADO EN SISTEMA VIGUETA- BOVEDILLA	18
FIGURA 2.7 CURVA TÍPICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN	23
FIGURA 2.8 PROPIEDADES DEL ACERO SEGÚN LA ASTM	27
FIGURA 2.9 COMPORTAMIENTO DE SECCIONES COMPUESTAS Y NO COMPUESTAS	37
FIGURA 2.10 TIPOS DE CONECTORES DE CORTE	38
FIGURA 3.1 CARGA REPARTIDA EN MODELO TEÓRICO.....	40
FIGURA 3.2 ELEMENTOS EN 1 M ² DE DISEÑO	40
FIGURA 3.3 ÁREA APORTANTE A CADA VIGA	43
FIGURA 3.4 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 1	44
FIGURA 3.5 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 2	44
FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 3	45
FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 4	45
FIGURA 3.8 ELEMENTOS CONFORMANTES DE LOSA COMPUESTA.....	46
FIGURA 3.9 VIGA TIPO I.....	48
FIGURA 3.10 PROPIEDADES GEOMETRICAS NECESARIAS EN VIGA TIPO	153
FIGURA 3.11 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS. ANÁLISIS PLÁSTICO.	69
FIGURA 3.12 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS. ANÁLISIS PLÁSTICO.	73
FIGURA 3.13 PROPIEDADES GEOMETRICAS. ANÁLISIS ELÁSTICO	80
FIGURA 3.14 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS. ANÁLISIS ELÁSTICO.	85
FIGURA 3.15 CONECTOR TIPO L.....	93
FIGURA 3.16 DISTANCIA ENTRE CONECTORES A CORTE	94
FIGURA 3.17 DISTRIBUCIÓN DE CORTE Y MOMENTO EN MODELO MATEMÁTICO.....	95

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE CARGA, VIGA 1.....	105
FIGURA 4.2 ESQUEMA DE CARGA, VIGA 2.....	113
FIGURA 4.3 ESQUEMA DE CARGA, VIGA 3.....	120
FIGURA 4.4 ESQUEMA DE CARGA, VIGA 4.....	128

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2.1 ENCOFRADO TIPO LOSA DE HORMIGÓN	9
FOTOGRAFÍA 2.2 ACERO DE REFUERZO SOBRE LOSA DE HORMIGÓN. ...	10
FOTOGRAFÍA 2.3 COLOCACIÓN DE HORMIGÓN.....	11
FOTOGRAFÍA 2.4 DESENCOFRADO DE LOSA.....	12
FOTOGRAFÍA 2.5 BOVEDILLA DE BARRO CERÁMICO.....	15
FOTOGRAFÍA 2.6 BOVEDILLA DE CEMENTO Y ARENA.....	15
FOTOGRAFÍA 2.7 BOVEDILLA DE POLIESTIRENO.....	15
FOTOGRAFÍA 2.8 APUNTALAMIENTO EN SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA..	17
FOTOGRAFÍA 2.9 COLOCACIÓN DE LAS BOVEDILLAS.....	18
FOTOGRAFÍA 2.10 VACIADO DE HORMIGÓN EN LOSA.....	19
FOTOGRAFÍA 2.11 PERFILES DE ACERO TIPO I.....	21
FOTOGRAFÍA 2.12 CEMENTO TIPO 1.....	28
FOTOGRAFÍA 2.13 AGREGADO GRUESO.....	31
FOTOGRAFÍA 2.14 AGREGADO FINO.....	32
FOTOGRAFÍA 2.15 CURADO DE LOSA.....	34
FOTOGRAFÍA 2.16 COLOCACIÓN DE ADITIVO EN HORMIGÓN.....	34
FOTOGRAFÍA 3.1 BOVEDILLA UTILIZADA.....	41
FOTOGRAFÍA 4.1 MÁQUINA DE CARGA.....	97
FOTOGRAFÍA 4.2 LVDT.....	98
FOTOGRAFÍA 4.3 STRAIN GAUGE.....	99
FOTOGRAFÍA 4.4 CONSTRUCCIÓN DE VIGAS TIPO I.....	100
FOTOGRAFÍA 4.5 COLOCACIÓN DE LOS STRAIN GAGE.....	100
FOTOGRAFÍA 4.6 PREPARACIÓN DE BOVEDILLAS.....	101
FOTOGRAFÍA 4.7 ENCOFRADO DE LOSA COMPUESTA DE VIGUETA Y BOVEDILLA.....	101
FOTOGRAFÍA 4.8 COLOCACIÓN DE HORMIGÓN.....	102
FOTOGRAFÍA 4.9 PREPARACIÓN DE LAS LOSAS.....	103
FOTOGRAFÍA 4.10 GATO HIDRÁULICO.....	103
FOTOGRAFÍA 4.11 CILINDROS SÓLIDOS.....	104
FOTOGRAFÍA 4.12 PRIMERAS FISURAS.....	106
FOTOGRAFÍA 4.13 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 1.....	106

FOTOGRAFÍA 4.14 PRIMERAS FISURAS.....	113
FOTOGRAFÍA 4.15 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 2	114
FOTOGRAFÍA 4.16 PRIMERAS FISURAS.....	120
FOTOGRAFÍA 4.17 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 3	121
FOTOGRAFÍA 4.18 PRIMERAS FISURAS.....	129
FOTOGRAFÍA 4.19 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 4	130
FOTOGRAFÍA 4.20 ENSAYO DE BOVEDILLA.....	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN, ENSAYO 1.....	107
GRÁFICO 4.2 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 1.....	108
GRÁFICO 4.3 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 1.....	109
GRÁFICO 4.4 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 1.....	110
GRÁFICO 4.5 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 1.....	111
GRÁFICO 4.6 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 1.....	111
GRÁFICO 4.7 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN , ENSAYO 2.....	115
GRÁFICO 4.8 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 2.....	116
GRÁFICO 4.9 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 2.....	117
GRÁFICO 4.10 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 2.....	118
GRÁFICO 4.11 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 2.....	119
GRÁFICO 4.12 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN , ENSAYO 3.....	122
GRÁFICO 4.13 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 3.....	124
GRÁFICO 4.14 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 3.....	124
GRÁFICO 4.15 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 3.....	125
GRÁFICO 4.16 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 3.....	126
GRÁFICO 4.17 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 3.....	127
GRÁFICO 4.18 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN, ENSAYO 4.....	131
GRÁFICO 4.19 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 4.....	132
GRÁFICO 4.20 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 4.....	132
GRÁFICO 4.21 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 4.....	133
GRÁFICO 4.22 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 4.....	134
GRÁFICO 4.23 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 4.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL.....	22
TABLA 2.2 COMPUESTOS DEL CEMENTO PORTLAND.....	29
TABLA 2.3 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.....	30
TABLA 2.4 CONCENTRACIONES ADMITIDAS DEL AGUA.....	32
TABLA 3.1 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS VIVAS.....	41
TABLA 3.2 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS MUERTAS, LOSA 1 Y 2. (Ver Anexos 1 y 2).....	42
TABLA 3.3 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS MUERTAS, LOSA 3 Y 4.....	42
TABLA 3.4 ESPESOR DE LA LOSA.....	47
TABLA 3.5 ESPESOR DEL FIRME O LOSETA EN LOSAS.....	47
TABLA 3.6 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 1.....	49
TABLA 3.7 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 2.....	50
TABLA 3.8 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 3.....	50
TABLA 3.9 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 4.....	50
TABLA 3.10 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 1.....	55
TABLA 3.11 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 1.....	56
TABLA 3.12 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 2.....	56
TABLA 3.13 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 2.....	56
TABLA 3.14 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 3.....	57
TABLA 3.15 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 3.....	57
TABLA 3.16 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 4.....	58
TABLA 3.17 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 4.....	58
TABLA 3.18 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 1.....	66
TABLA 3.19 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 2.....	66
TABLA 3.20 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 3.....	66
TABLA 3.21 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 4.....	67
TABLA 3.22 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 1.....	68
TABLA 3.23 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 2.....	68
TABLA 3.24 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 3.....	68
TABLA 3.25 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 4.....	68
TABLA 3.26 RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 1.....	77

TABLA 3.27	RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 2....	78
TABLA 3.28	RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 3....	78
TABLA 3.29	RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 4....	79
TABLA 3.30	RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 1.....	88
TABLA 3.31	RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 2.....	88
TABLA 3.32	RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 3.....	89
TABLA 3.33	RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 4.....	89
TABLA 3.34	RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 1.....	91
TABLA 3.35	RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE – SECCIÓN 2.....	92
TABLA 3.36	RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 3.....	92
TABLA 3.37	RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 4.....	93
TABLA 3.38	RESUMEN DE CARGAS EN EL ESTADO PLÁSTICO.....	96
TABLA 4.1	DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 1.....	108
TABLA 4.2	DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 2.....	115
TABLA 4.3	DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 3.....	123
TABLA 4.4	DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 4.....	131
TABLA 4.5	RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	136

RESUMEN

El presente estudio *técnico – experimental* inicia con una breve síntesis sobre las losas en general, en él se puede apreciar el auge de los sistemas constructivos hasta llegar al sistema de construcción de entrepiso, basados principalmente en la configuración estructural de losas de hormigón armado y viguetas metálicas. Con el pasar del tiempo se ha encontrado nuevos sistemas constructivos, cuya principal característica y ventaja es la reducción del peso total de la misma; lo que consecuentemente incide de manera muy positiva en el costo, en el tiempo total de la construcción y finalmente en el comportamiento sísmico de la estructura como conjunto.

El poco desarrollo respecto a la construcción de losas con viguetas de acero y aliviamientos de diferente tipología genera desconfianza ya que, al ser un procedimiento constructivo muy poco conocido, en cuanto a sus características, procesos constructivos, y a la falta de un adecuado respaldo técnico, ocasiona el rechazo y desconfianza hacía el uso de nuevos sistemas constructivos.

Por lo tanto, la presente investigación pretende mostrar la capacidad real que brindan estos sistemas constructivos conformados por viguetas metálicas tipo I y aliviamientos tipo bovedillas, el cual no disponen de un sistema de encofrado. De esta manera, se pretende reducir las incertidumbres que existen acerca de su comportamiento, lo que limita su empleo, debido a que el desarrollo en este campo es muy poco estudiado en el país. El resultado de este estudio servirá como una guía, el cual ayudará a la construcción de viguetas metálicas tipo I y bovedillas se diversifiquen.

Palabras Claves: *Losas de hormigón, viguetas de acero, bovedillas, flexión.*

ABSTRACT

The present technical - experimental study begins with a short synthesis about slabs in general, in this we can see the heyday of constructions systems until the present time where mezzanine systems are the main construction based of concrete reinforced slabs and steel beam. With the passage of time, new construction systems have been found, whose main characteristic and advantage is the reduction of the total weight of buildings; it has a positive impact on the cost, the total time of the construction and finally on the seismic behavior of all structure.

The little development about the construction of slabs with steel beam and different type of lightweight construction materials generates caution, because it is a constructive procedure unknown, in terms of its characteristics, construction processes, and the technical support is poor, it causes the rejection and distrust to the new constructive systems.

Therefore, the present research tries to show the real capacity of these constructive systems, conformed by steel beams type I-shaped members and lightweight construction materials type vaults, which doesn't have a formwork system. In this way, this investigation try to reduce the uncertainties that exists about its behavior that limits its use, because the development in this field of this country is unknown. The result of this study will work like a guide, it will help to the construction of steel beams type I-shaped members and vaults are diversified.

Key words: Concrete slabs, steel beams, joists, I profiles, flexion.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de investigación consta de cinco capítulos sistematizados como se muestra:

El capítulo primero; se estudia de manera breve las losas en general. Asimismo, muestra los objetivos, justificaciones, alcances del presente proyecto de investigación y sumándole a esto un breve glosario de los términos empleados.

El capítulo segundo; describe de una forma un poco más minuciosas sobre los tipos de losas al igual que su proceso constructivo, sistemas duales y/o materiales empleados. Resume los elementos que la constituyen y haciendo un especial énfasis en los recursos que se utilizan como alivianamientos.

El capítulo tercero; describe las generalidades de los diseños, etapas de construcción, geometría final de los elementos a ensayar.

El capítulo cuarto, evalúa y cuantifica los resultados obtenidos de todos los ensayos realizados en el laboratorio.

Parte final; contiene en su totalidad recomendaciones y conclusiones sobre la presente investigación, además se incluyen planos descriptivos en sus respectivos anexos.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las losas tienen por objetivo proporcionar superficies planas; que a su vez sean útiles para las actividades humanas. Una losa está compuesta en forma de una placa plana, cuya superficie superior e inferior son paralelas y habitualmente horizontales.¹

Se puede definir a una losa, como un elemento estructural, cuya tercera dimensión (el espesor) es menor que los dos restantes, esta puede ser de sección rectangular llena o con huecos (el cual pueden incluir aliviamientos, ej. Bloque de aliviamiento). Las losas pueden ser de entrepisos, cubiertas, escaleras y tanques. Independientemente del tipo de elemento que sea, las losas reciben directamente las cargas de servicio a diferencia de las vigas, columnas o cimentaciones, que reciben la carga de otros elementos estructurales.²

Los tipos de losa están determinados por la forma en que se apoyan en la estructura, por la distribución del hormigón y la dirección de trabajo. Estas losas pueden sustentarse perimetral o interiormente, por medio de:

- Vigas de hormigón armado, que son vaciadas de forma monolíticas,
- Vigas de otros materiales, como el acero estructural,
- Muros de hormigón,
- Muros de mampostería,
- Muros de otro material.

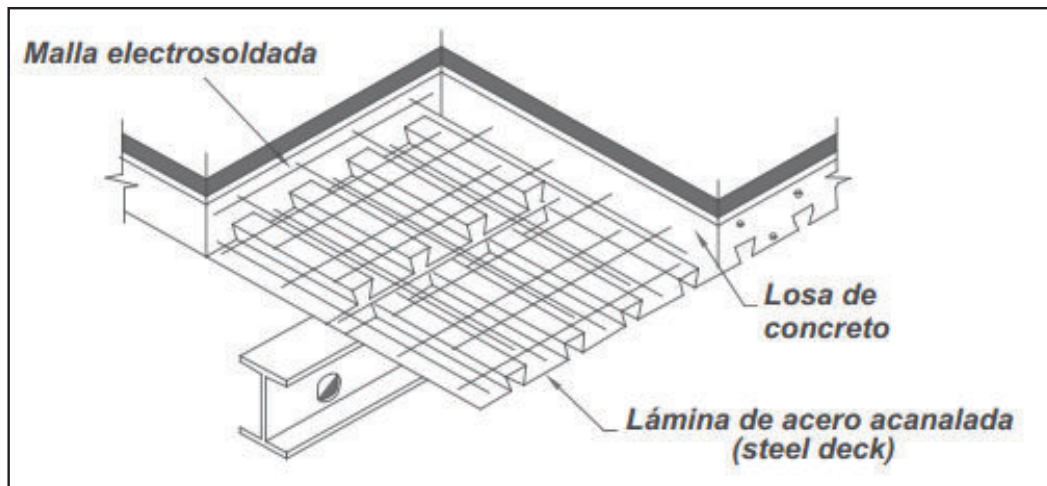
Por ende, dependiendo del tipo de sustento, estas se pueden clasificar como losas sustentadas sobre vigas, o losas sustentadas sobre muros.

¹ Diseño de estructuras de concreto, Arthur H. Nilson, 1999, pág. 365

² Hormigón Armado: Losas, Bernal Jorge, 2005, pág. 7

Las losas, son diseñadas en su mayoría para cargas con una distribución uniforme sobre la totalidad de uno de sus paneles, el cual se encuentran limitadas por las vigas de apoyo o a su vez por los ejes entre centro de las columnas, como una losa plana.

FIGURA 1.1 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LOSA TIPO COMPUESTA



Fuente: Construcción compuesta acero-concreto, Octavio Álvarez, 2010, pág. 6

1.1.1 BREVE HISTORIA

Las primeras cubiertas creadas por el hombre fueron de barro o tierra, el cual eran denominados terrados, el cual eran construidos sobre una base de troncos fuertes sobre la que se disponía una capa de fibra de caña, el cual soportan varios centímetros de tierra compactada.³

Posteriormente los investigadores fueron empleando diferentes mezclas de materiales en la construcción de una losa tales como: el empleo de barro y caña, o a su vez la introducción de barras de acero o madera en su estructura.

Con el paso de los tiempos se ha buscado mejores materiales para la construcción, por lo que se logró encontrar un material apto para la fabricación de todo tipo de

³ La cubierta plana, un paseo por su historia, Graus Ramon, 2005, pág 5.

obras civiles, denominado hormigón armado. Este material fue descubierto en Europa, que por medio de la creación del cemento en 1818 por Viscat y años más tarde con la producción de perfiles de hierro; en 1847, se lo pudo presentar como un sistema constructivo.⁴

Posteriormente, el uso de hormigón armado se lo empleaba en diferentes aplicaciones como en barcos, hasta que en 1852 Francisco Coignet, hace empleo de este material en viviendas. Con el pasar de los años, se fueron introduciendo armaduras en sitios requeridos, para finalmente introducir métodos patentados y establecer el primer reglamento de hormigón armado, por el año 1906 por Hennebique y Coignet.⁵

Con el pasar de los años, se encontraron varias desventajas al utilizar hormigón armado como único material de construcción, como el peso excesivo, por lo que en los años 1960, el ing. Eduardo Torroja propone la utilización de un conjunto estructural mixto, formada por una estructura espacial metálica con losas de hormigón armado.⁶

Con la ayuda de la tecnología y sus posteriores avances, se han logrado proponer nuevos métodos de análisis, que con el pasar de los años se siguen introduciendo nuevos y mejores métodos de construcción, que facilitan los procesos constructivos teniendo menores tiempos de trabajo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio técnico – experimental del ensayo de losas prefabricadas sometidas a flexión.

⁴ Losas reticulares Mixtas, Miguel Bozzo-Luis Bozzo,2003, *pag 2*

⁵ Losas reticulares Mixtas, Miguel Bozzo-Luis Bozzo,2003, *pag 2*

⁶ Losas reticulares Mixtas, Miguel Bozzo-Luis Bozzo,2003, *pag 5*

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la resistencia de las bovedillas a compresión.
- Construir viguetas compactas, de diferentes secciones de acero tipo I.
- Determinar la flexión máxima para las losas prefabricadas sometidas a flexión.
- Determinar experimentalmente las deflexiones remanentes y de recuperación con deformímetros para diferentes estados de carga.
- Determinar la resistencia de los elementos compuestos.
- Determinar las propiedades mecánicas de las losas prefabricadas sometidas a flexión.

1.3 ALCANCE

El estudio de las viguetas y bovedillas en nuestro país es un campo todavía poco desarrollado, comparado con países del primer mundo, donde la mayoría de las construcciones son construidas con losas prefabricadas que están fundamentadas técnicamente, tal es así que se han desarrollado manuales de la construcción, por tanto, el presente estudio busca aportar técnicamente al desarrollo de la construcción con viguetas metálicas y bovedillas para losas en nuestro país.

En la actualidad, los sistemas constructivos utilizados en la fabricación de losas se basan principalmente en el uso de viguetas de hormigón armado y viguetas metálicas, para cada uno de estos sistemas constructivos, el peso total de la losa será diferente, lo cual repercute directamente en el costo de fabricación y el tiempo total de la construcción.

Cuando se conozca la capacidad que brindan las viguetas metálicas tipo I y las bovedillas, se podrá incursionar con estructuras de mayor envergadura con la certeza de su comportamiento.

En el presente estudio teórico experimental de losas prefabricadas sometidas a flexión, se pretende realizar el ensayo de un sistema denominado Vigüeta y Bovedilla. Este sistema está compuesto de tres partes principales, como son: Componentes portantes que son las secciones de acero tipo I, Componentes aligerantes que son las Bovedillas y el Firme o loseta, que está conformado de hormigón armado; tiene por objetivo dar integridad al sistema de piso. Las losas a ensayarse serán 4 con diferentes secciones, cuyo espesor del firme o loseta es de 5 y 8 cm, las luces de las vigüetas metálicas serán de 4 metros. Tres de ellas serán ensayadas a momento negativo y una a momento positivo, con el objetivo de comparar resultados para diferentes casos.

El poco desarrollo en cuanto a la construcción de losas con vigüetas de acero y bovedillas, es debido a la desconfianza que genera; ya que, al ser un procedimiento desconocido en cuanto a sus características, a la falta de un adecuado respaldo técnico, ocasiona que se utilicen factores de seguridad no apropiados. La consideración de las vigüetas como elemento estructural y las bovedillas como alivianamientos para las construcciones debe incrementarse en el país, debido a las grandes ventajas que presentan estos materiales como son: el bajo costo, la reducción del peso del sistema de piso y así reducir las demandas sísmicas en las edificaciones.

La información técnica existente de vigüetas de hormigón y bovedillas es amplia, de ahí que en países desarrollados existan manuales específicos de diseño de vigüetas hormigón y bovedillas, así como tipos de vigüetas y bovedillas patentadas, lo que las convierte en costosas para nuestro medio. Por tanto, lo que se pretende lograr con esta investigación es tomar dicha información y adaptarla con vigüetas metálicas tipo I en el país, contribuyendo al desarrollo de un campo poco estudiado en el país y aportando a que la construcción con vigüetas metálicas tipo I y bovedillas se diversifique.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Con el conocimiento de la capacidad que brindan las viguetas metálicas tipo I y las bovedillas se podrán economizar la construcción de las losas, ya que no habrá necesidad de utilizar encofrado. La presente investigación busca desarrollar e incrementar el uso de las viguetas metálicas tipo I como elemento estructural, ya que contribuirá a un mayor conocimiento de este sistema constructivo, particularmente en lo que a viguetas y bovedillas se refiere, por la falta de estudios e investigación en este campo en nuestro país, crea incertidumbres a cerca de su comportamiento, lo que limita su uso.

1.5 NORMAS Y ABREVIATURAS.

Para la presente investigación se utilizaron como ayuda, las siguientes normas:

- CEC. - Código Ecuatoriano de la Construcción.
- NEC15.- Norma Ecuatoriana de la Construcción con registro oficial N° 413, el 10 de enero del 2015.
- ACI. - American Concrete Institute. Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentarios.
- ANSI/AISC 316-10.- American Iron and Steel Institute

También se recurrió al empleo de las siguientes abreviaturas:

- C.I.V.- Centro de Investigación de la Vivienda. Escuela Politécnica Nacional.
- L.V.D.T.- Transductor de desplazamiento lineal (*Linear variable differential transformer*).
- ANIVIP. - Asociación Nacional de Industriales de Vigüeta Pretensada.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.1 LOSAS.

Las losas en la actualidad juegan un papel muy importante en la fabricación de una edificación, de aquí su variedad de tipos y formas de construcción.

2.1.1 TIPOS DE LOSAS DE HORMIGÓN

Las losas pueden ser diferenciadas por:⁷

- Losas de entrepiso o de cubierta.
- Losas perimetrales, continuidad: de un lado continuo, dos lados continuos, tres lados continuos.
- Losas sostenidas sobre vigas: se sustentan en vigas compactas, o vigas de otros materiales integrados a la losa.
- Losas sostenidas sobre muros: se sustentan en muros de hormigón, de mampostería, o de otro material.
- Losas planas: pueden sostenerse directamente sobre los pilares. Son rígidas y para mejorar su resistencia al punzonamiento, es aconsejable incluir ábacos en los capiteles.
- Losas planas con vigas embebidas: son muy resistentes a los sismos, pues están incorporadas con vigas banda (embebidas), lo cual mejora su comportamiento frente a sismos.
- Losas unidireccionales: se apoyan solo en dos lados opuestos, por lo que la acción estructural de la losa es en una dirección, ya que transmiten las cargas en la dirección perpendicular a las vigas de apoyo. En general son rectangulares, con una relación entre lados de 1,5.

⁷ Arthur H. Nilson, Diseño de estructuras de concreto, 1999, pág. 365

- Losas bidireccionales: se apoyan en los cuatro lados, ya sea por medio de vigas y muros, de modo que se obtiene una acción de losa en dos direcciones. La relación entre el lado mayor y el menor es de 1,5, o menor. Se usan placas reforzadas en dos direcciones.
- Losa maciza: es aquella en que el hormigón ocupa todo el espesor de la losa.
- Losa aligerada: cuando parte del volumen de la losa está ocupado por otros materiales más livianos, o espacios vacíos. Estas losas de hormigón son las más empleadas y se pueden conseguir utilizando mampuestos aligerados de hormigón, cerámica aligerada, formaletas plásticas recuperables, o formaletas de madera. También se realiza colocando en los intermedios de los nervios estructurales, bloques, ladrillos, casetones (cajones) de metal, madera, intentando reducir el peso de la estructura.

2.1.2 LOSAS ALIGERADAS.

Las losas aligeradas son muy utilizadas en nuestro medio, son aquellas que están formadas por varios elementos, con el que se busca obtener como resultado una construcción sencilla, de bajo costo y un menor peso de la losa.

La losa aligerada de forma tradicional, se lo viene empleando desde ya varios años y se lo puede definir como un método que busca disminuir el peso de una losa de características convencionales.

Este método puede resultar muy conveniente, pero en el proceso de construcción existen factores que requieren un constante seguimiento como: el encofrado, puede ser de madera metal u otro material, el armado puede ser a base de acero corrugado o malla electrosoldada, el colado o vaciado del hormigón, curado y finalmente el desencofrado, que dependiendo de la cantidad del trabajo a realizar, se puede requerir de mucha mano de obra pesada y por consiguiente se tiene más gastos, más personal, más tiempo y más riesgos.

Las losas aligeradas, se puede decir que son un gran descubrimiento de la era actual, debido a su versatilidad y facilidad de construcción, por lo que para la presente investigación se recurrirá al empleo de este tipo de losas, se plantea usar el sistema de viguetas y bovedillas, con el fin de dotar a la gente de un techo el cual los proteja de las inclemencias medioambientales a un costo accesible, sin descuidar aspectos como su funcionalidad, durabilidad y seguridad.

2.1.2.1 Proceso constructivo

Las losas aligeradas de forma tradicional generalmente cumplen con los siguientes pasos constructivos:

- Fabricación del encofrado para el colado del hormigón

El encofrado es la estructura que sirve para soportar el concreto y el acero de refuerzo de una losa, se lo emplea de manera provisional, mientras el hormigón adquiere su resistencia de diseño.

Los encofrados pueden ser de madera o metálicos, su proceso de construcción depende del material empleado, pero se deben seguir los siguientes parámetros generales como: los encofrados deben ubicarse a la altura deseada y deben ser lo suficientemente rígidos.

FOTOGRAFÍA 2.1 ENCOFRADO TIPO LOSA DE HORMIGÓN



Fuente: www.lineaprevencion.com

- Colocación del acero de refuerzo sobre la losa.

El acero de refuerzo debe cumplir con ciertas operaciones conjuntas como son el habilitado, colocado y armado de la varilla, estas deben estar acorde a los planos estructurales.

FOTOGRAFÍA 2.2 ACERO DE REFUERZO SOBRE LOSA DE HORMIGÓN.



Fuente: www.ccm-concivil.com

El habilitado es el proceso de preparación y revisión de los aceros a emplearse, mediante el cual se chequea las marcas de las varillas a utilizarse en la losa, control del doblado de ganchos y verificación de los diámetros interiores, preparación de estribos, control de longitudes y traslapes, etc.

El colocado y armado del acero, es el proceso en donde se procede a marcar las separaciones sobre el encofrado, para que cumplan los espaciamientos dados en los planos estructurales, y así proceder con la colocación de las varillas sobre el encofrado. Generalmente se coloca las varillas del claro largo encima de las varillas del claro corto, para así formar la parrilla de refuerzo, estas son aseguradas por medio de amarres con alambre galvanizado.

- Colado de la losa de hormigón armado

El colado de la losa, se lo define como el proceso mediante el cual se coloca hormigón sobre los encofrados y moldes de alivianamientos. Antes de la colocación del hormigón, es de vital importancia tener maquinaria adicional como pueden ser: bomba, vibradores, rampas, etc.

FOTOGRAFÍA 2.3 COLOCACIÓN DE HORMIGÓN



Fuente: www.albanilessantcugat.com

Como nota adicional, el ingeniero o persona a cargo debe realizar una inspección antes de la colocación del hormigón, verificando que los refuerzos, estribos, ductos, instalaciones eléctricas, se encuentren en la posición adecuada, conjuntamente que los encofrados se encuentren firmes y estén libres de clavos, y las juntas de los encofrados estén perfectamente selladas.

- Desencofrado de la losa

Se lo define como la remoción de la obra falsa, consiste en retirar los encofrados y llevarlos fuera de la zona de trabajo. Generalmente, el encofrado utilizado se lo vuelve a reutilizar, por lo que es conveniente limpiarlas con diésel o aceite. El tiempo para el desencofrado puede variar dependiendo de las características del hormigón utilizado, pero generalmente es comprende entre los 7 – 14 o 28 días.

FOTOGRAFÍA 2.4 DESENCOFRADO DE LOSA

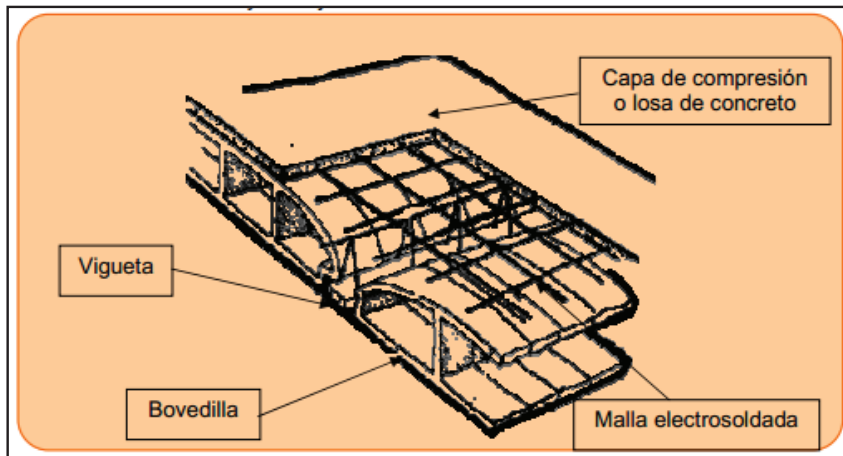


Fuente: www.amenabar1342.files.wordpress.com.

2.1.3 LOSAS ALIGERADAS POR VIGUETA Y BOVEDILLA.

Con la evolución de la tecnología, es necesario buscar nuevos procesos y métodos constructivos que mejoren aspectos como: reducir los tiempos de trabajo, reducir los materiales a emplearse, uso de una menor mano de obra calificada y así lograr excelentes trabajos de construcción con mayores y mejores resultados.

FIGURA 2.1 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA VIGUETA-BOVEDILLA

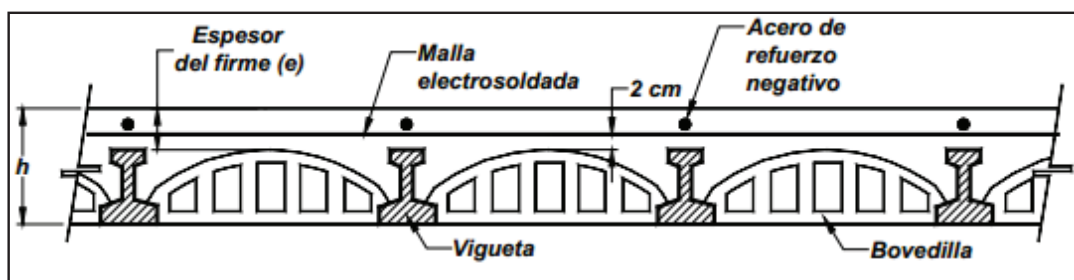


Fuente: Construcción de Techos Sistema Vigueta y Bovedilla, Instituciones varias, 2008, pág.3

En el caso del uso de la losa aligerada por medio de vigueta y bovedilla, no se requiere del uso de encofrado y de una cantidad exagerada de personal, dado que el procedimiento es un sistema semi-prefabricado.

Este sistema está compuesto por una base de largueros (viguetas), elementos que forman la losa (bovedilla), malla electrosoldada y sobre estas se dispone de una pequeña capa de hormigón, llamada capa de compresión, resultando así una construcción sencilla y de bajo costo.

FIGURA 2.2 PARTES SISTEMA VIGUETA - BOVEDILLA



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág.23.

Estas losas quedan formadas de tal manera que trabajan monolíticamente y así trabajar en conjunto, para su elaboración no se requiere de encofrado porque al apoyar las bovedillas en las viguetas estas cubren toda la superficie.

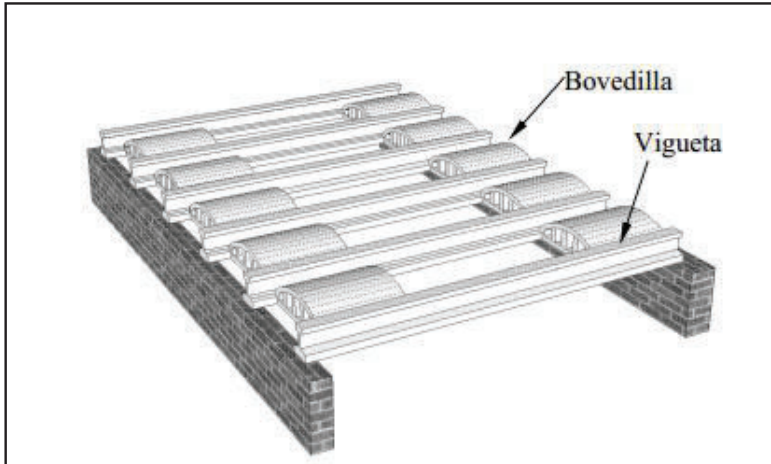
Para la presente investigación, se plantea utilizar como material para la vigueta, acero estructural tipo I, el cual es un material no muy utilizado.

2.1.3.1 Viguetas

Las viguetas son la parte más importante de este sistema constructivo, debido a que esta forma parte integral de la losa y a su vez sirve como apoyo a las bovedillas y a la capa de compresión.

Generalmente estas viguetas son prefabricadas y construidas de hormigón armado, y disponen de una armadura y un patín de concreto que se encuentra colado en la parte inferior.

FIGURA 2.3 INSTALACIÓN DE VIGUETAS



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág.23.

Para la presente investigación, se plantea utilizar como material para la vigueta, acero estructural tipo I, el cual es un elemento no muy utilizado para este tipo de construcciones.

2.1.3.2 Bovedillas

Las bovedillas son elementos aligerantes y se apoyan directamente en las viguetas, cubriendo en forma conjunta toda la superficie de la losa.

La función principal es la de eliminar el encofrado, aligerar la losa, aislante térmico y acústico, brindar mayor seguridad y dotar de mayor calidad a este sistema constructivo.

Las bovedillas pueden ser construidas de diferentes materiales, entre las principales se encuentran:

- Barro cerámico

FOTOGRAFÍA 2.5 BOVEDILLA DE BARRO CERÁMICO

Fuente: www.tecnologia-informatica.es/materiales-de-construccion/

- Cemento y arena

FOTOGRAFÍA 2.6 BOVEDILLA DE CEMENTO Y ARENA

Fuente: www.distribuidorafenix.com.mx/productos/bovedilla-de-cemento-arena/

- Poliestireno

FOTOGRAFÍA 2.7 BOVEDILLA DE POLIESTIRENO

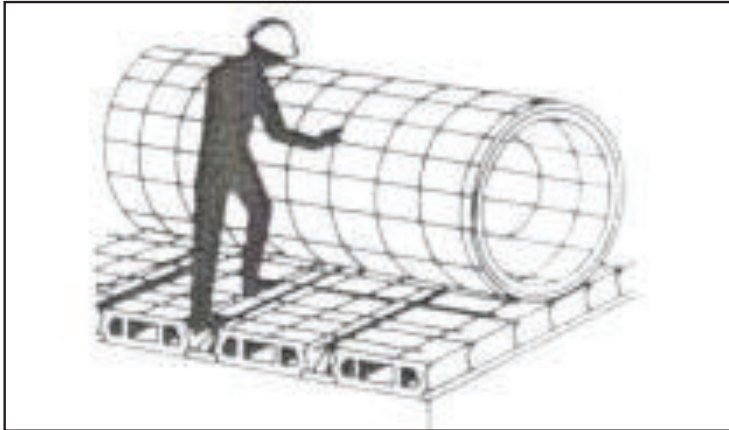
Fuente: www.premex.com.mx/bovedilla-de-poliestireno.html

2.1.3.3 Electromallas

Una malla electrosoldada es un elemento que se utiliza para el refuerzo del concreto, y esta se lo utiliza en la fabricación de losas, pisos, muros, canales, tubos, precolados, banquetas, piscinas, cisternas, sistemas prefabricados, etc.

La malla electrosoldada se lo emplea en la fabricación de la capa de compresión de la losa aligerada, esta debe ser diseñada con una resistencia mínima para evitar fallas por agrietamiento o temperatura. ⁸

FIGURA 2.4 COLOCACIÓN DE MALLA EN SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA



Fuente: Construcción de Techos Sistema Vigueta y Bovedilla, Instituciones varias, 2008, pág. 11.

2.1.3.4 Proceso constructivo.

Las losas aligeradas con viguetas y bovedillas deben cumplir con los siguientes pasos constructivos:

- Montaje de viguetas y bovedillas.

Par la colocación de las viguetas se procede a colocarse apoyos temporales denominado apuntalamiento, estas tienen la función de sostener la estructura hasta que el concreto de la capa en compresión alcance por lo menos un 60% de su resistencia.

⁸ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, Institute American Concrete, 2011

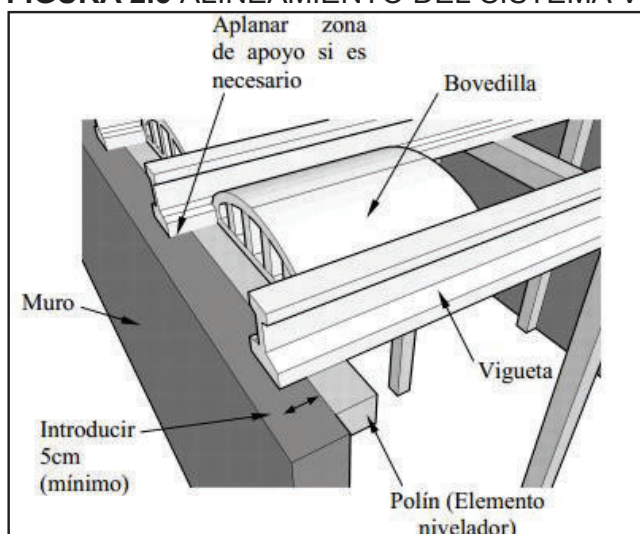
FOTOGRAFÍA 2.8 APUNTALAMIENTO EN SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA



Fuente: Construcción de Techos Sistema Vigueta y Bovedilla, Instituciones varias, 2008, pág. 13.

Las viguetas deben estar apoyadas por lo menos 5cm desde el muro de arranque, ver **Figura 2.5**, para que esta trabaje por sismo y así evitar el desgaste de la viga perimetral. En ocasiones para mantener una correcta separación de viguetas, se colocan las bovedillas en los extremos de las viguetas y así queden perfectamente niveladas.⁹

FIGURA 2.5 ALINEAMIENTO DEL SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág.22.

⁹ Asociación Nacional de Transformadores de Acero A.C., Comisión Nacional de Vivienda, Secretaría de Educación Pública, Instituto Mexiquense de la vivienda Social, Secretaría de Educación Pública, Construcción de Techos Sistema Vigueta y Bovedilla, 2008, pág. 14

A continuación, se procede con la colocación de las bovedillas, se lo coloca manualmente una por una, y se debe evitar que existan espacios para prevenir fugas del hormigón.

FOTOGRAFÍA 2.9 COLOCACIÓN DE LAS BOVEDILLAS



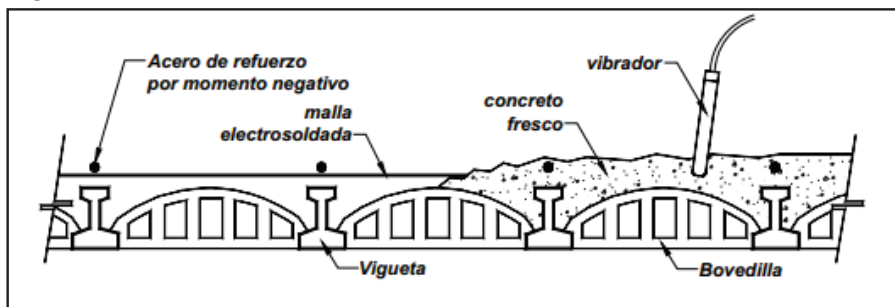
Fuente: Construcción de Techos Sistema Vigueta y Bovedilla, Instituciones varias, 2008, pág. 16.

Finalmente se colocan todas las instalaciones necesarias, para proceder con el colado del hormigón.

- Colado en obra de la capa de compresión.

La capa a compresión está formada por el hormigón y la malla electrosoldada, por lo que previo a la colocación del hormigón se precede a colocar la malla electrosoldada, y las loseta de hormigón no deben ser menor a 5 cm.

FIGURA 2.6 ESQUEMA DE VACIADO Y VIBRADO EN SISTEMA VIGUETA-BOVEDILLA



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág.25.

Finalmente se procede a un vaciado normal, se humedecen las viguetas y bovedillas de toda la superficie de la losa; para finalmente, proceder con el vaciado del hormigón.

FOTOGRAFÍA 2.10 VACIADO DE HORMIGÓN EN LOSA



Fuente: Construcción de Techos Sistema Vigüeta y Bovedilla, Instituciones varias, 2008, pág. 19.

2.2 VIGAS METÁLICAS TIPO I.

El estudio de losas aligeradas de vigüetas y bovedillas abarca un amplio estudio, generalmente las vigüetas son de hormigón prefabricado, dado su bajo costo y fácil fabricación. Para la presente investigación se plantea utilizar el acero estructural como vigüetas, con lo que se plantea encontrar un método constructivo más seguro y resistente.

Según el Euro-código 4, esta define a los elementos compuestos como “un miembro estructural con los componentes de hormigón y de acero conformado en frío, conectados entre sí por conexión a corte con el fin de limitar el deslizamiento longitudinal entre el hormigón y el acero y la separación de otros componentes”¹⁰

¹⁰ European Committee for Standardization (CEN), Eurocode 4: Design of composite Steel and Concrete Structures – Parte 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004, pág. 14, section 1.5.2.1

El sistema de entre piso formado por losas de concreto y viguetas de acero, conforman elementos compuestos capaces de resistir grandes cargas en conjunto, el concreto se lo emplea para proteger los efectos de la corrosión y las altas temperaturas que generan los incendios.

2.2.1 EL ACERO

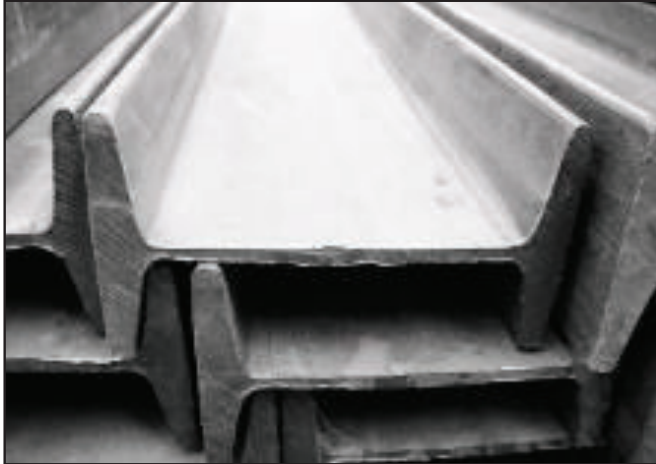
El acero es un material muy empleado en las construcciones civiles, tales como: puentes, edificios, viviendas y otras estructuras; debido a su elevada resistencia, su facilidad de fabricación y montaje, capacidad de laminarse en una gran cantidad de tamaños y su capacidad a reutilizarse.

El acero es un material que se obtiene de la naturaleza, su componente principal es el hierro y por medio de varios procedimientos se obtiene este material. Las primeras vigas I fueron creadas en 1884 y se las diseño para el uso en rascacielos.¹¹

El acero estructural empleado hasta los años 1960, se los denominaba como aceros al carbono con la designación ASTM-A7 cuyo esfuerzo de fluencia estaba alrededor de 2320 kg/cm², los procedimientos de diseño se regían a las especificaciones del AISC que solo era para el acero de tipo ASTM-A7.

En la era actual, se han desarrollado una gran variedad de aceros estructurales con diferentes atributos, el cual permiten al diseñador escoger de una variedad de materiales con grandes resistencias y sin la necesidad de requerir de grandes tamaños.

¹¹ Structural Steel Design, Jack McCormac, 2012, pág. 7

FOTOGRAFÍA 2.11 PERFILES DE ACERO TIPO I

Fuente: www.metalplate.com.mx

Al acero estructural de laminados en caliente, se los puede clasificar como: Aceros al carbono, el cual son aceros que en su estructura contienen pequeñas cantidades de carbono, se los puede dividir según el porcentaje de carbono, tales como: Bajo carbono (menos del 0.15%); dulce al carbono (0.15-0.29%); mediano carbono (0.30-0.59%) y alto carbono (0.60-1.7%); Aceros de alta resistencia y baja aleación, son acero que se les adiciona pequeñas cantidades de aleaciones de cromo, cobre, magnesio, molibdeno, níquel, fósforo, vanadio, el cual mejoran sus propiedades mecánicas y su esfuerzo de fluencia ronda entre los 2812 kg/cm^2 – 4921 kg/cm^2 ; y finalmente los Aceros de aleación, son aceros templados por enfriamiento cuyo propósito es la de obtener esfuerzos de fluencia entre los 5625 kg/cm^2 – 7734 kg/cm^2 y son utilizados para usos especiales.¹²

A continuación, se presentan ventajas y desventajas que se pueden tener al utilizar acero estructural.

¹² Structural Steel Design, McCormac, 2012, pág. 19

TABLA 2.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Alta Resistencia. La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras.</p>	<p>Costo de Mantenimiento. Debido a que el acero es propenso a la corrosión, es de vital importancia pintarse periódicamente.</p>
<p>Uniformidad. Las propiedades del acero no cambian con el tiempo.</p>	<p>Costo de la Protección Contra el Fuego. Su resistencia se ve afectada, al estar en contacto con el fuego. Por lo que es necesario protegerlos con materiales aislantes o de proveer de un sistema de rociadores.</p>
<p>Elasticidad. El acero sigue la ley de Hooke, y es el material que más se acerca.</p>	<p>Susceptibilidad al pandeo. El pandeo se presenta cuando más largo y esbelto sea un miembro a compresión.</p>
<p>Durabilidad. Si el acero tiene un adecuado mantenimiento, estas pueden tener una larga duración.</p>	<p>Fatiga. Su resistencia puede verse reducida, al momento de presentarse un gran número de inversión de esfuerzos, o a su vez un gran número de cambios de tensión.</p>
<p>Ductilidad. Depende de la cantidad de carbono presente en ella. Aceros con baja cantidad de carbono, soportan grandes deformaciones bajo altos esfuerzos.</p>	<p>Fractura Frágil. Este problema puede ocurrir en lugares, en donde se presentan concentración de esfuerzos.</p>
<p>Tenacidad. Poseen gran resistencia y ductilidad. Factor importante ya que pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y montaje.</p>	
<p>Ampliaciones de Estructuras Existente. Las estructuras de acero son más fáciles para adaptarse a posibles ampliaciones.</p>	

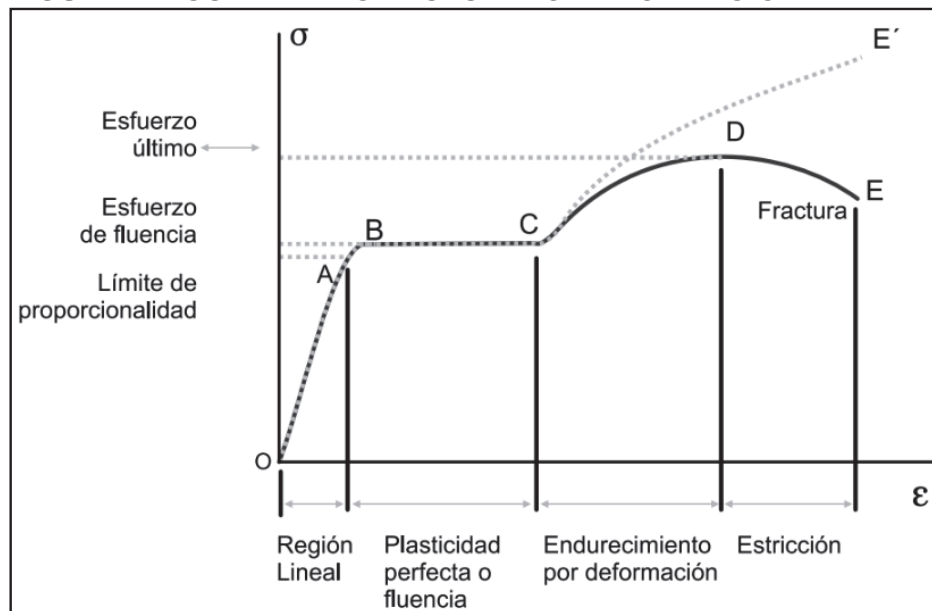
Fuente: Structural Steel Design, Jack McCormac, 2012, pág. 1

2.2.1.1 Propiedades del acero.

El acero es un material dúctil, por lo que es de vital importancia conocer el comportamiento de este. Sus características son obtenidas por medio de ensayos de laboratorio, un proceso práctico es por medio de la curva característica Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero. Esta prueba consiste en someter un pedazo del material en la denominada Máquina Universal, a esfuerzos de tracción creciente hasta producir la rotura del elemento.

A continuación, se presenta un gráfico general de esta curva.

FIGURA 2.7 CURVA TÍPICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN



Fuente: <http://materialesparaconstruir.blogspot.com/2009/03/el-acero.html>

- **Elasticidad**

Capacidad del elemento donde el material es capaz de recuperar su tamaño y forma original, después de haber sufrido una deformación bajo la acción de una carga externa.

- **Límite elástico**

Es el esfuerzo máximo que se puede aplicar a un material, para que se cumpla la elasticidad.

- **Plasticidad**

Es la propiedad en donde se presentan deformaciones permanentes en el material, incluso si se suprime la carga.

- **Límite de fluencia.**

Es el esfuerzo a partir el cual el material presenta grandes deformaciones, sin necesidad de incrementar el esfuerzo. Se lo identifica en el diagrama de esfuerzo – deformación unitaria, pero depende de la clase de Acero.

La forma de identificar el límite de fluencia, puede variar según la clase de acero. Generalmente, en los aceros laminados en caliente se los identifica fácilmente en la curva Esfuerzo - Deformación Unitaria, ya que se presenta una línea horizontal pronunciada. En los aceros laminados en frío, esta curva no es identificable y se recurre a recomendaciones como de la ASTM para su identificación.

- **Resistencia a la rotura.**

Es el máximo esfuerzo que el acero puede soportar previo al colapso del material, se lo determina como el mayor valor alcanzado en la ordenada de la curva esfuerzo – deformación unitaria.

- **Módulo de elasticidad**

Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Se lo determina por medio de la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria, en la región elástica.

- **Módulo de cortante**

Se lo representa por la letra G, es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes.

- **Ductilidad**

Se lo define, como la propiedad mecánica del material para deformarse en su sentido longitudinal sin llegar a la rotura.

Esta propiedad es muy importante en el diseño estructural, debido a que en algunas ocasiones el acero puede absorber grandes impactos o sufrir de sobrecarga, ocasionando grandes deformaciones en esta.

Su clasificación está definida por:

- Altamente dúctiles, (HD): deben garantizar el desarrollo de grandes rotaciones plásticas.
- Moderadamente dúctiles, (MD): deben garantizar el desarrollo de moderadas rotaciones plásticas.
- De baja ductilidad, (LD): deben garantizar el desarrollo de rotaciones plásticas bajas.

2.2.1.2 Clasificación del acero según la ASTM.

Para identificar y clasificar a los aceros, existen una gran variedad de métodos a utilizar. Sin embargo, generalmente los aceros utilizados industrialmente presentan una designación normalizada expresada por medio de cifras, letras y signos.

Existen dos tipos de designaciones para cada tipo de material, una simbólica y otra es de forma numérica. La designación simbólica expresa normalmente las características físicas, químicas o tecnológicas del material, y en otros casos, otras características suplementarias que permiten su identificación de una forma más precisa.¹³

La designación numérica, expresa una codificación alfanumérica que tiene un sentido de orden o de clasificación de elementos en grupos para facilitar su identificación. En este caso, la designación no tiene un sentido descriptivo de características del material. La norma ASTM (American Society for Testing and Materials) no especifica la composición directamente, sino que más bien determina la aplicación o su ámbito de empleo.

¹³ <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html>

La siguiente clasificación es aprobada para utilizarse con las especificaciones de las normas ASTM, a continuación, se citan algunos tipos de acero:¹⁴

- ASTM A36: Acero estructural
- ASTM A53, Gr.B: Son de tubería, acero, negro y recubrimiento en caliente por inmersión, revestimiento de zinc soldado y sin costura, tuberías de acero.
- ASTM A242: Acero de alta resistencia y aleación baja.
- ASTM-A441: Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadium.
- ASTM-A500: Tubular estructural de acero al carbono formado en frío, soldado y sin costuras en redondos y perfiles.
- ASTM-501: Tubular estructural de acero al carbono formado en caliente, soldado y sin costura.
- ASTM-514: Placas de aleaciones de acero en alta fluencia templadas, recomendables para soldar.
- ASTM-A529: Acero estructural con límite mínimo de fluencia de 2952.9 kg/cm².
- ASTM-A570 Gr.40,45 y50: acero, planchas y soleras, al carbono, laminado en caliente, calidad estructural.
- ASTM-A572: Acero de columbio-vanadio en calidad estructural, de alta resistencia y baja aleación
- ASTM-A588: Acero estructural de alta resistencia y baja aleación con límite mínimo de fluencia de 3515.3 kg/cm².
- ASTM-A606: Acero, planchas y soleras, alta resistencia, baja aleación, laminado en caliente o frío, con mejoras en la resistencia a la corrosión atmosférica.
- ASTM-A607: Acero, planchas y soleras, alta resistencia, baja aleación, al columbio o vanadio, o ambos, laminado en caliente o frío.
- ASTM-A618: Tubular estructural de alta resistencia y baja aleación, soldados y sin costuras laminados en caliente.

¹⁴ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág 6.

- ASTM709: Acero estructural para puentes.
- ASTM A852: Placas de acero estructural de baja aleación, templadas con límite mínimo de fluencia de 4921.5 kg/cm² y hasta 4" de espesor.

A continuación, se muestra una tabla con sus respectivas propiedades:

FIGURA 2.8 PROPIEDADES DEL ACERO SEGÚN LA ASTM

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn101.html#seccion34>

Para la presente investigación, se utilizó el acero estructural de tipo ASTM A36

2.3 HORMIGÓN.

El hormigón es un material muy utilizado en el mundo de construcción, este se origina de la mezcla homogénea entre: cemento, agua, arena, grava y en ocasiones aditivos que mejoran las propiedades del material.

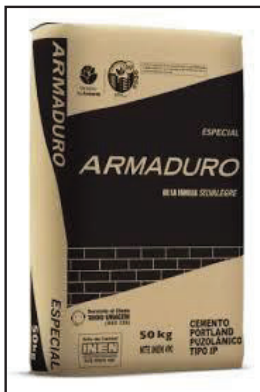
Una de las características principales, es su alta resistencia a las fuerzas de compresión, pero como desventaja es que posee una baja resistencia a la tracción, que por lo general su resistencia ronda entre el 10% de la resistencia a compresión que, por medio de la introducción de armadura de refuerzo se busca contrarrestar este problema.

2.3.1 ELEMENTOS DEL HORMIGÓN

El hormigón se lo fabrica siguiendo ciertos parámetros, debido a que su mezcla debe ser un compuesto homogéneo. Para lograr esto, los elementos que lo componen deben estar en proporciones adecuadas por medio de una buena dosificación y así cumplir con ciertas características como son la manejabilidad, resistencia y durabilidad, para obtener un hormigón de calidad.

2.3.1.1 Cemento

FOTOGRAFÍA 2.12 CEMENTO TIPO 1



Fuente: www.aconstructoras.com

Se denomina cemento a un conglomerante hidráulico que, al ser mezclado con agregados pétreos (agregado grueso, agregado fino) y agua, esta genera una mezcla uniforme que es de forma maleable y plástica, que posteriormente esta mezcla se fragua para posteriormente endurecer al reaccionar con el agua, y así adquirir una consistencia pétreo, el cual se lo denomina hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en la construcción e ingeniería civil, y su principal función es la de aglutinante.

El cemento Portland es una mezcla finamente pulverizada de composición heterogénea, cuyos componentes son:

TABLA 2.2 COMPUESTOS DEL CEMENTO PORTLAND

NOMBRE DEL COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF
Yeso natural	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
Óxidos menores de Ca, Mg, Na, K, Mn, TI, P, Fe		

Fuente: El concreto y otros materiales de construcción, Libia Gutierrez de López, 2003, pág. 38

La importancia del cemento, es debido a su capacidad de adaptarse a cualquier condición de trabajo, uno de los tipos de cemento que mayormente se utiliza es el cemento Portland, que es un producto obtenido al pulverizar el Clinker con la adición de yeso. A continuación, se citan los tipos de cemento Portland según las normas ASTM:

- Cemento Portland Tipo I: cemento normal Portland, empleada en cualquier obra, sin requerimientos especiales. Edificios, viviendas, estructuras industriales.

- Cemento Portland Tipo II: de moderada resistencia a los sulfatos, utilizadas en zonas de drenaje, lugares con exposición de aguas contaminadas de mar. Generalmente empleadas en zonas costeras.
- Cemento Portland Tipo III: de alta resistencia inicial y un endurecimiento rápido. Empleado en obras en donde el hormigón está destinado a recibir carga casi inmediatamente, o el desencofrado se lo realiza en un periodo corto.
- Cemento Portland Tipo IV: de bajo calor de hidratación, utilizado cuando se tiene grandes columnas de concreto, debido a que no deben presentarse dilataciones durante el fraguado. Empleado en construcción de presas.
- Cemento Portland Tipo V: de alta resistencia a los sulfatos. Utilizado en construcciones en que mantienen contacto con el mar.

A continuación, se presenta la tabla en el cual se puede observar su composición química según el tipo de cemento.

TABLA 2.3 CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

CEMENTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA				FINURA BLAINE cm ² /g
	C3S	C2S	C3A	C4AF	
TIPO I	48	27	12	8	Min 2800
TIPO II	40	35	5	13	Min 2800
TIPO III	62	13	9	8	Min 4000
TIPO IV	25	50	5	12	Min 2800
TIPO V	38	37	4	9	Min 2800

Fuente: El concreto y otros materiales de construcción, Libia Gutiérrez de López, 2003, pág. 46

2.3.1.2 Agregado Grueso (Grava)

El agregado grueso es la materia prima con la que se realiza el hormigón, su función principal es la de ocupar la mayor parte del volumen del hormigón, siempre y cuando se tenga una buena gradación del mismo.

Para que el hormigón sea eficiente y tenga una buena trabajabilidad, es necesario que el agregado grueso tenga una buena gradación, debe tener un tamaño máximo adecuado según las condiciones de trabajo, una densidad aparente entre los 2.3 y 2.9 g/cm³, poseer una geometría esférica y cúbica ya que tienen una mayor resistencia.

FOTOGRAFÍA 2.13 AGREGADO GRUESO



Fuente: blog.360gradosenconcreto.com

2.3.1.3 Agregado Fino (Arena)

El agregado fino son partículas el cual sirven como lubricantes sobre los que ruedan los agregados gruesos, también para llenar los vacíos generados por el agregado grueso.

FOTOGRAFÍA 2.14 AGREGADO FINO

Fuente: es.slideshare.net

De la misma forma que el agregado grueso, este material debe poseer ciertas características como son: tener una buena gradación y así llenar los vacíos, el módulo de finura debe estar entre los 2.3 y 3.1; el porcentaje que pasa el tamiz No.50 debe estar entre el 10 y 30% ya que al poseer porcentajes mayores estos afectan a la manejabilidad del hormigón.

2.3.1.4 Agua

El agua es un componente muy importante en el proceso de fraguado del hormigón, pues permite que el cemento comience a endurecerse al hacer contacto con esta. La cantidad de agua requerida depende de la dosificación necesitada, una parte se requiere para la hidratación del cemento y la restante se lo utiliza para darle fluidez a la mezcla, obteniendo así una mezcla con una buena manejabilidad.

El agua a utilizarse debe cumplir ciertos requisitos, estas deben estar libre de impurezas y sustancias como el aceite, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. A continuación, se muestra la cantidad de concentraciones de impurezas que se pueden admitir en el agua.

TABLA 2.4 CONCENTRACIONES ADMITIDAS DEL AGUA

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA
Carbonato de sodio y de potasio	1000 ppm
Cloruro de sodio	20000 ppm
Cloruro como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro como Cl (Concreto húmedo o con elemento de aluminio, metales similares o galvanizados)	1000 ppm
Sulfato de sodio	10000 ppm
Sulfato como SO ₄	3000 ppm
Carbonato de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	4000 ppm
Sulfato de magnesio	25000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2 %
Sales de hierro	40000 ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10000 ppm
Ph	6 a 8
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.5 %
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1.2 %
Azúcar	500 ppm
Partículas en compresión	2000 ppm
Aceite mineral (por peso del cemento en el concreto)	2 %
Agua con algas	0
Materia orgánica	20 ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o presforzado	No recomendable

Fuente: El concreto y otros materiales de construcción, Libia Gutierrez de López, 2003, pág. 47

El agua también es usada en un proceso muy importante como el curado, este proceso se lo lleva a cabo para mantener el hormigón saturado, y así el cemento

este hidratado el mayor tiempo posible para que el hormigón alcance la resistencia deseada.

FOTOGRAFÍA 2.15 CURADO DE LOSA



Fuente: blog.360gradosenconcreto.com

2.3.1.5 Aditivos

Los aditivos son sustancias orgánicas o inorgánicas que sirven para dotar o mejorar las características del hormigón, y se lo incluye durante el mismo o en el transcurso del amasado del hormigón. Según su necesidad estos pueden ser: plastificantes, fluidificante y supe fluidificantes.

FOTOGRAFÍA 2.16 COLOCACIÓN DE ADITIVO EN AMASADO DE HORMIGÓN



Fuente: www.archiproducts.com

2.4 SISTEMA COMPUESTO HORMIGÓN - ACERO

Las estructuras formadas por sistemas compuestos tienen ya varios años, debido a que presentan mayor resistencia y emplean un menor tiempo en su ejecución. En caso de las vigas de acero con hormigón, son secciones compuestas con la que se puede resistir cargas mucho mayores que las que soportaría por sí sola, siempre tratando que esta trabaje en conjunto con el hormigón armado.

En la actualidad, las edificaciones están conformadas por vigas principales, vigas secundarias y de estas las primeras se hallan apoyadas en su totalidad sobre columnas, por otra parte, las vigas secundarias descansan a su vez sobre las vigas principales y estas pueden ser enteramente de perfiles laminados o conformados por tres placas soldadas (*forma I*). Así mismo, sobre estas vigas secundarias, se apoyan las losas que podría ser de hormigón armado, con lo que se busca reducir los claros de las losas y a su vez disminuir los costos.

2.4.1 VENTAJAS DE UN SISTEMA COMPUESTO

Al utilizar un sistema compuesto de hormigón - acero se tiene las siguientes ventajas con respecto a una estructura convencional:¹⁵

- Optimización del material.

Las estructuras son más ligeras, debido a que todo el material se aprovecha óptimamente.

- Claros libres de generosas luces.

Al ser un elemento compuesto, este cubre mayores claros que los que abarcarían por separado debido a su alta resistencia/peso del acero combinada con la rigidez adicional proporcionada por el hormigón.

¹⁵ Construcción compuesta acero-concreto, Octavio Álvarez, 2010, pág.3

- Mayor resistencia a la corrosión.

Los elementos estructurales tienen un recubrimiento adicional, debido a que la sección de acero posee un recubrimiento de concreto.

- Mayor resistencia a los incendios.

El recubrimiento de concreto sobre las vigas de acero, proporcionan una protección contra el fuego y disipan el calor, proporcionando así una mayor resistencia a altas temperaturas.

- Rapidez de construcción.

El avance de las obras se lo realiza con mayor rapidez, debido a que el montaje de la estructura de acero no necesita la espera de tiempos prolongados del fraguado del hormigón armado.

- Menor costo de construcción.

Debido a su rapidez de construcción, estas no requieren de un mayor tiempo para el uso de los encofrados. De igual manera, se requieren de un menor peralte para la altura de los entresijos.

2.4.2 DESVENTAJAS DE UN SISTEMA COMPUESTO

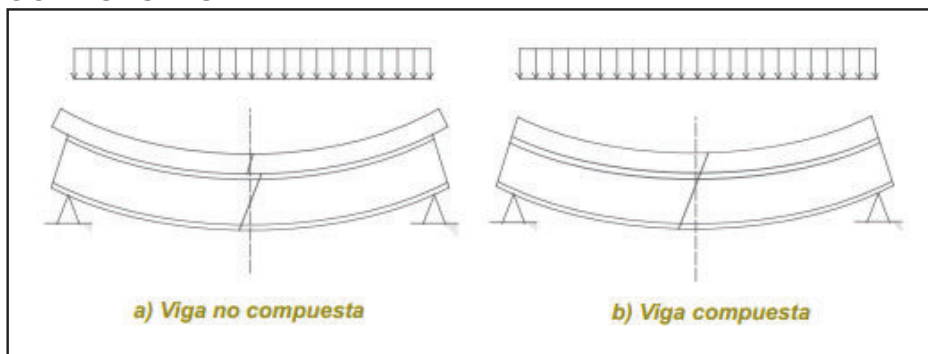
Existen ciertos parámetros a tomar en cuenta, para el uso de estos sistemas compuestos:¹⁶

- Se requiere de conectores especiales y trabajo adicional, para que el hormigón y el acero trabajen en conjunto.
- Proporciona un grado de complejidad para determinar la rigidez de los elementos estructurales, por motivos de la resistencia despreciable a la tensión del hormigón. Además, se suman problemas, como la fluencia lenta y la retracción del hormigón.

¹⁶ Construcción compuesta acero-concreto, Octavio Álvarez, 2010, pág.4

- Se requiere de una mejor programación y ejecución en obra, ya que es necesario combinar dos especialidades como la construcción en hormigón armado y construcción en acero.
- Al tratarse de dos materiales diferentes, estas deben trabajar como un elemento estructural, que deben cumplir las siguientes cualidades de trabajar conjuntamente y deformarse como una unidad.
- Se requiere de una adecuada adherencia, debido a que la fricción entre la superficie del acero y la del hormigón es limitada.

FIGURA 2.9 COMPORTAMIENTO DE SECCIONES COMPUESTAS Y NO COMPUESTAS



Fuente: Construcción compuesta acero-concreto, Octavio Álvarez, 2010, pág.4

2.4.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

2.4.3.1 Miembros en flexión

Generalmente las losas compuestas son construidas de tal manera que la losa se encuentra apoyada sobre la viga de forma directa o también sobre algún tipo de lámina acanalada, y se utilizan conectores de corte que están unidos entre la viga y la losa, para transmitir la fuerza cortante.

2.4.3.1.1 Análisis elástico

En el estudio de elementos compuestos, el análisis elástico considera que la rigidez es constante en toda la longitud de la viga, y se lo determina con el momento de inercia de la sección compuesta.¹⁷

2.4.3.1.2 Análisis plástico

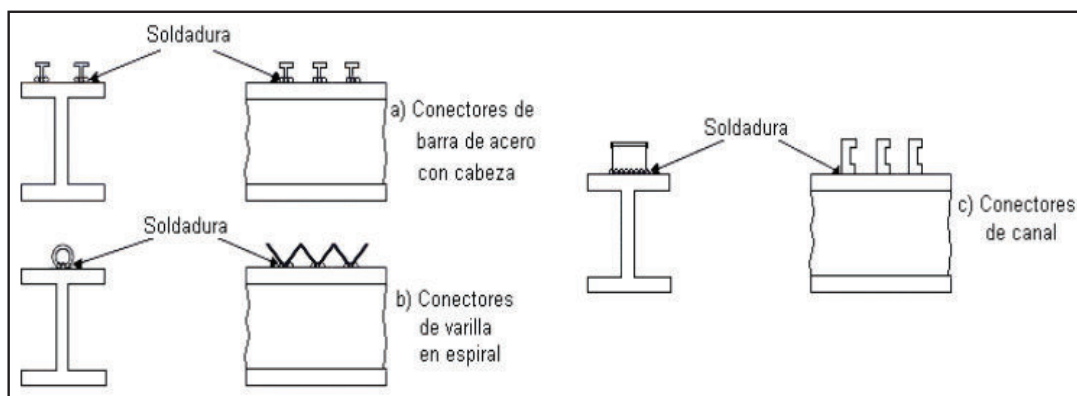
El análisis plástico, considera distribuciones plásticas de esfuerzo en la viga de acero, en la losa de hormigón y su respectivo refuerzo longitudinal, localizados en el ancho efectivo.¹⁸

2.4.3.2 Conectores de cortante

Los conectores de corte son utilizados para evitar el deslizamiento entre la losa de hormigón y el perfil de acero utilizado como viga. Esto es debido a la baja adherencia que tienen estos materiales.

Existen diferentes tipos de conectores de corte y su utilización depende del tipo de trabajo a realizarse, estos pueden ser: varillas en espiral, zetas, ángulos, canales y barras de acero con cabeza.

FIGURA 2.10 TIPOS DE CONECTORES DE CORTE



Fuente: Diseño de estructuras de acero construcción compuesta, Oscar del buen López de Heredia, 2004, pág. 53.

¹⁷ Diseño de estructuras de acero construcción compuesta, Heredia, 2004, pág 15

¹⁸ Diseño de estructuras de acero construcción compuesta, Heredia, 2004, pág 15

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LOS MODELOS Y DISEÑO

3.1 GENERALIDADES DEL DISEÑO.

En el diseño de los modelos, se plantea alcanzar una simulación que se aproxime a una situación real de trabajo, de igual manera que estas se adapten a las condiciones y capacidades de los equipos del laboratorio.

Para la presente investigación de losas alivianadas con vigueta metálica y bovedilla, se plantea una distribución estructural real en planta, para el diseño de las viguetas metálicas se adopta de tal manera que tenga las condiciones del laboratorio.

Las losas están conformadas por: viguetas metálicas, el cual se plantea utilizar vigas compactas y sísmicamente compactas, bovedillas prediseñadas y la loseta de hormigón el cual tiene un refuerzo mínimo.

A continuación, se predice un comportamiento que esté acorde a la realidad, por lo que se plantea un modelo matemático para las condiciones de apoyo y su comportamiento se lo realiza en base a la resistencia de materiales.

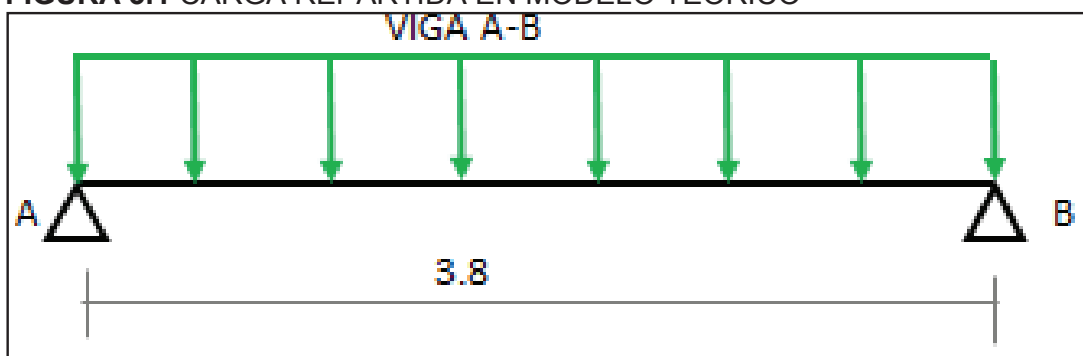
Las secciones son de placas de acero grado A36 de tipo I con diferentes espesores y soldadas entre sí. La loseta de hormigón tiene una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 , las bovedillas son fabricadas de cemento, arena, polvo de piedra y pequeñas fibras que estas a su vez ayudaran a mitigar el efecto de flexión que pudiesen presentarse en el elemento, la resistencia de las bovedillas es de 53.5 kg/cm^2 , ver ANEXO 6.

3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DISEÑO

El diseño planteado se basa en simular las características reales adaptadas a las condiciones de laboratorio, por lo que se calcula las cargas reales que pueden presentarse con respecto a una unidad de área.

Una vez obtenido la carga por metro cuadrado, se lo reparte en el modelo adoptado para las condiciones de laboratorio.

FIGURA 3.1 CARGA REPARTIDA EN MODELO TEÓRICO

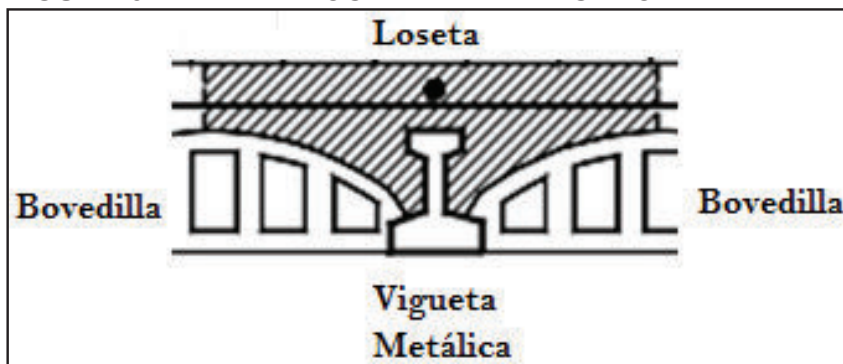


Autor: Wilson Basantes

3.1.2 HIPOTESIS DE CARGA

El cálculo de las cargas muertas y vivas se lo realiza en base a un área de 1 m², cuyos valores tienen las características reales de un diseño típico de una estructura de vivienda.

FIGURA 3.2 ELEMENTOS EN 1 M² DE DISEÑO



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág. 29.

- Carga viva.

TABLA 3.1 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS VIVAS

Residencias	Carga Uniforme	Carga Uniforme
	(KN/m ²)	(kg/m ²)
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2	200

Fuente: Cargas no Sísmicas, NEC-SE-SG, 2015, pág. 25

$$L=200 \text{ kg/m}^2$$

- Carga muerta. El cálculo respectivo, se lo realiza en base a 1 metro cuadrado de losa.

FOTOGRAFÍA 3.1 BOVEDILLA UTILIZADA



Autor: Wilson Basantes

Datos:

Peso Bovedilla= 8.5 kg

Área= 0.11 m²

Bovedillas en 1 m²= 9.09 bovedillas

TABLA 3.2 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS MUERTAS, LOSA 1 Y 2. (Ver Anexos 1 y 2)

	Loseta	Bovedillas	Viguetas Metálicas
Volumen (m³)	0.08	0.06	0.0006
Peso específico. (t/m³)	2.4	1.29	7.85
Peso Propio (kg/m²)	192	77.27	7.41

Fuente: Cargas no Sísmicas, NEC-SE-SG, 2015, pág. 21

Peso propio de la losa= 273.98 kg/m²

Se añade cargas para una vivienda típica.¹⁹

Peso propio otros= 100 kg/m²

Peso Propio Acabados + mampostería= 200 kg/m²

$$\mathbf{D= 573.98kg/m^2}$$

Dado que el espesor del firme o loseta es de diferente espesor, se calcula otra hipótesis de carga. (Ver Anexos 3 y 4)

TABLA 3.3 VALORES ESTIMADOS PARA CARGAS MUERTAS, LOSA 3 Y 4

	Loseta	Bovedillas	Viguetas Metálicas
Volumen (m³)	0.05	0.06	0.0007
Peso específico. (t/m³)	2.4	1.29	7.85
Peso Propio (kg/m²)	120	77.27	5.65

Fuente: Cargas no Sísmicas, NEC-SE-SG, 2015, pág. 21

Peso propio de la losa= 202.92 kg/m²

Se añade cargas para una vivienda típica.¹⁹

Peso propio otros= 100 kg/m²

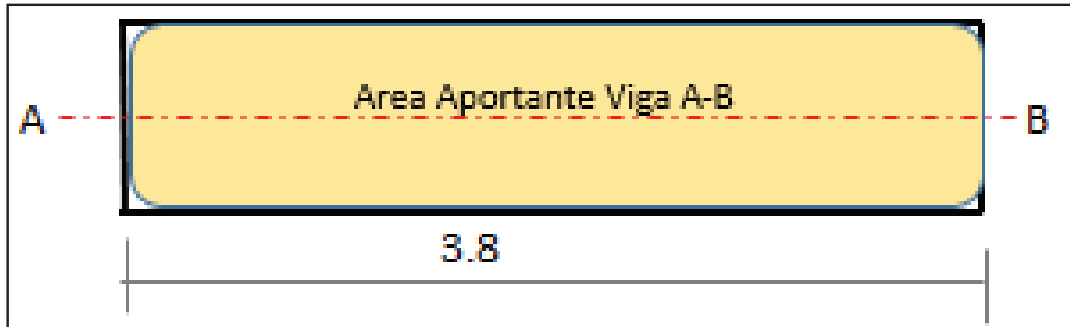
Peso Propio Acabados + mampostería= 200 kg/m²

¹⁹ Apuntes Hormigón I, Ing. Gachet.

$$D = 502.92 \text{ kg/m}^2$$

Una vez obtenida las cargas de servicio, se las reparte según el modelo de ensayo.

FIGURA 3.3 ÁREA APORTANTE A CADA VIGA



Autor: Wilson Basantes

Ancho tributario (dv) = 0.57 m.

$$W_u = (1.7 * L + 1.4 * D) * dv \quad (3.1)$$

- Losa 1 y 2

$$W_u = (1.7 * 200 + 1.4 * 573.98) * 0.57$$

$$W_u = 651.84 \text{ [kg/m]}$$

- Losa 3 y 4

$$W_u = (1.7 * 200 + 1.4 * 502.92) * 0.57$$

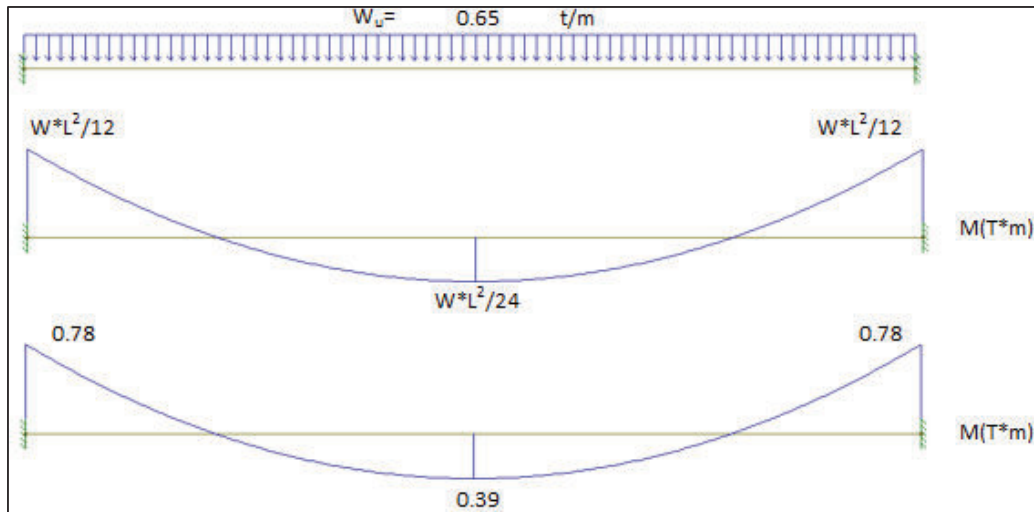
$$W_u = 595.13 \text{ [kg/m]}$$

A continuación, se procede a obtener los diagramas de momento, en caso de las losas 1, 2 y 3 se los calcula en base a momentos negativos. Para lo losa 4, se obtiene el momento positivo.

Debido a que las losas 1, 2 y 3 se las diseña a momento negativo, se las considera como empotradas ya que los momentos son mayores con respecto a una simple

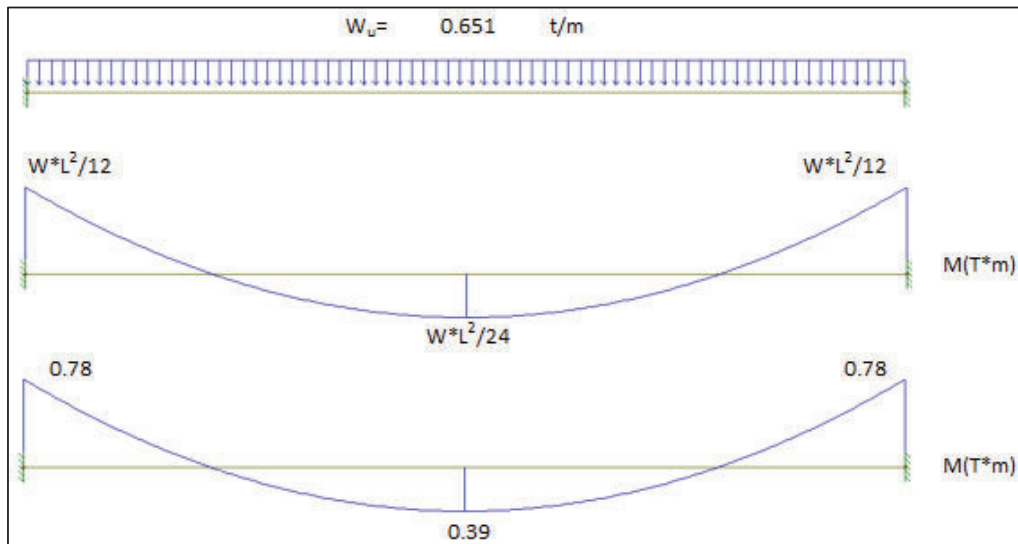
apoyada, y la losa 4 se lo diseña como simplemente apoyada porque se lo diseña con momento positivo.²⁰

FIGURA 3.4 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 1



Autor: Wilson Basantes

FIGURA 3.5 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 2

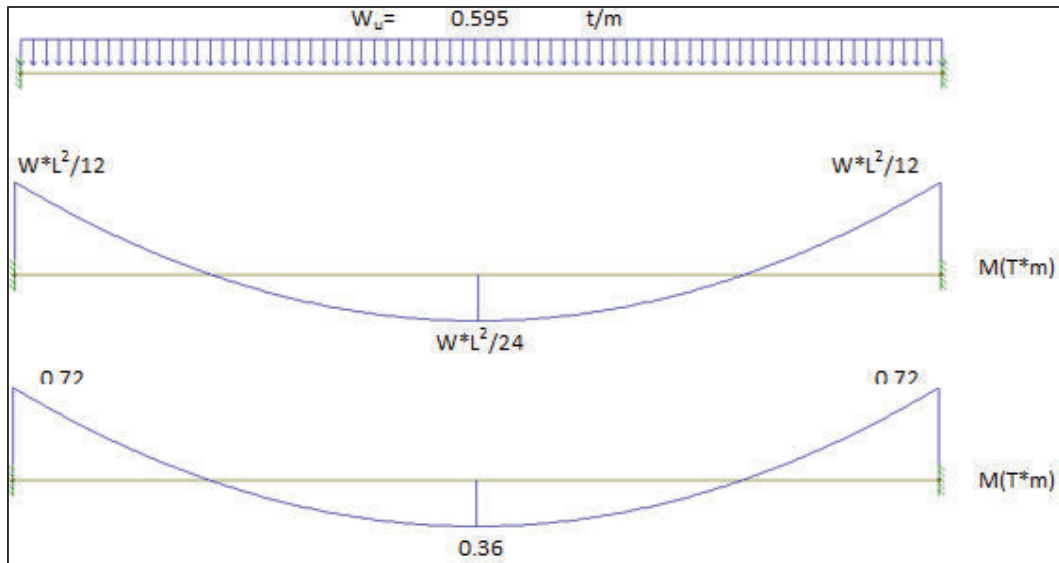


Autor: Wilson Basantes

²⁰ Ensayo experimental a momento negativo de losas tipo deck en dirección perpendicular a los valles con diferente cuantía de acero de refuerzo, Juan Olalla, 2014, pag 29

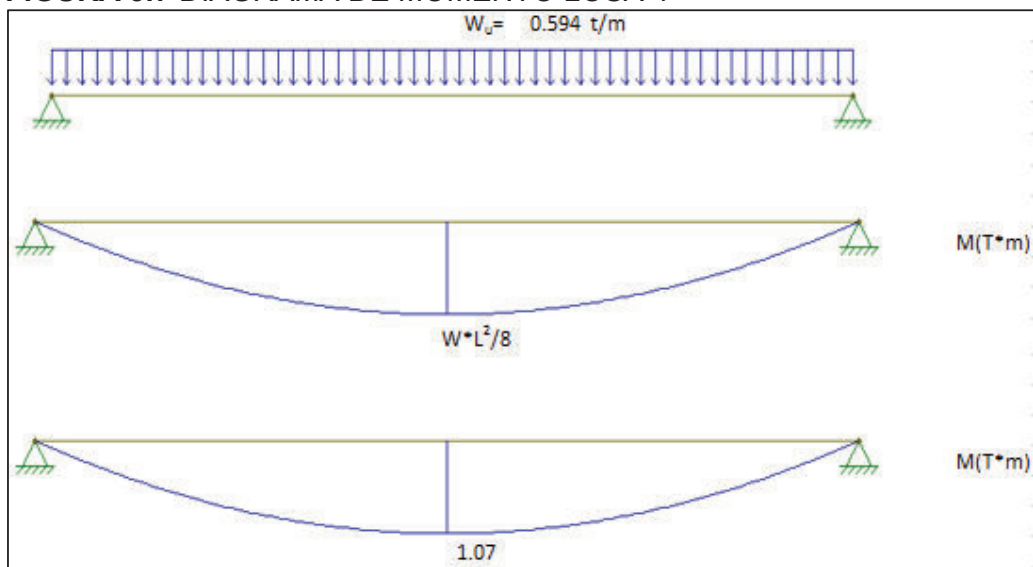
Las cargas y momentos son iguales debido a que la diferencia en las dimensiones de la losa 1 y 2 es pequeña, pero por cuestiones ilustrativas se los representa individualmente.

FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 3



Autor: Wilson Basantes

FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE MOMENTO LOSA 4



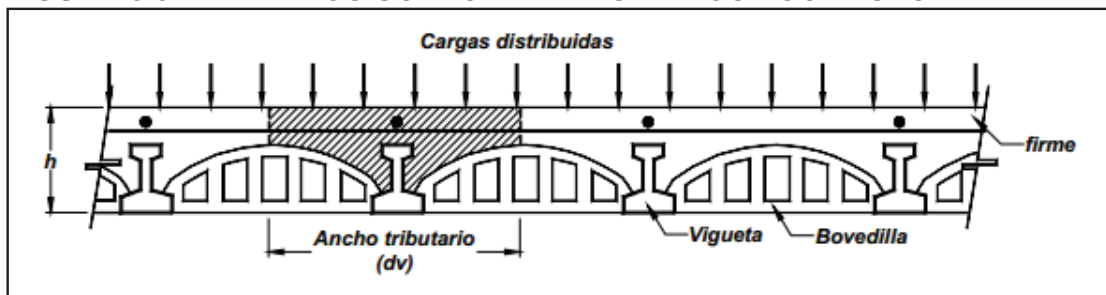
Autor: Wilson Basantes

Las cargas y momentos son iguales debido a que la diferencia en las dimensiones de la losa 3 y 4 es pequeña, pero por cuestiones ilustrativas se los representa individualmente.

3.2 DISEÑO DE LOSA

La losa a diseñar está compuesta por la loseta o firme, las bovedillas y la vigueta; ver Figura 3.8, por lo cual cada uno de estos elementos son diseñados para garantizar un adecuado desempeño en todo su conjunto.

FIGURA 3.8 ELEMENTOS CONFORMANTES DE LOSA COMPUESTA



Fuente: Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigueta Pretensada y Bovedilla, ANIVIP, 2008, pág. 28.

3.2.1 LOSA

3.2.1.1 Espesor de la losa

Para el diseño del espesor de la losa, se sigue la recomendación de la norma Mexicana de Vigueta y Bovedilla NMX-C-406-1997, debido a que el uso de este tipo de losas no es muy común en nuestro país.

- Para viguetas entre apoyos.

$$h \geq \frac{L}{25} \quad (3.2)$$

Dónde:

h = Espesor de la losa.

L = Distancia entre apoyos.

Para una longitud de $L = 4$ [m]; se tiene:

$$h \geq \frac{4}{25}$$

$$h \geq 0.16 \text{ [m]}$$

Entonces, el peralte de la losa debe tener una distancia mayor o igual a 0.16 [m].

Por cuestiones de diseño se adoptará, **$h > 16 \text{ cm}$** .

Para el diseño del espesor del firme o loseta, se toma como recomendación el espesor mínimo de una losa deck, ya que el sistema de viga metálica y bovedilla se asemeja en forma a este sistema, mas no en comportamiento ni diseño, por lo que el proceso de cálculo no se lo considera.

TABLA 3.4 ESPESOR DE LA LOSA

Losa deck	
Espesor mínimo del firme o loseta e (mm)	e=50

Fuente: Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, 2010, American Institute of Steel Construction, p. 361

Para el respectivo ensayo todos los modelos tienen claros igual a 4 metros, por ende, el espesor mínimo de la loseta debe ser mayor o igual a 50 [mm].

Por lo tanto, se plantea el siguiente espesor:

TABLA 3.5 ESPESOR DEL FIRME O LOSETA EN LOSAS.

MODELO	ESPESOR	UNIDAD
Losa 1	8	[cm]
Losa 2	8	[cm]
Losa 3	5	[cm]
Losa 4	5	[cm]

Autor: Wilson Basantes

Se plantea 2 tipo de espesores, ya que se plantea conocer la influencia que tiene este factor en el Sistema de Viguetas Metálicas y Bovedilla.

3.2.1.2 Refuerzo por agrietamiento

Los problemas por agrietamiento son muy comunes en cualquier tipo de losa, esto debido a cambios volumétricos, por lo que se pueden presentar problemas de exposición del acero de refuerzo con la intemperie y así originar el problema de la corrosión. Este problema generalmente se lo soluciona al colocar mallas electrosoldadas en la superficie de la losa.

El código ACI recomienda, colocar una cuantía mínima, respecto a la retracción y temperatura; en el caso de este ensayo a realizarse; se encuentra con esta condición.²¹

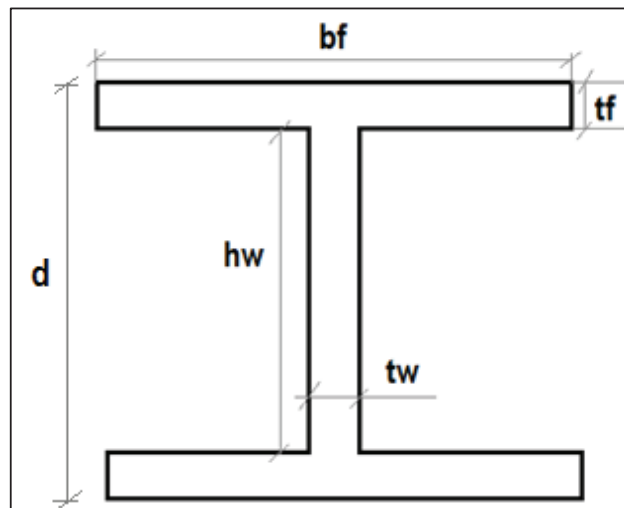
$$\rho_{min} = 0.0018$$

3.2.2 DISEÑO DE VIGAS

Se plantea la fabricación de tres modelos para el ensayo. A continuación, se presenta la geometría de cada una de ellas.

FIGURA 3.9 VIGA TIPO I

²¹ Requisito de Reglamento para Concreto Estructural, Institute American Concrete, 2011,numeral 7.12.2.1



Autor: Wilson Basantes

Las secciones a utilizar son de tipo I, son simétricas en las dos direcciones.

A continuación, se muestra las dimensiones y características de los perfiles a utilizar:

3.2.2.1 Geometría de las secciones

- Sección 1

TABLA 3.6 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 1

Nomenclatura	DATOS		
Módulo de elasticidad del acero	E=	2043000	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero	fy=	2530	kg/cm ²
Altura total de la viga	d=	12.6	cm
Altura del alma	hw=	12	cm
Espesor del alma	tw=	3	mm
Ancho del patín	bf=	4	cm
Espesor del patín	tf=	3	mm

Autor: Wilson Basantes

- Sección 2

TABLA 3.7 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 2

Nomenclatura	DATOS		
Módulo de elasticidad del acero	E=	2043000	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero	fy=	2530	kg/cm ²
Altura total de la viga	d=	12.6	cm
Altura del alma	h _w =	12	cm
Espesor del alma	t _w =	2	mm
Ancho del patín	b _f =	4	cm
Espesor del patín	t _f =	3	mm

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3

TABLA 3.8 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 3

Nomenclatura	DATOS		
Módulo de elasticidad del acero	E=	2043000	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero	fy=	2530	kg/cm ²
Altura total de la viga	d=	12.6	cm
Altura del alma	h _w =	12	cm
Espesor del alma	t _w =	3	mm
Ancho del patín	b _f =	6	cm
Espesor del patín	t _f =	3	mm

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4

TABLA 3.9 DIMENSION DEL PERFIL DE ACERO SECCIÓN 4

Nomenclatura	DATOS		
Módulo de elasticidad del acero	E=	2043000	kg/cm ²
Esfuerzo de fluencia del acero	fy=	2530	kg/cm ²
Altura total de la viga	d=	12.6	cm
Altura del alma	h _w =	12	cm

Espesor del alma	t_w =	2	mm
Ancho del patín	b_f =	6	cm
Espesor del patín	t_f =	3	mm

Autor: Wilson Basantes

3.2.2.2 Capacidad a flexión de las vigas metálicas.

Para el respectivo cálculo, se toma como referencia las recomendaciones del código ANSI-AISC 360-10, para obtener las capacidades teóricas de la viga metálica al trabajar por sí sola.

En el cálculo es necesario conocer las dimensiones de la sección de la viga, que está compuesta por alma y patín, estos elementos son importantes para conocer la esbeltez de la sección.

3.2.2.2.1 Solicitaciones

Se requiere conocer la relación de esbeltez de cada elemento.²²

- Relación de esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w} \quad (3.3)$$

- Relación de esbeltez del patín.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 * t_f} \quad (3.4)$$

Dónde:

h_w = Altura del alma.

t_w = Espesor del alma.

b_f = Ancho del patín.

t_f = espesor del patín.

²² Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 17, table B4.1b

A continuación, se procede a identificar a los elementos según la recomendación del código. La identificación de los elementos está en función del módulo de elasticidad y el esfuerzo de fluencia.

Para el alma:²³

- Cuando $\lambda_w \leq \lambda_{ws}$; Alma sísmicamente compacta.

$$\lambda_{ws} = 2.45 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.5)$$

- Cuando $\lambda_{ws} < \lambda_w \leq \lambda_{wp}$; Alma compacta.

$$\lambda_{wp} = 3.76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.6)$$

- Cuando $\lambda_{wp} < \lambda_w \leq \lambda_{wr}$; Alma no compacta.

$$\lambda_{wr} = 5.70 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.7)$$

Para el patín:²⁴

- Cuando $\lambda_f \leq \lambda_{fs}$; Patín sísmicamente compacto.

$$\lambda_{fs} = 0.3 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.8)$$

- Cuando $\lambda_{fs} < \lambda_f \leq \lambda_{fp}$; Patín compacto.

$$\lambda_{fp} = 0.38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (3.9)$$

- Cuando $\lambda_{fp} < \lambda_f \leq \lambda_{fr}$; Patín no compacto.

²³ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 17, table B4.1b

²⁴ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 17, table B4.1b

$$\lambda_{wr} = 0.95 * \sqrt{\frac{k_c * E}{f_L}} \quad (3.10)$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h_w}{t_w}}}; 0.35 \leq k_c \leq 0.76 \quad (3.11)$$

$$f_L = 0.7 * f_y \quad (3.12)$$

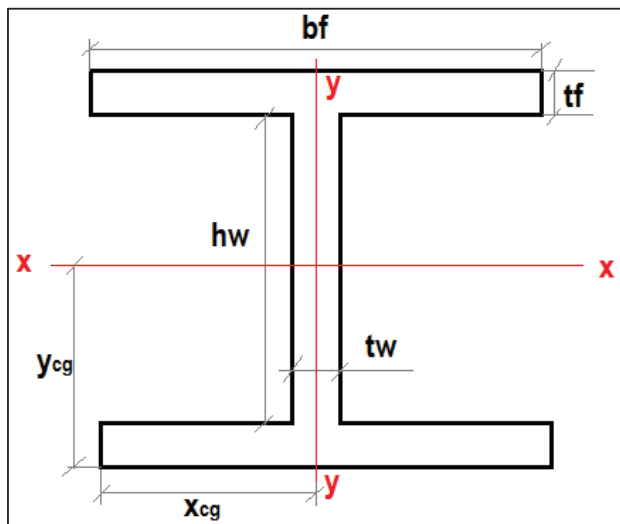
Dónde:

E=Módulo de elasticidad del acero

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

A continuación, se procede a dar una descripción de las propiedades geométricas del perfil acero estructural, de sección tipo I, estas son de vital importancia en los cálculos que serán realizados más adelante.

FIGURA 3.10 PROPIEDADES GEOMETRICAS NECESARIAS EN VIGA TIPO I



Autor: Wilson Basantes

Propiedades geométricas requeridas:²⁵

- Área de la sección del acero.

²⁵ Apuntes Resistencia de Materiales 1, Ing. Barahona.

$$A_a = h_w * t_w + 2 * b_f * t_f \quad (3.13)$$

- Inercia al eje x-x

$$I_{xx} = \frac{b_f * (h_w + 2 * t_f)^3}{12} - \frac{(b_f - t_w) * h_w^3}{12} \quad (3.14)$$

- Inercia al eje y-y

$$I_{yy} = \frac{2 * t_f * b_f^3}{12} + \frac{t_w^3 * h_w}{12} \quad (3.15)$$

- Distancia centroidal entre patines.

$$h_o = h_w + t_f \quad (3.16)$$

- Ordenada al centro de gravedad de la sección.

$$y_{cg} = \frac{h_w + 2 * t_f}{2} \quad (3.17)$$

- Momento Polar de Inercia.

$$J = \frac{2 * b_f * t_f^3}{3} + \frac{h_w * t_w^3}{3} \quad (3.18)$$

- Coeficiente de alabeo.

$$C_w = \frac{I_y + h_o^2}{4} \quad (3.19)$$

- Radio de giro alrededor del eje x-x

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (3.20)$$

- Radio de giro alrededor del eje y-y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (3.21)$$

- Módulo elástico alrededor del eje x-x.

$$S_x = \frac{I_{xx}}{y_{cg}} \quad (3.22)$$

- Radio de giro a flexión.

$$rts = \frac{(I_y * C_w)^{0.25}}{S_x^{0.5}} \quad (3.23)$$

- Módulo plástico alrededor del eje x-x.

$$Z_x = 2 * \left[b_f * t_f * \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + \left(\frac{t_w * h_w^2}{8} \right) \right] \quad (3.24)$$

Una vez obtenido los parámetros geométricos de la sección, se procede al chequeo de los estados límite de fluencia y el Pandeo lateral torsional. Del análisis del estado límite de fluencia y el pandeo lateral torsional, se obtienen los momentos nominales para cada caso, y se escoge el de menor valor. Se debe considerar que la losa de hormigón rigidiza la parte a compresión en donde estaría trabajando el patín superior, por lo que el análisis a pandeo se elimina, pero por motivos de estudio se procede el estudio. ²⁶

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades geométricas empleadas para la fabricación de los ensayos requeridos.

- Sección 1

TABLA 3.10 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 1

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Área	A=	6.0 cm ²
Distancia x al centro de gravedad	X _{cg} =	2.00 cm
Distancia y al centro de gravedad	Y _{cg} =	6.30 cm
Distancia entre centroides de patines	h _o =	12.30 cm
Inercia al eje x-x	I _{x-x} =	133.99 cm ⁴
Inercia al eje y-y	I _{y-y} =	3.23 cm ⁴
Momento polar de inercia	J =	0.18 cm ⁴
Radio de giro alrededor del eje x-x	r _x =	4.73 cm
Radio de giro alrededor del eje y-y	r _y =	0.73 cm
Coefficiente de alabeo	C _w =	122.05 cm ⁶
Radio de giro	r _o =	4.78 cm
Módulo plástico alrededor del eje x-x	Z _x =	25.56 cm ³
Módulo elástico alrededor del eje x-x	S _x =	21.27 cm ³
Radio de giro a flexión	r _{ts} =	0.97 cm

Autor: Wilson Basantes

²⁶ Ensayo experimental a momento negativo de losas tipo deck en dirección perpendicular a los valles con diferente cuantía de acero de refuerzo, Chavez Olalla, 2014

TABLA 3.11 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 1

	Alma	Patín
Relación de esbeltez	$\lambda_w=40$	$\lambda_f=6.67$
Límites	$\lambda_{ws}=69.62$	$\lambda_{fs}=8.53$
Definición	Alma Sísmicamente compacta	Patín Sísmicamente compacto

Autor: Wilson Basantes

Por lo tanto, se concluye que la sección 1 es **Sísmicamente compacto**.

- Sección 2.

TABLA 3.12 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 2

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS	
Área	A= 4.80 cm ²
Distancia x al centro de gravedad	X _{cg} = 2.00 cm
Distancia y al centro de gravedad	Y _{cg} = 6.30 cm
Distancia entre centroides de patines	h _o = 12.30 cm
Inercia al eje x-x	I _{x-x} = 119.59 cm ⁴
Inercia al eje y-y	I _{y-y} = 3.21 cm ⁴
Momento polar de inercia	J = 0.10 cm ⁴
Radio de giro alrededor del eje x-x	r _x = 4.99 cm
Radio de giro alrededor del eje y-y	r _y = 0.82 cm
Coeficiente de alabeo	C _w = 121.33 cm ⁶
Radio de giro	r _o = 5.06 cm
Módulo plástico alrededor del eje x-x	Z _x = 21.96 cm ³
Módulo elástico alrededor del eje x-x	S _x = 18.98 cm ³
Radio de giro a flexión	r _{ts} = 1.02 cm

Autor: Wilson Basantes

TABLA 3.13 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 2

	Alma	Patín
Relación de esbeltez	$\lambda_w=60$	$\lambda_f=6.67$
Límites	$\lambda_{ws}=69.62$	$\lambda_{fs}=8.53$
Definición	Alma Sísmicamente compacta	Patín Sísmicamente compacto

Autor: Wilson Basantes

Por lo tanto, se concluye que la sección 2 es **Sísmicamente compacto**.

- Sección 3

TABLA 3.14 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 3

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Área	A=	7.20 cm ²
Distancia x al centro de gravedad	X _{cg} =	3.00 cm
Distancia y al centro de gravedad	Y _{cg} =	6.30 cm
Distancia entre centroides de patines	h _o =	12.30 cm
Inercia al eje x-x	I _{x-x} =	179.39 cm ⁴
Inercia al eje y-y	I _{y-y} =	10.83 cm ⁴
Momento polar de inercia	J =	0.22 cm ⁴
Radio de giro alrededor del eje x-x	r _x =	4.99 cm
Radio de giro alrededor del eje y-y	r _y =	1.23 cm
Coeficiente de alabeo	C _w =	409.50 cm ⁶
Radio de giro	r _o =	5.14 cm
Módulo plástico alrededor del eje x-x	Z _x =	32.94 cm ³
Módulo elástico alrededor del eje x-x	S _x =	28.47 cm ³
Radio de giro a flexión	r _{ts} =	1.53 cm

Autor: Wilson Basantes

TABLA 3.15 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 3

	Alma	Patín
Relación de esbeltez	$\lambda_w=40$	$\lambda_f=10$
Límites	$\lambda_{ws}=69.62$	$\lambda_{fs}=8.53$ $\lambda_{fp}=10.80$
Definición	Alma Sísmicamente compacta	Patín Compacto

- **Autor:** Wilson Basantes

Por lo tanto, se concluye que la sección 3 es **compacta**.

- Sección 4

TABLA 3.16 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS - SECCIÓN 4

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Área	A=	6.00 cm ²
Distancia x al centro de gravedad	X _{cg} =	3.00 cm
Distancia y al centro de gravedad	Y _{cg} =	6.30 cm
Distancia entre centroides de patines	h _o =	12.30 cm
Inercia al eje x-x	I _{x-x} =	164.99 cm ⁴
Inercia al eje y-y	I _{y-y} =	10.81 cm ⁴
Momento polar de inercia	J =	0.14 cm ⁴
Radio de giro alrededor del eje x-x	r _x =	5.24 cm
Radio de giro alrededor del eje y-y	r _y =	1.34 cm
Coefficiente de alabeo	C _w =	408.79 cm ⁶
Radio de giro	r _o =	5.41 cm
Módulo plástico alrededor del eje x-x	Z _x =	29.34 cm ³
Módulo elástico alrededor del eje x-x	S _x =	26.19 cm ³
Radio de giro a flexión	r _{ts} =	1.59 cm

Autor: Wilson Basantes

TABLA 3.17 RELACIÓN DE ESBELTEZ - SECCIÓN 4

	Alma	Patín
Relación de esbeltez	$\lambda_w=60$	$\lambda_f=10$
Límites	$\lambda_{ws}=69.62$	$\lambda_{fs}=8.53$ $\lambda_{fp}=10.80$
Definición	Alma Sísmicamente compacta	Patín Compacto

- **Autor:** Wilson Basantes

Por lo tanto, se concluye que la sección 4 es **compacta**.

3.2.2.2.2 Estado límite de Fluencia

El análisis depende del tipo de definición del elemento al cual pertenece, se emplea las recomendaciones de Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10.

- Elementos: Sísmicamente compactos, Intermedios, Compactos.

El estado límite de fluencia se lo analiza mediante el momento plástico de la sección, según la siguiente expresión:²⁷

$$M_p = f_y * Z_x \quad (3.25)$$

Dónde:

M_p =Capacidad plástica a flexión

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

Z_x = Módulo plástico alrededor del eje x-x

- Elementos no compactos

²⁷ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 47, F2-1

El estado límite de fluencia se lo analiza mediante el momento plástico de la sección, según la siguiente expresión:²⁸

$$M_n = R_{pc} * M_{yc} \quad (3.26)$$

$$M_{yc} = f_y * S_{xc} \quad (3.27)$$

Dónde:

M_n = Capacidad nominal a flexión.

R_{pc} =Factor de plastificación del alma.

M_{yc} = Momento de referencia referido al patín en compresión.

S_{xc} = Módulo elástico de la sección, referido al patín de la sección en compresión.

En el cálculo del factor de plastificación del alma, se debe tomar en consideración las siguientes recomendaciones:²⁹

- Cuando $\lambda_w \leq \lambda_{wp}$

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (3.28)$$

- Cuando $\lambda_w > \lambda_{wp}$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) * \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{wp}}{\lambda_{wr} - \lambda_{wp}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (3.29)$$

$$M_p = f_y * Z_x \leq S_{xc} * f_y \quad (3.30)$$

3.2.2.2.3 Pandeo Lateral Torsional

- Cuando el elemento es: Sísmicamente compacto, Intermedios y Compacto.

El análisis depende de tres casos:

²⁸ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 50, F4-1

²⁹ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 51, F4-9a, F4-9b

- a) Si la longitud de arriostramiento (L_b) es menor o igual que la longitud lateral no arriostrada para el estado límite de fluencia (L_p); ósea $L_b \leq L_p$; el estado límite de pandeo lateral- torsional no es aplicable.
- b) Si la longitud de arriostramiento (L_b) es mayor que la longitud lateral no arriostrada para el estado límite de fluencia (L_p) y menor que longitud lateral no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico (L_r); ósea $L_p < L_b \leq L_r$; la capacidad nominal está expresada por:³⁰

$$M_n = C_b * \left[M_p - (M_p - 0.7 * f_y * S_x) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.31)$$

$$L_p = 1.76 * r_y * \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} \quad (3.32)$$

$$L_r = 1.95 * r_{ts} * \frac{E_a}{0.7 * f_y} * \sqrt{\frac{J * C}{S_x * h_o}} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * f_y * S_x * h_o}{E_a * J * C} \right)^2}} \quad (3.33)$$

El valor del coeficiente para longitud límite de pandeo lateral (C) y el valor del factor de modificación de diagrama de momentos (C_b) es igual a 1, cuyo valor es adoptado para secciones tipo I de doble simetría.

$$C = 1; C_b = 1$$

Dónde:

M_n = Capacidad nominal a flexión.

M_p = Capacidad plástica a flexión.

C= Coeficiente para longitud límite de pandeo lateral.

C_b =Factor de modificación para diagrama de momentos.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

E_a = Módulo de elasticidad del acero.

³⁰ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 47, F2-2

S_x = Momento estático alrededor del eje x-x.

L_b =Longitud de arriostramiento.

L_p = Distancia sin arriostrar para el estado límite de fluencia.

r_{ts} = Radio de giro a flexión.

J = Momento polar de inercia.

h_o = Distancia entre centroides de patines.

- c) Si la longitud de arriostramiento (L_b) es mayor que la longitud lateral no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional (L_r); ósea $L_b > L_r$; la capacidad nominal se expresa por medio de:³¹

$$M_n = F_{cr} * S_x \leq M_p \quad (3.34)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E_a}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 * \frac{J * C}{S_x * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (3.35)$$

Dónde:

M_n = Capacidad nominal a flexión.

M_p = Capacidad plástica a flexión.

F_{cr} = Fuerza crítica o de Euler

S_x = Momento estático alrededor del eje x-x.

C = Coeficiente para longitud límite de pandeo lateral.

C_b =Factor de modificación para diagrama de momentos.

E_a = Módulo de elasticidad del acero.

J = Momento polar de inercia.

h_o = Distancia entre centroides de patines.

L_b = Longitud de arriostramiento.

L_p = Distancia sin arriostrar para el estado límite de fluencia.

L_r = Distancia sin arriostrar para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico.

r_{ts} = Radio de giro a flexión.

- Cuando el elemento es no compacto.

³¹ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 47, F2-3, F2-4

El análisis depende de tres casos:

- a) Si la longitud de arriostamiento (L_b) es menor o igual que la longitud lateral no arriestrada para el estado límite de fluencia (L_p); ósea $L_b \leq L_p$; el estado límite de pandeo lateral - torsional no es aplicable.
- b) Si la longitud de arriostamiento (L_b) es mayor que la longitud lateral no arriestrada para el estado límite de fluencia (L_p) y menor que longitud lateral no arriestrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico (L_r); ósea $L_p < L_b \leq L_r$; la capacidad nominal está expresada por:³²

$$M_n = C_b * \left[R_{pc} * M_{yc} - (R_{pc} * M_{yc} - F_L * S_{xc}) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} * M_{yc} \quad (3.36)$$

$$F_L = 0.7 * f_y \quad (3.37)$$

$$L_p = 1.1 * r_t * \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} \quad (3.38)$$

$$L_r = 1.95 * r_t * \frac{E_a}{F_L} * \sqrt{\frac{J}{S_{xc} * h_o}} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 * \left(\frac{F_L * S_{xc} * h_o}{E_a * J} \right)^2}} \quad (3.39)$$

$$\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23; \quad J = 0 \quad (3.40)$$

$$r_t = \frac{b_f}{\sqrt{12 * \left(1 + \frac{a_w}{6} \right)}} \quad (3.41)$$

$$a_w = \frac{h_w * t_w}{b_f * t_f} \quad (3.42)$$

El valor del factor de modificación de diagrama de momentos (C_b) es igual a 1, cuyo valor es adoptado para secciones tipo I de doble simetría.

$$C_b = 1$$

³² Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 50, F4-2

Dónde:

M_n = Capacidad nominal a flexión.

R_{pc} = Factor de plastificación del alma.

M_{yc} = Momento de referencia referido al patín en compresión.

C_b =Factor de modificación para diagrama de momentos.

E_a =módulo de elasticidad del acero

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

F_L = Esfuerzo reducido.

S_{xc} = Módulo elástico de la sección, referido al patín de la sección en compresión.

L_b =Longitud de arriostramiento.

L_p = Distancia sin arriostrar para el estado límite de fluencia.

L_r = Distancia sin arriostrar para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico.

r_t = Radio de giro efectivo para pandeo lateral-torsional.

J = Momento polar de inercia.

C = Coeficiente para longitud límite de pandeo lateral.

h_o = Distancia entre centroides entre patines.

- c) Si la longitud de arriostramiento (L_b) es mayor que la longitud lateral no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional (L_r); ósea $L_b > L_r$; la capacidad nominal se expresa por medio de:³³

$$M_n = F_{cr} * S_{xc} \leq R_{pc} * M_{yc} \quad (3.43)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E_a}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 * \frac{J}{S_{xc} * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \quad (3.44)$$

Dónde:

M_n = Capacidad nominal a flexión.

F_{cr} = Fuerza crítica o de Euler

R_{pc} =Factor de plastificación del alma.

³³ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 50, F4-3, F4-4, F4-5

S_{xc} = Módulo elástico de la sección, referido al patín de la sección en compresión.

M_{yc} = Momento de referencia referido al patín en compresión.

C_b =Factor de modificación para diagrama de momentos.

C = Coeficiente para longitud límite de pandeo lateral.

E_a =módulo de elasticidad del acero

L_p = Distancia sin arriostrar para el estado límite de fluencia.

L_r = Distancia sin arriostrar para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico.

r_t = Radio de giro efectivo para pandeo lateral-torsional.

J = Momento polar de inercia.

h_o = Distancia entre centroides entre patines.

3.2.2.2.4 Cálculo de la capacidad a flexión de las vigas metálicas.

- Sección 1.

Para elementos sísmicamente compactos, compactos o intermedios, se procede con el cálculo del estado límite de fluencia.

Dado que la sección 1 es sísmicamente compacta, se procede con el cálculo del Momento plástico con la ecuación 3.25.

$$M_p = f_y * Z_x$$

$$M_p = \frac{2530}{1000} * \frac{25.56}{100}$$

$$M_p = 0.65 [T * m]$$

El cálculo del pandeo lateral torsional no se lo realiza, debido a que la losa de hormigón rigidiza en toda su longitud al patín superior, el cual trabaja a compresión, por lo tanto, se desprecia el efecto de pandeo.

A continuación, se procede a resumir los resultados de los cálculos obtenidos, en cada una de las vigas empleadas.

- Sección 1

TABLA 3.18 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 1

CAPACIDAD A FLEXIÓN VIGA METÁLICA TIPO I
ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA
$M_p = 0.65 T^*m$
PANDEO LATERAL- TORSIONAL
NOTA= se desprecia el efecto de pandeo lateral torsional.

Autor: Wilson Basantes

- Sección 2

TABLA 3.19 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 2

CAPACIDAD A FLEXIÓN VIGA METÁLICA TIPO I
ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA
$M_p = 0.56 T^*m$
PANDEO LATERAL- TORSIONAL
NOTA= se desprecia el efecto de pandeo lateral torsional.

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3

TABLA 3.20 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 3

CAPACIDAD A FLEXIÓN VIGA METÁLICA TIPO I
ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA
$M_p = 0.83 T^*m$
PANDEO LATERAL- TORSIONAL
NOTA= se desprecia el efecto de pandeo lateral torsional.

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4

TABLA 3.21 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 4

CAPACIDAD A FLEXIÓN VIGA METÁLICA TIPO I		
ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA		
$M_p =$	0.74	T*m
PANDEO LATERAL- TORSIONAL		
NOTA= se desprecia el efecto de pandeo lateral torsional.		

Autor: Wilson Basantes

3.2.2.3 Análisis elástico en vigas metálicas.

Se recurre a la siguiente expresión, dada por:³⁴

$$M_y = S_x * f_y \quad (3.45)$$

Dónde:

M_y = Momento elástico.

S_x = Módulo elástico.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

3.2.2.3.1 Cálculo del momento elástico en vigas metálicas.

- Viga 1

$$M_y = \frac{21.27}{100} * \frac{2530}{1000}$$

$$M_y = 0.54 [T * m]$$

A continuación, se presenta un resumen de los resultados para las 4 vigas empleadas.

- Sección 1

³⁴ Cálculo elástico y cálculo plástico de vigas de acero solicitadas a flexión, Arianna Guardiola Villora, 2011, pág. 4

TABLA 3.22 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 1

ÁNÁLISIS ELÁSTICO		
Momento Elástico		
$M_y =$	0.54	T*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 2

TABLA 3.23 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 2

ÁNÁLISIS ELÁSTICO		
Momento Elástico		
$M_y =$	0.48	T*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3

TABLA 3.24 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 3

ÁNÁLISIS ELÁSTICO		
Momento Elástico		
$M_y =$	0.72	T*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4

TABLA 3.25 RESUMEN DE CÁLCULOS - SECCIÓN 4

ÁNÁLISIS ELÁSTICO		
Momento Elástico		
$M_y =$	0.66	T*m

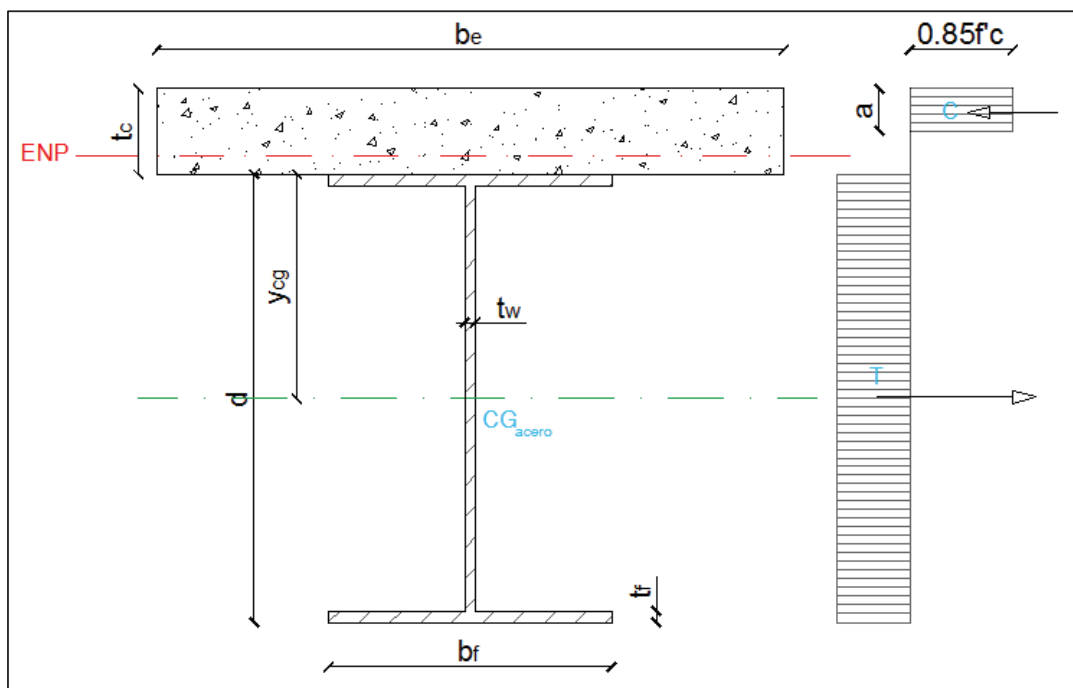
Autor: Wilson Basantes

3.2.3 ANÁLISIS A FLEXIÓN DE VIGA COMPUESTA

3.2.3.1 Capacidad a flexión de las vigas trabajando como viga compuesta.

En el respectivo análisis se plantea una distribución uniforme de esfuerzos de compresión en el hormigón cuyo valor es de $0.85 \cdot f'_c$, las fuerzas de tensión se encuentran en la sección de la viga metálica, por lo que se considera que el elemento trabaja en su rango plástico y a plastificado totalmente la viga.

FIGURA 3.11 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS PLÁSTICOS EN SECCIÓN COMPUESTA



Autor: Wilson Basantes

Para que la sección compuesta trabaje de forma adecuada, es decir que la loseta de hormigón y la viga metálica trabajen en conjunto, es necesario introducir unos ciertos conectores de corte el cual ayudan a disminuir los desplazamientos relativos entre las superficies de contacto del hormigón y el acero.³⁵

³⁵ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 379.

$$Q_n = 0.3 * (t_f + 0.5 * t_w) * l_a * \sqrt{f'_c * E_c} \leq A_{sc} * f_u \quad (3.46)$$

Dónde:

Q_n = Capacidad a corte de cada conector.

t_f =espesor del ala del canal

t_w =espesor del alma del canal

l_a =Longitud del canal

f'_c = Resistencia de compresión del hormigón.

E_c =Módulo de elasticidad del hormigón.

f_u =Esfuerzo mínimo de tensión del conector de corte.

A continuación, se procede a obtener la fuerza de compresión, que se la obtiene por medio del menor valor de las tres expresiones:³⁶

$$C = A_a * f_y \quad (3.47)$$

$$C = 0.85 * f'_c * A_c \quad (3.48)$$

$$C = \sum Q_n \quad (3.49)$$

Dónde:

C = Fuerza de compresión en el hormigón.

A_a = Área de la viga metálica.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

f'_c = Resistencia de compresión del hormigón.

A_c = Área total del hormigón.

Q_n =Capacidad a corte de cada conector.

Se procede con el cálculo de la ubicación del Eje Neutro Plástico (ENP), siempre y cuando se cumpla la siguiente expresión:³⁷

$$0.85 * f'_c * A_c \geq A_a * f_y \quad (3.50)$$

³⁶ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 357, C-13-6, C-13-7, C-13-8

³⁷ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 20

Si cumple la relación anterior, entonces se determina la profundidad efectiva del bloque de compresión, dada por:³⁸

$$a = \frac{A_a * f_y}{0.85 * f'_c * b_e} \quad (3.51)$$

Por último, se obtiene la resistencia nominal:³⁹

$$M_n = A_a * f_y * d_1 \quad (3.52)$$

$$d_1 = y_{cg} + t_c - \frac{a}{2} \quad (3.53)$$

Dónde:

a= Profundidad efectiva del bloque de compresión.

d₁= Distancia entre la fuerza de tensión y de compresión.

b_e= Ancho efectivo de la losa de hormigón.

y_{cg}= Distancia al centro de gravedad de la viga metálica desde el patín superior.

t_c= Espesor de la loseta.

M_n= Capacidad nominal a flexión.

3.2.3.1.1 Cálculo de la capacidad a flexión de las vigas trabajando como viga compuesta

- Sección 4.

Lo expuesto anteriormente en la sección 3.2.3.1 es a momentos positivos, puesto que el ensayo 4 es a momento positivo, se procede con el cálculo respectivo.

Se calcula la fuerza de compresión que se presenta en el hormigón, se utiliza las ecuaciones **3.47**, **3.48** y **3.49**.

$$C = A_a * f_y$$

$$C = 6 * 2530$$

$$1) C = 15180 \text{ [kg]}$$

³⁸ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 357, C-I3-9

³⁹ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 23

$$C = 0.85 * f'c * A_c$$

$$C = 0.85 * 210 * 285$$

$$2) C = 50872.5 \text{ [kg]}$$

$$C = \sum Q_n$$

$$Q_n = 0.3 * (t_f + 0.5 * t_w) * l_a * \sqrt{f'c * E_c} \leq A_{sc} * f_u$$

$$Q_n = 0.3 * (0.3 + 0.5 * 0.3) * 2.5 * \sqrt{210 * 200000} \leq 1.49 * 4200$$

$$Q_n = 2187.25 \text{ [kg]} \leq 6262.2 \text{ [kg]}$$

$$n=7$$

$$C = 7 * 2187.25$$

$$C = 15310.75 \text{ [kg]}$$

Por lo tanto, la fuerza a compresión del hormigón es el menor valor de los tres valores anteriores calculados.

$$C = 15180 \text{ [kg]}$$

Se chequea, si cumple la siguiente relación de la ecuación, dada en **3.50**:

$$0.85 * f'c * A_c \geq A_a * f_y$$

$$0.85 * 210 * 285 \geq 6 * 2530$$

$$50872.5 \text{ [kg]} \geq 15180 \text{ [kg]}$$

Por lo tanto, el Eje neutro plástico pasa por la sección de hormigón.

Ahora, se calcula la profundidad efectiva del bloque de compresión.

$$a = \frac{A_a * f_y}{0.85 * f'c * b_e}$$

$$a = \frac{6 * 2530}{0.85 * 210 * 57}$$

$$a = 1.49 \text{ [cm]}$$

Se procede a calcular la distancia entre la fuerza de compresión y de tensión.

$$d_1 = y_{cg} + t_c - \frac{a}{2}$$

$$d_1 = 6.30 + 8 - \frac{1.49}{2}$$

$$d_1 = 10.55 \text{ [cm]}$$

Por lo tanto, el momento resistente nominal está dada en **3.52**:

$$M_n = A_a * f_y * d_1$$

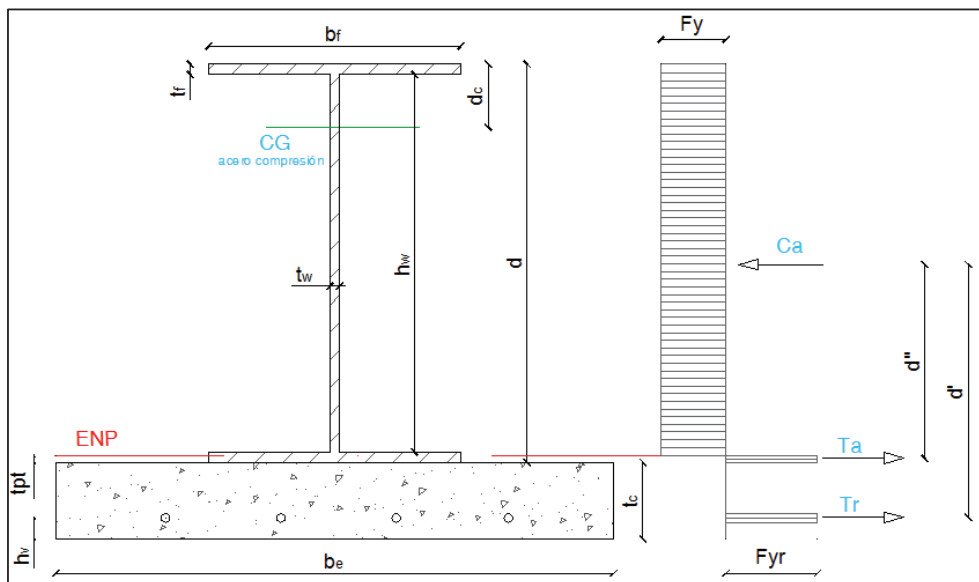
$$M_n = 6 * \frac{2530}{1000} * \frac{10.55}{100}$$

$$M_n = 1.60 \text{ [t * m]}$$

- Sección 1

El cálculo para la sección 1, 2 y 3 es diferente ya que se lo va a diseñar a momento negativo, el procedimiento es el siguiente.

FIGURA 3.12 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS PLÁSTICOS EN SECCIÓN A MOMENTO NEGATIVO.



Autor: Wilson Basantes

Se procede con el cálculo de la tensión producida por el acero de refuerzo, esta se encuentra ubicada en la loseta de hormigón:⁴⁰

$$T_r = A_r * F_{yr} \quad (3.54)$$

Dónde:

A_r = Área total del acero de refuerzo

F_{yr} = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

$$T_r = 3.14 * \frac{4200}{1000}$$

$$T_r = 13.19 [T]$$

Ahora, se calcula la tensión que se produce en la viga de acero:⁴¹

$$T_a = \frac{(A_a * F_y) - T_r}{2} \quad (3.55)$$

Dónde:

A_a = Área sección acero

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero estructural

T_r = Tensión producida en el acero de refuerzo

$$T_a = \frac{(6 * \frac{2530}{1000}) - 13.19}{2}$$

$$T_a = 0.99[T]$$

A continuación, se supone que el ENP coincide con el borde superior del patín, y se procede con el cálculo de las fuerzas de tensión y compresión.⁴²

$$T = T_r + A_p * F_y \quad (3.56)$$

$$C = (A_a - A_p) * F_y \quad (3.57)$$

⁴⁰ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 359, C-I3-11

⁴¹ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 24

⁴² Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 24

Dónde:

T_r = Tensión producida en el acero de refuerzo

A_p =Área patín

A_a = Área de la sección del acero

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero estructural

$$T = 13.2 + 1.2 * \frac{2530}{1000}$$

$$T = 16.23 [T]$$

$$C = (6 - 1.2) * \frac{2530}{1000}$$

$$C = 12.14 T$$

Por lo que, $T > C$ entonces el ENP se encuentra en el patín.

Ahora se procede con el cálculo de la distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el ENP y la distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde inferior del patín de la viga.⁴³

$$t_{pt} = \frac{T_a}{b_f * F_y} \quad (3.58)$$

$$d_c = \frac{0.5 * A_{ps} * t_f + 0.5 * A_{alm} * h_w + A_{pi} * (d - 0.5 * t_f) - 0.5 * b_f * t_{pt}^2}{A_a - b_f * t_{pt}} \quad (3.59)$$

Dónde:

t_{pt} = Distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el eje neutro plástico

d_c =Distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde superior del patín de la viga.

T_a = Tensión que produce la viga de acero

A_p = Área del patín

A_{alm} = Área del alma

⁴³ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 25

t_r =Espesor del patín

b_f = Ancho del patín

h_w = Altura del alma

d = Altura total de la viga

A_a =Área de la sección de la viga

$$t_{pt} = \frac{0.99 * 1000}{4 * 2530}$$

$$t_{pt} = 0.098 [cm]$$

$$d_c = \frac{0.5 * 1.2 * 0.3 + 0.5 * 3.6 * 12 + 1.2 * (12.6 - 0.5 * 0.3) - 0.5 * 4 * 0.098^2}{6 - 4 * 0.098}$$

$$d_c = 6.55 [cm]$$

Se calcula los brazos de palanca entre C_a y T_r , C_a y T_a .

$$d' = d_c + t_c - h_v \quad (3.60)$$

$$d'' = d_c - 0.5 * t_{pt} \quad (3.61)$$

Dónde:

d' = Brazo de palanca entre C_a y T_r

d'' = Brazo de palanca entre C_a y T_a

d_c = Distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde superior del patín de la viga.

t_c = Espesor de loseta de hormigón

h_v = Distancia desde el borde inferior de la losa hasta el centro del acero de refuerzo

t_{pt} = Distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el eje neutro plástico

$$d' = 6.55 + 8 - 2.5$$

$$d' = 12.05 [cm]$$

$$d'' = 6.55 - 0.5 * 0.098$$

$$d'' = 6.49 [cm]$$

Por último, se calcula el momento plástico de la sección compuesta.⁴⁴

$$M_p = T_r * d' + T_a * d'' \quad (3.62)$$

$$M_p = 13.19 * \frac{12.05}{100} + 0.99 * \frac{6.49}{100}$$

$$M_p = 1.65 [T * m]$$

A continuación, se presenta un resumen de los resultados más importantes en el cálculo de las secciones compuestas.

- Sección 1. (Cálculo a Momento Negativo)

TABLA 3.26 RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 1

CAPACIDAD A FLEXIÓN COMO VIGA COMPUESTA	
Tensión producida en el acero de refuerzo	T _r = 13.19 T
Tensión que produce la viga de acero	T _a = 0.99 T
Fuerza de tensión	T= 16.23 T
Fuerza de compresión	C= 12.14 T
T>C	
Distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el eje neutro plástico	t _{pt} = 0.098 cm
Distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde inferior del patín de la viga.	dc= 6.54 cm
Brazo de palanca entre Ca y Tr	d'= 12.04 cm
Brazo de palanca entre Ca y Ta	d''= 6.49 cm
Momento plástico	M _p = 1.65 T*m

Autor: Wilson Basantes

⁴⁴ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 25

- Sección 2. (Cálculo a Momento Negativo)

TABLA 3.27 RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 2

CAPACIDAD A FLEXIÓN COMO VIGA COMPUESTA	
Tensión producida en el acero de refuerzo	$T_r = 8.44 \text{ T}$
Tensión que produce la viga de acero	$T_a = 1.85 \text{ T}$
Fuerza de tensión	$T = 11.48 \text{ T}$
Fuerza de compresión	$C = 9.11 \text{ T}$
$T > C$	
Distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el eje neutro plástico	$t_{pt} = 0.18 \text{ cm}$
Distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde inferior del patín de la viga.	$d_c = 7.24 \text{ cm}$
Brazo de palanca entre C_a y T_r	$d' = 12.74 \text{ cm}$
Brazo de palanca entre C_a y T_a	$d'' = 7.15 \text{ cm}$
Momento plástico	$M_p = 1.21 \text{ T} \cdot \text{m}$

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3 (Cálculo a Momento Negativo)

TABLA 3.28 RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 3

CAPACIDAD A FLEXIÓN COMO VIGA COMPUESTA	
Tensión producida en el acero de refuerzo	$T_r = 13.19 \text{ T}$
Tensión que produce la viga de acero	$T_a = 2.51 \text{ T}$
Fuerza de tensión	$T = 17.75 \text{ T}$
Fuerza de compresión	$C = 13.66 \text{ T}$
$T > C$	

Distancia desde el borde inferior del patín sometido a tracción hacia el eje neutro plástico	$t_{pt} = 0.17 \text{ cm}$
Distancia del centro de gravedad del área de acero en compresión al borde inferior del patín de la viga.	$d_c = 7.12 \text{ cm}$
Brazo de palanca entre C_a y T_r	$d' = 10.12 \text{ cm}$
Brazo de palanca entre C_a y T_a	$d'' = 7.04 \text{ cm}$
Momento plástico	$M_p = 1.51 \text{ T*m}$

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4 (Cálculo a Momento Positivo)

TABLA 3.29 RESUMEN DE CÁLCULOS, VIGA COMPUESTA - SECCIÓN 4

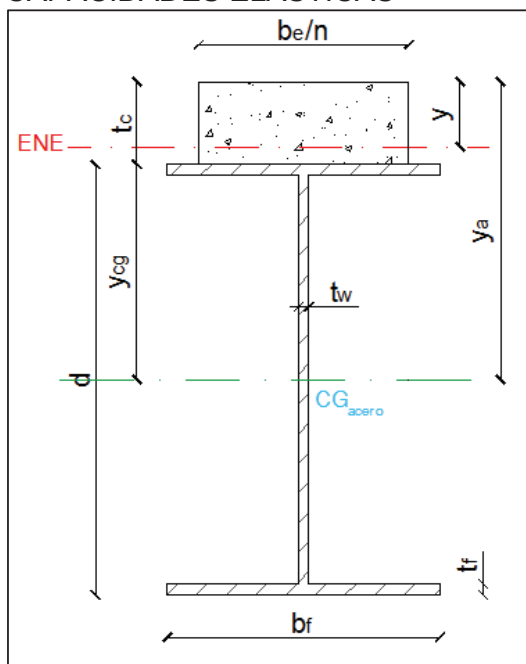
CAPACIDAD A FLEXIÓN COMO VIGA COMPUESTA	
FUERZA DE COMPRESIÓN	
$C =$	15180 kg
CONTROL EJE NEUTRO (ENP)	
50872.5	$\geq 15180 \text{ [kg]}$
Eje ENP pasa por la sección del hormigón	
PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL BLOQUE DE COMPRESIÓN	
$a =$	1.49 cm
DISTANCIA ENTRE LA FUERZA DE COMPRESIÓN Y DE TENSIÓN	
$d_i =$	10.55 cm
MOMENTO PLÁSTICO	
$M_p =$	1.60 [t*m]

Autor: Wilson Basantes

3.2.3.2 Análisis elástico por resistencia de materiales

El cálculo del análisis elástico de una sección compuesta se lo realiza por medio del método de la sección equivalente, es decir se transforma la sección de hormigón en una sección equivalente de acero. Para el respectivo análisis, se recomienda considerar nula la contribución del hormigón a tracción.⁴⁵

FIGURA 3.13 SECCIÓN TRANSFORMADA EN ACERO PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDADES ELÁSTICAS



Autor: Wilson Basantes

Para su cálculo es necesario transformar el área de hormigón a un área equivalente de acero, esto se lo realiza por medio de la obtención del Eje Neutro Elástico (ENE).

⁴⁵ Estudio de vigas de Acero con losas de hormigón sometidas a flexión con momentos positivos mediante el ensayo de elementos y modelación teórica, Vinueza - Paredes, 2015

El eje ENE puede estar ubicado, en la sección de hormigón o en la sección de la viga metálica, para ubicarla es necesaria utilizar las ecuaciones presentadas a continuación.

Previo al cálculo del eje ENE, es necesario determinar la relación modular, que es la relación entre el módulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad del hormigón.⁴⁶

$$n = \frac{E_a}{E_c} \quad (3.63)$$

Dónde:

E_a = Módulo de elasticidad del acero

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón

Se calcula, algunos parámetros adicionales, tales como:

$$y_a = y_{cg} + t_c \quad (3.64)$$

$$y_{cg} = \frac{d}{2} \quad (3.65)$$

Dónde:

y_a = Distancia desde el borde superior de la losa al CG de la viga metálica.

y_{cg} = Distancia al centro de gravedad de la viga metálica desde el patín superior.

t_c = Espesor del firme o loseta.

h = Altura total de la losa.

d = Altura de la viga metálica.

- Ubicación del Eje ENE, en la sección de hormigón:⁴⁷

$$y_{ene} = \frac{n * A_a}{b_e} \left(\sqrt{1 + \frac{2 * b_e * y_a}{n * A_a}} - 1 \right) \leq t_c \quad (3.66)$$

⁴⁶ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 80

⁴⁷ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 75

- Ubicación del Eje ENE, en la sección de la viga metálica:⁴⁸

$$y_{ene} = \frac{(A_{ct}) * 0.5 * t_c + A_a * y_a}{A_{ct} + A_a} \quad (3.67)$$

Dónde:

y_{ene} = Distancia desde el borde superior de la losa al ENE.

b_e = Ancho efectivo de la losa.

A_a = Área de la sección del perfil de la viga.

A_{ct} = Área de la sección de hormigón transformada en área de la sección de acero

y_a = Distancia desde el borde superior de la losa al centro de gravedad del perfil de la viga.

n = relación modular.

t_c = espesor de la loseta de hormigón

A continuación, se procede a calcular la inercia de la sección de área transformada, igualmente depende de su ubicación.

- Inercia transformada ubicada, en la sección de hormigón:⁴⁹

$$I_t = \frac{b_e * y_{ene}^3}{3 * n} + I_a + A_a * (y_a - y_{ene})^2 \quad (3.68)$$

- Inercia transformada ubicada, en la sección de la viga metálica:⁵⁰

$$I_t = I_{ct} + I_a + A_{ct} * (y_{ene} - 0.5 * t_c)^2 + A_a * (y_a - y_{ene})^2 \quad (3.69)$$

$$A_{ct} = \left(\frac{b_e}{n}\right) * t_c \quad (3.70)$$

$$I_{ct} = \frac{b_e * t_c^3}{12 * n} \quad (3.71)$$

Dónde:

⁴⁸ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 76

⁴⁹ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 75

⁵⁰ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 75, pág. 76

I_t = Inercia transformada.

I_a = Inercia de la sección de acero.

b_e = Ancho efectivo.

y_a = Distancia desde el borde superior de la losa al centro de gravedad del perfil de la viga.

y_{ene} = Distancia desde el borde superior de la losa al ENE.

n = relación modular.

A_{ct} = Área de la sección de hormigón transformada en área de la sección de acero.

I_{ct} = Inercia centroidal de la sección de hormigón transformada en área de la sección de acero.

El momento elástico de una sección compuesta, es aquel que hace fluir a una de las fibras extremas, y se lo obtiene mediante la siguiente expresión:⁵¹

$$M_y = \frac{f_y * I_t}{C_1} \quad (3.72)$$

$$C_1 = d + t_c - y_{ene} \quad (3.73)$$

Dónde:

M_y = Momento elástico

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

I_t = Inercia de la sección transformada

C_1 = Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en fluencia

3.2.3.2.1 Cálculo del análisis elástico.

- Para la sección 4, análisis es a momento positivo por lo que se sigue el siguiente procedimiento:

$$n = \frac{2043000}{200000}$$

⁵¹, Estudio de vigas de Acero con losas de hormigón sometidas a flexión con momentos positivos mediante el ensayo de elementos y modelación teórica, Vinueza, 2015.

$$n = 10.22$$

$$y_a = 6.3 + 5$$

$$y_a = 11.30 \text{ [cm]}$$

$$y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$y_{cg} = \frac{12.60}{2}$$

$$y_{cg} = 6.3 \text{ [cm]}$$

$$y_{ene} = \frac{n * A_a}{b_e} \left(\sqrt{1 + \frac{2 * b_e * y_a}{n * A_a}} - 1 \right) \leq t_c$$

$$y_{ene} = \frac{10.22 * 6}{57} \left(\sqrt{1 + \frac{2 * 57 * 11.30}{10.22 * 6}} - 1 \right) \leq 5$$

$$y_{ene} = 3.97 \text{ [cm]} < 5 \text{ [cm]}$$

$$I_t = \frac{b_e * y_{ene}^3}{3 * n} + I_a + A_a * (y_a - y_{ene})^2$$

$$I_t = \frac{57 * 3.97^3}{3 * 10.22} + 164.99 + 6 * (11.30 - 3.97)^2$$

$$I_t = 603.74$$

$$C_1 = d + t_c - y_{ene}$$

$$C_1 = 12.60 + 5 - 3.97$$

$$C_1 = 13.63 \text{ [T]}$$

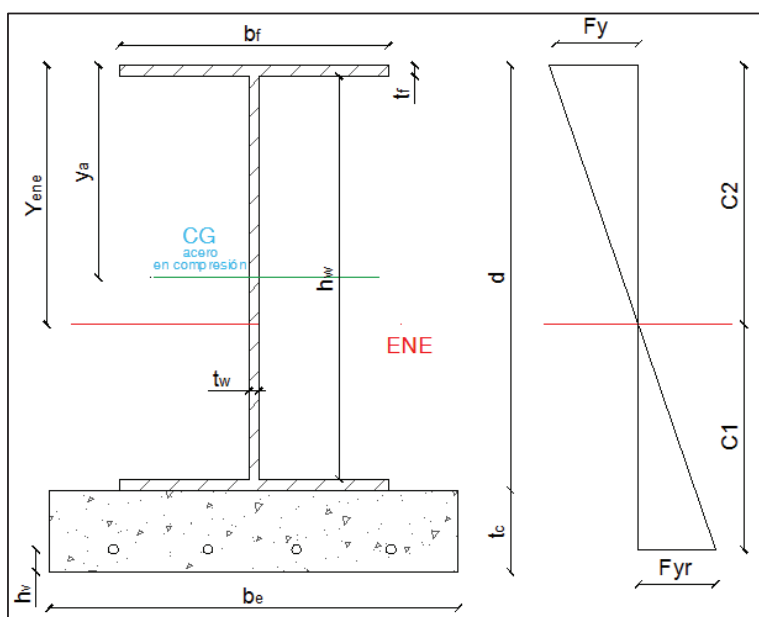
$$M_y = \frac{f_y * I_t}{C_1}$$

$$M_y = \frac{\frac{2530}{1000} * \frac{603.74}{100}}{13.63}$$

$$M_y = 1.12 \text{ [T * m]}$$

- Para las secciones de viga 1,2 y 3, cuyo ensayo es a momento negativo, se requiere efectuar lo siguiente.

FIGURA 3.14 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS. ANÁLISIS ELÁSTICO.



Autor: Wilson Basantes

Se calcula el momento de inercia de la sección transformada:⁵²

$$I_t = A_r * (h + t_c - h_v - y_{ene})^2 + I_{x-x} + A_a * (y_{ene} - y_a)^2 \quad (3.74)$$

Dónde:

A_r = Área total de acero de refuerzo

⁵² Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 78

h =Altura de la viga de acero

t_c = Espesor de la losa

h_v = Distancia desde el borde inferior de la losa hacia el acero de refuerzo

y_{ene} = Distancia desde el borde superior del patín al ENE

I_{x-x} = Momento de inercia

A_a = Área de la sección de viga de acero

y_a = Distancia desde el borde del patín superior hasta el centro de gravedad de la sección metálica

Para el análisis debido a momentos negativos, se considera que la contribución del hormigón a la tracción es nula, pero si se considera el trabajo del acero de refuerzo. Por lo que el y_{ene} queda expresado por la siguiente expresión:⁵³

$$y_{ene} = \frac{A_a * y_a + A_r * (d + t_c - h_v)}{A_a + A_r} \quad (3.75)$$

Dónde:

y_{ene} = Distancia desde el borde superior de la losa al ENE.

A_a = Área de la viga de acero

y_a =Distancia desde el borde del patín superior hasta el centro de gravedad de la sección metálica

A_r = Área total de acero de refuerzo

d = Altura de la viga del acero

t_c = Espesor de la losa

h_v = Distancia desde el borde inferior de la losa hacia el acero de refuerzo.

$$y_{ene} = \frac{6 * 6.3 + 3.14 * (12.60 + 8 - 2.5)}{6 + 3.14}$$

$$y_{ene} = 10.36 [cm]$$

$$I_t = 3.14 * (12.60 + 8 - 2.5 - 10.36)^2 + 133.99 + 6 * (10.36 - 6.3)^2$$

$$I_t = 421.1 [cm^4]$$

⁵³ Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta, Oscar de Buen López de Heredia, 2004, pág. 77

Se procede a calcular las distancias del eje neutro, a la fibra externa en compresión y fibra externa en tensión.

$$C_1 = d + t_c - h_v - y_{ene} \quad (3.76)$$

$$C_2 = y_{ene} \quad (3.77)$$

Dónde:

C_1 = Distancia desde el Eje Neutro Elástico hacia la fibra externa en compresión.

C_2 = Distancia desde el Eje Neutro Elástico hacia la fibra externa en tensión.

$$C_1 = 12.60 + 8 - 2.5 - 10.36$$

$$C_1 = 7.74 \text{ [cm]}$$

$$C_2 = y_{ene} = 10.36 \text{ [cm]}$$

El momento elástico se calcula a partir de la expresión:⁵⁴

$$M_y = \frac{f_y * I_t}{C} \quad (3.78)$$

En donde, el menor valor es el valor requerido de acuerdo con los límites de fluencia del acero de refuerzo y el límite de fluencia del acero estructural, dependiendo de las distancias respectivas C.

- Si, el estado límite de fluencia se presenta en el acero de refuerzo.

$$M_{y1} = \frac{(4200 * 10) * \frac{421.1}{100^4}}{\frac{7.74}{100}}$$

$$M_{y1} = 2.28 \text{ [T * m]}$$

- Si, el estado límite de fluencia se presenta en el acero estructural.

⁵⁴ Ensayo experimental a momento negativo de losas tipo deck en dirección perpendicular a los valles con diferente cuantía de acero de refuerzo, Olalla J., 2014, pág. 53

$$M_{y2} = \frac{(2530 * 10) * \frac{421.1}{100^4}}{\frac{10.36}{100}}$$

$$M_{y2} = 1.02 \text{ [T * m]}$$

Se escoge el menor valor, y por lo tanto el momento elástico es

$$M_y = 1.02 \text{ [T * m]}$$

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

- Sección 1 (Momento Negativo)

TABLA 3.30 RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 1

Distancia desde el borde superior de la losa al eje neutro elástico (ENE).	$y_{ene} =$	10.36	cm
Inercia de la sección transformada	$I_t =$	421.1	cm ⁴
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en compresión	$C_1 =$	7.74	cm
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en tensión	$C_2 =$	10.36	cm
Momento elástico	$M_y =$	1.02	t*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 2 (Momento Negativo)

TABLA 3.31 RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 2

Distancia desde el borde superior de la losa al eje neutro elástico (ENE).	$y_{ene} =$	9.78	cm
Inercia de la sección transformada	$I_t =$	316.9	cm ⁴
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en compresión	$C_1 =$	8.32	cm
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en tensión	$C_2 =$	9.78	cm
Momento elástico	$M_y =$	0.81	t*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3 (Momento Negativo)

TABLA 3.32 RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 3

Distancia desde el borde superior de la losa al eje neutro elástico (ENE).	$y_{ene} =$	9.13	cm
Inercia de la sección transformada	$I_t =$	368.6	cm ⁴
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en compresión	$C_1 =$	6.47	cm
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en tensión	$C_2 =$	9.13	cm
Momento elástico	$M_y =$	1.02	t*m

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4 (Momento Positivo)

TABLA 3.33 RESUMEN DE CÁLCULO ELÁSTICO - SECCIÓN 4

Distancia desde el borde superior de la losa al eje neutro elástico (ENE).	$y_{ene} =$	3.97	cm
Inercia de la sección transformada	$I_t =$	603.74	cm ⁴
Distancia desde el eje neutro elástico a las fibras extremas en fluencia	$C_1 =$	13.63	cm
Momento elástico	$M_y =$	1.12	t*m

Autor: Wilson Basantes

3.2.3.3 Esfuerzo cortante en vigas metálicas

La resistencia a corte de una sección compuesta con conectores de corte, según el Código ANSI/AISC 360-10, está dada por:⁵⁵

⁵⁵ Specification for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 325.

$$V_n = 0.6 * f_y * A_w * C_v \quad (3.79)$$

Dónde:

V_n = Capacidad nominal a corte

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero estructural

A_w = Área del alma de la viga metálica

C_v =Coeficiente de corte del alma.

Para determinar el coeficiente de corte del alma se debe tomar en cuenta lo siguiente:⁵⁶

- Cuando

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} \quad (3.80)$$

$$C_v=1$$

- Cuando

$$1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} < \frac{h_w}{t_w} \leq 1.37 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} \quad (3.81)$$

$$C_v = \frac{1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}}{\frac{h_w}{t_w}} \quad (3.82)$$

- Cuando

$$\frac{h_w}{t_w} > 1.37 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} \quad (3.83)$$

⁵⁶ Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, 2010, pág. 326.

$$C_v = \frac{1.51 * E_a * k_v}{\left(\frac{h_w}{t_w}\right)^2 * f_y} \quad (3.84)$$

Donde:

k_v = Coeficiente de pandeo por corte del alma

C_v = Coeficiente de corte del alma.

h_w = Distancia libre entre alas.

t_w = Espesor del alma

E_a = Modulo de elasticidad del acero

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

3.2.3.3.1 Cálculo de la capacidad nominal a corte

- Sección 1

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{12}{0.3} = 40$$

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}$$

$$1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} = 1.1 * \sqrt{\frac{5 * 2043000}{2530}}$$

$$1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}} = 69.9$$

$$C_v = 1$$

Por lo tanto;

$$V_n = 0.6 * f_y * A_w * C_v$$

$$V_n = 0.6 * 2530 * 3.6 * 1$$

$$V_n = 5464.8 \text{ [kg]}$$

TABLA 3.34 RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 1

Relación peralte / espesor del alma	$\frac{h_w}{t_w} =$	40
$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}$		
Coefficiente de corte del alma	$C_v =$	1
Capacidad nominal a corte	$V_n =$	5464.8 [kg]

Autor: Wilson Basantes

- Sección 2

TABLA 3.35 RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 2

Relación peralte / espesor del alma	$\frac{h_w}{t_w} =$	60
$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}$		
Coefficiente de corte del alma	$C_v =$	1
Capacidad nominal a corte	$V_n =$	3643.2 [kg]

Autor: Wilson Basantes

- Sección 3

TABLA 3.36 RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 3

Relación peralte / espesor del alma	$\frac{h_w}{t_w} =$	60
$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}$		
Coefficiente de corte del alma	$C_v =$	1

Capacidad nominal a corte	$V_n =$	5464.8 [kg]
---------------------------	---------	-------------

Autor: Wilson Basantes

- Sección 4

TABLA 3.37 RESUMEN DE CAPACIDAD A CORTE - SECCIÓN 4

Relación peralte / espesor del alma	$\frac{h_w}{t_w} =$	60
$\frac{h_w}{t_w} \leq 1.1 * \sqrt{\frac{k_v * E_a}{f_y}}$		
Coefficiente de corte del alma	$C_v =$	1
Capacidad nominal a corte	$V_n =$	3643.2 [kg]

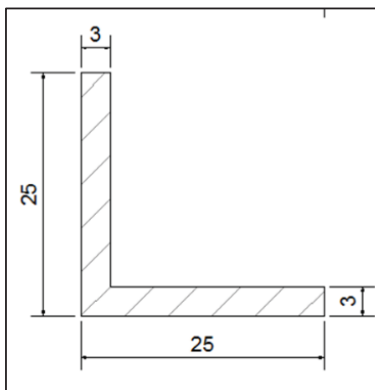
Autor: Wilson Basantes

3.2.3.4 Conectores de corte

Son elementos utilizados para resistir el cortante horizontal que es generado por la acción de los elementos que se conectan entre sí, como son el hormigón y la viga de acero.

En nuestro país no existe un registro experimental, por lo que se experimenta con diferentes tipos de conectores, para la presente investigación se plantea utilizar perfiles tipo L.

FIGURA 3.15 CONECTOR TIPO L

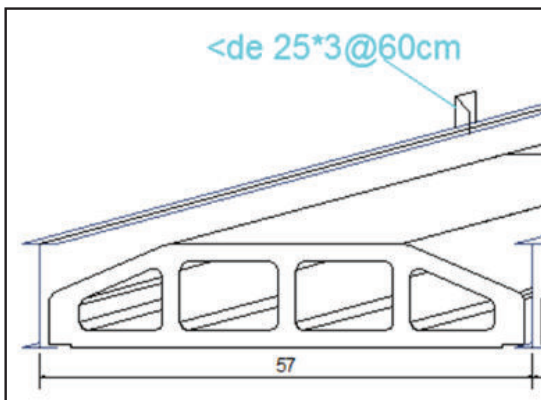


Autor: Wilson Basantes

La función principal de los conectores de corte es la de hacer trabajar al elemento compuesto como uno solo, presentándose deformaciones en forma continua y a su vez el hormigón trabaje a compresión y el acero a tensión.

Los tipos de conectores utilizados en esta investigación son de tipo L, y están dispuestos cada 60 cm a lo largo de las viguetas.

FIGURA 3.16 DISTANCIA ENTRE CONECTORES A CORTE



Autor: Wilson Basantes

La resistencia nominal de los conectores, viene dada por la siguiente expresión, el cual se lo calculó previamente en la sección 3.2.3.3.1.

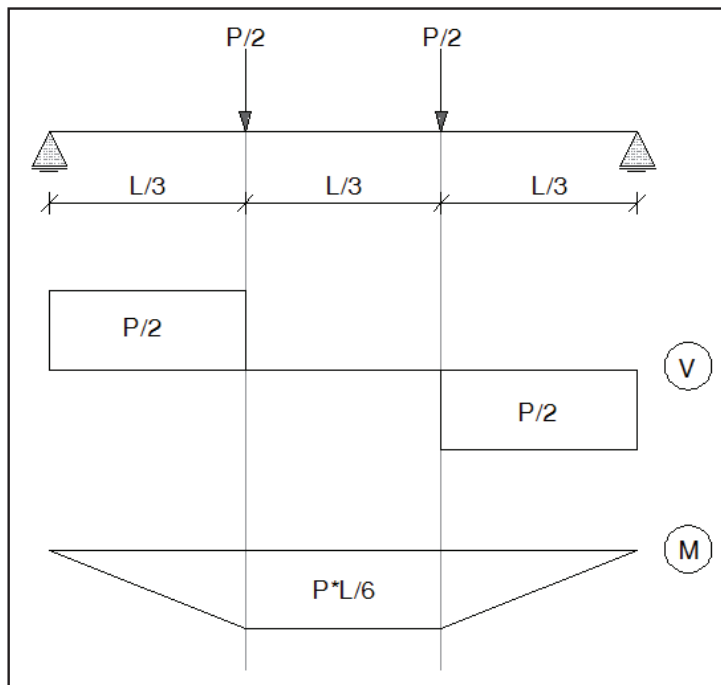
$$\Sigma Q_n = Q_n * N$$

$$\Sigma Q_n = 15310.75 \text{ [kg]}$$

3.2.4 ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO

El análisis matemático es el proceso mediante el cual se determina las fuerzas internas producidas en una viga, es decir se pretende entender y predecir el comportamiento de esta clase de vigas compuestas a los diferentes momentos de ensayo. Por lo cual, por medio de este proceso es posible obtener las deformaciones elásticas teóricas, y así poder comparar con las deformaciones reales obtenidas en el ensayo, también se obtiene otras propiedades como el giro derecho e izquierdo, la curvatura, momento máximo, corte máximo y módulo de elasticidad promedio, el cual se los representa por medio de gráficas, que por medio del análisis de cada una se puede comprender el comportamiento real de las losas empleadas en el respectivo ensayo experimental.⁵⁷

FIGURA 3.17 DISTRIBUCIÓN DE CORTE Y MOMENTO EN MODELO MATEMÁTICO



⁵⁷ Opinión Ing. Jorge Vintimilla.

Autor: Wilson Basantes

El momento generado del modelo matemático esta expresado por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{P * L}{6} \quad (3.85)$$

La longitud de apoyo es de un valor, $L=3.8$ [m]

TABLA 3.38 RESUMEN DE CARGAS EN EL ESTADO PLÁSTICO

Momento plástico $V_{ig1} =$	1.65 [t*m]	Carga plástica $V_{ig1} =$	2.61 [t]
Momento plástico $V_{ig2} =$	1.21 [t*m]	Carga plástica $V_{ig2} =$	1.91 [t]
Momento plástico $V_{ig3} =$	1.51 [t*m]	Carga plástica $V_{ig3} =$	2.38 [t]
Momento plástico $V_{ig4} =$	1.60 [t*m]	Carga plástica $V_{ig4} =$	2.53 [t]

Autor: Wilson Basantes

La ecuación para obtener las deflexiones del modelo matemático planteado, se la expresa por:

$$y = \frac{23 * P * L^3}{1296 * E * I} \quad (3.86)$$

La ecuación de los giros derecho e izquierdo son iguales por la simetría del modelo matemático planteado, por lo que la expresión es la siguiente:

$$\theta = \frac{P * L^2}{18 * E * I} \quad (3.87)$$

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EQUIPOS DE ENSAYO

Los equipos utilizados cuentan con la capacidad para determinar las diferentes variables necesarias a investigarse. Los equipos se encuentran ubicados en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional, el cual presenta todas las facilidades de trabajo y seguridad.

4.1.1 GATO HIDRÁULICO

El gato hidráulico es el equipo de mayor importancia en un estudio experimental, ya que se lo utiliza para aplicar cargas de forma vertical u horizontal sobre los elementos de ensayo.

FOTOGRAFÍA 4.1 MÁQUINA DE CARGA



Autor: Wilson Basantes

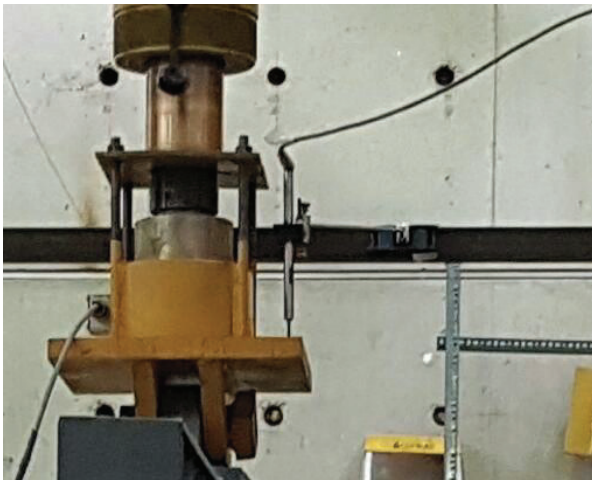
La máquina de carga está compuesta por un marco de carga, celda de carga y el gato hidráulico, que a su vez tiene una capacidad de carga de 22 toneladas.

4.1.2. LVDT

Los LVDT denominados así por las siglas del nombre, *Transductor de desplazamiento lineal*, son aparatos utilizados para medir y determinar el movimiento de un cuerpo en el transcurso de una trayectoria rectilínea.

Su principal función es la de medir deformaciones verticales, por medio de cambios de presión, fuerza o aceleración en un punto específico.

FOTOGRAFÍA 4.2 LVDT



Autor: Wilson Basantes

4.1.3. STRAIN GAUGE

Los strain gauge son dispositivos utilizados para la medición de magnitudes mecánicas como pueden ser la presión, carga, posición, torque, deformación, esfuerzos, etc. Estos dispositivos también son conocidos como extensómetro o galga extensiométrica, el cual son fijados en bases flexibles y aislantes por medio de láminas metálicas.

FOTOGRAFÍA 4.3 STRAIN GAUGE



Autor: Wilson Basantes

Los strain gauges miden deformaciones unitarias por medio de la variación de esfuerzos en el objeto a medir, esto provoca una variación en la resistencia eléctrica de la lámina metálica, esta variación de la resistencia eléctrica es directamente proporcional a los esfuerzos sometidos. De aquí la importancia, de utilizar strain gauge con gran sensibilidad a los esfuerzos.

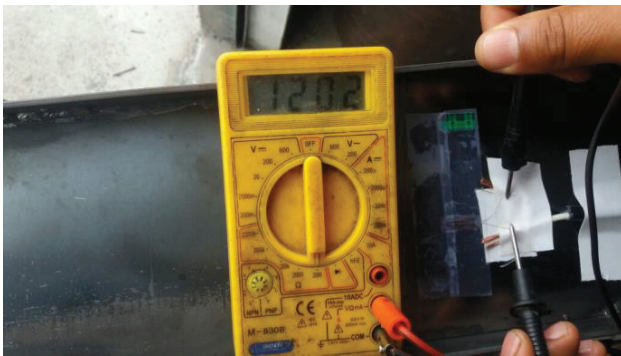
4.2 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS A ENSAYAR.

Los modelos a diseñar deben cumplir con las medidas y resistencia adecuada, para obtener resultados que se aproximen a la realidad. De esta forma, todos los elementos fueron fabricados por el autor, con la ayuda de personal capacitado.

Se procede a construir 4 vigas de acero de tipo A36, acorde a las dimensiones planteadas en los datos de la sección 3.2.2. Estas fueron fabricadas en un taller ajeno, el cual cumplía con todas facilidades para la construcción y contaban con el equipo necesario para la ejecución de estas. La longitud de todas las vigas, es de 4 metros.

FOTOGRAFÍA 4.4 CONSTRUCCIÓN DE VIGAS TIPO I

Autor: Wilson Basantes

FOTOGRAFÍA 4.5 COLOCACIÓN DE LOS STRAIN GAUGE

Autor: Wilson Basantes

A continuación, se procede a preparar las bovedillas, su construcción se lo realiza en una empresa especializada en la fabricación de elementos de bloque, que posteriormente son trasladados al taller de fabricación de las vigas.

Se las debe cortar en la mitad de su dimensión original, para que esté acorde con el diseño a estudiar.

FOTOGRAFÍA 4.6 PREPARACIÓN DE BOVEDILLAS

Autor: Wilson Basantes

Se coloca los cortes de las bovedillas en los encofrados, y estas deben ser ubicadas sobre las vigas. Posteriormente se coloca el refuerzo para evitar el problema de agrietamiento.

FOTOGRAFÍA 4.7 ENCOFRADO DE LOSA COMPUESTA DE VIGUETA Y BOVEDILLA

Autor: Wilson Basantes

Finalmente, se coloca el hormigón necesitado sobre las bovedillas. Esto se lo reparte con la ayuda de un vibrador de hormigón.

FOTOGRAFÍA 4.8 COLOCACIÓN DE HORMIGÓN



Autor: Wilson Basantes

4.3 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

Para comenzar con los respectivos ensayos, se debe considerar que las losas no son lo suficientemente uniformes para poder apreciar las fisuras. Por lo que, se procede a pintarlas de color blanco, a cada una de ellas. Cabe destacar, para lograr la uniformidad en las losas se recurrió a utilizar una moladora, de tal manera que las losas queden niveladas y sin ninguna imperfección.

FOTOGRAFÍA 4.9 PREPARACIÓN DE LAS LOSAS

Autor: Wilson Basantes

A continuación, se procede a preparar la maquinaria necesaria, se procede a colocar una viga de repartición en el gato hidráulico; con el propósito de asemejarse a una carga repartida.

FOTOGRAFÍA 4.10 GATO HIDRÁULICO

Autor: Wilson Basantes

En los puntos de contacto de la viga de repartición y la losa, se colocan dos cilindros sólidos para simular las dos cargas puntuales como se plantea en el modelo matemático.

FOTOGRAFÍA 4.11 CILINDROS SÓLIDOS



Autor: Wilson Basantes

Para el respectivo ensayo, se debe considerar ciertos factores ajenos al análisis, pero que garantizan una calidad de este.

- La viga de repartición y el eje longitudinal de la losa, deben estar lo más centradas posibles, y así evitar posibles excentricidades en el instante del ensayo.
- Se debe colocar láminas engrasadas sobre los apoyos de la losa, con el propósito de simular el apoyo simple utilizado en el modelo matemático.
- Los apoyos a utilizar deben estar unidos varillas roscadas, para evitar que se deslicen durante el ensayo.
- Los apoyos deben estar equidistantes con respecto al marco de carga, y las losas deben sobresalir unos 10 cm de los apoyos para garantizar una mejor estabilidad.

De igual manera, se debe considerar los principios básicos al realizar este tipo de ensayos, como es el utilizar el equipo de seguridad adecuado como son: casco, zapato de acero, guantes, gafas, extrema concentración y precaución.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 ENSAYO 1

4.4.1.1 Descripción

- Viga I 120x3x40x3
- Espesor del firme o loseta = 8 cm
- Conectores de corte = L25x3@60cm
- $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Del análisis de la viga.

- Momento plástico teórico viga sola= $0.65 \text{ T}\cdot\text{m}$; Sección 3.2.2.2.4
- Momento elástico teórico viga sola= $0.54 \text{ T}\cdot\text{m}$; Sección 3.2.2.3.1

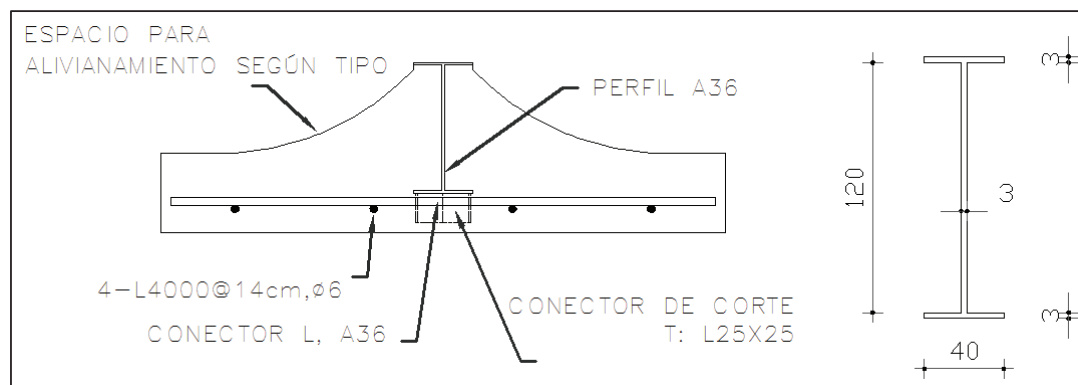
Del análisis de la viga compuesta.

- Momento plástico teórico viga compuesta = $1.65 \text{ T}\cdot\text{m}$; Sección 3.2.3.1.1
- Momento elástico teórico viga compuesta= $1.02 \text{ T}\cdot\text{m}$; Sección 3.2.3.2.1

Tabla 3.38

- Carga plástica teórica = 2.61 T

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE CARGA, ENSAYO 1



Autor: Wilson Basantes

Para el respectivo ensayo se plantea cargar la losa hasta su respectiva falla, se realiza 2 ciclos de carga y descarga. Las primeras fisuras se presentaban a una carga de 1.50 T y fueron exclusivas a flexión.

FOTOGRAFÍA 4.12 PRIMERAS FISURAS

Autor: Wilson Basantes

Se prosigue con la aplicación de la carga hasta que la losa tenga fisuras pronunciadas o colapse, en la zona donde se aplica la carga se producen las grietas más pronunciadas, estas grietas tienen una inclinación aproximada de 45° debido a los esfuerzos cortantes.

FOTOGRAFÍA 4.13 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 1

Autor: Wilson Basantes

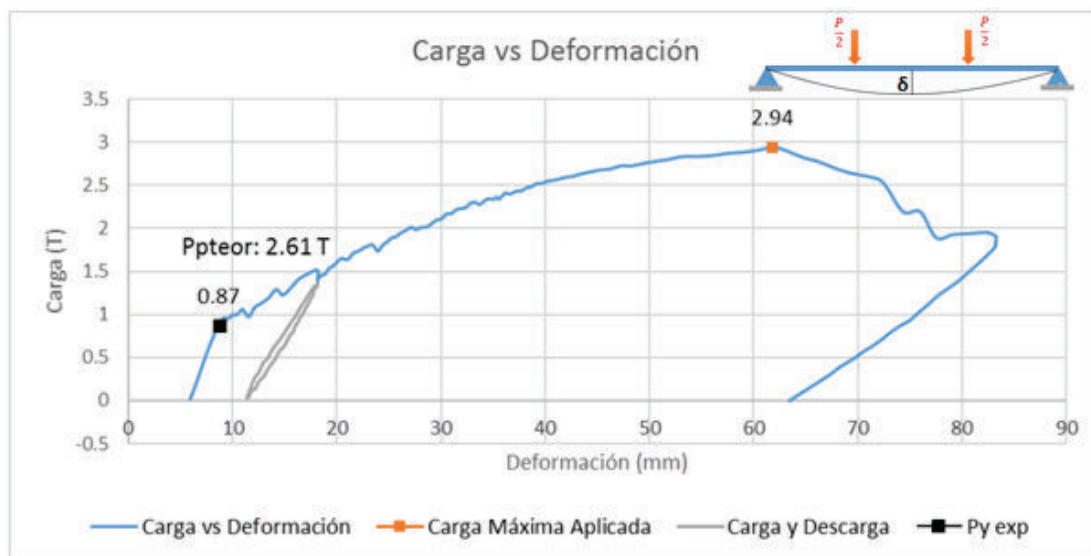
En el respectivo ensayo la viga sufre deformaciones en el patín sometido a compresión debido a que el hormigón no contribuye en este efecto, ya que se realiza la comprobación a momento negativo.

El alma también sufre pequeñas deformaciones, esto es debido al reacomodo de los elementos debido a la acción de carga y descarga realizada por el gato hidráulico.

4.4.1.2 Resultados

- Carga vs Deformación

GRÁFICO 4.1 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN, ENSAYO 1



Autor: Wilson Basantes

La carga de plastificación teórica es de 2.61T, en la Gráfica 4.1 se puede observar que la sección compuesta trabaja con un comportamiento lineal hasta un valor de 0.87 T, a partir de ahí esta comienza a plastificar, posteriormente el ensayo se lo realiza hasta tener una carga aplicada de 2.94 T, en ese instante se deja de aplicar carga, por lo que se puede observar que la sección sobrepasa la carga de plastificación teórica, pero el patín superior presenta daños por pandeo local.

- Deformaciones teóricas vs reales

Se tiene que las deformaciones teóricas son menores a las reales, esto es debido a que existen corrimiento entre la viga metálica, la bovedilla y la pequeña loseta de hormigón.

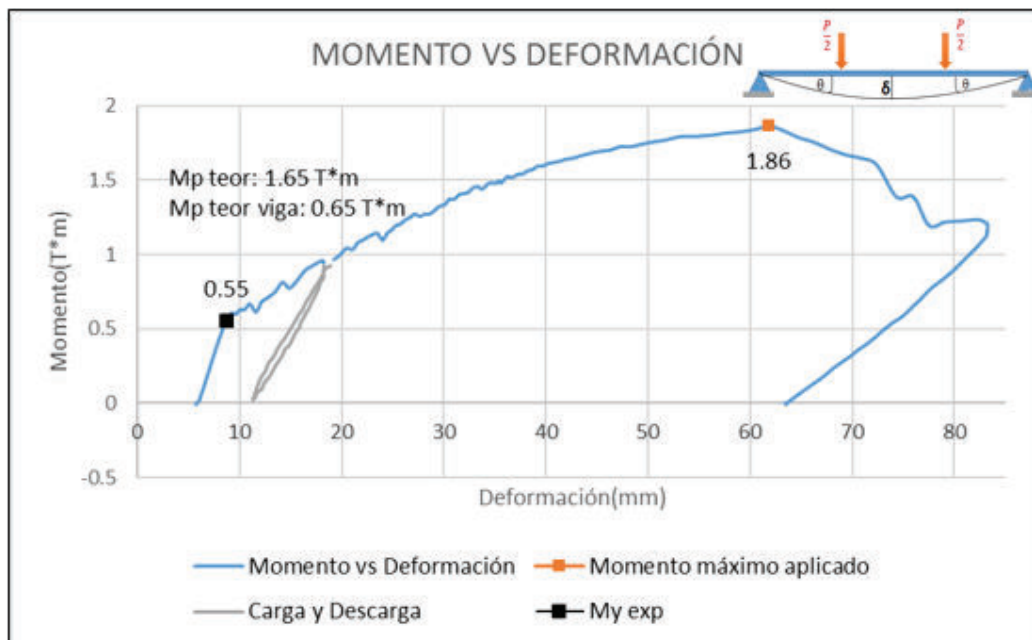
TABLA 4.1 DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 1

P (kg)	δ teori.	δ real
785.78	7.06	8.36
1124.27	10.11	12.83
1800.56	16.19	23.51
2597.87	23.35	42.66
2936.20	26.39	61.86

Autor: Wilson Basantes

- Curva Momento vs deformación

GRÁFICO 4.2 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 1



Autor: Wilson Basantes

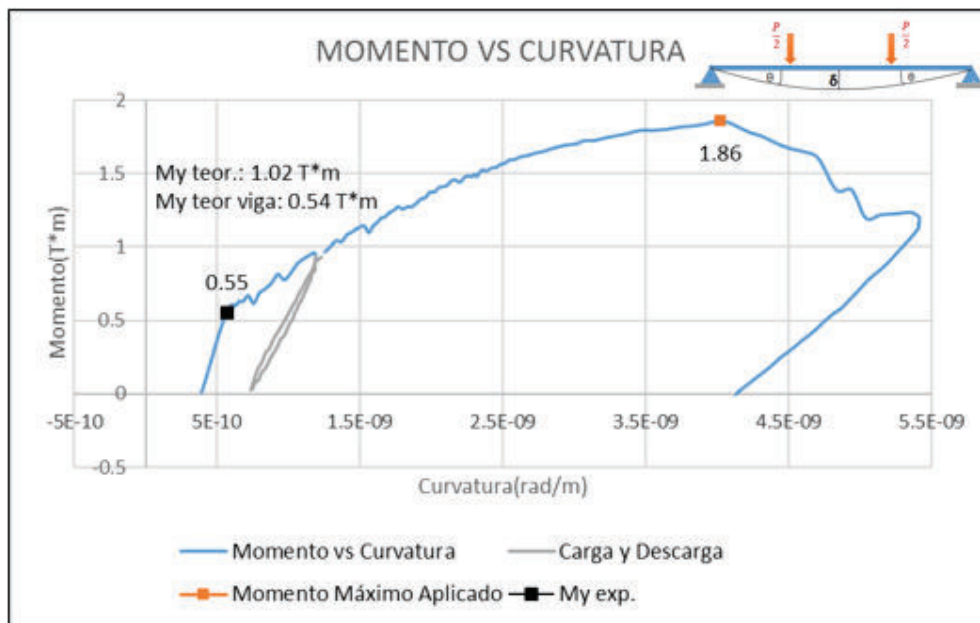
El momento de plastificación teórico de la sección compuesta es de 1.65 T*m, el momento plástico teórico de la viga sola es de 0.65 T*m, en la Gráfica 4.2 se puede observar el comportamiento real la viga compuesta y esta trabaja con un comportamiento lineal hasta un valor de 0.55 T*m; a partir de allí la viga comienza a fallar especialmente en el patín superior, pese a esto la viga sigue trabajando hasta un momento de 1.86 T*m, el momento de plastificación teórico de la sección compuesta alcanza a desarrollarse pero el patín superior presenta daños por pandeo local.

- Curva Momento vs Curvatura

La Curvatura se obtiene por medio de:

$$\varphi = \frac{M}{E * I} \quad (4.1)$$

GRÁFICO 4.3 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 1



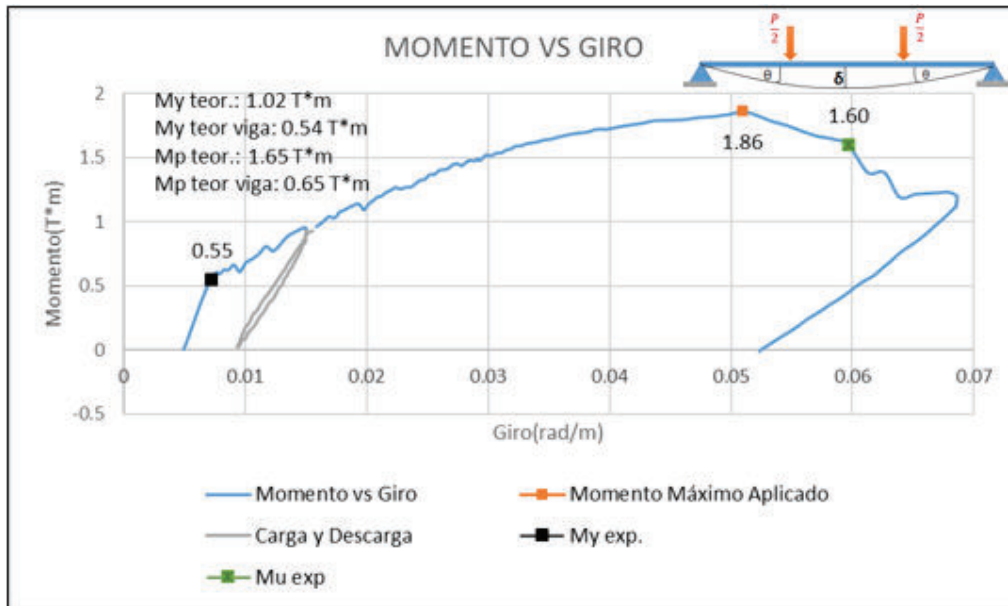
Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.3, se puede observar que su comportamiento lineal es hasta un valor de momento de 0.55 T*m; el momento elástico teórico de viga simple es de

0.54 T*m, el cual es muy cercano. El momento elástico de la viga compuesta es de 1.02 T*m, el cual llega a desarrollarse, pero presenta pandeo local en el patín superior.

- Curva Momento vs Giro

GRÁFICO 4.4 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 1



Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.4 se procede a obtener la Ductilidad de la viga, a partir de la siguiente expresión dada por:

$$D = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad (4.2)$$

Dónde:

θ_u = Giro último

θ_y = Giro de fluencia

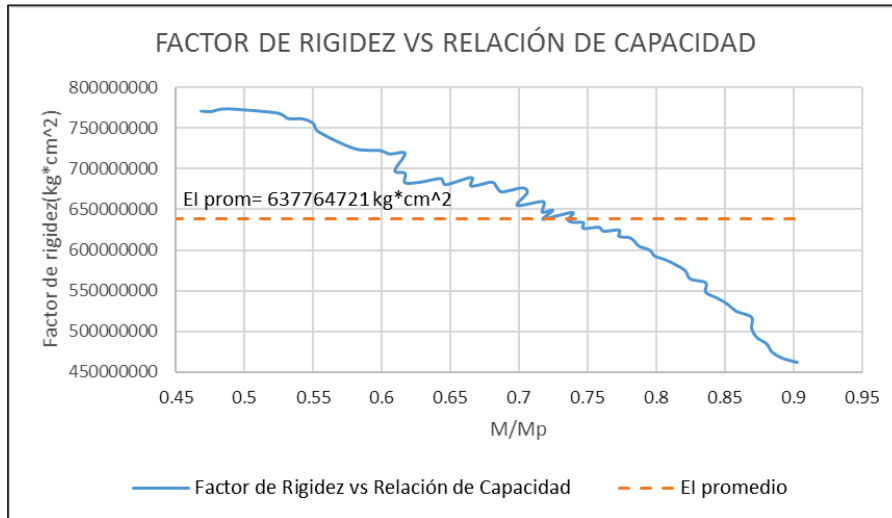
$$D = \frac{0.060}{0.0072}$$

$$D = 8.24$$

∴ La viga presenta una Ductilidad Alta

- Curva factor de rigidez vs relación de capacidad

GRÁFICO 4.5 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 1

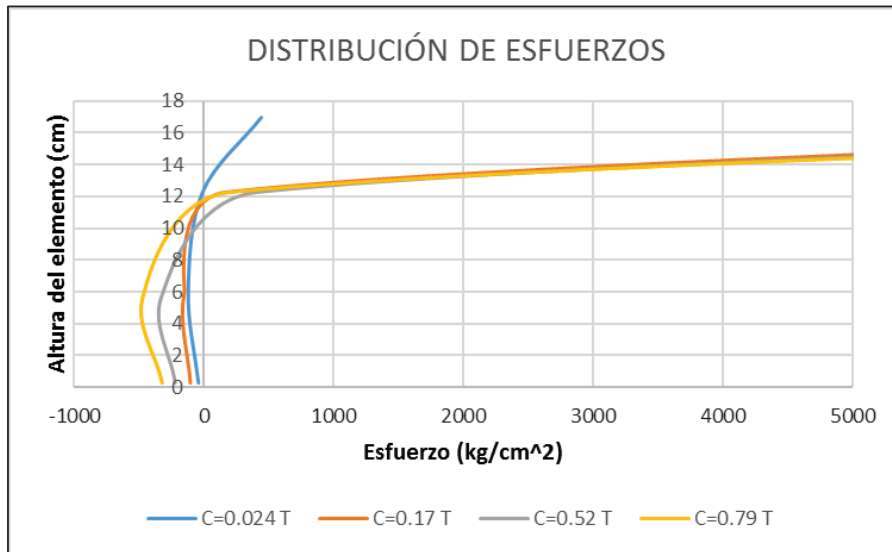


Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.5 se puede observar que el factor de Rigidez disminuye conforme la carga aumenta su valor, debido a problemas ocasionados en el ala superior de la viga metálica que comienza a pandearse y hace que el sistema compuesto pierda rigidez.

- Distribución de esfuerzos en sección transversal

GRÁFICO 4.6 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 1



Autor: Wilson Basantes

Para medir una distribución real de esfuerzos se usa strain gages, que están colocados en la sección transversal de la sección compuesta. El Ensayo se lo realiza a momento negativo, por lo que las fibras externas de la viga de acero, Ver Figura 4.1, se comprimen y la de hormigón se traccionan. En el Gráfico 4.6 se representa la distribución de esfuerzos bajo ciertas cargas, pero los resultados en la fibra superior son inconsistentes ya que la viga comienza a plastificarse a cargas muy pequeñas, a partir de 0.10 T.

4.4.2 ENSAYO 2

4.4.2.1 Descripción

- Viga I 120x2x40x3
- Espesor del firme o loseta = 8 cm
- Conectores de corte = L25x3 @60cm
- $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Del análisis de la viga.

- Momento plástico teórico viga sola= $0.56 T \cdot m$; Sección 3.2.2.2.4
- Momento elástico teórico viga sola= $0.48 T \cdot m$; Sección 3.2.2.3.1

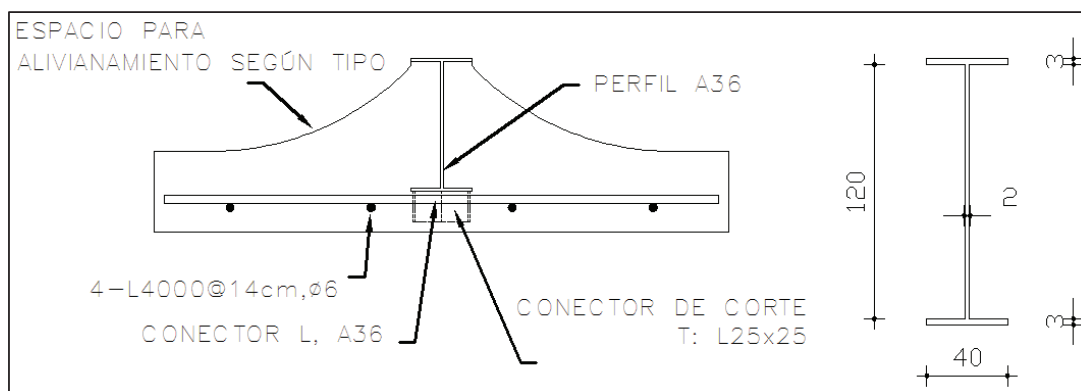
Del análisis de la viga compuesta.

- Momento plástico teórico viga compuesta = $1.21 T \cdot m$; Sección 3.2.3.1.1
- Momento elástico teórico viga compuesta = $0.81 T \cdot m$; Sección 3.2.3.2.1

Tabla 3.38

- Carga plástica teórica = $1.91 T$

FIGURA 4.2 ESQUEMA DE CARGA, ENSAYO 2



Autor: Wilson Basantes

Para el respectivo ensayo se plantea cargar la losa hasta su respectiva falla, se realiza 3 ciclos de carga y descarga. Las primeras fisuras se presentaban a una carga de $1.50 T$ y fueron exclusivas a flexión.

Se prosigue con la aplicación de la carga hasta que la losa tenga fisuras pronunciadas o colapse, en la zona donde se aplica la carga se producen las grietas más pronunciadas, estas grietas tienen una inclinación aproximada de 45° debido a los esfuerzos cortantes.

FOTOGRAFÍA 4.14 PRIMERAS FISURAS



Autor: Wilson Basantes

FOTOGRAFÍA 4.15 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 2



Autor: Wilson Basantes

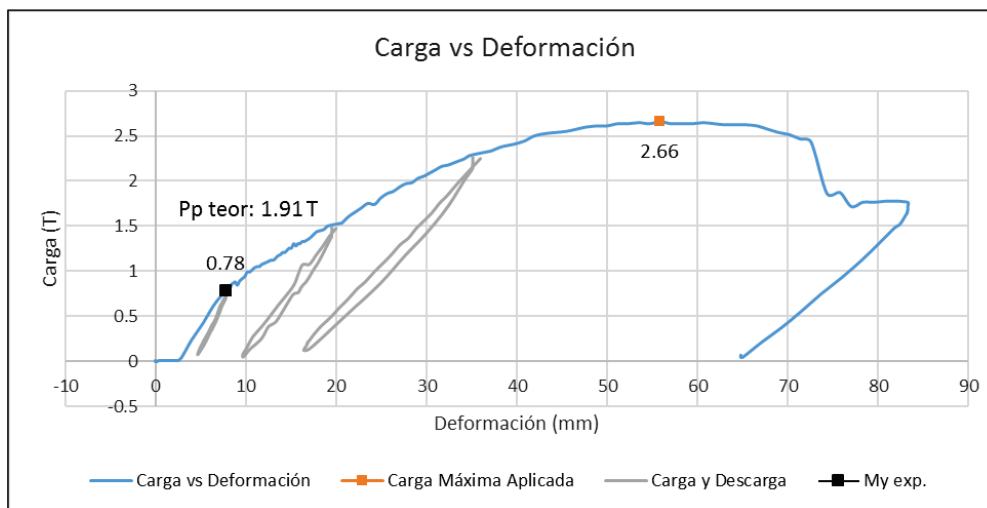
En el respectivo ensayo la viga sufre deformaciones en el patín sometido a compresión, debido a que el hormigón no contribuye en este efecto ya que se realiza la comprobación a momento negativo.

El alma también sufre pequeñas deformaciones, y esto es debido al reacomodo de los elementos debido a la acción de carga y descarga realizada por el gato hidráulico.

4.4.2.2 Resultados

- Carga vs Deformación

GRÁFICO 4.7 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN , ENSAYO 2



Autor: Wilson Basantes

La carga de plastificación teórica es de 1.91T, en la Gráfica 4.7 se observa que la sección compuesta trabaja con un comportamiento lineal hasta un valor de 0.78 T, a partir de ahí la sección comienza a plastificarse, posteriormente el ensayo se lo realiza hasta tener una carga aplicada de 2.66 T, instante en el cual se deja de aplicar carga, por lo que se puede observar que la sección sobrepasa la carga de plastificación teórica, pero el patín superior presenta daños por pandeo local.

- Deformaciones teóricas vs reales

TABLA 4.2 DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 2

P (kg)	δ teór.	δ real

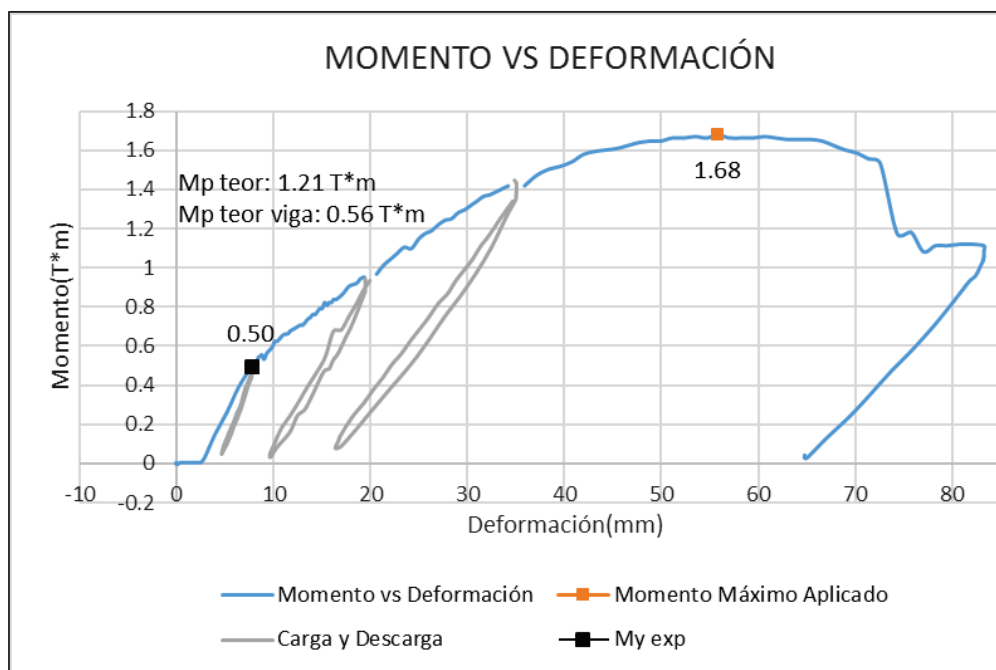
784.53	5.49	7.78
1122.48	7.86	12.82
1810.37	12.69	24.96
2244.85	15.73	35.94
2570.60	18.01	46.61

Autor: Wilson Basantes

Se tiene que las deformaciones teóricas son menores a las reales, esto es debido a que existen corrimientos entre la viga, bovedilla y la loseta de hormigón.

- Curva Momento vs deformación

GRÁFICO 4.8 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 2



Autor: Wilson Basantes

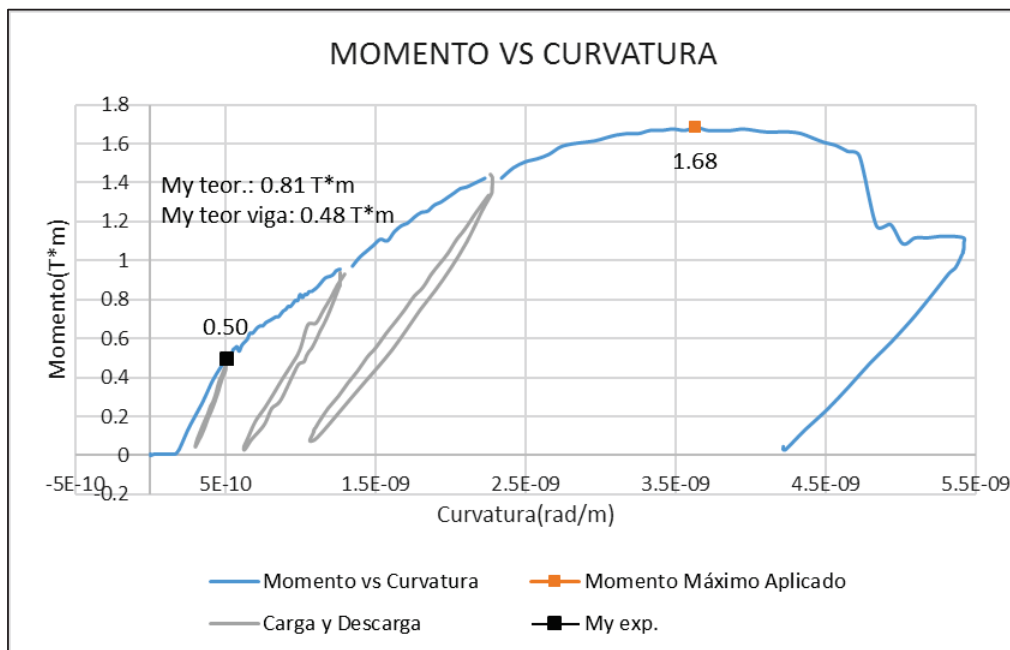
El momento de plastificación teórica de la sección compuesta es de 1.21 T*m, el momento plástico de la viga sola es de 0.56 T*m, en la Gráfica 4.8 se puede observar el comportamiento real la viga compuesta y se observa un comportamiento lineal hasta un valor de 0.50 T*m; a partir de allí la viga comienza

a fallar especialmente en el patín superior, pese a eso la viga sigue trabajando hasta un momento de 1.68 T*m. El momento de plastificación teórico de la sección compuesta alcanza a desarrollarse, pero el patín superior presenta pandeo local.

- Curva Momento vs Curvatura

De igual forma, se utiliza la ecuación 4.1 para determinar los datos en el eje de curvatura.

GRÁFICO 4.9 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 2



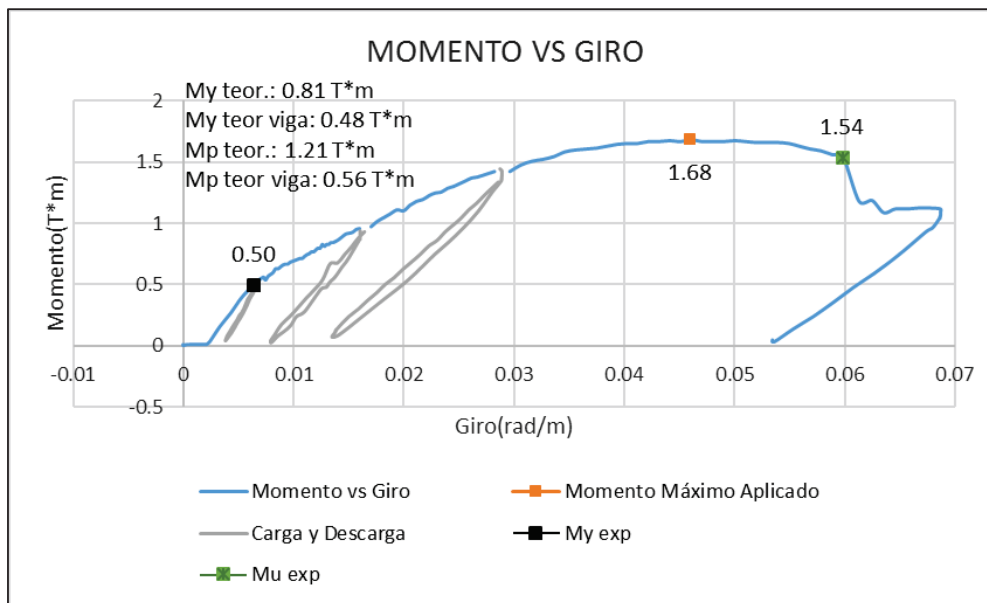
Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.9, se puede observar un comportamiento lineal hasta un valor de momento a 0.50 T*m, se tiene que el momento elástico de viga es de 0.48 T*m, el cual es muy cercano.

El momento elástico de la viga compuesta es de 0.81 T*m; el cual llega a desarrollarse, pero presenta daños por pandeo local en el patín superior.

- Curva Momento vs Giro

GRÁFICO 4.10 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 2



Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.10 se procede a obtener la Ductilidad de la viga, a partir de la siguiente expresión **4.2**.

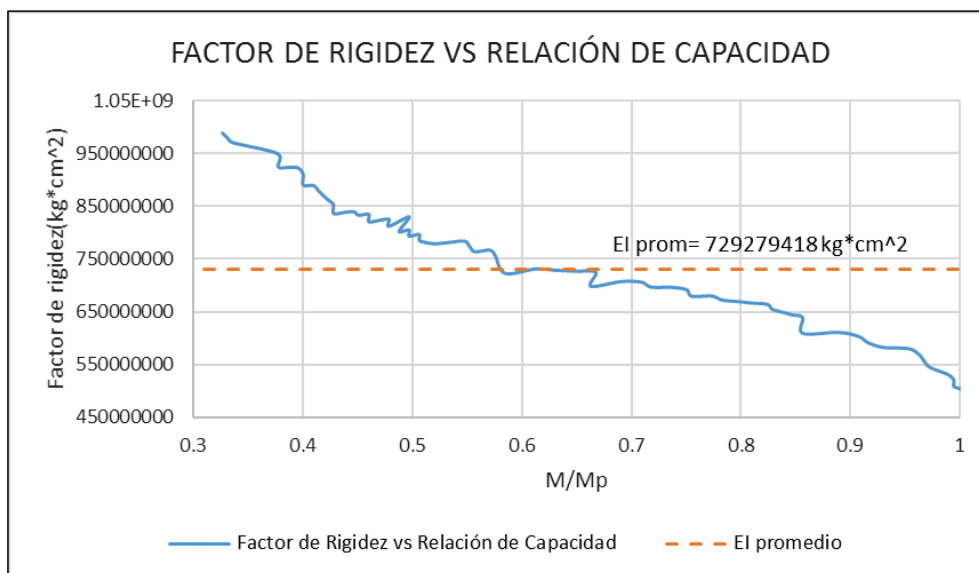
$$D = \frac{0.0598}{0.0064}$$

$$D = 9.34$$

\therefore La viga tiene una Ductilidad Alta; $D > 7.85$

- Curva Factor de Rigidez vs Relación de Capacidad

GRÁFICO 4.11 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD, ENSAYO 2



Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.11 se puede observar que el factor de Rigidez disminuye conforme la carga aumenta su valor, debido a problemas ocasionados en el ala superior de la viga metálica que comienza a pandearse y hace que el sistema compuesto pierda rigidez.

4.4.3 ENSAYO 3

4.4.3.1 Descripción

- Viga I 120x3x60x3
- Espesor del firme o loseta = 5 cm
- Conectores de corte = L25x3@60cm
- $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Del análisis de la viga.

- Momento plástico teórico viga sola= $0.83 T^*m$; Sección 3.2.2.2.4
- Momento elástico teórico viga sola= $0.72 T^*m$; Sección 3.2.2.3.1

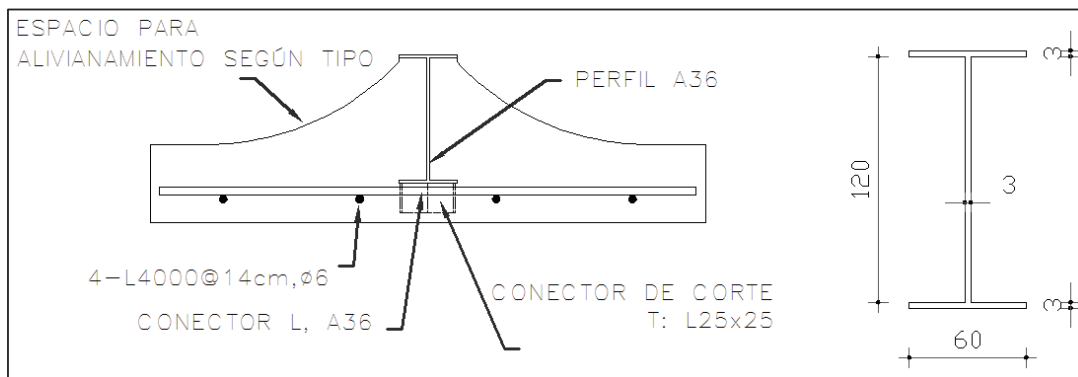
Del análisis de la viga compuesta.

- Momento plástico teórico viga compuesta = $1.51 T^*m$; Sección 3.2.3.1.1
- Momento elástico teórico viga compuesta = $1.02 T^*m$; Sección 3.2.3.2.1

Tabla 3.38

- Carga plástica teórica = $2.38 T$

FIGURA 4.3 ESQUEMA DE CARGA, ENSAYO 3



Autor: Wilson Basantes

FOTOGRAFÍA 4.16 PRIMERAS FISURAS



Autor: Wilson Basantes

Para el respectivo ensayo se plantea cargar la losa hasta su respectiva falla, se realiza 4 ciclos de carga y descarga. Las primeras fisuras se presentaban a una carga de 1.50 T y fueron exclusivas a flexión.

Se prosigue con la aplicación de la carga hasta que la losa tenga fisuras pronunciadas o colapse, en la zona donde se aplica la carga se producen las grietas más pronunciadas, estas grietas tienen una inclinación aproximada de 45° debido a los esfuerzos cortantes.

FOTOGRAFÍA 4.17 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 3



Autor: Wilson Basantes

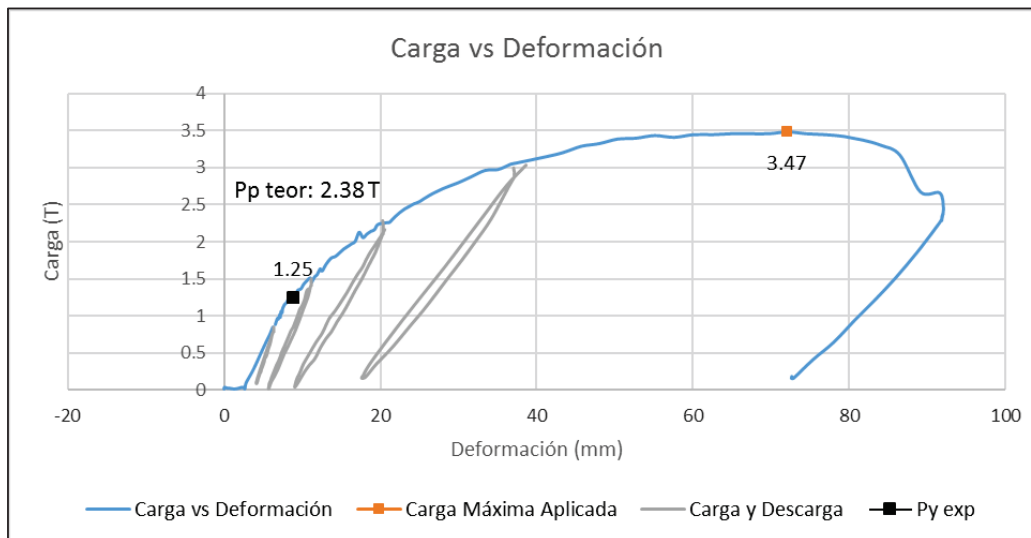
En el respectivo ensayo la viga sufre deformaciones en el patín sometido a compresión, debido a que el hormigón no contribuye en este efecto ya que se realiza la comprobación a momento negativo.

El alma también sufre pequeñas deformaciones, y esto es debido al reacomodo de los elementos debido a la acción de carga y descarga realizada por el gato hidráulico.

4.4.3.2 Resultados

- Carga vs Deformación

GRÁFICO 4.12 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN , ENSAYO 3



Autor: Wilson Basantes

La carga de plastificación teórica es de 2.38T, pero en la Gráfica 4.12 se puede observar que la sección compuesta tiene un comportamiento lineal hasta un valor de 1.25 T, a partir de ahí la sección comienza a plastificarse, posteriormente el ensayo se lo realiza hasta tener una carga aplicada de 3.47 T, instante en el cual se deja de aplicar carga, por lo que se puede observar que la sección sobrepasa la carga de plastificación teórica, pero el patín superior presenta daños por pandeo local.

- Deformaciones teóricas vs reales

Se tiene que las deformaciones teóricas son menores a las reales en el rango inelástico, esto es debido a que existen corrimientos entre la viga, bovedilla y la loseta de hormigón.

TABLA 4.3 DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 3

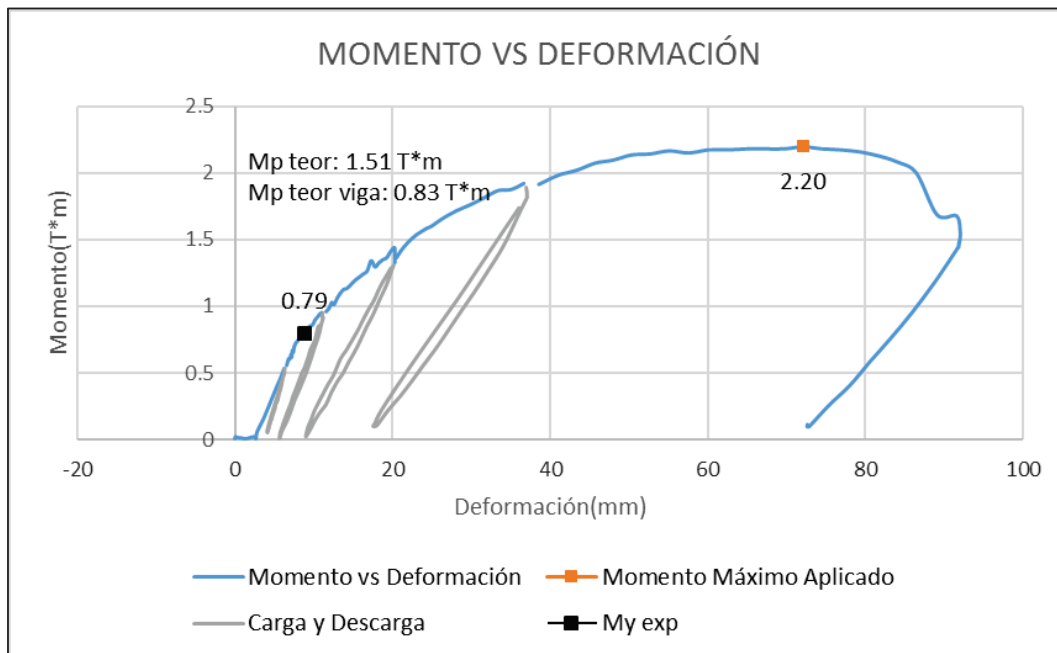
P (kg)	δ teori.	δ real
736.04	5.15	8.81
1122.10	7.87	7.60
2002.85	14.04	16.79
2919.67	20.46	37.09

3402.26	23.85	57.63
---------	-------	-------

Autor: Wilson Basantes

- Curva Momento vs deformación

GRÁFICO 4.13 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 3

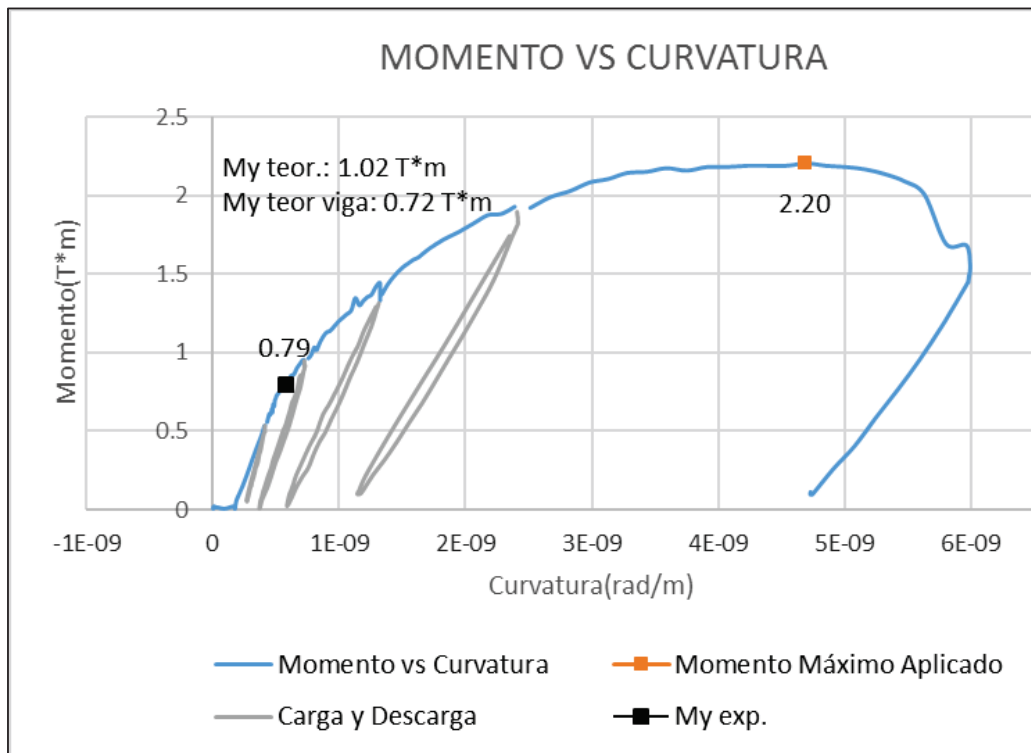


Autor: Wilson Basantes

El momento de plastificación teórico de la sección compuesta es de 1.51 T*m, el momento plástico de la viga sola es de 0.83 T*m, en la Gráfica 4.13 se puede observar un comportamiento lineal de la viga compuesta hasta un valor de 0.79 T*m; a partir de allí la viga comienza a fallar especialmente en el patín superior, pese a eso la viga sigue trabajando hasta un momento de 2.20 T*m. El momento de plastificación teórico de la sección compuesta alcanza a desarrollarse, pero el patín superior presenta problemas por pandeo local.

- Curva Momento vs Curvatura

GRÁFICO 4.14 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 3

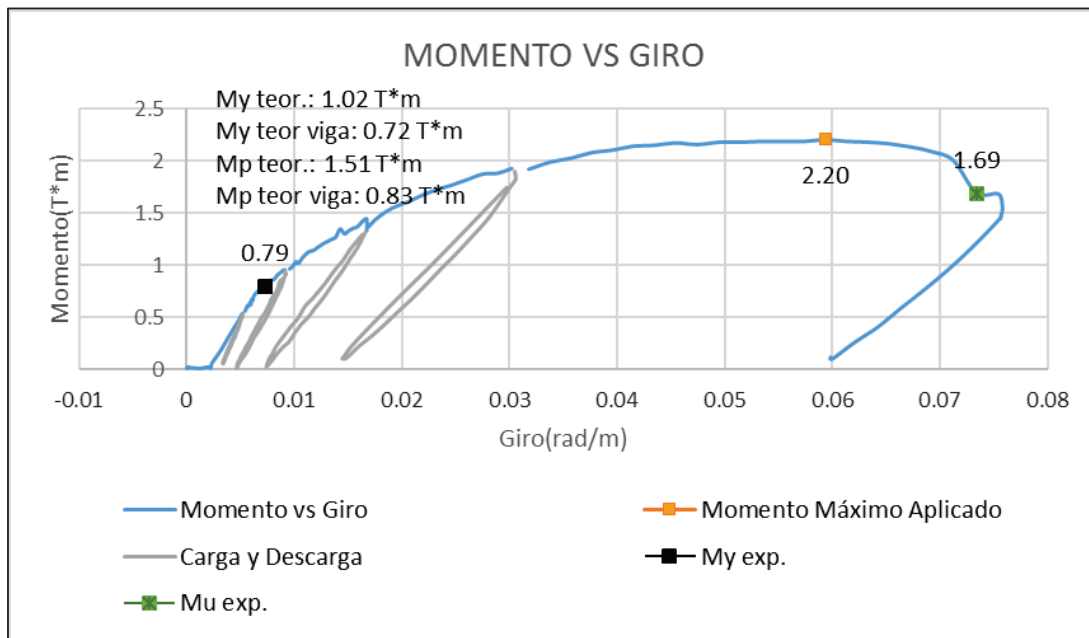


Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.14, se puede observar un comportamiento elástico hasta un valor de momento de 0.79 T*m, se tiene que el momento elástico de viga sola es de 0.72 T*m, el cual es muy cercano. El momento elástico de la viga compuesta es de 1.02 T*m; el cual llega a desarrollarse, pero presenta pandeo local en el patín superior.

- Curva Momento vs Giro

GRÁFICO 4.15 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 3



Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.15 se procede a obtener la Ductilidad de la viga, a partir de la siguiente expresión **4.2**.

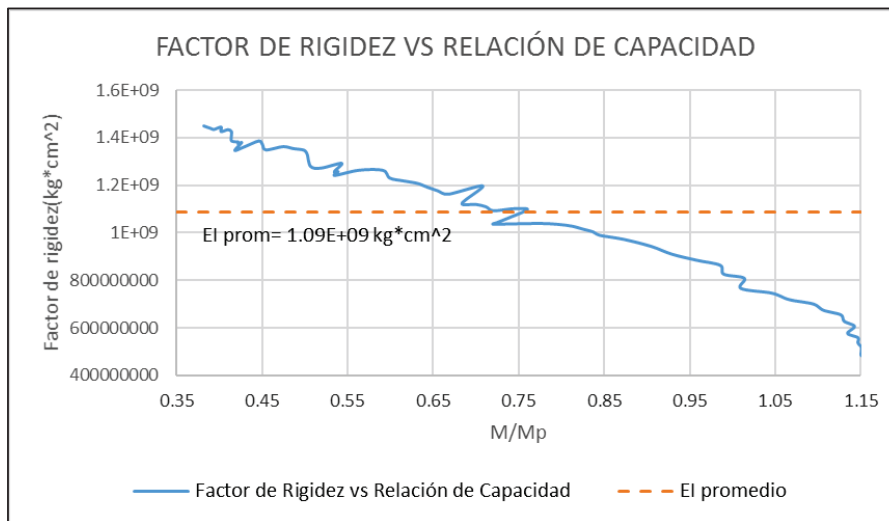
$$D = \frac{0.0735}{0.0073}$$

$$D = 10.09$$

\therefore La viga tiene una Ductilidad Alta; $D > 7.85$

- Curva Factor de Rigidez vs Relación de Capacidad

GRÁFICO 4.16 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD,
 ENSAYO 3

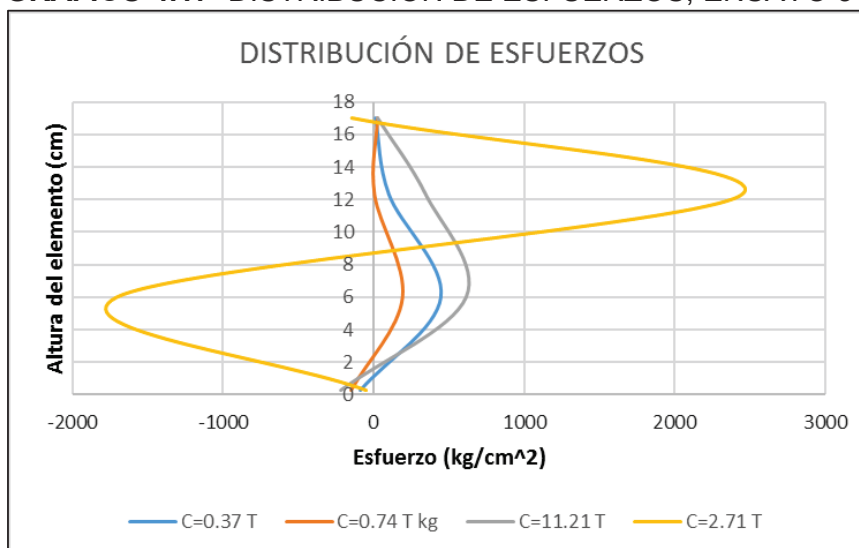


Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.16 se puede observar que el factor de Rigidez disminuye conforme la carga aumenta su valor, debido a problemas ocasionados en el ala superior de la viga metálica que comienza a pandearse y hace que el sistema compuesto pierda rigidez.

- Distribución de esfuerzos en sección transversal

GRÁFICO 4.17 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 3



Autor: Wilson Basantes

Para medir una distribución real de esfuerzos se usa strain gages, que están colocados en la sección transversal de la sección compuesta. El Ensayo se lo

realiza a momento negativo, por lo que las fibras externas de la viga de acero, Ver Figura 4.3, se comprimen y la de hormigón se traccionan. En el Gráfico 4.17 se representa la distribución de esfuerzos bajo ciertas cargas, la viga metálica comienza a plastificarse a una carga de 2.71 T, pero el Strain gage en el extremo superior presenta resultados incoherentes.

4.4.4 ENSAYO 4

4.4.4.1 Descripción

- Viga I 120x2x60x3
- Espesor del firme o loseta= 5 cm
- Conectores de corte L25x3@60 cm
- $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Del análisis de la viga.

- Momento plástico teórico viga sola= 0.74 T*m; Sección 3.2.2.2.4
- Momento elástico teórico viga sola= 0.66 T*m; Sección 3.2.2.3.1

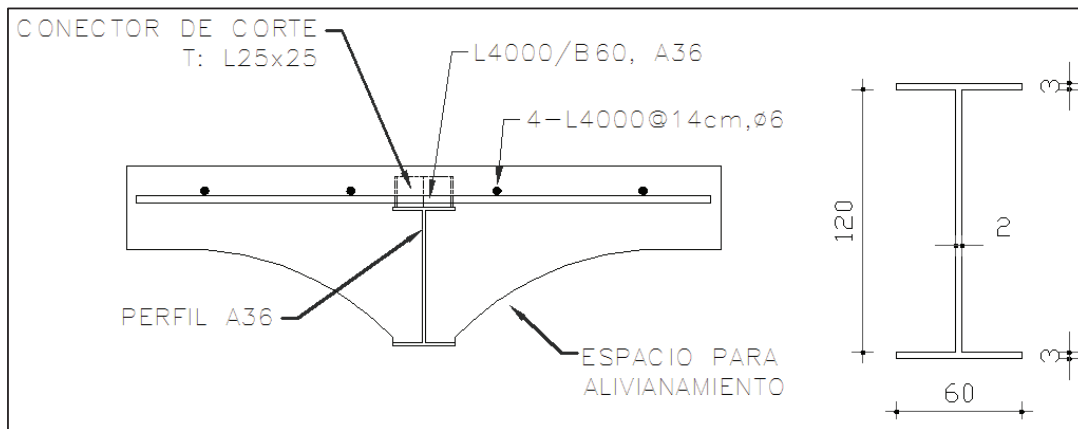
Del análisis de la viga compuesta.

- Momento plástico teórico viga compuesta = 1.6 T*m; Sección 3.2.3.1.1
- Momento elástico teórico viga compuesta = 1.12 T*m; Sección 3.2.3.2.1

Tabla 3.38

- Carga plástica teórica = 2.53 T

FIGURA 4.4 ESQUEMA DE CARGA, ENSAYO 4



Autor: Wilson Basantes

FOTOGRAFÍA 4.18 PRIMERAS FISURAS



Autor: Wilson Basantes

Para el respectivo ensayo se plantea cargar la losa hasta su respectiva falla, se realiza 4 ciclos de carga y descarga. Las primeras fisuras se presentaban a una carga de 1.52 T y fueron exclusivas a flexión.

Se prosigue con la aplicación de la carga hasta que la losa tenga fisuras pronunciadas o colapse, en la zona donde se aplica la carga se producen las grietas

más pronunciadas, estas grietas tienen una inclinación aproximada de 45° debido a los esfuerzos cortantes.

FOTOGRAFÍA 4.19 CARGA APRECIADA EN ENSAYO, LOSA 4



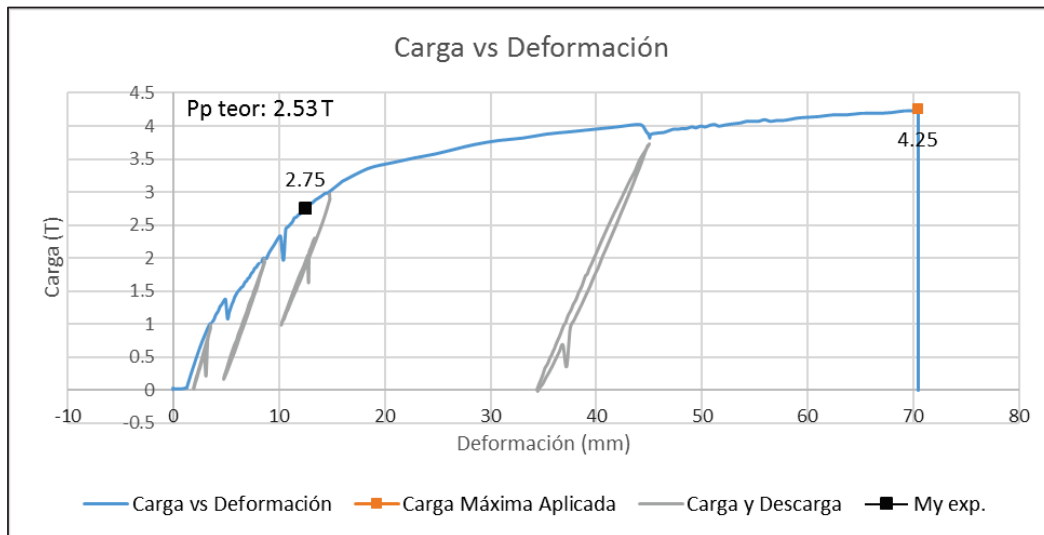
Autor: Wilson Basantes

En el respectivo ensayo, la viga sufre deformaciones en el patín sometido a compresión debido a que el hormigón no contribuye en este efecto, ya que se realiza la comprobación a momento negativo.

El alma también sufre pequeñas deformaciones, y esto es debido al reacomodo de los elementos debido a la acción de carga y descarga realizada por el gato hidráulico.

4.4.2.2 Resultados

- Carga vs Deformación

GRÁFICO 4.18 CURVA CARGA - DEFORMACIÓN, ENSAYO 4

Autor: Wilson Basantes

La carga de plastificación teórica es de 2.53 T, pero en la Gráfica 4.18 se puede observar que la sección compuesta tiene un comportamiento elástico hasta un valor de 2.75 T, a partir de ahí la sección comienza a plastificarse, posteriormente el ensayo se lo realiza hasta tener una carga aplicada de 4.25 T, instante en el cual se deja de aplicar carga, por lo que se puede observar que la sección sobrepasa la carga de plastificación teórica, pero la capa de hormigón presenta pequeñas fisuras por compresión en el hormigón.

- Deformaciones teóricas vs reales

Se tiene que las deformaciones teóricas son mayores a las reales en el rango elástico, pero en su rango inelástico son muy similares. Se puede evidenciar que los datos se aproximan cuando la losa en ensayada a momento positivo.

TABLA 4.4 DEFORMACIONES TEÓRICAS VS REALES, ENSAYO 4

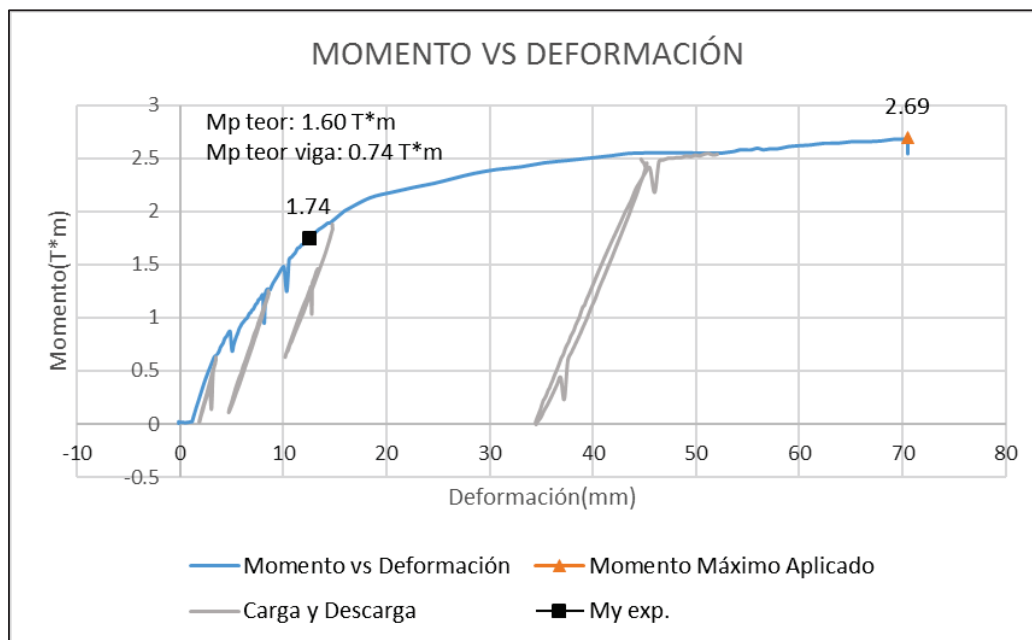
P (kg)	δ teori.	δ real
663.75	4.65	2.52
1170.62	8.21	4.10
1918.85	13.45	8.06

2655.14	18.61	11.81
3512.03	24.61	22.73

Autor: Wilson Basantes

- Curva Momento vs deformación

GRÁFICO 4.19 CURVA MOMENTO VS DEFORMACIÓN, ENSAYO 4

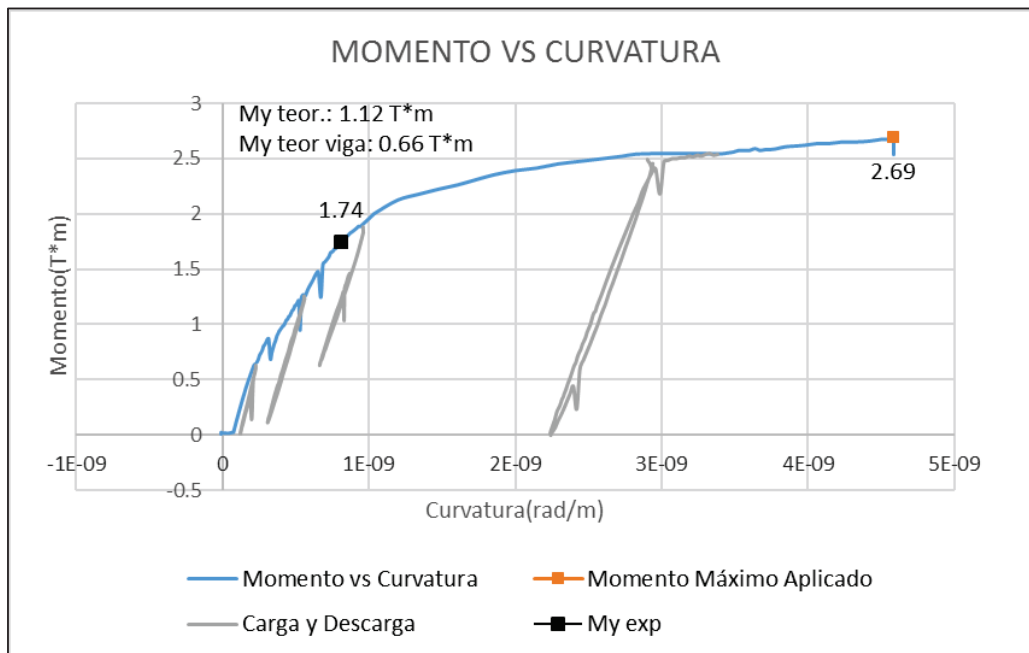


Autor: Wilson Basantes

El momento de plastificación teórico de la sección compuesta es de $1.60 T^*m$, el momento plástico de la viga sola es de $0.74 T^*m$, en la Gráfica 4.19 se puede observar el comportamiento real la viga compuesta y esta tiene un comportamiento elástico hasta un valor de $1.74 T^*m$; a partir de allí la viga comienza a fallar especialmente en la capa de compresión del hormigón, pese a eso la viga sigue trabajando hasta un momento de $2.69 T^*m$, alcanzando a desarrollarse el momento de plastificación teórico de la sección compuesta, pero presenta pequeñas fisuras.

- Curva Momento vs Curvatura

GRÁFICO 4.20 CURVA MOMENTO VS CURVATURA, ENSAYO 4

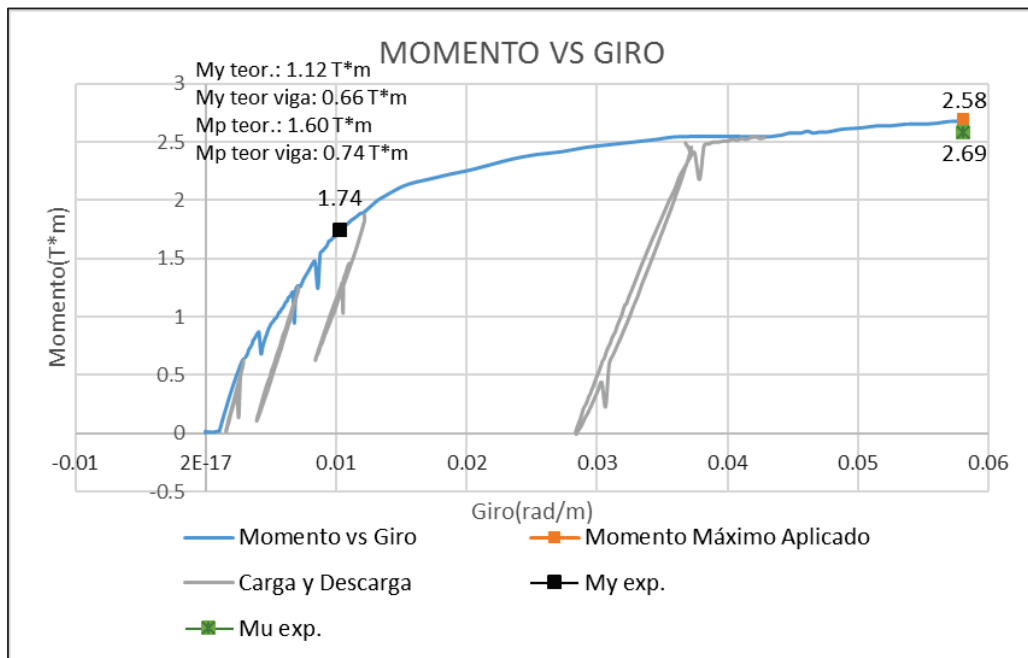


Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.20, se puede observar un comportamiento elástico hasta un valor de momento de 1.74 T*m, se tiene que el momento elástico de viga sola es de 0.66 T*m, el cual llega a desarrollarse. El momento elástico de la viga compuesta es de 1.12 T*m; se desarrolla, pero comienzan a existir pequeñas fisuras en la capa de hormigón especialmente por agrietamiento.

- Curva Momento vs Giro

GRÁFICO 4.21 CURVA MOMENTO VS GIRO, ENSAYO 4



Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.21 se procede a obtener la Ductilidad de la viga, a partir de la siguiente expresión **4.2**.

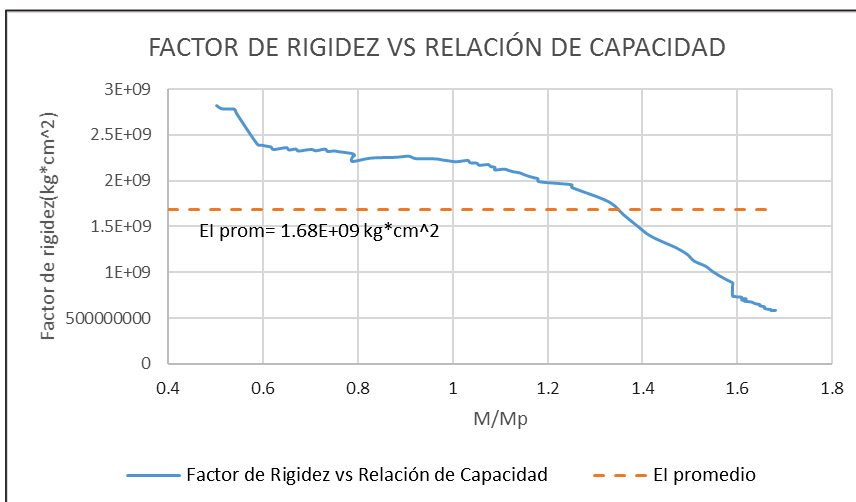
$$D = \frac{0.0581}{0.0037}$$

$$D = 15.61$$

\therefore La viga tiene una Ductilidad Alta; $D > 7.85$

- Curva Factor de Rigidez vs Relación de Capacidad

GRÁFICO 4.22 FACTOR DE RIGIDEZ VS RELACIÓN DE CAPACIDAD,
 ENSAYO 4

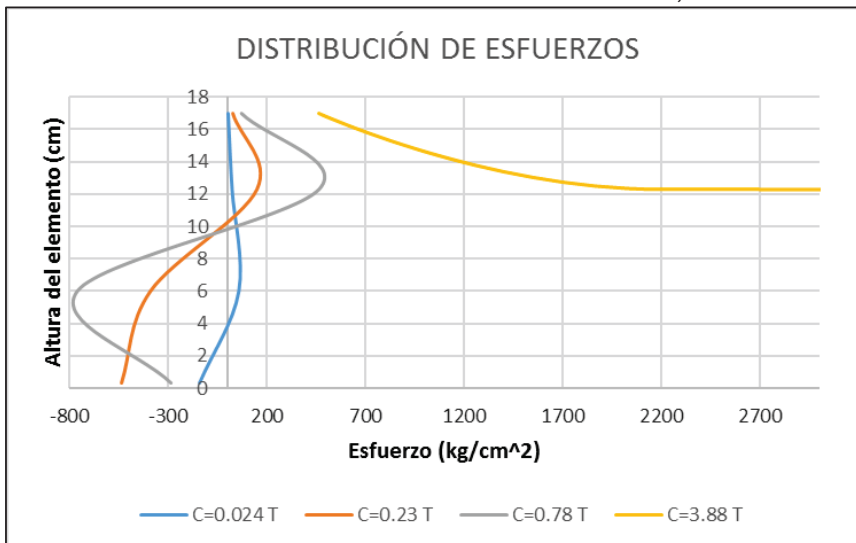


Autor: Wilson Basantes

De la Gráfica 4.22 se puede observar que el factor de Rigidez disminuye conforme la carga aumenta su valor, debido a problemas ocasionados por el agrietamiento en el hormigón, ocasionando que el sistema compuesto pierda rigidez.

- Distribución de esfuerzos en sección transversal

GRÁFICO 4.23 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS, ENSAYO 4



Autor: Wilson Basantes

Para medir una distribución real de esfuerzos se usa strain gages, que están colocados en la sección transversal de la sección compuesta. El Ensayo se lo realiza a momento positivo, por lo que las fibras externas de la viga de acero, Ver

Figura 4.4, se traccionan y la de hormigón se comprimen. En el Gráfico 4.23 se representa la distribución de esfuerzos bajo ciertas cargas, la viga metálica comienza a plastificarse a una carga de 3.88 T, pero estos resultados son un poco inconsistentes.

4.4.5 ENSAYO BOVEDILLA

En la presente investigación, las bovedillas cumplen un papel importante en la resistencia del sistema compuesto, ya que sirven para aligerar el sistema compuesto y a su vez soportar las cargas puntuales que se pueden presentar.

FOTOGRAFÍA 4.20 ENSAYO DE BOVEDILLA



Autor: Wilson Basantes

Una vez realizado el ensayo a carga, las bovedillas alcanzan una resistencia de 53.5 kg/cm²

Con lo cual, se puede concluir que son lo suficientemente resistentes para ser utilizados como alivianamientos y soporte de carga puntual.

4.5 RESUMEN DE RESULTADOS

TABLA 4.5 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

	LOSA 1	LOSA 2	LOSA 3	LOSA 4	Uni.

			Momento Negativo	Momento Negativo	Momento Negativo	Momento Positivo	
Sección Compuesta	Momento plástico	$M_p=$	1.65	1.21	1.51	1.6	T*m
	Corte plástico	$V_p=$	2.61	1.91	2.38	2.53	T
	Momento elástico	$M_y=$	1.02	0.81	1.02	1.12	T*m
	Capacidad experimental	$M=$	0.55	0.50	0.79	1.74	T*m
	Capacidad de carga experimental	$V=$	0.87	0.78	1.25	2.75	T
	Inercia viga transformada $n=10.22$	$I_t=$	421.1	316.9	368.6	603.74	cm ⁴
	Inercia Exp. promedio	$I_{prom}=$	312.17	356.96	532.98	826.65	cm ⁴
Viga	Momento plástico viga sola=	$M_p=$	0.65	0.56	0.83	0.74	T*m
	Momento elástico viga sola	$M_y=$	0.54	0.48	0.72	0.66	T*m
	Inercia viga sola	$I=$	133.99	119.59	179.39	164.99	cm ⁴

Autor: Wilson Basantes

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Para las secciones compuestas por viguetas y bovedillas, ensayos 1,2, y 3 a momento negativo, se tiene que las secciones presentaron pandeo de la viga en el ala superior.
- La capacidad de carga o capacidad de corte de los ensayos 1,2 y 3 no alcanzan su plastificación total debido a la presencia de pandeo local en el ala superior de la viga. En el ensayo 4 alcanza su capacidad de carga teórica, pero comienzan a aparecer pequeñas fisuras por agrietamiento en el hormigón.
- Las fibras más comprimidas de las vigas 1 y 3 alcanzaron el límite elástico del acero A36, pero en caso de la viga 2 no se lo puede determinar debido a una falla en la medición de los strain gages. En el caso del ensayo 4, se tiene que las fibras más comprimidas del perfil de acero son ayudadas por la capa de compresión y las bovedillas.
- La capacidad a flexión de la sección compuesta del ensayo 4, es mayor a la capacidad a flexión de la viga sola, esto demuestra que la inclusión de las bovedillas, la capa de compresión y la malla de temperatura incrementa la resistencia a pandeo lateral. También se puede observar que las vigas metálicas sometidas a ensayo por momento negativo, los ensayos 1, 2 y 3 presentan pandeo local en las alas superiores, luego del valor teórico calculado, conllevando a que alcanzaron su capacidad de plastificación.
- En la estructura real ensayada, el comportamiento de la sección compuesta a momento positivo se incrementa con respecto a su comportamiento a momento negativo debido a que las vigas tienen conectores de corte los cuales se conectan con la capa de compresión, esto se comprueba observando los ensayos 3 y 4 que son muy similares, y en los cuales

tenemos los siguientes resultados para el ensayo 3 a momento negativo es de 1.25 T., en el ensayo 4 a momento positivo es de 2.75 T., el rango de plastificación del ensayo 3 es desde 1.25 T. hasta 3.47T. y del ensayo 4 es de desde 2.75 T. hasta 4.25 T. Por lo tanto con la capa de compresión la losa tiene un % mayor de resistencia.

- Los conectores tipo L (ángulos) utilizados, ayudaron a disminuir los efectos a pandeo local en el ala superior, debido a la correcta unión entre las vigas y los ángulos tipo L.
- Los ciclos de carga y descarga sobre la sección compuesta son de vital importancia en la experimentación, debido que así se logra representar un historial de cargas que se puede presentar en una edificación real durante su vida útil.
- Las hipótesis y fórmulas adoptadas para el presente ensayo, se las puede considerar como aceptables. En las gráficas obtenidas se puede observar un comportamiento del sistema compuesto variado, en el caso del ensayo a momento negativo de los ensayos 1, 2 y 3, no presentan valores favorables debido a que la viga metálica es la única que trabaja a compresión durante la flexión.
- En caso del ensayo a momento positivo, en el ensayo 4 se observa que presenta un buen comportamiento alcanzando su capacidad plástica teórica y tiene una gran capacidad de absorber energía, lo cual puede ser un margen de seguridad para la capacidad de la losa.
- Los ensayos propuestos en esta investigación, otorgan resultados satisfactorios para proseguir con futuras investigaciones, ya que el comportamiento presentado por las secciones compuestas con bovedillas y viguetas metálicas muestran valores satisfactorios para momento positivo.

- Entre las ventajas de estas losas se tienen la rapidez y facilidad de construcción, no requieren una mano de obra especializada y no necesitan de ningún encofrado ya que se utilizan las bovedillas de hormigón.
- Otra ventaja está en que las viguetas metálicas tienen menos peso que las viguetas de hormigón las cuales son usuales en sistemas de viguetas y bovedillas, por lo tanto se tiene mayor facilidad de trabajo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda colocar los strain gauges en diferentes puntos a lo largo de la sección longitudinal, como en los apoyos ya que aquí es donde generalmente fallan.
- Es recomendable colocar dos o más strain gauges en los mismos puntos, debido a que en ocasiones estas pueden fallar y otorgar resultados erróneos.
- El LDVT debe estar ubicado en la superficie de la losa, y no en el brazo del gato hidráulico ya que no demuestran la deformación real de estas.
- Se recomienda utilizar un espesor de la loseta o firme de hormigón, con dimensiones menores, dado que se debe conocer la resistencia del elemento compuesto utilizando las bovedillas, a su vez incrementa el peso general del sistema y así aumenta el costo de la fabricación.
- Es recomendable comprobar con diferentes formas para los conectores de corte, como secciones tipo arco u otro.
- Es de vital importancia, utilizar la malla electrosoldada dada que esta evita problemas de agrietamiento en el hormigón y las influencias de la temperatura y el clima.
- Se recomienda realizar por lo menos 3 probetas para el mismo ensayo, dado que a veces los resultados no son coherentes y también se puede corroborar los resultados.
- Si es posible, para futuras investigaciones, es necesario utilizar vigas compactas y no compactas para conocer mejor su comportamiento en este sistema compuesto.

- Se recomienda utilizar bovedillas de diferente material de construcción y de diferente forma en su sección transversal.
- Se recomienda continuar con el estudio de este sistema, con la modelación experimental a momentos positivos ya que los resultados son satisfactorios, pero se requiere de un mayor número de pruebas para poder dar un veredicto.

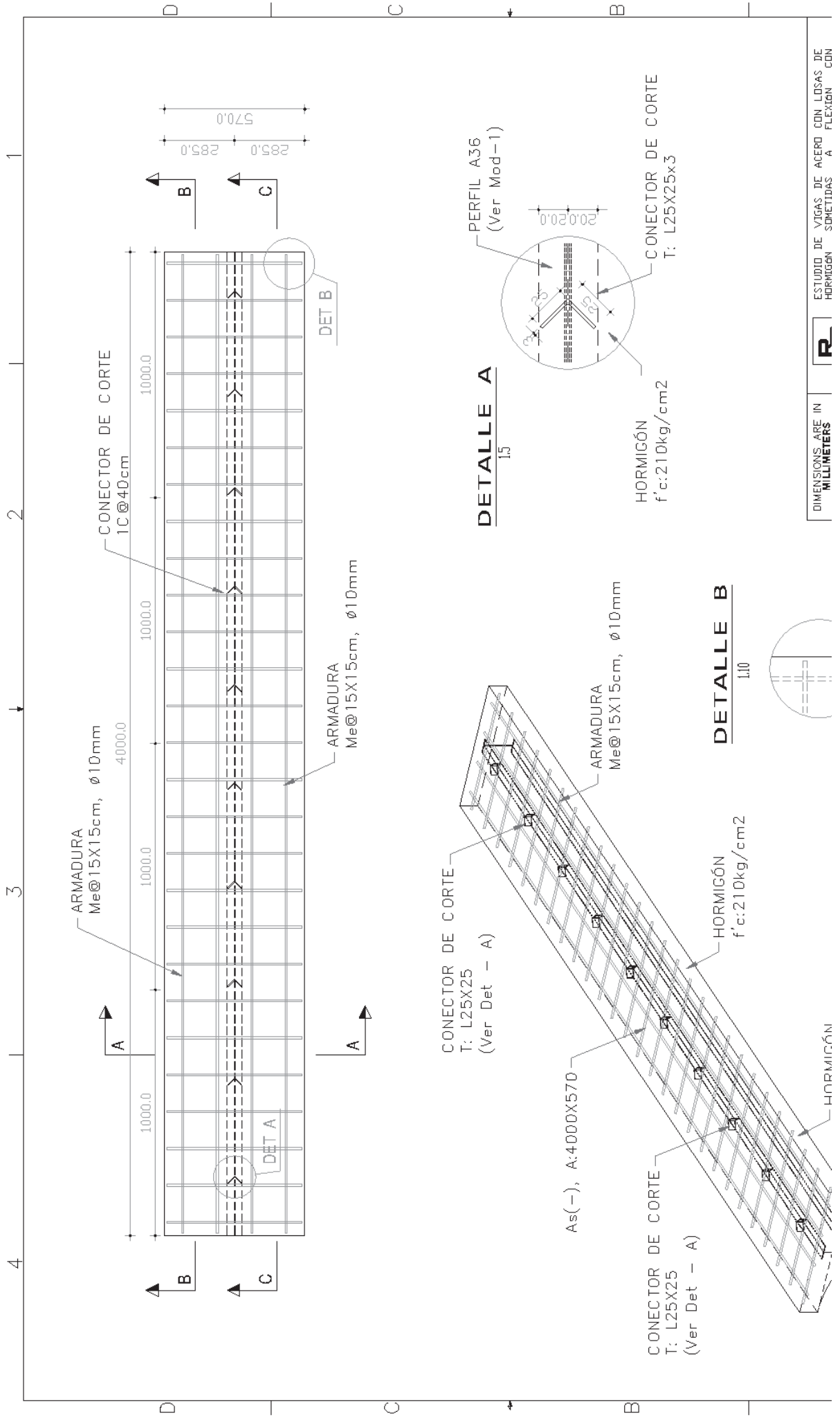
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

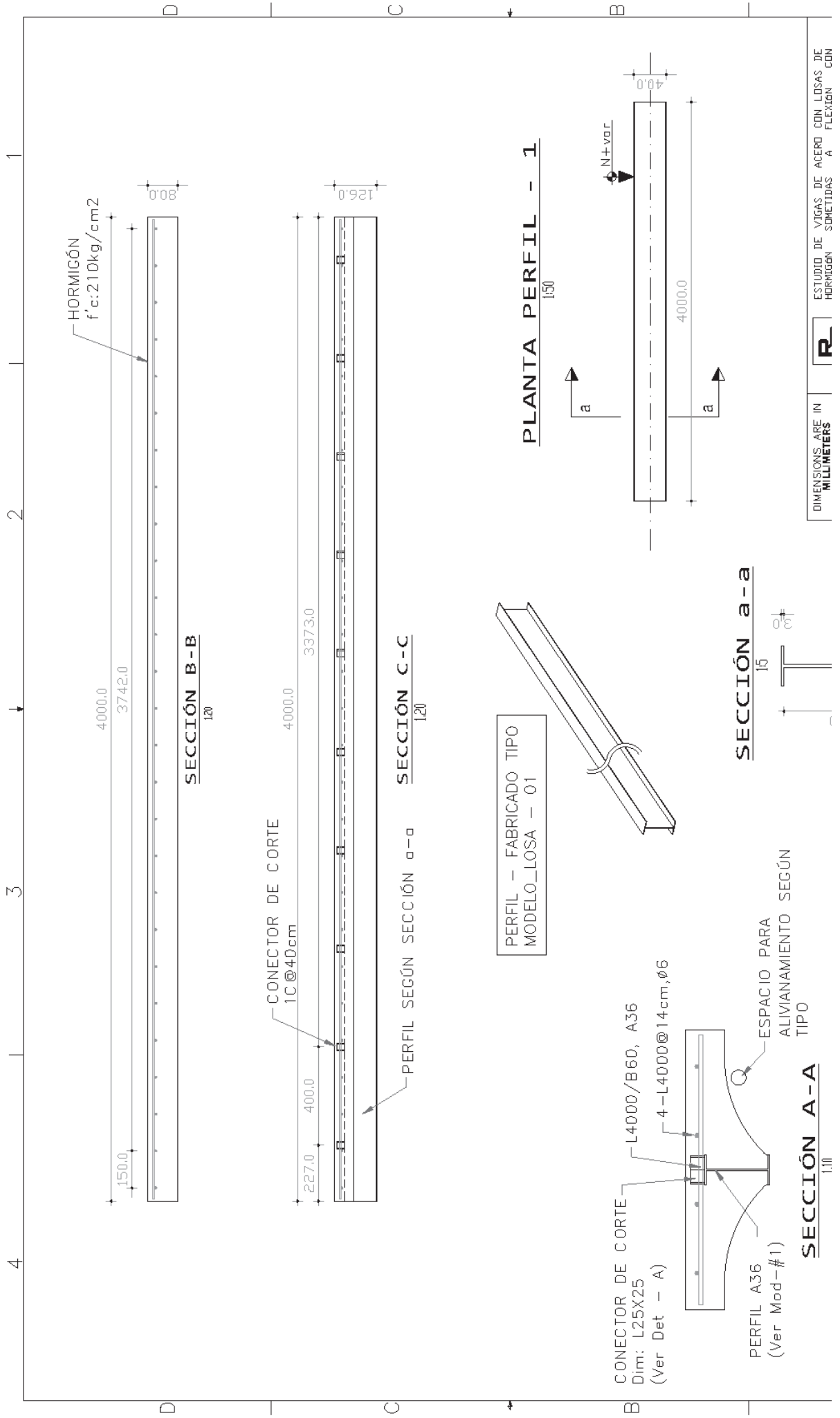
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Specification for Estructural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10*. Chicago.
- Asociación Nacional de Industriales de Vigüeta Pretensada (ANIVIP). (2008). *Manual de Diseño Estructural de Sistemas de Piso a Base de Vigüeta Pretensada y Bovedilla*. México.
- Asociación Nacional de Industriales de Vigüeta Pretensada (ANIVIP). (2008). *Sistema de Vigüeta y bovedilla: Vigüeta*. México.
- Asociación Nacional de Transformadores de Acero A.C., Comisión Nacional de Vivienda, Secretaría de Educación Pública, Instituto Mexiquense de la vivienda Social, Secretaría de Educación Pública. (2008). *Construcción de Techos Sistema Vigüeta y Bovedilla: Autoconstrucción*. México.
- Balaca, A. P. (1986, Tomo 1). *Hormigón armado*. Barcelona: Editorial Reverte.
- Bernal, J. (2005). *Hormigón Armado: Losas, 1er edición*. Buenos Aires: Editorial Nobuko.
- Cházaro, Octavio Alvarez - Carlos. (2010). *Construcción compuesta acero-concreto*. México: www.gerdaucorsa.com.mx.
- European Committee for Standardization (CEN). (2004). *Eurocode 4: Design of composite Steel and Concrete Structures – Parte 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussels.
- García, G. G. (1995). *Procedimientos Constructivos y Costos de Losa Tradicional, vigüeta y bovedilla y losa prefabricada sistemas constructivos sobre (S.C.S) para vivienda de interés social*. México D.F.: Editorial Limusa.
- Graus, R. (2005). *La cubierta plana, un paseo por su historia*. Barcelona: UPC.
- Heredia, O. d. (2004). *Diseño de Estructuras de Acero Construcción Compuesta*. México D.F.: Fundación ICA.
- Institute American Concrete. (2011). *Requisito de Reglamento para Concreto Estructural*. USA.
- López, L. G. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción, (Posgrado)*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- McCormac, J. (2012). *Structural Steel Design*. Boston: Pearson.
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. Santafé de Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.
- Olalla, J. F. (2014). *Ensayo experimental a momento negativo de losas tipo deck en dirección perpendicular a los valles con diferente cuantía de acero de refuerzo, (Tesis de Pregrado)*. Quito, Ecuador.: Escuela Politécnica Nacional.
- Villora, A. G. (2011). *Cálculo elástico y cálculo plástico de vigas de acero solicitadas a flexión, (Tesis de Pregrado)*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Vinueza, P. R.-J. (2015). *Estudio de vigas de Acero con losas de hormigón sometidas a flexión con momentos positivos mediante el ensayo de elementos y modelación teórica, (Tesis de Pregrado)*. Quito.: Escuela Politécnica Nacional.

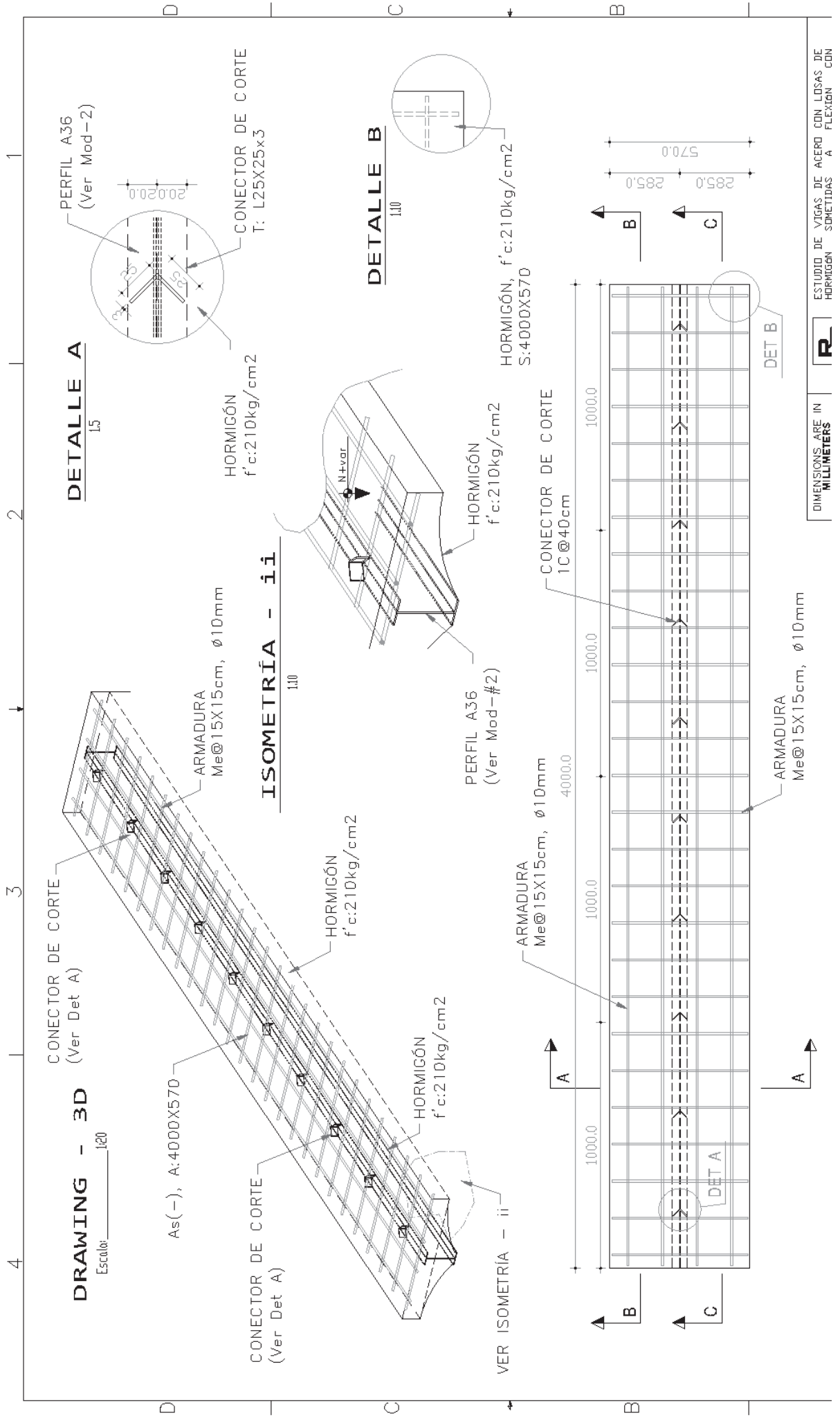
ANEXOS

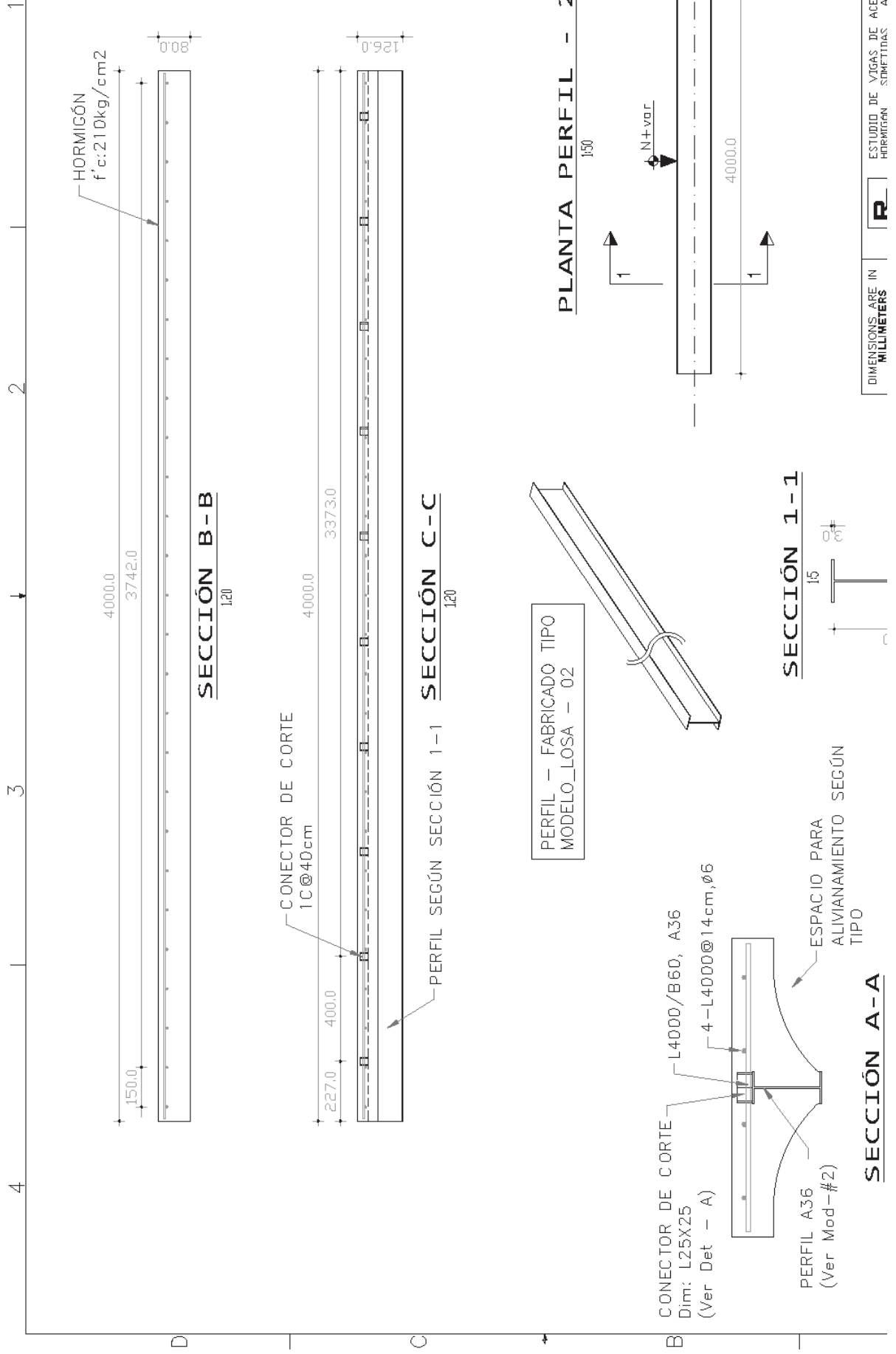
ANEXO N° 1
PLANOS AS BUILT – LOSA #1



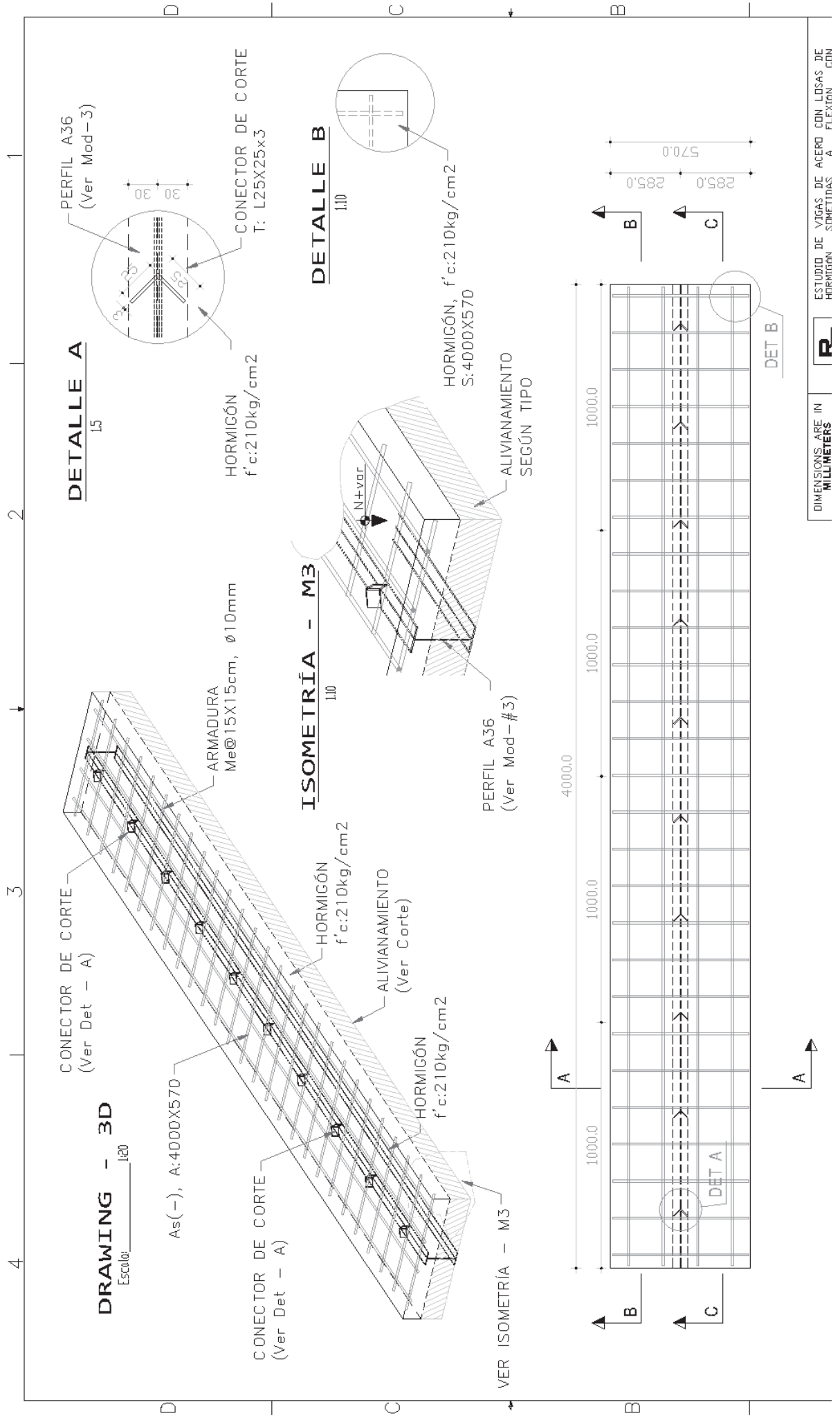


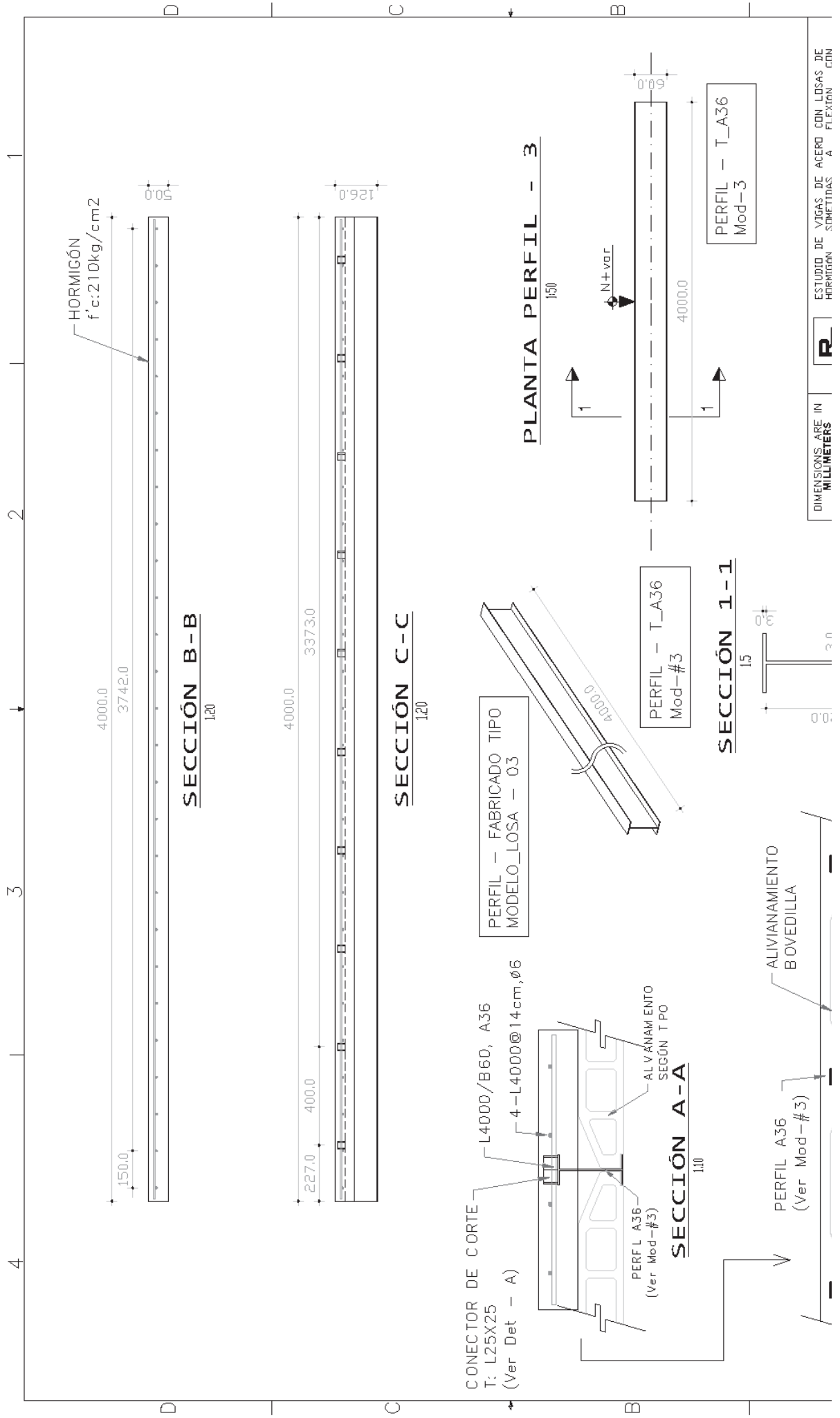
ANEXO N° 2
PLANOS AS BUILT – LOSA #2



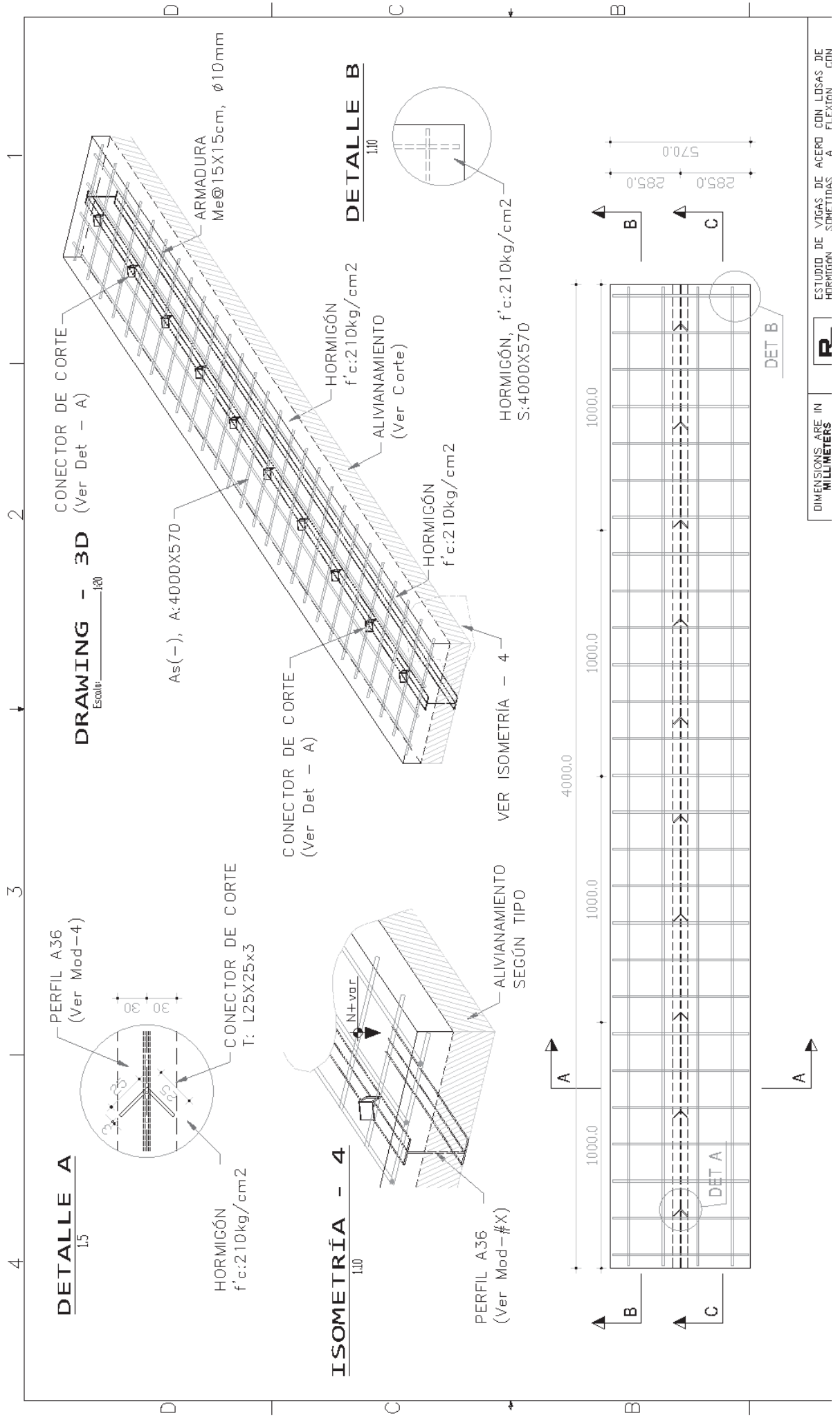


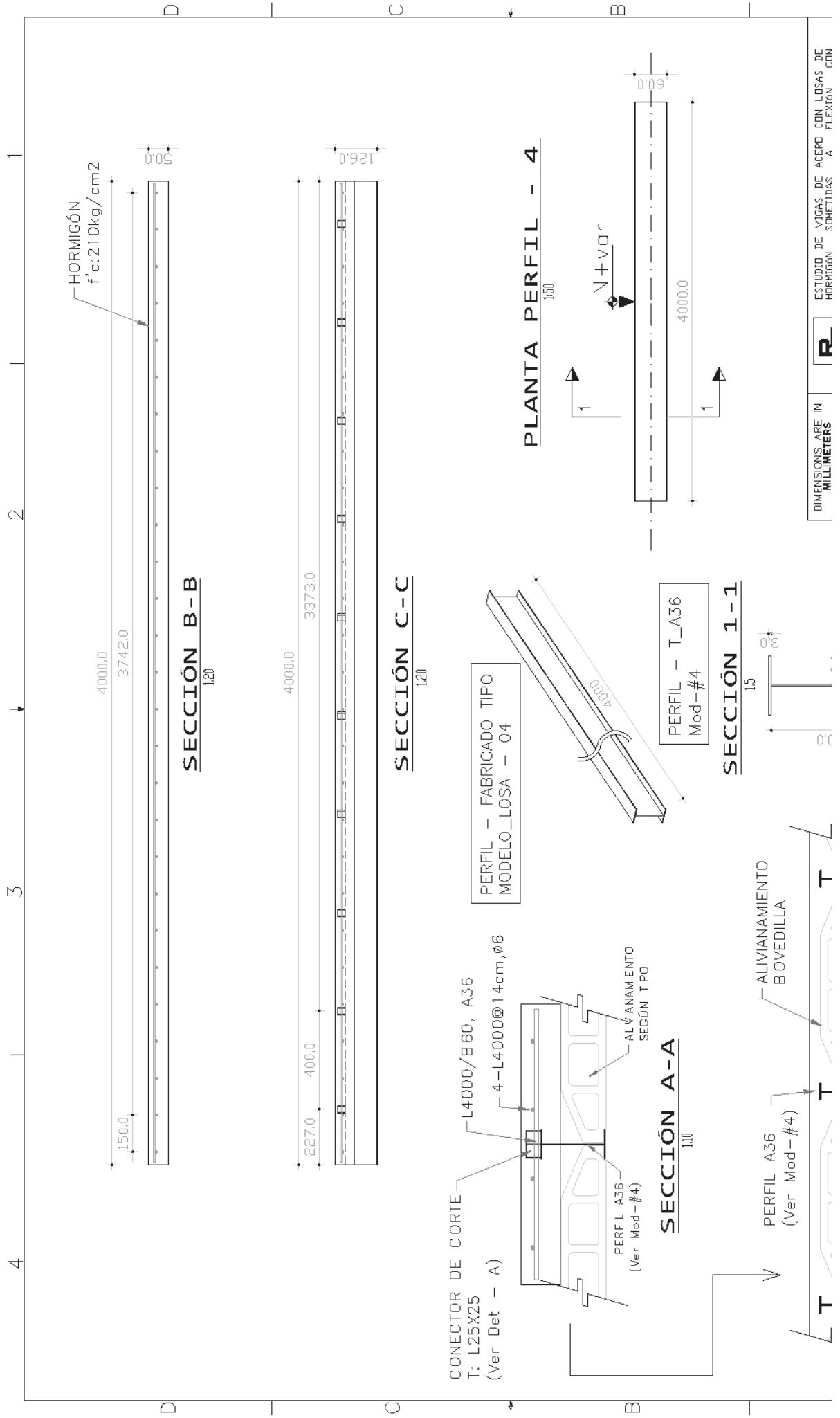
ANEXO N° 3
PLANOS AS BUILT – LOSA #3





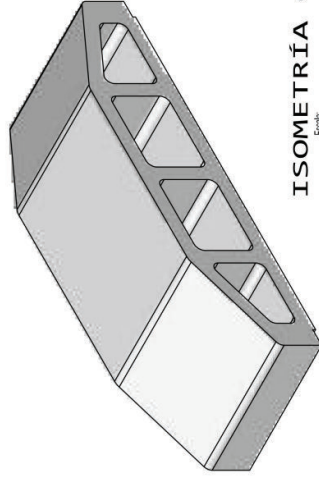
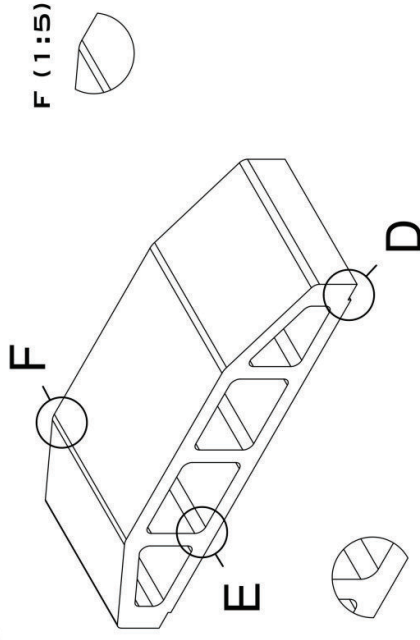
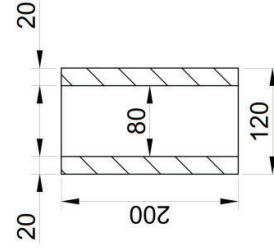
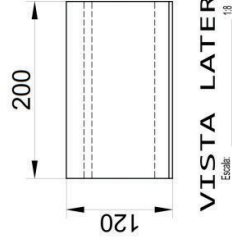
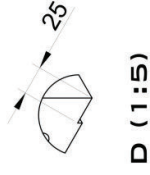
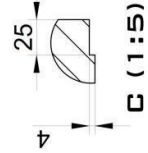
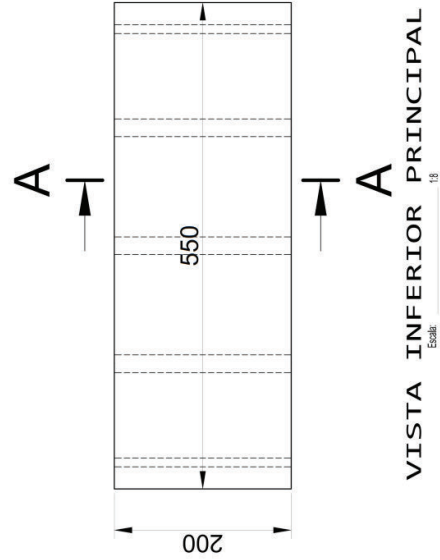
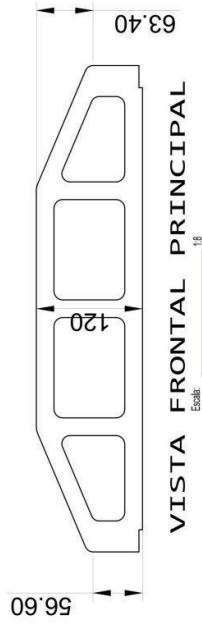
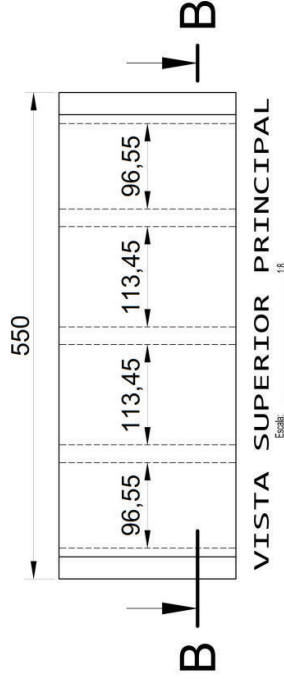
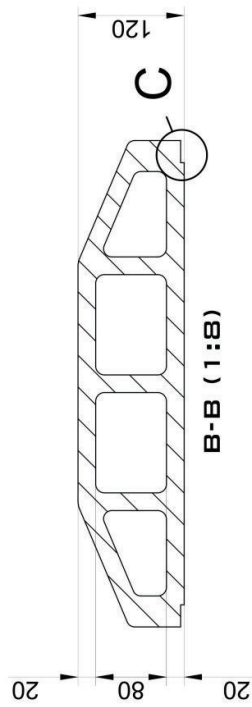
ANEXO N° 4
PLANOS AS BUILT – LOSA #4





ANEXO N° 5
PLANO AS BUILT – BOVEDILLA

AMPLIACIONES TIPO



ISOMETRÍA GENERAL

- LAS BOVEDILLAS SON DE HORMIGÓN GRANULADO CON UN MÓDULO DE FINURA DETERMINADO SEGÚN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN;
- EL PESO DE LAS BOVEDILLAS SON DE ALREDEDOR 8.5kg
- LA RESISTENCIA PROMEDIO NOMINAL AL FINAL DE LOS 28 DÍAS ES DE $f_{cm}=53.5\text{kg/cm}^2$

DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS [mm]

NAME:

Rodrigo Bosantes

DATE:

01/01/2017

RB

TITLE

AS-BUILT / BOVEDILLA

MATERIAL

A4

SCALE

1:1

Hormigón f_c : 210

ANEXO N° 6
ENSAYO DE LA BOVEDILLA



GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
MUNICIPALIDAD DE AMBATO
LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE BLOQUES

PROYECTO: Control de Resistencia Fábrica Santa Elena.

SECTOR: Pelleo.

SOLICITA: Fiscalizador

FECHA: 25 - enero - 2017

MUESTREO POR: Proveedor.

PROVEEDOR: Arq. Rodrigo Basantes

INF. 128 - LAB - OPM - 2017

ESPECIF. 25,0 Kg/cm²

EDAD: 28 Dias

Alt. Promed.= 8,0 cm

CONSTRUYE: Fábrica Santa Elena.

Medidas

12*55*20

MUESTRA #	1	2	6	7	8	9	10
ALTURA BLOQUE (cm)	20,00	20,00					
SITUACION	Mampostería						
AREA (cm ²)	480	480					
VOLUMEN (cm ³)	9600	9600					
CARGA (KN)	208,7	294,5					
FACTOR	1,000	1,000					
RESISTEN. (Kg/cm ²)	44,35	62,58					

RESIST. PROM. fcm= 53,5 Kg/cm²

OBSERVACIONES:

Ing. Oswaldo Manotoa
SERVIDOR PUBLICO 4

Costo ensayo \$ 11,06

Ing. Alejandro Moretta.
ADMINISTRADOR TALLERES Y LABORATORIO

FOTOGRAFÍA. ENSAYO DE BOVEDILLA



FOTOGRAFÍA. ENSAYO DE BOVEDILLA



ANEXO N° 7
MEMORIAS

FOTOGRAFÍA. BOVEDILLA - VISTA GENERAL



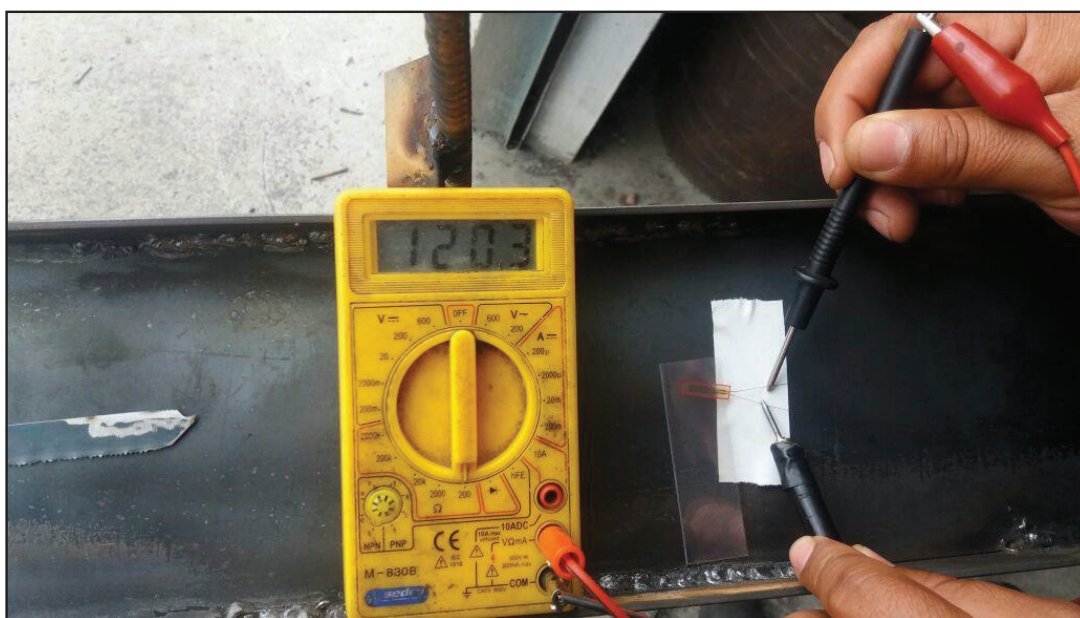
FOTOGRAFÍA. PREPARACIÓN Y CORTE ($r = \frac{1}{2}$) DE LAS BOVEDILLAS

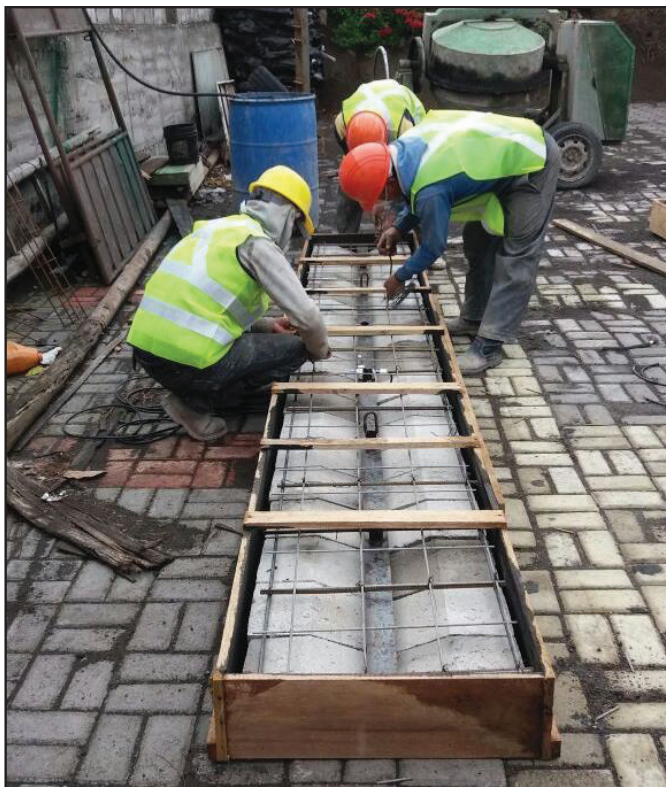


FOTOGRAFÍA. ENSAMBLE GENERAL DE VIGUETAS TIPO - I



FOTOGRAFÍA. COLOCACIÓN DE STRAIN GAUGES SEGÚN NORMAS Y COMPROBACIÓN ($R = 120\Omega$)



FOTOGRAFÍA. CONSTRUCCIÓN GENERAL DE MODELOS**FOTOGRAFÍA. VERTIDO DE HORMIGÓN, f_c SEGÚN REQUERIMIENTO**

FOTOGRAFÍA. PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA ENSAYO



FOTOGRAFÍA. PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA ENSAYO

