

## TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 ORÍGENES DE LAS ARMADURAS	4
3.2 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS	6
3.2.1 Nudo	6
3.2.2 Cordones	6
3.2.3 Riostras, diagonales o miembros del alma	6
3.3 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS	8
3.3.1 Fluencia y pandeo en los segmentos principales	8
3.3.2 Fuerza cortante en la celosía	9
3.3.3 Pandeo lateral con torsión	9
3.4 HIPÓTESIS DE DISEÑO	9
3.5 VIGUETAS EN CELOSÍA O DE ALMA ABIERTA	9
3.6 DISEÑO Y MANUFACTURA. HIPÓTESIS DE DISEÑO	10
3.6.1 Tracción	10
3.6.2 Compresión	11
3.6.3 Flexión	12
3.6.4 Flexo compresión	12
3.6.5 Máxima relación de esbeltez	13
3.7 DISEÑO DE LOS MIEMBROS	14
3.7.1 Cordones	14
3.7.2 Alma o celosía	14
3.7.3 Empalmes	15
3.7.4 Contraflecha	15
3.7.5 Pisos y paneles de cubierta	16
3.7.6 Deflexión	16
3.8 VIGAS EN CONSTRUCCIÓN COMPUESTA	16
3.8.1 Determinación del ancho efectivo	20
3.8.2 Transmisión de la fuerza de cortante	21
3.9 ESFUERZOS EN VIGAS COMPUESTAS	22
3.9.1 Comportamiento a flexión	22
3.9.2 Capacidad a momento de las secciones compuestas	28

3.9.3 Soporte lateral	32
3.9.4 Apuntalamiento	33
3.9.5 Refuerzo adicional en secciones compuestas	33
3.10 HIPÓTESIS PARA EL DISEÑO DE LA LOSA COMPUESTA	34
3.11 LOSAS COMPUESTAS CON CONECTORES DE CORTANTE	35
3.11.1 Resistencia de los conectores de cortante	36
3.12 ADHERENCIA Y LONGITUD DE DESARROLLO DEL ACERO	37
4. METODOLOGÍA	41
4.1 DIMENSIONES Y CANTIDAD DE LAS MUESTRAS	41
4.2 EVALUACION EXPERIMENTAL	47
4.2.1 Tipo de acero a utilizar	47
4.3 DIMENSIONAMIENTO Y PROBETAS UTILIZADAS	48
4.4 CANTIDAD DE LAS MUESTRAS A UTILIZAR	49
4.5 UBICACIÓN DEL ACERO DE LAS VIGUETAS DENTRO DEL CONCRETO	50
4.6 LOSETA DE CONCRETO	50
4.7 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS	51
4.8 ENSAYOS DE LABORATORIO	55
5. RESULTADOS	60
5.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES	60
5.1.1 Mediciones tomadas antes del ensayo	60
5.1.2 Datos tomados durante el ensayo	61
5.1.3 Parámetros obtenidos mediante formulas	61
5.2 DIAGRAMA CARGA DEFORMACIÓN	62
5.2.1 Viguetas metálicas en celosía	62
5.2.2 Viguetas compuestas en celosía con el cordón a compresión embebido en concreto	62
5.2.3 Viguetas compuestas en celosía con conectores de cortante	63
5.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS A UN NIVEL LIMITE DE FUNCIONAMIENTO	65
5.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MÁXIMOS DE CARGA	69
5.5 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD	72
5.6 CONSIDERACIÓN SOBRE LA RIGIDEZ	78
5.7 CONSIDERACIÓN SOBRE LA DUCTILIDAD	82
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	83
6.2 DIAGRAMAS CARGA DEFORMACIÓN VIGUETAS ENSAYADAS	84
6.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS A NIVEL LIMITE DE FUNCIONAMIENTO	85
6.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MÁXIMOS DE CARGA	86

6.5 ESTIMACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD	87
6.6 CONSIDERACIÓN SOBRE RIGIDEZ	87
6.7 CONSIDERACIÓN SOBRE DUCTILIDAD	88
7. MODOS DE FALLA	88
7.1 Viguetas metálicas	89
7.2 Viguetas con el cordón embebido a compresión	91
7.3 Viguetas con conectores de cortante	93
8 MODELACIÓN CON ORDENADOR	95
8.1 RESULTADOS ANÁLISIS MANUAL/ ANÁLISIS POR ORDENADOR	102
9. ANÁLISIS ECONÓMICO	104
10. CONCLUSIONES	106
11. BIBLIOGRAFÍA	111

## TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de armaduras	5
Figura 2: Esquema de ensayo de viga a flexión	23
Figura 3: Distribución de los esfuerzos normales en una viga	24
Figura 4: Viga convencional de Euler – Bernoulli	26
Figura 5: Ubicado en la losa de concreto	29
Figura 6: Ubicado en el patín superior de la viga	30
Figura 7: Ubicado en el alma de la viga	32
Figura 8: Vista lateral vigueta metálica (Configuración Pratt).	43
Figura 9: Detalle sección transversal.	44
Figura 10: Sección transversal viguetas con conectores de cortante.	46
Figura 11: Sección transversal viguetas con el cordón a compresión embebido.	46
Figura 12: Modelo de viga empleado en el ensayo a flexión.	73
Figura 13: Representación de la rigidez de un elemento dada en un diagrama carga deformación.	78

## TABLA DE CONTENIDO DE IMAGENES

Imagen 1: Formaleta para las losas de concreto de las viguetas compuestas	52
Imagen 2: Preparación manual del concreto utilizado	53
Imagen 3: Vaciado y colocación de malla electrosoldada.	53
Imagen 4: Instalación de vigueta metálica con el cordón en compresión embebido en el concreto.	54
Imagen 5: Instalación de vigueta metálica con conector de cortante.	54
Imagen 6: Detalle de viguetas con conectores de cortante y con el cordón embebido.	55
Imagen 7: Detalle de ensayo del cilindro de concreto.	56
Imagen 8: Sistema de montaje de las vigas ensayadas en la máquina universal.	57
Imagen 9: Detalle elemento de generación de cargas sobre la vigueta	58
Imagen 10: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.	59
Imagen 11: Deformación en la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido.	59
Imagen 12: Ensayo vigueta metálica muestra 1.	89
Imagen 13: Deformación en la vigueta de acero muestra 1.	90
Imagen 14: Deformación en la vigueta de acero muestra 2 y 3.	91
Imagen 15: Forma de falla en el concreto de la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido	92
Imagen 16: Deformación en el acero después de retirar la carga aplicada.	93
Imagen 17: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.	94
Imagen 18: Forma de falla en el concreto y en la presilla de acero de la vigueta compuesta con conector de cortante.	94

## TABLA DE CONTENIDO DE GRAFICOS

Gráfico 1: Diagrama carga vs. deformación para viguetas metálicas.	62
Gráfico 2: Diagrama carga vs. deformación para viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.	63
Gráfico 3: Diagrama carga vs. deformación para viguetas compuestas con conectores de cortante.	64
Gráfico 4: Diagrama carga vs. deformación para viguetas ensayadas	65
Gráfico 5: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas metálicas.	66
Gráfico 6: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.	67
Gráfico 7: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas compuestas con conectores de cortante.	68
Gráfico 8: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas ensayadas.	69
Gráfico 9: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas metálicas.	70
Gráfico 10: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con conectores de cortante.	71
Gráfico 11: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con el cordón a compresión embebido.	72
Gráfico 12: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas metálicas	75
Gráfico 13: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con el cordón embebido.	76
Gráfico 14: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con conectores de cortante.	77
Gráfico 15: Valores de K1 para las viguetas ensayadas	80
Gráfico 16: Valores de K2 para las viguetas ensayadas.	81
Gráfico 17: Porcentaje de pérdida de rigidez.	82
Gráfico 18: Valores de ductilidad para las viguetas ensayadas.	83
Gráfico 19: Cuadro comparativo costo/m <sup>2</sup> sistemas de entrepiso.	105

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación longitud-contraflecha para viguetas	15
Tabla 2: Inercias para los distintos modelos de sección.	74
Tabla 3: valores de proporcionalidad en los tramos del diagrama carga deformación para la vigueta embebida y con conectores.	79
Tabla 4: Valores comparativos de deformación para viguetas embebidas.	97
Tabla 5: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas embebidas.	98
Tabla 6: Valores comparativos de deformación para viguetas con conectores	99
Tabla 7: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas con conectores.	100
Tabla 8: Valores comparativos de deformación para viguetas metálicas	101
Tabla 9: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas metálicas.	102

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOSAS COMPUESTAS, CON  
VIGUETAS DE ALMA EN CELOSÍA CON Y SIN CONECTORES DE CORTANTE

RODRIGO ESTRADA JARAMILLO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS  
2004



EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOSAS COMPUESTAS, CON  
VIGUETAS DE ALMA EN CELOSÍA CON Y SIN CONECTORES DE CORTANTE

Rodrigo Estrada Jaramillo

Cod 6501505

Modalidad:

Propuesta de trabajo final para optar al título de Especialista en Estructuras

Director: Ing. Carlos Alberto Bermúdez

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS  
2004

## DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi familia y mi novia, quienes en todo momento me han brindado su cariño y apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS.

Al Ingeniero Carlos Alberto Bermúdez por su valiosa colaboración y dirección de este proyecto, el cual sin su intervención hubiera tenido mas tropiezos.

Al personal de Laboratorios de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, que por su colaboración y ayuda, hicieron realidad mi proyecto.

A mis padres y hermanos por brindarme continuamente su apoyo y cariño.

A la Arquitecta Paola Castaño Jiménez por su amor y colaboración definitivas para la ejecución del mismo.

A la Ingeniera Lina María González, quien fue fundamental en las diferentes etapas de desarrollo de este trabajo.

Al personal directivo y administrativo de RIDUCO S.A. por su colaboración y entendimiento para la ejecución y terminación de este trabajo de Tesis.

A los Señores José Fabio Gómez y Jhon Fabio Jiménez por su colaboración directa en la ejecución de este trabajo.

A Dios por ser siempre el compañero y guía en mi vida.

## I. ANTECEDENTES

Una losa mixta se puede entender como una losa que combina dos materiales de características mecánicas y químicas diferentes. A la luz del desarrollo actual casi todas las losas que conocemos o que construimos se fabrican de esta manera, ya sea reforzando el concreto con acero, utilizando láminas colaborantes dobladas en frío, o con losas compuestas, donde una viga metálica construida se combina con el concreto. Estas últimas se aprovechan de las propiedades adicionales que pueden proveer el concreto a la viga metálica siempre y cuando se garantice el trabajo integral de ambos materiales.

Inicialmente esta última condición se empezó a utilizar con el fin de dar protección contra el fuego a las estructuras metálicas, pero en la medida en que se fueron desarrollando nuevos productos para tal fin y que a su vez implicaban un menor costo, se pensó en la posibilidad de incorporar este concreto a la resistencia del elemento. Los elementos compuestos se desarrollaron inicialmente en columnas y vigas de puentes donde esta combinación fue muy exitosa, y posteriormente se pasó a losas de entresijos y cubiertas en concreto.

En la actualidad se utilizan varios tipos de perfiles metálicos para losas de entresijo. Es así como se utilizan perfiles de alma llena (los cuales están relativamente bien documentados en la literatura), los perfiles de acero doblado en frío (cold rolled), que en nuestro país han tenido cierto nivel de

investigación por la empresa ACESCO (de los cuales existen tablas de diseño) y los perfiles de alma abierta o estructuras en celosía (de los cuales se cuenta con escasa literatura).

Pero, como el desarrollo en la industria siderúrgica del país ha condicionado la consecución de elementos de alma llena y perfiles de cierta envergadura, (que son los que se usan en países más desarrollados, en los que se combinan losas con perfiles de alma llena), fue necesario acoplar los conocimientos teóricos a la tecnología y disponibilidad de perfiles locales para obtener resultados finales muy parecidos. Lo anterior no indica que este sistema no se haya implementado en otros países, simplemente se expone el caso colombiano.

Si bien es cierto que el proceso de apertura, en el que se embarcó el país a comienzos de los noventa, permitió la entrada con mayor facilidad de la perfilería de alma llena, la alta relación entre el costo de la estructura y el costo total de la construcción para obras de menor cuantía y tamaño hace de la opción de las losas combinadas con viguetas de alma abierta un alternativa interesante para ser analizada en tales proyectos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

*Evaluar técnica y económicamente las losas mixtas formadas por viguetas en acero con alma en celosía y losa en concreto, con y sin conectores de cortante.*

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*Mediante un proceso de modelación por ordenador, analizar el comportamiento de losas mixtas formadas por viguetas de acero con alma en celosía, tanto con conectores de cortante, como con su cordón a compresión embebido en la losa de concreto.*

*Ensayar y comparar experimentalmente el funcionamiento de los tipos de losas mixtas descritas anteriormente, al ensayar en la maquina universal prototipos bajo condiciones similares de carga.*

*Efectuar un análisis comparativo de costos entre los sistemas de entrepisos convencionales y los estudiados en este trabajo para observar la viabilidad del empleo de este tipo de losas en obras de menor envergadura y viviendas de interés social.*

### 3. MARCO TEÓRICO

Una armadura es una viga de una determinada dimensión en donde se ha retirado parte de su alma y la cual generalmente se considera apoyada en una articulación en un extremo y en el otro se soporta en un rodillo, lo que permite analizarla como una estructura determinada.

Una armadura es una estructura que actúa como una viga o como una columna, pero donde los componentes principales están sometidos ante todo a esfuerzos axiales. Los componentes están organizados en arreglos triangulares. De manera ideal, el extremo de cada miembro es libre de rotar independientemente de los otros miembros. Además si se presentan cargas en puntos distintos a los puntos del panel o nudos, se producen esfuerzos de flexión en los miembros.

#### 3.1 ORIGENES DE LAS ARMADURAS

La primera armadura (su concepción moderna) se le asigna al arquitecto italiano Andrea Palladio. Hacia el siglo XIX Ithiel Town patentó lo que se considera la precursora de las armaduras actuales, con la diferencia de que las diagonales se componían de madera y las cuerdas principales se formaban al unir 2 o más tablones. En un comienzo para eliminar la rigidez que se genera en los nudos, los primeros ingenieros norteamericanos que diseñaron este tipo de estructuras decidieron hacerlas articuladas en sus uniones, sin embargo, ingenieros europeos comenzaron a utilizar las uniones rígidas y con



estudios posteriores se determinó que en cuanto a costo ambas resultaban igual de económicas. En la actualidad se diseñan rígidas.

Existe una infinidad de tipos de armaduras de acuerdo con la configuración de sus cordones y diagonales. Es por eso que existen armaduras tipo Pratt, Warren, etc que presentan unas cualidades estructurales geométricas que las hacen muy óptimas para determinados usos y materiales de conformación luego del diseño.

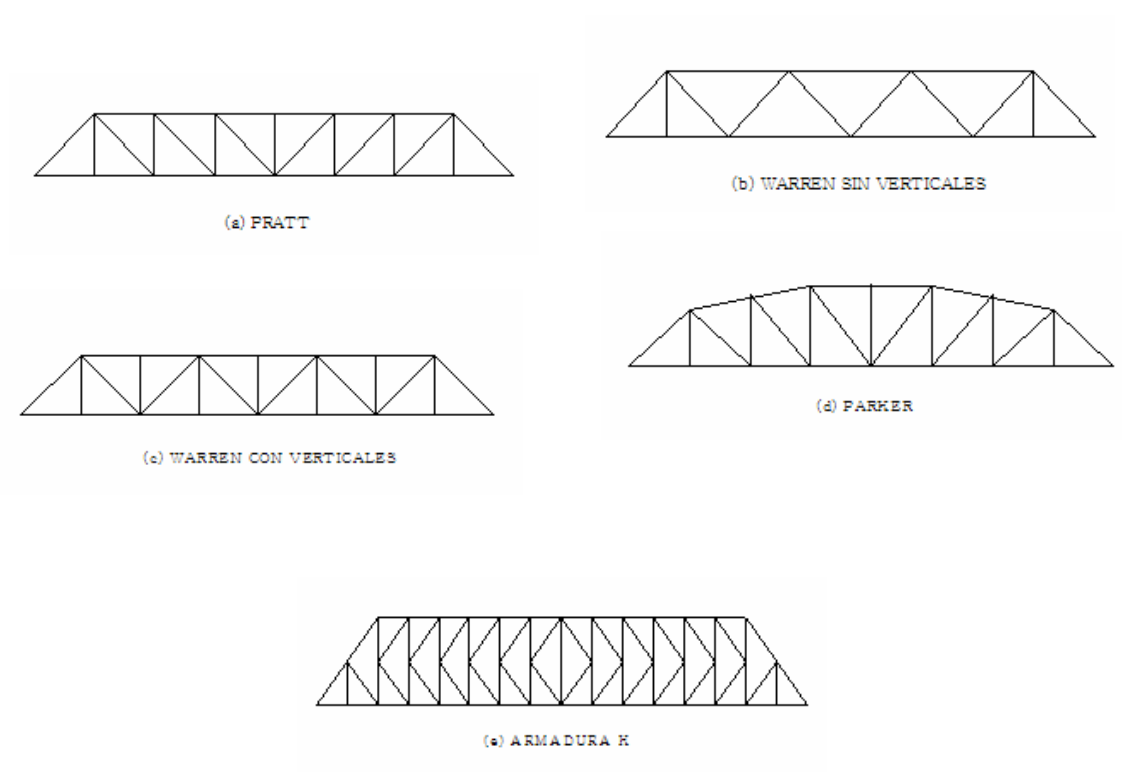


Figura 1: Tipos de armaduras

## 3.2 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS

Una armadura se compone de las siguientes partes, que es bueno entrar a definir, para comprender su uso y función dentro de ésta:

**3.2.1 Nudo:** Son los puntos donde se generan las intersecciones de los miembros de la armadura. Generalmente son los sitios donde se transmiten las cargas para no generar flexión en los elementos de las cuerdas o cordones.

**3.2.2 Cordones:** Son los miembros superiores e inferiores de la estructura y como en las aletas de las vigas de alma llena, éstos se encargan de soportar la tracción y compresión que induce la flexión. La distancia que exista entre ellos va a generar pares internos de resistencia, entendiendo que al ser la separación mayor, mayor será la resistencia de la armadura y se optimizará utilizando mayores separaciones entre los cordones en los sitios de la estructura que se encuentran solicitados por un mayor momento flector.

Como uno de los objetos de este trabajo es buscar economía en los diseños planteados, por diferentes investigaciones se ha llegado a la conclusión de que una distancia entre cordones obtenida por una relación altura/luz de 1:15 a 1:20 permite tener estructuras relativamente económicas.

**3.2.3 Riostras, diagonales o miembros del alma:** Normalmente son diagonales y verticales que se encargan de la capacidad al corte de la sección, y en algunos casos dan puntos adicionales para soportar carga y mejorar las condiciones de esbeltez de los miembros de los cordones (especialmente los miembros verticales).

El propósito de la celosía es mantener paralelos los cordones principales y mantener adecuadamente el espaciamiento de los miembros, con el objeto de uniformizar la distribución de esfuerzos en ellas. La celosía normalmente se forma por ángulos, varillas, canales u otros elementos. Su distribución debe tener en consideración que las distancias que se generan en los miembros individuales, no deben generar valores de  $L/r$  superiores al 75% de la esbeltez que gobierna al miembro en conjunto. Para las columnas se supone que los miembros que componen la celosía están bajo una carga cortante normal al miembro, igual y no menor que el 2% de la resistencia de diseño por compresión del elemento. La relación de esbeltez de los elementos de celosía se limita a 140 para las simples y 200 para las dobles.

En varios textos se recomienda que los ángulos de inclinación de las diagonales con respecto al eje longitudinal, deben estar entre los 40 y 60 grados para que redunde en economía, debido que al realizar la descomposición de fuerzas se obtiene un equilibrio adecuado en longitud y carga asumida por el miembro que se traducen en secciones óptimas para los elementos de alma. Es de anotar que la Norma Colombiana Sismorresistente recomienda para columnas ángulos menores o iguales a 60 grados para estos elementos.

Una vez determinados unos parámetros de altura y disposición de los paneles formados por las diagonales, se puede proceder a efectuar chequeos puntuales en diferentes tipos de la armadura con las secciones asignadas, lo cual redundara en una escogencia precisa de los elementos de la misma.

A la hora de diseñar se deben verificar varios aspectos:

*Pandeo del miembro en conjunto si se encuentra bajo carga axial, pandeo y fluencia de los elementos individuales, tanto de los elementos principales como de la celosía y pandeo lateral con torsión.*

Como las estructuras que se van a analizar son vigas simplemente apoyadas, la primera condición no aplicaría por que no se presentaría cargas axiales (pero sí en una columna en celosía).

### 3.3 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS

#### 3.3.1 Fluencia y pandeo en los segmentos principales

Debido a que al aplicar cargas transversales en la sección, éstas generarían un momento actuante que se podrían descomponer en pares de tracción y compresión, la vigueta entonces, debe estar en capacidad de soportar la tracción que inducirían fallas por fluencia en el cordón inferior, al igual que la compresión fallas por pandeo en el cordón superior. Como las viguetas no están sometidas a cargas puntuales si no a cargas distribuidas en su longitud, los elementos individuales del cordón superior se podrían verse afectados también por flexo compresión para lo cual deberá efectuarse el chequeo correspondiente de resistencia para evitar su falla.

**3.3.2 Fuerza cortante en la celosía:** La vigueta debe estar en capacidad de soportar los esfuerzos ocasionados por las fuerzas transversales que se le aplican, mas los ocasionados por la curvatura de la vigueta. Estas cargas y deformaciones externas se descomponen en fuerzas axiales y se transmiten por los componentes de la celosía, los cuales deben estar en capacidad de soportar la tracción y compresión a la cual se verán sometidos.

### **3.3.3 Pandeo lateral con torsión**

Se puede dar como un tipo de falla en las viguetas en celosía, pero que se controla por medio del uso de diafragmas o arriostramientos transversales, que en este estudio serán aportados inicialmente por la formaleta y posteriormente por el concreto fraguado.

## **3.4 HIPÓTESIS DE DISEÑO**

Para facilitar los cálculos, el análisis del esfuerzo cortante sobre la vigueta lo asumirá la celosía, la cual transmitirá la fuerza cortante como axiales sobre las diagonales, las cuales se puede estimar suponiendo que éstas se encuentran articuladas en sus extremos (aunque la soldadura que se aplica genera unos momentos, que se pueden consideran despreciables), por lo que los miembros de la celosía se diseñarían como miembros a tracción o compresión. Al igual que las conexiones de estos a los cordones principales.

## **3.5 VIGUETAS EN CELOSIA O DE ALMA ABIERTA**

El Steel Joist Institute (SJI) define las viguetas de alma abierta o en celosía:

“Se refieren a vigas que tiene el alma abierta, cordones paralelos, que soportan adecuadamente la carga que le aportan pisos, techos en edificaciones, utilizando acero formado en caliente o doblado en frío. Y que han sido diseñadas para soportar una determinada carga distribuida”

### 3.6 DISEÑO Y MANUFACTURA HIPÓTESIS DE DISEÑO

Las viguetas se diseñan simplemente apoyadas.

Se diseñan bajo cargas uniformemente distribuidas.

Los tableros de la losa o la cubierta contribuyen al arriostramiento en el cordón superior de las viguetas.

#### 3.6.1 Tracción

Los elementos de acero que se encuentren sometidos a tracción se diseñaran con lo indicado en la NSR 98 en su numeral F.2.4.1

La resistencia por tracción ( $\phi_t P_n$ ) de un elemento será el menor de los siguientes valores:

$$\phi_t P_n = 0.9 F_y A_g$$

$$\phi_t P_n = 0.75 F_u A_e$$

Donde

$F_y$ = esfuerzo mínimo especificado de fluencia, Mpa

$F_u$ = resistencia mínima especificada a la tracción, Mpa

$A_g$ = área bruta del miembro, mm<sup>2</sup>

$A_e$ = área neta efectiva, mm<sup>2</sup>

### 3.6.2 Compresión

Los elementos sometidos a compresión se diseñaran de acuerdo a lo indicado en la NSR 98 en F.2.5.2 No se analizará pandeo flexo torsor ya que los elementos que conforman las viguetas son varillas simétricas con un solo radio de giro.

De manera conservadora y de acuerdo a F.2.3.2 el coeficiente de longitud efectiva K se tomara igual a la unidad.

La resistencia de diseño por pandeo flector de miembros solicitados a compresión ( $\phi_c P_n$ ) es :

$$(\phi_c P_n) = 0.85 A_g F_{cr}$$

Para  $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

Para  $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = (0.877 / \lambda_c^2) F_y$$

$$\lambda_c = (K l / r \pi) (F_y / E)^{0.5}$$

Donde

$F_y$  = esfuerzo mínimo especificado de fluencia, Mpa

K = coeficiente de longitud efectiva del miembro

$A_g$  = área total del miembro,  $\text{mm}^2$

$E$  = módulo de elasticidad del acero,  $\text{Mpa}$

$l$  = longitud sin arriostramiento del miembro,  $\text{mm}$

$r$  = radio de giro que gobierna el diseño tomado con respecto al eje del pandeo,  $\text{mm}$

### 3.6.3 Flexión

Debido a que los miembros que conforman la vigueta son circulares bajo flexión solo aplica el estado limite de fluencia, que es el que se analizará. De acuerdo a lo indicado en NSR en F.2.6.1.

La resistencia a flexión determinada por el estado limite de fluencia ( $\phi_b M_n$ ) es

$$\phi_b M_n = 0.90 M_p$$

$$M_p = F_y Z \leq 1.5 M_y = F_y S$$

Donde :

$F_y$  = esfuerzo mínimo especificado de fluencia,  $\text{Mpa}$

$M_p$  = Momento plástico,  $\text{N-mm}$

$S$  = Módulo elástico de la sección,  $\text{mm}^3$

$Z$  = Módulo plástico de la sección,  $\text{mm}^3$

### 3.6.4 Flexo-compresión



Aquellos miembros que se encuentran solicitados por cargas axial y de flexión simultáneamente deben cumplir lo estipulado en NSR en su numeral F.2.8.1.

La interacción de la flexión y de la tensión en miembros prismáticos debe cumplir la siguiente relación.

Para  $P_u / \phi P_n \geq 0.2$

$$P_u / \phi P_n + 8/9 (M_{ux} / \phi_b M_{nx} + M_{uy} / \phi_b M_{ny}) \leq 1$$

Para  $P_u / \phi P_n < 0.2$

$$P_u / 2 \phi P_n + M_{ux} / \phi_b M_{nx} + M_{uy} / \phi_b M_{ny} \leq 1$$

### 3.6.5 Máxima relación de esbeltez

El Steel Joist Institute, recomienda que dentro de una vigueta de alma abierta, se conserven los siguientes valores de esbeltez para un adecuado comportamiento de los elementos:

Cordón superior en paneles intermedios	90
Cordón superior en paneles extremos	120
Miembros en compresión exceptuando la cuerda superior	200
Miembros a tracción	240

La NSR, recomienda en F.2.5.4 que la relación de esbeltez en celosías sencillas no sea superior a 140 y de 200 en las dobles.

## 3.7 DISEÑO DE LOS MIEMBROS

### 3.7.1 Cordones

El cordón inferior debe diseñarse como un miembro cargado axialmente por tracción.

El cordón superior debe diseñarse exclusivamente para un carga axial de compresión, cuando la longitud de los paneles no exceda 60.9 cm. Si esto sucede el miembro de diseñarse como un elemento continuo donde se combinan esfuerzos axiales y de flexión como se indicó con anterioridad.

Para garantizar a estabilidad durante la erección y colocación de las viguetas, el radio de giro del cordón superior en relación con el eje vertical no debe ser menor que  $L / 145$ , donde  $L$  es el espaciamiento entre arrostramiento lateral. Las viguetas se consideran que permanecen lateralmente soportadas por la losa o por la cubierta.

### 3.7.2 Alma o celosía

El cortante vertical debe ser usado para el diseño de los elementos del alma, y será determinado a partir de toda la carga uniformemente distribuida. Esta carga de diseño de los elementos, no debe ser menor que el 25% del valor de la reacción en el apoyo.

Los miembros verticales en celosías tipos warren deben soportar las cargas gravitacionales además del 0.5 a 1% de la carga que soporta los cordones principales.

### 3.7.3 Empalmes

Las uniones de elementos de la cuerda o de la celosía del alma deben soportar al menos una fuerza de tensión última de 393 Mpa, considerando el área completa del elemento. El código Steel Joist Institute garantiza al menos un factor de seguridad de 1.65 para miembros críticos.

### 3.7.4 Contraflecha

La contra flecha no es un requisito, pero si se implementa, estos son los valores de acuerdo al SJI (Steel Joist Institute). No se podrán tener contra flechas negativas.

Longitud vigueta (mm)	Contraflecha (mm)
6096	6
9144	10
12192	16
15240	25
18288	38

Tabla 1: Relación longitud-contraflecha para viguetas.

### 3.7.5 Pisos y paneles de cubiertas

El material usado para este fin puede ser concreto vaciado o prefabricado, acero formado en frío, madera, yeso o cualquier material que esté en capacidad de soportar las cargas para la cual fue diseñada la vigueta. El espesor mínimo del piso utilizado debe ser de 51 mm. La formaleta que se use para el vaciado puede ser de cualquier material que soporte las cargas propias del vaciado, y peso propio, y no debe causar movimientos laterales de los cordones superiores de las viguetas durante su instalación o desmonte. La formaleta debe estar siempre a nivel del cordón superior de las viguetas. Si el piso o cubierta se compone de elementos prefabricados, la unión a la vigueta de estos debe estar en capacidad de soportar 1335 N.

### 3.7.6 Deflexión

De acuerdo al SJI, las deflexiones no deben superar los siguientes valores en las viguetas metálicas:

Pisos  $1/360$  de la luz de la vigueta

Cubiertas  $1/360$  de la luz si existen cielo rasos rígidos suspendidos

$1/240$  en el resto de casos

## 3.8 VIGAS EN CONSTRUCCION COMPUESTA

La construcción compuesta como se conoce hoy en día, supone estructuras que se valen de dos o más materiales con características mecánicas y físicas diferentes para soportar los requerimientos de carga, normalmente usándose

concreto y acero, sin que esto implique que otros materiales no puedan conformar construcciones compuestas.

Si se observa el concreto reforzado que comúnmente se usa en la mayoría de construcciones, éste sería una construcción compuesta, pero el tipo de estructuras al que nos referiremos, tratan más de la mejora en la capacidad de resistencia de un elemento estructural, como son las viguetas de acero, con un elemento como el concreto, quien le aportará a la estructura como un todo, las ventajas y beneficios que éste posee.

Las primeras versiones de vigas compuestas que se usaron, fueron las vigas embebidas en concreto, las cuales fueron diseñadas con el fin de darle protección a la estructura metálica contra el fuego. Pero en la medida que los materiales usados como protección contra el fuego fueron innovándose, esta idea inicial se desvirtuó por el incremento en costo y peso que implica para las vigas estar cubiertas por concreto. Pero se pensó que el concreto podría colaborar de alguna medida en la resistencia de la sección de acero y esto se lograría conectando la viga de acero al concreto de tal manera que su comportamiento fuera como una unidad. Esto solo se da si el desplazamiento horizontal entre cada uno de los materiales se restringe de alguna manera, ya sea por la incorporación de elementos llamados conectores de cortante (pueden ser varilla con cabeza pernos), o por la adherencia y fricción desarrollada en el acero corrugado de la varilla y el concreto.

Una losa compuesta es aquella donde se logra la interacción de una losa de concreto con una viga metálica, en donde la viga de concreto cumple la

función de patín a compresión y la viga de acero es la que resiste los esfuerzos a tracción.

Las dimensiones de la viga de acero como el espesor de concreto dependen del momento de inercia de la sección compuesta, del tamaño y resistencia de los conectores de cortante.

Si se da un deslizamiento parcial entre el acero y el concreto la viga no se considerará como compuesta totalmente, si no que será parcial y como tal soportará una fracción de carga que la primera. Además cuando no se garantiza una buena adherencia entre el concreto y la viga de acero la capacidad de carga que puede tener la losa de concreto es muy baja.

La capacidad de carga que se obtiene, al garantizar una buena adherencia entre el concreto y las vigas de acero, lo que puede generar incrementos de capacidad de soporte de alrededor de una tercera parte, si las vigas de acero y el concreto estuvieran trabajando separadamente.

Una gran ventaja de las losas compuestas es que aprovechan las características más sobresalientes de cada uno de los materiales, pues la alta resistencia a la compresión que posee el concreto ( casi toda la losa trabaja a compresión) y la gran capacidad de carga que tiene el acero a tracción permitirán en el diseño final unas secciones menores de acero para soportar las mismas cargas en las mismas luces.

De acuerdo con Jhon Mc Cormac “ ciertas pruebas han demostrado que la capacidad de una estructura compuesta para soportar sobrecarga,

decididamente es mayor que la de otro tipo” *Ref. análisis y diseño de estructuras en acero método Lrfd*

El proceso de construcción determina de cierta manera las consideraciones de cálculo de los elementos, en especial la determinación de las cargas en las diferentes etapas de construcción de la estructura. Es así como a la hora de efectuar el análisis estructural, se debe chequear la viga para que soporte el peso de la formaleta, el del concreto fresco y de las otras cargas normales de la construcción como cargas vivas derivadas de personal, maquinaria etc. Si la viga diseñada para la estructura compuesta no está en capacidad de soportar estas cargas mencionadas anteriormente, se debe verificar su estabilidad local y general bajo apuntalamiento temporal. La mayoría de códigos y especificaciones indican que la losa puede considerarse que ha comenzado a trabajar como compuesta ( y por tanto soportar las cargas que se pensaron en su diseño) cuando alcance el 75% de la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

Si se decide por usar apuntalamiento es recomendable chequear lo siguiente en especial en el proceso constructivo:

Se debe tener especial cuidado en los asentamientos de los puntales, situación muy común en los vaciados de losas.

En estudios se ha observado que las resistencias últimas cuando se usa o no apuntalamiento es la misma, pero el hecho de usar apuntalamiento es buscar vigas más livianas y menos resistentes, que al final obtendrán valores en costos en su conjunto menores.

Cuando se retira el apuntalamiento de la losa luego del endurecimiento del concreto, la losa comenzará a soportar las cargas muertas, que generaran en ella compresión y estas cargas permanentes darán como resultado la aparición de flujo plástico y contracción considerables en la dirección de las vigas. Esto hace que la el acero asuma más carga que el concreto, quedando el concreto para soportar cargas vivas y las vigas de acero las muertas, que es un caso muy similar a que no estuviera apuntaladas.

### **3.8.1 Determinación del ancho efectivo**

La cercanía que exista entre las vigas de acero va a generar diferentes tipos de comportamiento en la losa de concreto, pues si están lo suficientemente cerca las unas de las otras la flexión generada, se puede decir que se distribuirá uniformemente en el patín a compresión, pero si la distancia es relativamente grande, la distribución de esfuerzos a través del patín de la viga no será uniforme. Es decir entre mas alejada una sección de la losa de concreto de la viga de acero menor será su esfuerzo a flexión. Para evitar este inconveniente y facilitar el proceso de cálculo, convencionalmente se usa reemplazar la losa real por una losa con un ancho efectivo menor pero que posee un esfuerzo constante, y donde se supone que esta losa equivalente soporta la misma compresión que la losa real.

Las NSR 98 como algunas normas extranjeras, el ancho efectivo de la losa de concreto que debe tenerse en consideración a la hora de efectuar el análisis



de la sección compuesta, sería la menor de las siguientes cantidades ( F.2.9.3.1)

Un octavo de la luz entre apoyos.

La mitad de la distancia hasta el alma siguiente.

La distancia desde el eje central de la viga al borde la placa.

### 3.8.2 Transmisión de la fuerza de cortante

La fuerza cortante longitudinal que se genera entre el concreto y el patín de acero se transmite por adherencia y esfuerzo cortante, lo anterior se logra en las vigas que se encuentran embebidas completamente en el concreto, por las propiedades físicas del acero, aunque posiblemente requiera algún tipo de refuerzo por cortante, o también por medio de elementos mecánicos que permitan generarlo, como los conectores de cortante. El primer caso enumerado, usualmente no se usa en elementos sometidos a cargas de impacto, pues la adherencia entre vigas y concreto se pierde con facilidad, como en los puentes, pero no implica que no se pueda usar para losas de entrepiso donde las condiciones de las cargas presentes no tienen un ciclo de repeticiones y de impacto tan alto. Cuando se usan conectores se busca que estos tengan la capacidad de soportar la fuerza cortante presente entre la viga de acero y el concreto.

Los conectores de cortante son elementos que se presentan de diferentes formas (espárragos, ángulos, perfiles z, barras, espirales etc) y que van adheridos a la viga metálica de diversas formas (soldadura, pistola de

instalación, etc) y que normalmente se instalan en obra para evitar daño en estos durante el transporte a obra y durante su instalación.

Estudios realizados han demostrado que una viga compuesta cuando se somete a carga, normalmente falla por aplastamiento del concreto, lo que ha permitido aseverar que tanto el concreto como el acero han llegado a su condición plástica.

Una losa se puede diseñar para que los conectores soporten completamente la fuerza longitudinal de corte, o de manera parcial de acuerdo con los requerimientos de resistencia que se tengan, si se efectúa de la segunda manera se dice que la losa es parcialmente compuesta y la cantidad de conectores suministrados no desarrollan la resistencia completa de la viga compuesta. Esta condición limita la resistencia final de la viga como mínimo en un 25% si fuera compuesta plena, es decir, una cantidad mínima para que se genere el 25% de la resistencia de cortante, pues de lo contrario, se ha demostrado que se pierde considerablemente la exactitud en los cálculos de la rigidez y resistencia de la sección compuesta.

### **3.9 ESFUERZOS EN VIGAS COMPUESTAS**

#### **3.9.1 El comportamiento a flexión**

Una viga se entiende como el miembro estructural diseñado para soportar fuerzas que actúan transversalmente a su eje.

Al analizar vigas suele distinguirse entre flexión pura y flexión no uniforme. Flexión pura se refiere a la flexión de una viga bajo un momento flexionante constante; por lo tanto, ocurre sólo en regiones de una viga donde la fuerza cortante es cero. En contraste, la flexión no uniforme se refiere a la flexión en presencia de fuerzas cortantes, lo que significa que el momento cambia al moverse a lo largo del eje de la viga.

La figura ilustra el esquema de viga empleado en los ensayos a flexión en este trabajo y que además es un ejemplo de una viga que está parcialmente en flexión pura y parcialmente en flexión no uniforme. La región central de la viga está en flexión pura porque la fuerza cortante es cero y el momento flexionante es constante. Las partes de la viga cerca de los extremos se encuentran en flexión no uniforme porque están presentes fuerzas cortantes y los momentos flexionantes varían.

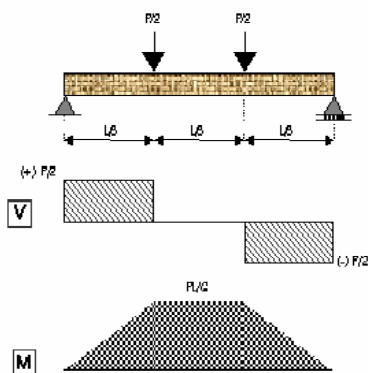


Figura 2: Esquema de ensayo de viga a flexión

Al realizar el análisis de una viga, se debe tener en cuenta que los mayores esfuerzos son los normales (perpendiculares a la sección). Cada fibra de la viga está sometida a tracción o compresión, esto es, las fibras están en un estado de esfuerzos uniaxial.

Así, los esfuerzos normales que actúan sobre la sección transversal varían linealmente con la distancia “ $y$ ” medida a partir de la superficie neutra. Este tipo de distribución de esfuerzos se representa en la figura, donde los esfuerzos son negativos de compresión por arriba de la superficie neutra y positivos, de tracción, por debajo de ella, cuando el momento actúa en la dirección señalada produce una curvatura negativa, aunque represente un momento flexionante positivo.

Se debe tener en cuenta que los esfuerzos máximos se presentan en los puntos más alejados del eje neutro. En el caso de la vigueta mostrada, estos estarían en las fibras extremas.

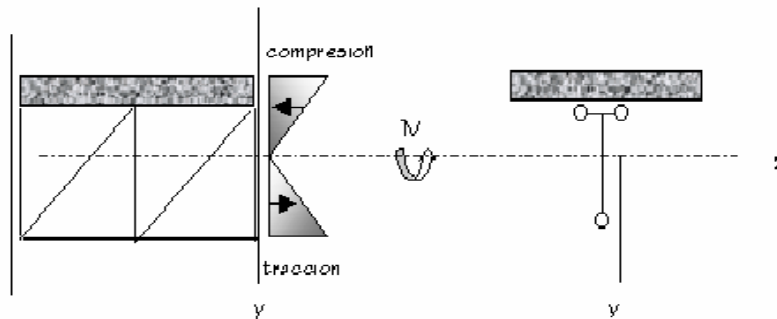


Figura 3: Distribución de los esfuerzos normales en una viga

Las vigas por analizar en este estudio no son homogéneas por estar compuestas de dos materiales completamente diferentes. Sin embargo, los principios fundamentales a partir de los cuales se determinan las fórmulas para su análisis, son los mismos que para las vigas de un material homogéneo y se detallan a continuación:

En una sección transversal cualquiera existen unas tensiones internas que pueden dividirse en componentes normales y tangenciales a la sección. Las componentes normales a la sección son las tracciones y compresiones; su misión es resistir el momento flector en la sección.

Las componentes tangenciales se designan tensiones cortantes y contrarrestan los esfuerzos transversales.

La fibra neutra pasa a través del centro de gravedad de la sección transversal.

La magnitud de una tensión normal a la sección aumenta en proporción directa con su distancia a la línea neutra, siendo máxima en el borde de la sección. La tensión en un punto cualquiera de la sección transversal viene dada por la fórmula:

$$\sigma_x = \frac{My}{I}$$

donde:

$\sigma_x$  = Tensión en la fibra situada a una distancia  $y$  de la línea neutra.

$M$  = Momento flector en la sección debido a las solicitaciones.

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal con relación a su línea neutra.

La teoría clásica de vigas, o de Euler - Bernoulli, se basa en las 3 hipótesis siguientes:

Los desplazamientos verticales (flechas) en todos los puntos de una sección transversal son pequeños e iguales a los del eje de la viga  $x$ . (ver figura)

El desplazamiento lateral (según el eje  $y$  de la figura) es nulo.

Las secciones transversales normales al eje de la viga antes de la deformación, permanecen planas y ortogonales a dicho eje después de la deformación. (Este axioma es válido para la flexión pura, sin importar la naturaleza del material)

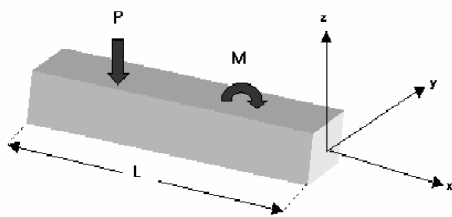


Figura 4: Viga convencional de Euler - Bernoulli

Sin embargo una viga compuesta no es homogénea y las relaciones no aplican directamente, se requiere de un “cambio” de la sección, la que por una relación modular se transforma una determinada sección de concreto en otra de acero, lo cual requiere que las deformaciones unitarias del material que esta reemplazando a otro sean iguales a las de éste.

La relación modular se obtiene al efectuar una igualación de desplazamientos unitarios entre el concreto y el acero al ser sometidos a una carga transversal, al reemplazar dicho desplazamiento, aplicando la teoría elástica, se tiene que la resistencia entre cada uno de los materiales está en una proporción que equivale a la relación entre sus módulos de elasticidad o Young. (  $n = E_s / E_c$  )

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \text{ ( igualación de desplazamientos )}$$

$$f_c / E_c = f_s / E_s$$

$$f_s = E_s / E_c \quad f_c = n f_c \text{ por lo tanto}$$

$$n = E_s / E_c$$

Al efectuar la transformación entre un material y el otro se pueden obtener unas nuevas geometrías transformadas y así una nueva homogeneidad ( ficticia)

entre los materiales que permiten establecer sus características geométricas y sus nuevas propiedades mecánicas. Así para una carga transversal impuesta en la viga se podrían calcular los valores máximos de esfuerzo (tanto para la sección en concreto como para la sección en acero).

### **3.9.2 Capacidad a momento de las secciones compuestas**

La resistencia por flexión en la región de momento positivo se puede determinar por la resistencia plástica de la sección, por la del concreto o por la de los conectores de cortante, y si el alma es esbelta y gran parte de esta se encuentra a compresión, su resistencia condicionará a la de la sección.

La capacidad por momento de las secciones compuestas se puede estimar por medio de la teoría de la elasticidad, en la cual se supone que al fallar la sección la porción de acero esta plastificada y que una parte de la sección en concreto ( que estaría soportando compresión) tiene esfuerzos de  $0.85 f'_c$  de acuerdo a la distribución equivalente de esfuerzos de Whitney. Si la porción de concreto se encuentra en tracción, estos valores se desprecian pues se supone fisurada y sin capacidad de absorber esfuerzos. Por lo tanto el eje neutro plástico ( desde ahora ENP) puede ocupar varias posiciones:

- a. Ubicado en la losa de concreto
- b. Ubicado en el patín superior de la viga
- c. Ubicado en el alma de la viga

#### **a. Eje neutro en la losa de concreto**



La distribución de esfuerzos en la losa de concreto entre el ENP y su parte superior no es uniforme, pero convencionalmente se ha estimado constante en un valor de  $0.85 f'c$ , sobre un área de profundidad  $a$  y ancho  $b_e$ , y donde  $a$  se puede estimar despejándolo de la siguiente igualdad (para acción compuesta total):

$$A_s F_y = 0.85 f'c a b_e$$

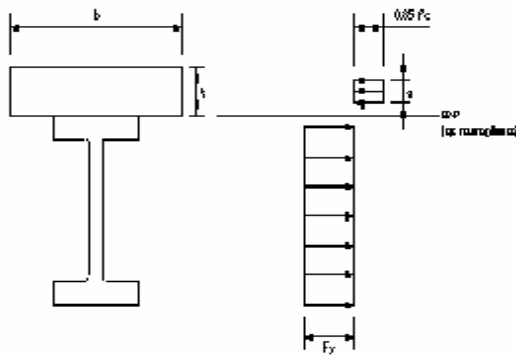


Figura 5: Ubicado en la losa de concreto

Si el valor estimado de  $a$  es menor que la sección de concreto, entonces el valor del momento plástico de la sección se obtiene de multiplicar el valor de la tracción o compresión totales por el brazo o distancia que separa sus puntos de aplicación, es así como  $Td$  o  $Cd$

$$M_u = \phi_b M_p = \phi_b M_n$$

b. Eje Neutro en el patín superior de la viga de acero

Calculando el valor de  $a$  como se indicó con anterioridad y si su resultado es mayor que el espesor de la losa de concreto, el ENP quedará en la sección de acero. Si esto sucede se debe determinar si el ENP está en el patín o en el alma de la sección de acero. Para determinar su posición se debe calcular el valor de la compresión total de la sección y el de la tracción total de la misma a partir de las siguientes relaciones:

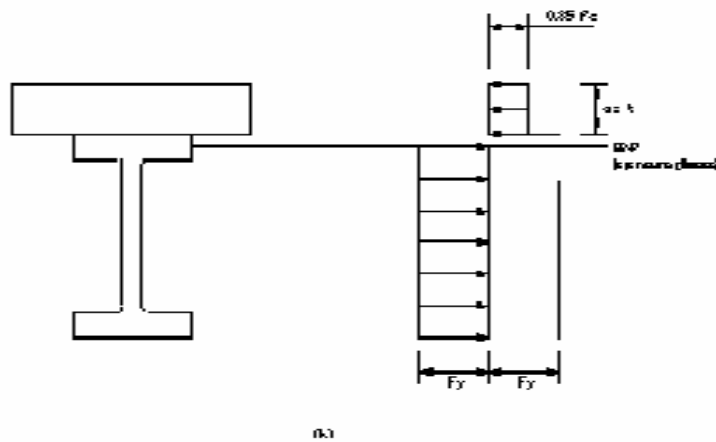


Figura 6: Ubicado en el patín superior de la viga

$$C = 0.85F'_c b_e t + A_f F_y$$

donde  $t$  es el espesor de la losa de concreto y  $A_f$  área de la aleta

$$T = F_y (A_s - A_f)$$

Si el valor de  $C > T$ , el ENP estar en el patín de acero, de lo contrario estará en el alma.

Para el primer caso, el ENP en el patín, se puede obtener igualando  $C$  y  $T$ , obteniendo ENP mediante

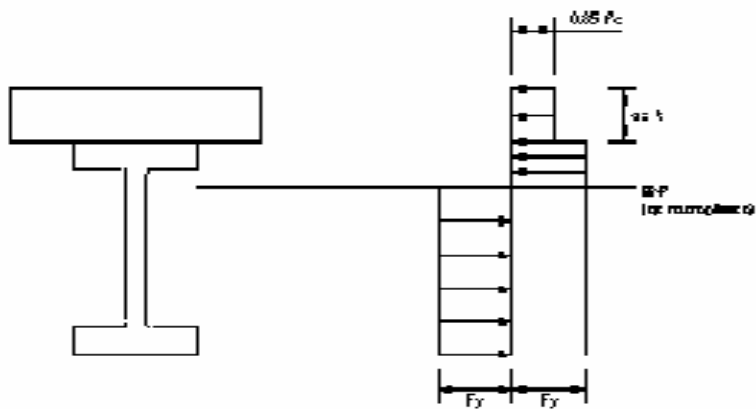
$$Y = (F_y A_s - 0.85 f_c b_e t) / (2 F_y b_f)$$

El Momento plástico de la sección se calcularía mediante

$$M_p = M_n = 0.85 f_c b_e t (t/2 + y) + 2 F_y b_f y (y/2) + F_y A_s (d/2 - y)$$

### c. Eje neutro en el alma de la sección de acero

Si en el caso anterior se comparan los valores de compresión total y tracción total y la segunda de éstas es mayor, el ENP estará en el alma de la sección de acero. El cálculo del momento y de la posición exacta del ENP se estiman a partir de un proceso similar que en el caso anterior, por lo que no se muestra su cálculo.



(a)

Figura 7: Ubicado en el alma de la viga

### 3.9.3 Soporte lateral

El soporte lateral para los patines en compresión de las vigas compuestas, es claro que lo da el concreto, siempre y cuando haya fraguado y tenga un porcentaje importante de su resistencia; la situación crítica se da durante el vaciado y proceso de endurecimiento, pero se puede considerar que las láminas colaborantes o formaletas que unan los patines a compresión de las vigas metálicas pueden darle el soporte lateral requerido a la losa para el periodo inicial de vaciado. Si lo anterior no sucede debe reducirse la capacidad de carga de la sección dependiendo la longitud sin soporte lateral que sufre realmente la viga.

### 3.9.4 Apuntalamiento

Si las vigas se apuntalan, las cargas las soportará por completo la sección compuesta después de retirar el apuntalamiento, de lo contrario la viga de acero debe soportar por si misma la carga que aporta el concreto sin fraguar y colaborar con la acción compuesta.

Sin apuntalamiento el concreto fresco tiende a generar grandes deflexiones en la viga de acero, que pueden ser remediadas en parte al darle contra flecha a las vigas.

Para el cálculo, cuando no se considera el apuntalamiento, se pueden estimar como cargas de diseño, una carga viva asignada al concreto fresco, mas una carga adicional aproximada de  $1000 \text{ N/m}^2$  que incluye las cargas propias de construcción, como personal, maquinaria, impactos de vaciado etc.

### 3.9.5 Refuerzo adicional en secciones compuestas

Por las consideraciones de apoyo tan variables a la hora de construir, es posible que se presente unos momentos mínimos negativos hacia los apoyos que pueden fisurar la losa de concreto. Esta situación se remedia proveyendo refuerzo negativo en la losa, con las cantidades y especificaciones de un acero de temperatura y retracción de acuerdo a recomendaciones hechas por el ACI ( American Concrete Institute).

En aras de obtener una reducción importante en los costos del entrepiso que se piensa evaluar, es importante considerar la losa de concreto mas allá de la

sección compuesta y evaluar la luz máxima que soportaría bajo cargas de servicio para obtener un mayor espaciamiento entre viguetas y así reducir su valor final.

De acuerdo a la NSR 98 en su numeral C.13.2.2 c “ la separación máxima entre nervios medida centro a centro no puede ser mayor a 2.5 veces el espesor total de la losa sin exceder 1.2 m” Con lo que tendríamos una separación real entre viguetas de 60 cm.

Sin embargo si analizáramos la loseta de concreto como una viga continua y teniendo las consideraciones para no chequear deflexiones de acuerdo a lo indicado en la tabla C.9-1(a) de la NSR 98, tendríamos una distancia máxima entre viguetas de 112 cm para la condición más crítica ( un apoyo continuo).

Lo loseta de concreto deberá diseñarse para que soporte tanto los momentos negativos como los positivos que se generan en el sentido transversal al de las viguetas de acero y se procederá a su diseño de la manera convencional de diseño de estructuras de concreto reforzado.

### **3.10 HIPOTESIS PARA EL DISEÑO DE LA LOSA COMPUESTA**

La losa de concreto esta conectada continuamente a la viga de acero.

El deslizamiento del conector de cortante es directamente proporcional a la carga del conector.

Existe una distribución lineal de las deformaciones unitarias a través del peralte del miembro.

La losa de concreto y la viga de acero no se separan verticalmente en ningún punto de la viga.

La hipótesis de falla también supone que el concreto fallará por esfuerzos de compresión en forma de aplastamiento, dándose una distribución uniforme de esfuerzos sobre el concreto y el acero.

El diseño de una losa compuesta generalmente parte de los tanteos, a pesar de existir algunas tablas en algunos libros y documentos, no es común esta condición, por las diferentes combinaciones que se pueden dar en las vigas de acero y los anchos y espesores de la losa de concreto. De todas maneras el caso en estudio no se encuentra documentado. De acuerdo con lo anterior el proceso de diseño se basa en suponer unas secciones y efectuar chequeos para que cada uno de los elementos se encuentren dentro de los límites permisibles de esfuerzo.

### 3.11 LOSAS COMPUESTAS CON CONECTORES DE CORTANTE

Cuando se va a diseñar una losa compuesta con conectores de cortante, el eje neutro de la sección puede estar ubicado en la sección de acero, con lo que el valor del cortante longitudinal entre los dos materiales valdría  $0.85A_c f_c$ , o puede quedar en la zona de contacto entre el acero y el concreto correspondería a  $A_s F_y$ .

La fuerza cortante horizontal total entre los puntos de máximo momento positivo y de momento nulo debe tomarse como el menor de los siguientes valores

$$0.85 f_c Ac$$

$$A_s F_y$$

$$\sum Q_n$$

### 3.1.1.1 Resistencia de los conectores de cortante

Debido a las consideraciones del tipo de vigueta de acero a utilizar, se utilizaran conectores tipo espigo, la resistencia nominal de este tipo de conector de acuerdo a NSR 98 F.2.9.5.3 es

$$Q_n = 0.5 A_{sc} (f_c * E_c)^{0.5} \leq A_{sc} F_u \quad \text{donde}$$

$Q_n$  : Resistencia nominal del conector de espigo (N)

$f_c$ : resistencia especifica del concreto en Mpa

$E_c$  : modulo elástico del concreto Mpa

$F_u$ : resistencia mínima especificada a tensión del conector de espigo Mpa

$A_{sc}$ : área transversal de un conector de espigo mm<sup>2</sup>

Requisitos de los conectores, (se basa en lo indicado en F.2.9.5.6 de la Norma colombiana de construcciones sismorresistentes, NSR 98)

Se debe proporcionar como mínimo 25 mm de recubrimiento lateral para los espigos, excepto cuando se usan en losas con laminas colaborantes con nervaduras.



El diámetro de los espigos no debe ser superior a 2.5 veces el espesor de la aleta a donde se soldará, con la excepción de si estos se colocan exactamente sobre el alma.

El mínimo espaciamiento de los conectores de espigo, centro a centro, será de 6 veces el diámetro del espigo en sentido longitudinal de la viga compuesta y 4 diámetros en la dirección transversal del eje longitudinal.

El espaciamiento máximo entre conectores no debe exceder 8 veces el espesor de la placa de concreto.

Como una de las intenciones de este trabajo es verificar el funcionamiento de viguetas de acero embebidas en concreto, para que funcionen como losas compuestas, se mirará cómo la adherencia del acero y el concreto puede garantizar que no se genere desplazamiento de algún tipo entre estos dos materiales y así poder garantizar su funcionamiento como viga compuesta total, sin la necesidad de utilizar conectores de cortante, únicamente valiéndose de la adherencia y fricción que se generan entre el acero corrugado y el concreto.

### **3.12 ADHERENCIA Y LONGITUD DE DESARROLLO DEL ACERO**

Una barra lisa que se introduzca en una sección de concreto con el fin de reforzarla y a la cual no se le dé unos ganchos de anclaje o algún tratamiento especial, presentará un trabajo deficiente o casi nulo cuando esta viga sea sometida a flexión (teniendo en consideración que el acero esta ubicado en la sección traccionada de la viga). En este caso la adherencia inicial la proveen únicamente la unión química y la fricción entre los dos materiales, que es muy

baja, pues al superarse esa fuerza de adherencia que se genera por una carga algo mas elevada, se presentará un deslizamiento del acero dentro del concreto, lo que conlleva a que la hipótesis de que el acero y concreto funcionan como una unidad y que no existe desplazamiento entre ellos no se cumple.

Pero en la actualidad se cuenta con aceros corrugados que proporcionan una superficie con unas áreas sobresalientes en las cuales el concreto que las rodea se apoya y eso permite que la adherencia se mejore sustancialmente hasta el punto que las varillas pueden llegar a no necesitar anclajes en forma de gancho y permiten la reducción en el agrietamiento y en las deflexiones que puede soportar la viga.

Debido a los criterios de diseño se supone que el cordón superior ( que es el que se encontrará embebido en concreto, de acuerdo con lo que se intenta investigar) estará sometido a compresión debido a unos esfuerzos de flexión causados por la carga aplicada, y esta carga generará esfuerzos de adherencia muy bajos, lo que conducirá a que no se presente deslizamiento entre el acero y el concreto y por tanto no se dé el desplazamiento horizontal, requisito para considerar la estructura que se analiza como compuesta.

Sin embargo y por efectos de comprobación se analizarán el comportamiento a tracción por adherencia y se verificaran los cálculos para evaluar el comportamiento obtenido con el real de diseño que se obtiene.

Las fallas por adherencia, producen en el concreto fracturas a lo largo de la barra que se considera de refuerzo, resultando generalmente por el efecto de cuña que generan los corrugados al apoyarse en el concreto. Cuando la fractura se presenta a lo largo de toda la barra y esta no se encuentra anclada, se da una falla completa por adherencia, dándose un deslizamiento completo entre el acero y el concreto y un colapso de la viga.

De acuerdo a lo indicado en Winter y Johnston pp 157 “Ensayos realizados en la Universidad de Texas y en el United States Bureau of Standards se indica que la fractura ocurre cuando la fuerza total de adherencia  $U = u \Sigma$  o por pulgada de longitud de barra, que se transmite desde el acero al concreto alcanza un valor crítico” encontrando estos investigadores que ese valor límite es equivalente a :

$$U_n = 35 (f'_c)^{1/2} \text{ donde } f'_c \text{ en psi}$$

Es de anotar que esta fuerza es independiente del tamaño y perímetro de la barra, pues los conceptos que aplicaron son consecuentes con el efecto de cuña, el cual depende de la magnitud de la fuerza aplicada y no del tamaño de la misma.

A partir de lo anterior se establece el concepto de longitud de desarrollo, la cual se define como la longitud mínima necesaria para generar por adherencia la fuerza ( $U_n$ ) para que no se genere falla de este tipo en la estructura y que el condicionamiento de falla se genere por flexión o cortante en la misma,

siempre y cuando la longitud de la barra sea igual o superior a la de desarrollo definida anteriormente.

La NSR en el numeral F.2.9.1.9.b “La cara superior de la viga quede por lo menos 40 mm debajo de la parte superior de concreto y 50 mm por encima de la parte superior de esta” haciendo alusión al requisito para el recubrimiento en estructuras compuestas totalmente revestidas.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 DIMENSIONES Y CANTIDAD DE LAS MUESTRAS

Para entrar a determinar las características dimensionales, se consideraron algunos aspectos adicionales que cubre el presente trabajo, como lo son el potencial uso en los entrepisos de las viviendas de interés social, las cuales tienen unas medidas relativamente características en sus diferentes habitaciones y que entraron a determinar la longitud máxima de las viguetas compuestas que se piensan tanto analizar como ensayar.

Esta dimensión definida, indirectamente nos conduce a las demás, ya que por lo indicado en el marco teórico, la longitud condiciona en buena proporción el ancho del patín de concreto, lo mismo que la distancia entre cordones que se recomienda en los soportes teóricos. Aunque se pudieron tomar como patrones de referencia otras estructuras, también primo el hecho del peso final de la probeta y su tamaño a la hora de ser ensayada en la máquina universal con la que cuenta la universidad.

Después de evaluar cierta tipología de viviendas de interés social, se optó por tomar una medida estándar de 3.2 m. Debido al uso pensado para estas vigas compuestas, donde se supone que se ejecutarán en proyectos de ampliación a futuro, esto conlleva a que el tipo de apoyo sea simple. Es de anotar que la normatividad que rige al país, define ciertas dimensiones y

características de las secciones compuestas, como el ancho del patín de concreto para ser analizado (40 cm), el espesor máximo de la losa de concreto, etc. Con datos como los anteriores y otros requisitos ya expuestos en el marco teórico, se determinaron cargas tanto para el diseño de la vigueta de acero, como para el de la sección compuesta.

Como la estructura cuenta con el aporte de dos materiales diferentes, se comenzó inicialmente a efectuar un diseño de la estructura de acero para que esta pudiera soportar por sí sola, las cargas de vaciado y construcción. Se procedió entonces a determinar las cargas actuantes en la estructura y a determinar la configuración geométrica óptima para efectuar ahorros en materiales. Como se indicó previamente en el marco teórico los cordones de la estructura se encargaran de soportar las fuerzas tractoras y compresoras resultantes de la flexión aplicada al elemento. Para tal fin se siguieron los requisitos de diseño de la NSR 98.

Para el diseño a cortante de la sección, se chequearon los valores de cargas para los elementos de la celosía, pero estos valores cambian dependiendo del tipo de configuración geométrica de ésta. Debido a que se podían tener muchas configuraciones de celosía en la vigueta metálica de acuerdo a lo mostrado en el marco teórico, se efectuaron dos diseños de viguetas con los dos tipos más comunes de disposición de celosía aplicable a este tipo de estructuras, con el fin de evaluar bajo cargas de diseño cual arrojaba un menor peso y facilitaba el proceso constructivo del elemento de acero. De acuerdo a lo anterior y después del diseño y la comparación se optó por la configuración Pratt, la cual ofrecía un peso algo similar a la configuración

Warren analizada, pero con la ventaja que la mayor cantidad de puntos de conexión entre los cordones a tracción y compresión ayudan a una mejor distribución de carga en la sección abierta, además de favorecer el comportamiento por pandeo local de los elementos que forman el cordón superior a compresión.

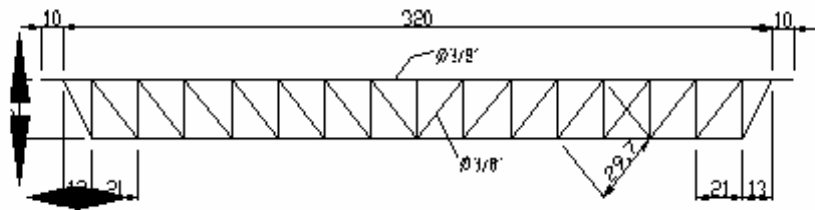


Figura 8: Vista lateral vigueta metálica (Configuración Pratt).

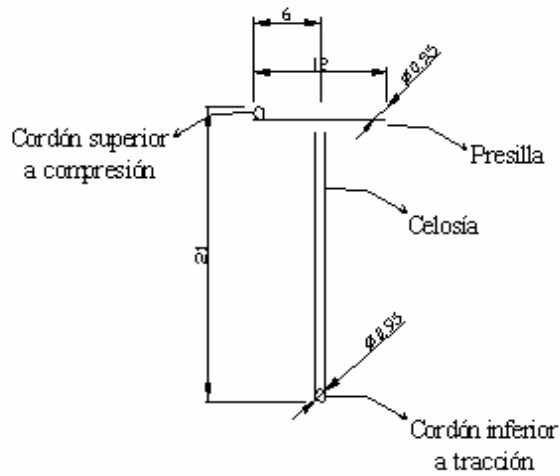


Figura 9: Detalle sección transversal.

Con el diseño de la sección de acero, se procedió al análisis de la sección compuesta, donde se buscaba que el nivel de esfuerzo en el acero bajo las cargas de servicio fuera proporcionalmente a su punto de fluencia, mas alto que la del concreto, (es de anotar que el concreto no tiene punto de fluencia, si no el punto de falla bajo carga) con el fin de buscar una falla dúctil en la sección.

Para la sección compuesta, se efectuaron dos diseños por separado, para revisar el comportamiento bajo las cargas de servicio cada una con una condición de restricción de cortante horizontal, la primera en la cual se dejaba embebido el cordón a compresión de la vigueta de acero en la losa de



concreto y la segunda donde se diseñaron unos conectores de cortante para cumplir dicho efecto.

Es de anotar que en ambas secciones compuestas se utilizó la misma sección de acero para no introducir variables extras que impidan efectuar un análisis comparativo posterior acertado, pero las características geométricas en ambas secciones compuestas son diferentes por la posición final de la vigueta en relación a la loseta de concreto.

Para el diseño de la estructura compuesta, en la que el cordón de acero se encontraba embebido en la losa de concreto, se procedió transformando la sección de concreto en una equivalente de acero y se determinaron las nuevas propiedades mecánicas y geométricas de ésta, para evaluar el nivel de esfuerzo tanto en el concreto como en el acero. A partir de esto se buscó que el acero a tracción estuviera más esforzado que el concreto a compresión con el fin de buscar una falla dúctil en la sección y no una falla explosiva en la sección de concreto.

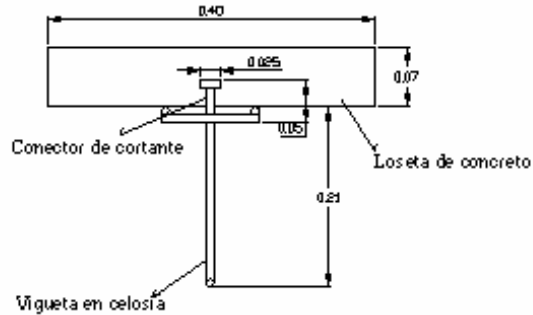


Figura 10: Sección transversal viguetas con conectores de cortante.

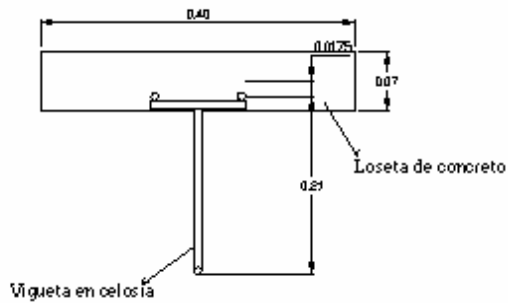


Figura 11: Sección transversal viguetas con el cordón a compresión embebido.

El proceso de diseño de la sección compuesta cuando se utilizaron los conectores de cortante, fue el de determinar el Eje neutro plástico de la estructura compuesta y a partir de esto determinar cual condición gobernada el cortante horizontal entre ambos materiales y posteriormente calcular la cantidad de conectores de cortante requeridos. Se determinó usar conectores de pernos con cabeza. En concordancia con el diseño anterior se

buscó que la falla se presente en la sección de acero a tracción con el fin de que ésta sea dúctil y no se presente una falla por explosión en la sección de concreto.

La posición de la sección de acero en los 2 casos analizados varían un poco por el objeto del trabajo sin embargo el incremento en resistencia final no es muy alto y lo que intenta probar el presente trabajo es el real funcionamiento como estructuras compuestas de ambas secciones y a la vez poder efectuar una comparación económica de las mismas.

Dentro de los anexos, se encuentran las memorias de cálculo de los análisis y de los diseños mencionados anteriormente.

Al tener los diseños, de las viguetas de acero como de las secciones compuestas, se pudo comenzar el análisis bajo ordenador utilizando la geometría y los materiales obtenidos del diseño “manual” realizado. Estos diseños manuales permitieron también tomar las decisiones de las dimensiones y de los materiales de las probetas que se piensan ensayar, al igual que la determinación de costos para la evaluación económica de la tecnología constructiva que se está estudiando.

## 4.2 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

### 4.2.1 Tipo de acero a utilizar

Los materiales con los que se ejecutaron los ensayos en el presente trabajo, provienen de distintas fuentes de materiales con los que se cuentan en la ciudad (ferreterías, depósitos de materiales) pues no se pretende tener unas condiciones óptimas de laboratorio, por el contrario se busca un comportamiento rutinario de construcción dentro de la ciudad frente a los materiales que se pueden adquirir normalmente. Lo anterior no quiere indicar que se trata de materiales de mala calidad o dudosa procedencia.

Se escogió acero corrugado de alta resistencia (420 Mpa) debido a las condiciones comerciales de otros aceros en la actualidad (difícil consecución y costos elevados) además del uso frecuente en los diferentes talleres de soldadura no industrializada de este material en la ciudad. El acero se consiguió en ferreterías donde se garantizara que fuera calibrado y perteneciera alguna de las siderúrgicas de nombre en el país.

El acero utilizado proviene del GRUPO SIDERURGICO DIACO y se anexan los resultados de laboratorio del muestreo del lote de acero utilizado.

#### **4.3 DIMENSIONAMIENTO Y PROBETAS UTILIZADAS**

El dimensionamiento de las probetas que se utilizaran en los ensayos, responden a los diseños previamente realizados y que tienen como objeto comparar los valores obtenidos de los ensayos con los análisis e hipótesis elaborados. Cabe anotar que los diseños responden a unas condiciones de carga que no se pueden evaluar en el laboratorio con la máquina disponible de la universidad, por eso se optó por ejecutar cargas aplicadas en los

tercios, que de alguna manera pudiera asemejarse a las condiciones de carga distribuida con la que se ejecutó el diseño.

La ubicación de la vigueta metálica respecto a la losa de concreto, lo determinó las características de cada tipo de estructura a ensayar, las primeras con el cordón embebido y las segundas con los conectores de cortante embebidos.

De acuerdo a lo anterior se decidió construir estructuras con las siguientes consideraciones:

Longitud de la probeta entre apoyos = 320 cm

Ancho del patín de concreto = 40 cm

Espesor del patín de concreto = 7 cm

Altura de la vigueta de acero = 21 cm

#### **4.4 CANTIDAD DE LAS MUESTRAS A UTILIZAR**

Aunque para obtener resultados concluyentes y definitivos frente a un tema se requerirían muchísimas muestras que permitieran elaborar un patrón de comportamiento del tipo de estructura que se estudia, este trabajo no tiene por objeto efectuar el análisis estadísticos, si no mas bien determinar un patrón de comportamiento en esta clase de estructuras y comparar los resultados obtenidos por los ensayos con los que parten del análisis y cálculos realizados; por lo que 3 muestras de cada tipo de estructura analizada se consideran suficientes para tal fin. Sin embargo, se deja un

estudio iniciado, y determinar tendencias y comportamiento más precisos requerirán más vigas ensayadas que permitan un estudio estadístico más refinado y concluyente.

#### 4.5 UBICACIÓN DEL ACERO DE LAS VIGUETAS DENTRO DEL CONCRETO

La posición del acero a compresión de las viguetas construidas dentro del concreto dependía del tipo de supuesto de funcionamiento realizado, fue así como se embebió el cordón a compresión de 3 probetas para evaluar el desempeño de estas, y si el corrugado de la varilla ayudaba a contrarrestar el cortante horizontal entre los dos materiales para considerarla de sección compuesta total. Las otras 3 probetas, constaban con los conectores de cortante diseñados para el fin antes expuesto por lo que su cordón a compresión quedó en contacto con la losa de concreto y solo se embebió en ella los conectores de cortante.

#### 4.6 LOSETA DE CONCRETO

Para la ejecución de la losa de concreto, se buscó conseguir los materiales requeridos para su ejecución, los que corrientemente se encuentran en los diferentes depósitos de materiales de la ciudad de Manizales.

Se buscaron materiales con unas condiciones en granulometría y calidad que permitieran obtener una resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa (3000 psi) como mínimo, pues esta resistencia se tomó en consideración a la hora de efectuar los cálculos en la sección compuesta. Para lo cual se partió

de un diseño de mezcla de 0.44:1:1.2:3.8 con materiales característicos de la región.

Se tomaron 4 cilindros a los que se les efectuaron ensayos a los 7 y 14 días y se esperó a obtener la resistencia especificada dentro del diseño para efectuar los ensayos de las viguetas de concreto.

En la medida que se obtengan mayores valores en la resistencia del concreto, se facilitara por ende el tipo de falla dúctil que se pretende encontrar en la sección de acero.

#### 4.7 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

De acuerdo a lo indicado en el numeral anterior se determinó construir 9 viguetas en acero, para los 3 tipos de ensayo que se ejecutaron, 3 para las viguetas de acero únicamente, 3 para aquellas que llevan el cordón a compresión embebido en el concreto y 3 con conectores de cortante. Para lograr tal fin se llevo a cabo el siguiente procedimiento:

Se compró el acero corrugado de 3/8" en una de los distribuidores de acero de la ciudad y en a un taller de soldadura se le suministraron los planos de las viguetas para que el material fuera cortado y ensamblado de acuerdo a los mismos.

Posterior a la construcción de las viguetas de alma en celosía, se procedió a comprar los materiales restantes para preparar el concreto y construir la formaleta para el tamaño deseado de los prototipos.

Este material fue llevado al laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, donde se fabricó la formaleta para las losetas de concreto de las secciones compuestas de los prototipos. Por facilitar el proceso de construcción, se decidió vaciarlas de manera invertida, es decir, que la losa de concreto quedara en contacto con el piso.



Imagen 1: Formaleta para las losas de concreto de las viguetas compuestas.

El concreto se dosificó al peso, para lo cual se utilizó la báscula del laboratorio de la Universidad. La preparación de éste se efectuó manual, para que las condiciones de preparación del mismo fueran muy similares a las que se usan en vaciados de concreto para casas de interés social en la ciudad de Manizales (es de entender que por las condiciones económicas, los propietarios no alquilan ni siquiera trompos de mezclado, menos aún concreto premezclado). El concreto fue vaciado en dos tandas de mezcla sobre las formaletas, y entre cada capa se instaló la malla electrosoldada recomendada



en el diseño. El concreto fue vibrado manualmente y cortando con llana. Del vaciado se tomaron 4 cilindros testigos para ser ensayados a los 7 y 14 días para verificar las resistencia de la mezcla y así dar vía libre a los ensayos de las viguetas.



Imagen 2: Preparación manual del concreto utilizado.



Imagen 3: Vaciado y colocación de malla electrosoldada.

Posterior al vaciado del concreto se instalaron las viguetas de acero en las losetas vaciadas; previamente en la formaleta se habían efectuado marcas para la colocación de las viguetas, y en aquellas en las que el cordón iba embebido, se efectuaron cortes en la tabla para garantizar el nivel de colocación de la varilla dentro del concreto.



Imagen 4: Instalación de vigueta metálica con el cordón en compresión embebido en el concreto.



Imagen 5: Instalación de vigueta metálica con conector de cortante.

Para acelerar el proceso de ensayo al concreto se le agrego una acelerante (sikaset L) dosificado al 1 % con el fin de obtener resistencias mas elevadas tempranas.



Imagen 6: Detalle de vigetas con conectores de cortante y con el cordón embebido.

#### 4.8 ENSAYOS DE LABORATORIO

Previo al ensayo de las vigas compuestas se debió chequear la resistencia de los cilindros a los 7 días; los dos cilindros ensayados arrojaron una resistencia de 18.5 MPa y 15.6 MPa y posteriormente en su ensayo a los 14 días de 22 Mpa y 21.2 MPa respectivamente, superando la resistencia esperada de 21 MPa. Estos resultados dieron vía libre a los ensayos de las muestras de las vigas compuestas.



Imagen 7: Detalle de ensayo del cilindro de concreto.

La máquina universal donde se realizan los ensayos tiene una capacidad de 1700 kN y presenta una incertidumbre máxima asociada a la calibración, para  $K=2$  de  $\pm 0.11\%$ , fue fabricada por Pinzuar, modelo PS 104 y pertenece a la Universidad Nacional Sede Manizales.

Debido al tamaño y los limitantes que posee la máquina de ensayo fue necesario diseñar y construir un sistema de apoyo, que permitiera desarrollar adecuadamente las pruebas (ningún desplazamiento en la dirección de aplicación de la carga) y que a su vez generaran las condiciones de apoyo que tendrían en un proceso de constructivo.

Debido a la forma de funcionamiento de la maquina la estructura se debió ensayar en sentido inverso pues el sentido de movimiento de la placa de ensayo lo obligaba.



Imagen 8: Sistema de montaje de las vigas ensayadas en la máquina universal.

El tamaño de la placa de ensayo de la maquina no permite aplicar cargas distribuidas en el elemento a ensayar, por lo que se optó por aplicar cargas a los tercios del elemento, esta distribución aunque un poco diferente, es la que mas se acercaba a la distribución de momentos que generaría una carga distribuida.

Para lograr aplicar esta carga se ubicó un dispositivo sobre la maquina, el cual consistía de una viga armada a la cual se el sujetaron unas palanquillas (elementos de acero de sección transversal 1" x 2") que cumplían el efecto de cargas puntuales y que estaban separadas la una de la otra una distancia  $L/3$  de la longitud del elemento a ensayar.



Imagen 9: Detalle elemento de generación de cargas sobre la vigueta.

Posteriormente se procedió a colocar cada una de las viguetas a ensayar en la máquina, verificando previamente que la posición de apoyo fuera la correcta y que la ubicación de las cargas fuera la idealmente pensada.

Se comenzaron a tomar medidas de deformación y carga asociadas. Las deformaciones se tomaron con un deformímetro con aproximación a la milésima de pulgada el cual se ubicó sobre el elemento y adicionalmente se tomaron lecturas de deformación en décimas de milímetros que proporcionada la máquina. La carga de aplicación la daba la máquina en Kilonewtons.





Imagen 10: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.



Imagen 11: Deformación en la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido.

## 5. RESULTADOS

Fueron ensayadas 3 probetas en las que el cordón a compresión de la vigueta metálica estaba embebido en el concreto, 3 con conectores de cortantes y 3 viguetas metálicas exclusivamente.

Al efectuar el desencofrado de las viguetas compuestas, se observó una buena calidad en el concreto, pues no se notó “hormigueros” por falta de vibrado ni reducciones aparentes en las secciones, ya que la formaleta presentaba un buen corte y al terminar el vaciado se allanó el concreto para dar una superficie uniforme.

### 5.1 CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LAS SECCIONES

A continuación se determinan las mediciones tomadas antes del ensayo, los datos tomados durante el ensayo y los parámetros obtenidos mediante fórmulas, que se señalan en las tablas de características geométricas presentadas a continuación:

#### 5.1.1 Mediciones tomadas antes del ensayo

L: Longitud entre apoyos

a: primer tercio del elemento a partir del apoyo A.

b: tramo central del elemento, tercio central.



*c*: tercer tercio del elemento, terminando en el apoyo B.

*t*: espesor de la loseta de concreto de la viga compuesta.

*h*: altura de la vigueta a ensayar. Esta aplica tanto para las viguetas compuestas, como para las viguetas metálicas ensayadas.

### 5.1.2 Datos tomados durante el ensayo

*P*<sub>máx</sub>: carga máxima resistida por el elemento.

### 5.1.3 Parámetros obtenidos mediante fórmulas

$$M_{\text{máx}} = (P/2) \times (b/2 + c - L/2 + a)$$

*I*: momento de inercia de la sección ensayada ( metálica o compuesta de acuerdo el caso)

## 5.2 DIAGRAMA CARGA DEFORMACION

### 5.2.1 Viguetas metálicas en celosía

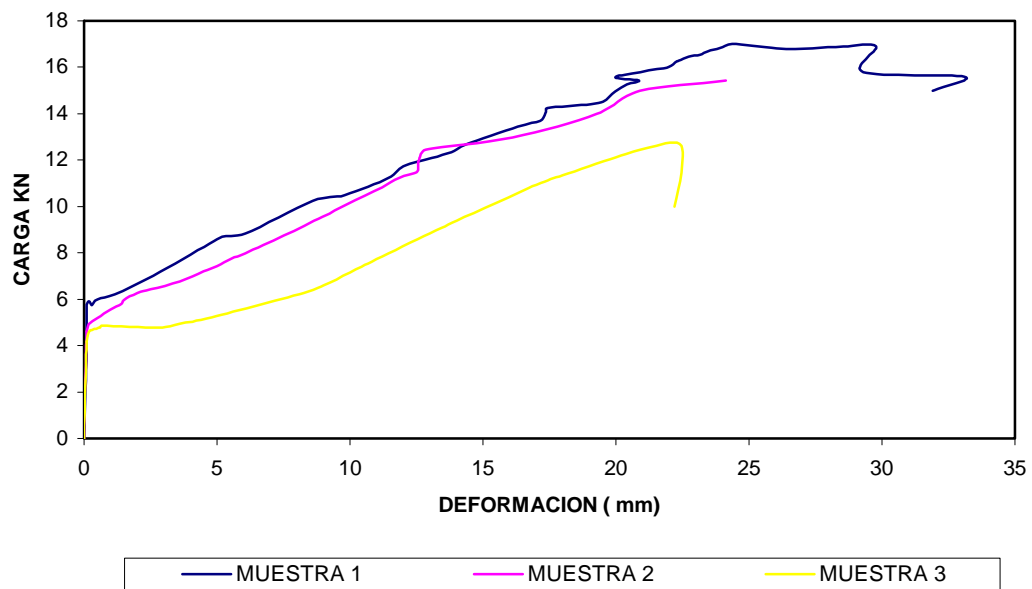


Gráfico 1: Diagrama carga vs. deformación para viguetas metálicas.

### 5.2.2 Viguetas compuestas en celosía con el cordón a compresión embebido en concreto.

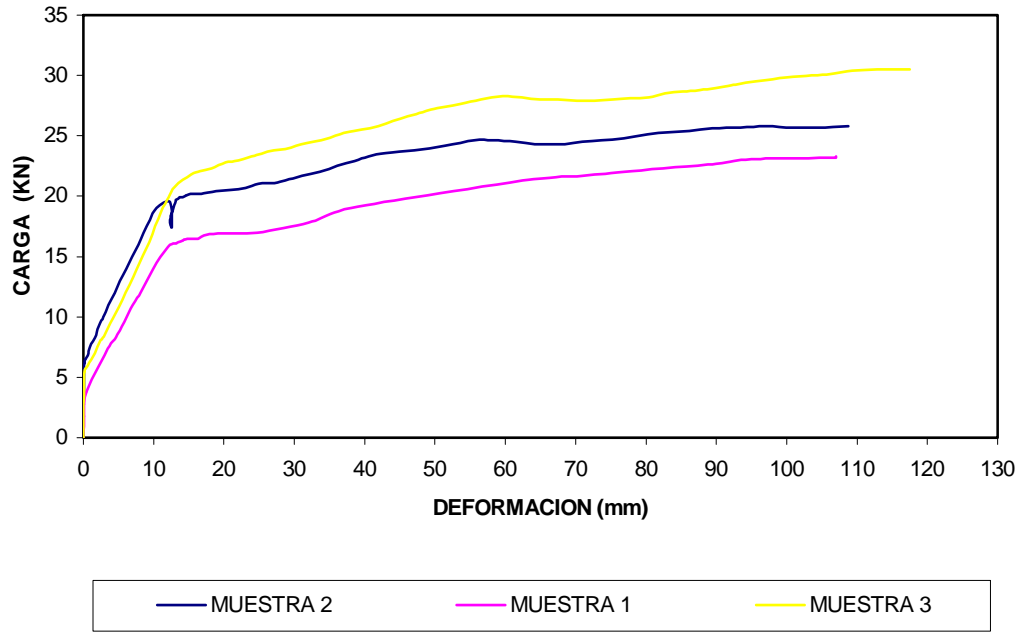


Gráfico 2: Diagrama carga vs. deformación para viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.

### 5.2.3 Viguetas compuestas en celosía con conectores de cortante.

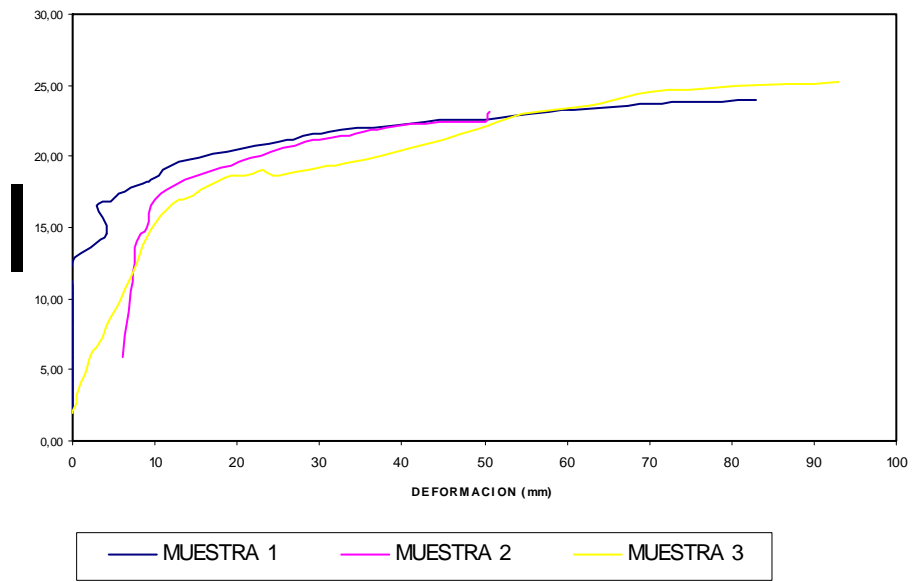


Gráfico 3: Diagrama carga vs. deformación para viguetas compuestas con conectores de cortante.

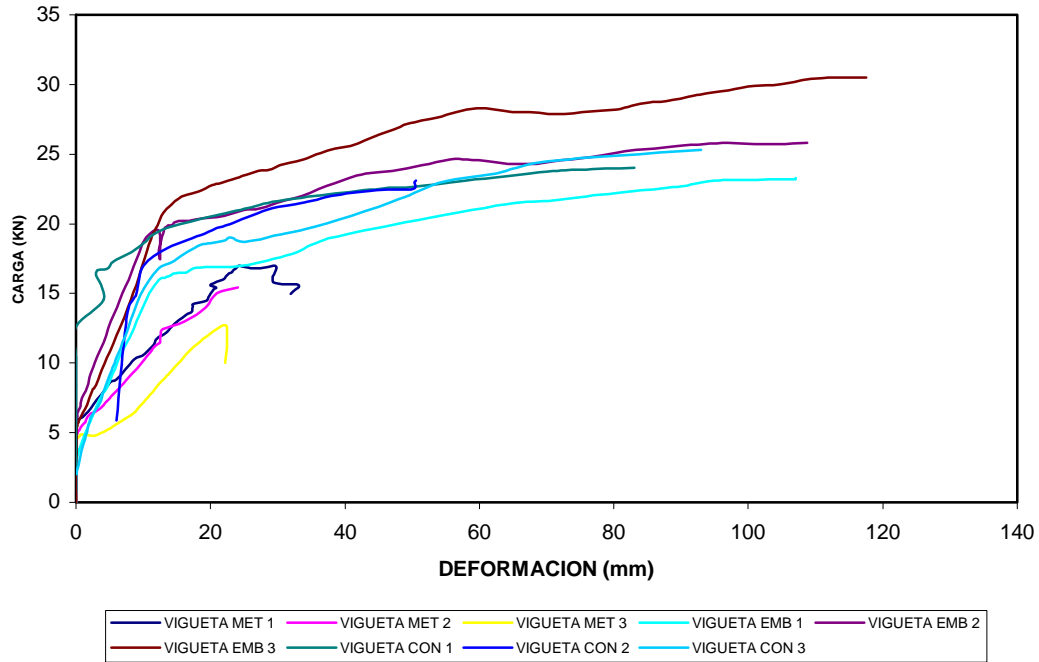


Gráfico 4: Diagrama carga vs. deformación para viguetas ensayadas.

### 5.3 ESTIMACION DE CARGAS A UN NIVEL LIMITE DE FUNCIONAMIENTO

Considerando lo expuesto en la NSR-98 C.8.14 sobre el estado límite de funcionamiento, al que se puede llegar por deformaciones o deflexiones excesivas para el uso normal de la estructura y teniendo en cuenta además que las viguetas objeto de este estudio, se contemplan como elementos constitutivos de una losa de entrepiso, se decide comparar las cargas para una deformación igual a  $L/480$  (si  $L=3200$  mm,  $L/480= 6.67$  mm), suponiendo

que esas losas estarían unidas a elementos no estructurales susceptibles de daño debido a deflexiones grandes. Es de anotar que esta consideración es un poco conservadora, sin que esto afecte los reales objetivos del estudio.

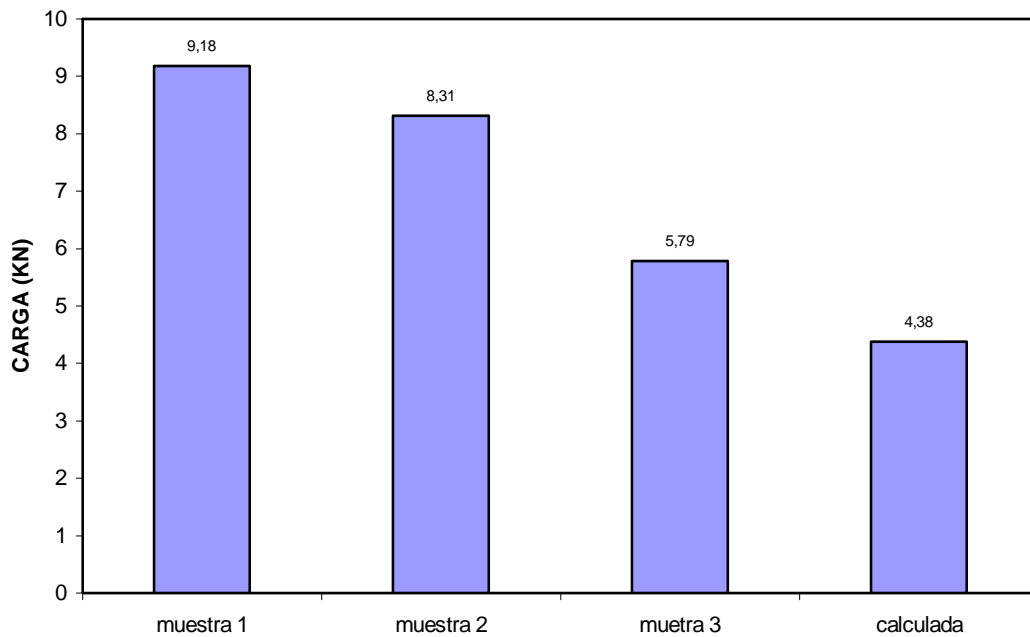


Gráfico 5: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas metálicas.

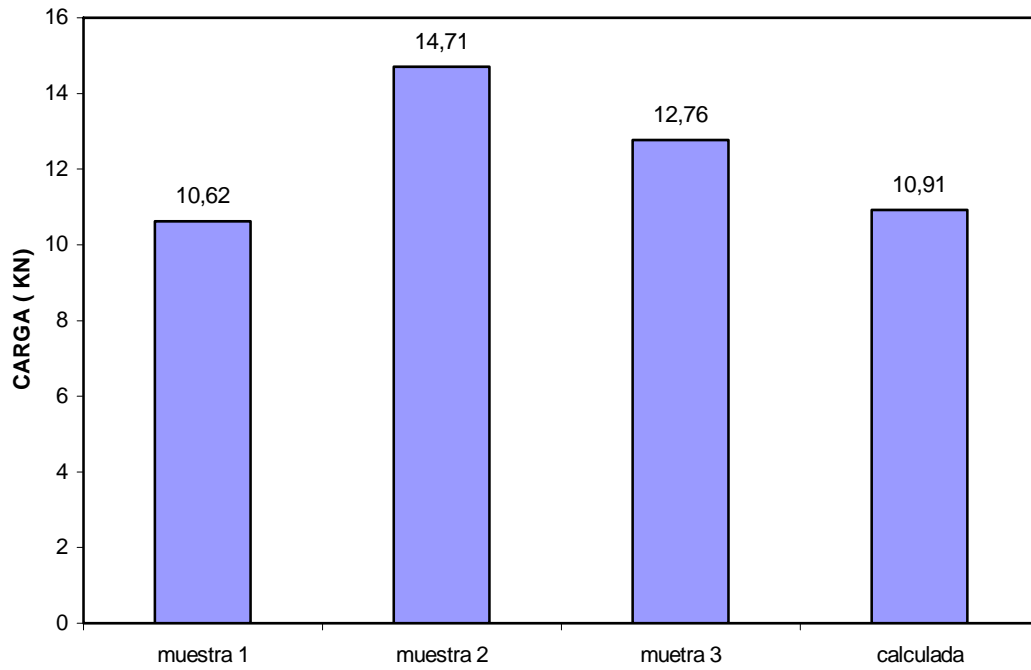


Gráfico 6: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.

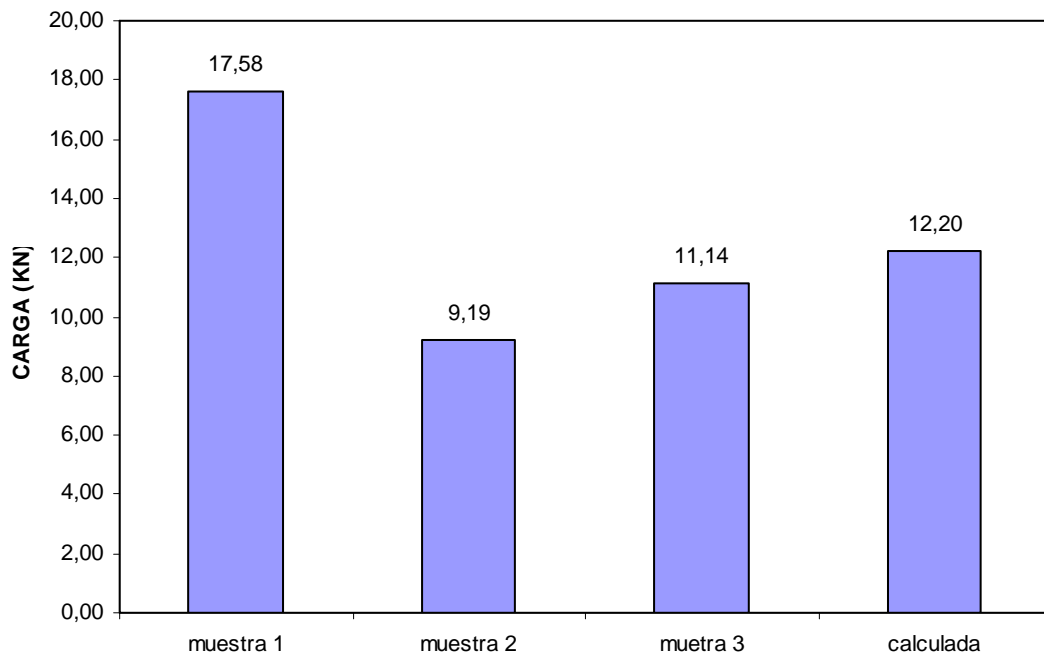


Gráfico 7: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas compuestas con conectores de cortante.



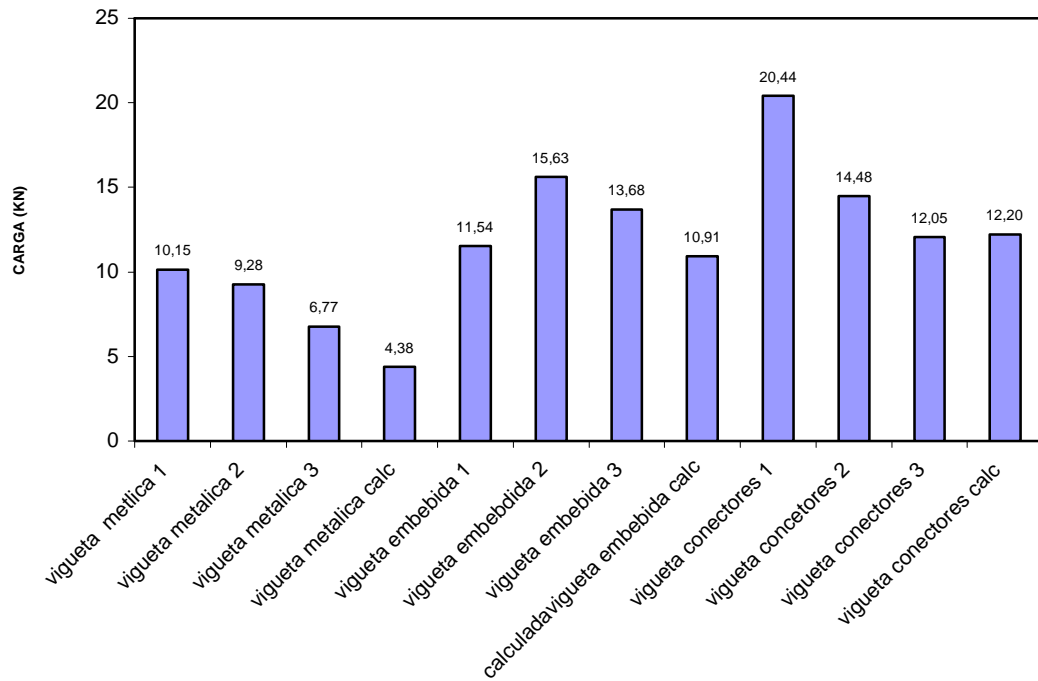


Gráfico 8: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las vigüetas ensayadas.

#### 5.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MAXIMOS DE CARGA

Con el fin de evaluar el comportamiento de las secciones frente a consideraciones máximas de carga se determinó la deformación vertical causada por esa condición, para posteriormente compararlas con los valores analíticos calculados manualmente y por medio del SAP 2000.

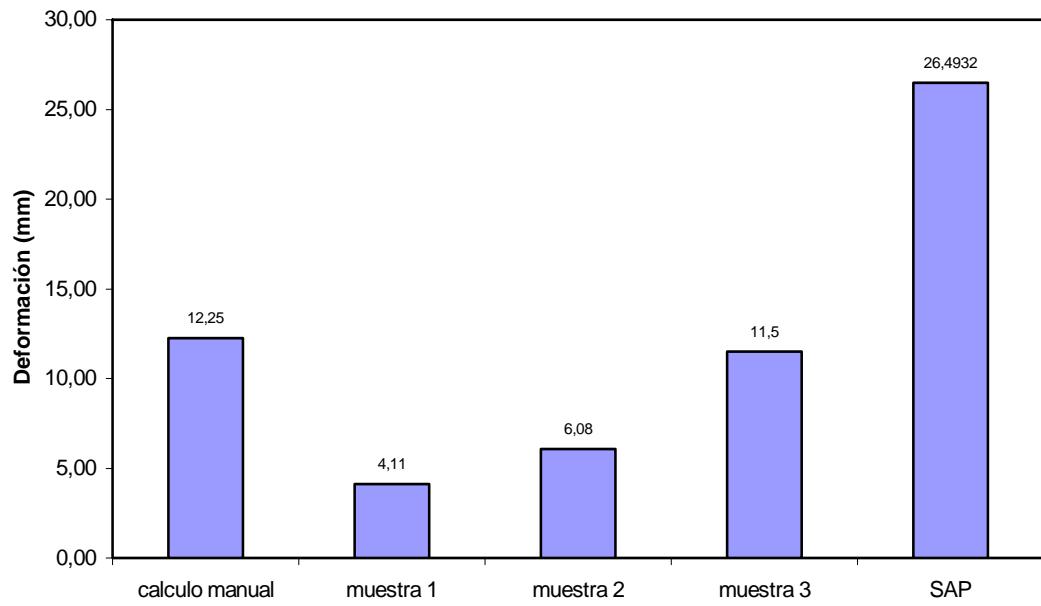


Gráfico 9: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas metálicas.

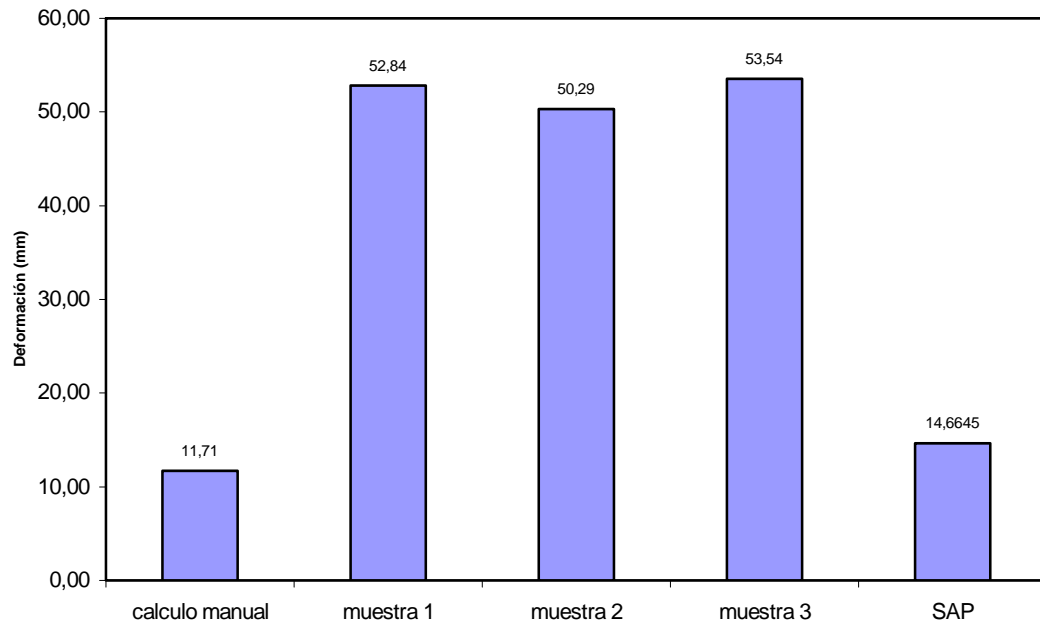


Gráfico 10: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con conectores de cortante.

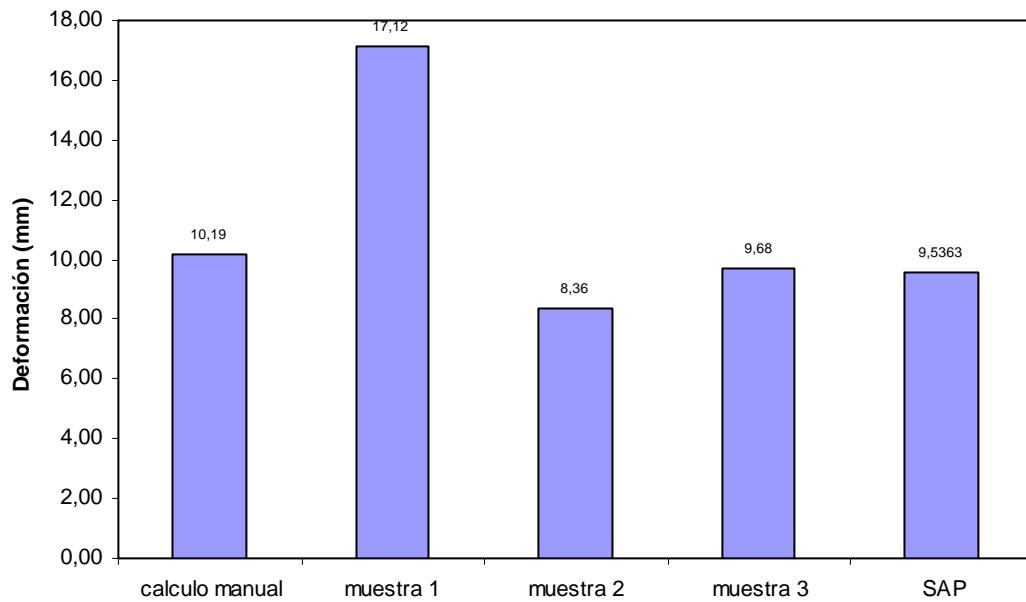


Gráfico 11: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con el cordón a compresión embebido.

## 5.5 DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD

Con la intención de determinar si las viguetas ensayadas están trabajando o no como sección compuesta, o cual material domina su comportamiento, se emplea la expresión que aparece en la siguiente figura, válida para cualquier material que tenga un comportamiento linealmente elástico y cuyas condiciones geométricas y de apoyo sean las de la figura 6.

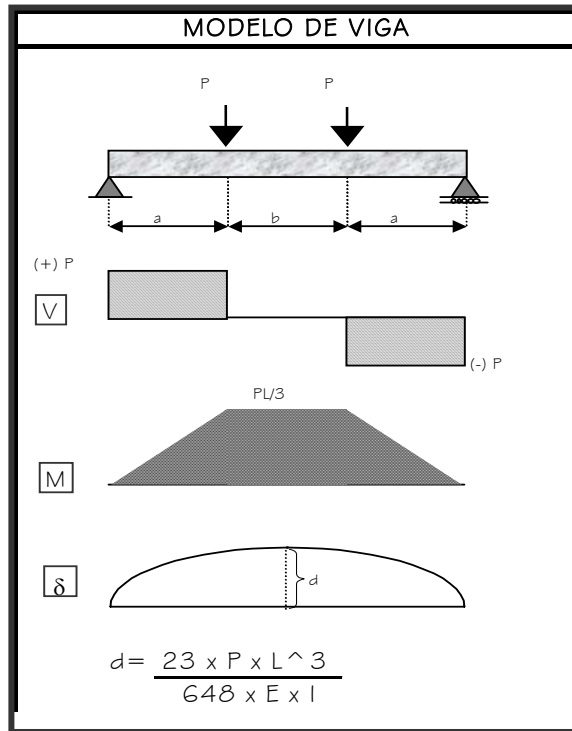


Figura 12: Modelo de viga empleado en el ensayo a flexión.

Luego, conociendo la deformación y la carga correspondientes a un punto de comportamiento elástico, según los diagramas carga deformación y teniendo como parámetro dado por la geometría, se necesita encontrar el factor relacionado con la rigidez del elemento. Para ello se consideran tres posibles inercias, según los modelos de sección dados a continuación:

DATOS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS INERCIA DE LOS MODELOS DE SECCIÓN			
	MATERIAL 1 : CONCRETO		
	MATERIAL 2 : ACERO		
$E_{c1} =$	18292,6 Mpa	$n1 = E_a / E_{c1}$	10,93
$E_{c2} =$	17872,0 M P a	$n2 = E_a / E_{c2}$	11,19
$E_a =$	200000,0 M P a		
	Diametro acero utilizado (3/8")	9,525	mm
	Cantidad de hilos (un)	= 2	
	INERCIA DEL ACERO (mm <sup>4</sup> ) = 404,05		

#### INERCIA PARA LOS DISTINTOS MODELOS DE SECCIÓN

MUESTRA	VIG METALICA	VIG EMBEBIDA	VIG CONECTORES
No	$I_t$	$I_t$	$I_t$
	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>4</sup> )	(mm <sup>4</sup> )
1	1910402	4682210	5547367
2	1910402	4682210	5547367
3	1910402	4682210	5547367

Tabla 2: Inercias para los distintos modelos de sección.

$$E = \frac{23 \times P \times L^3}{648 \times I \times d}$$

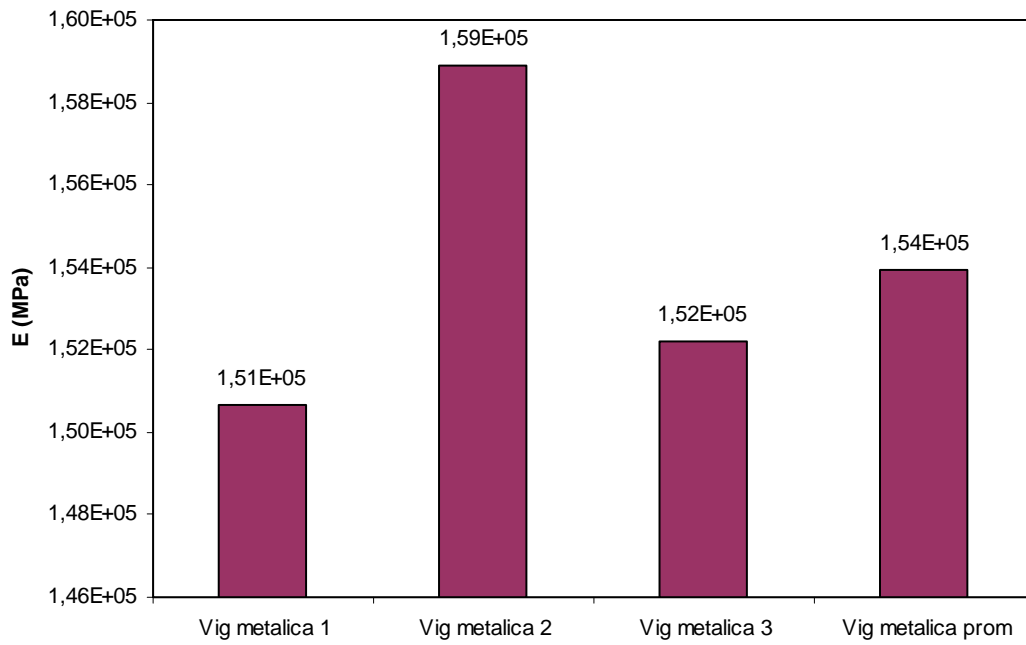


Gráfico 12: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas metálicas.

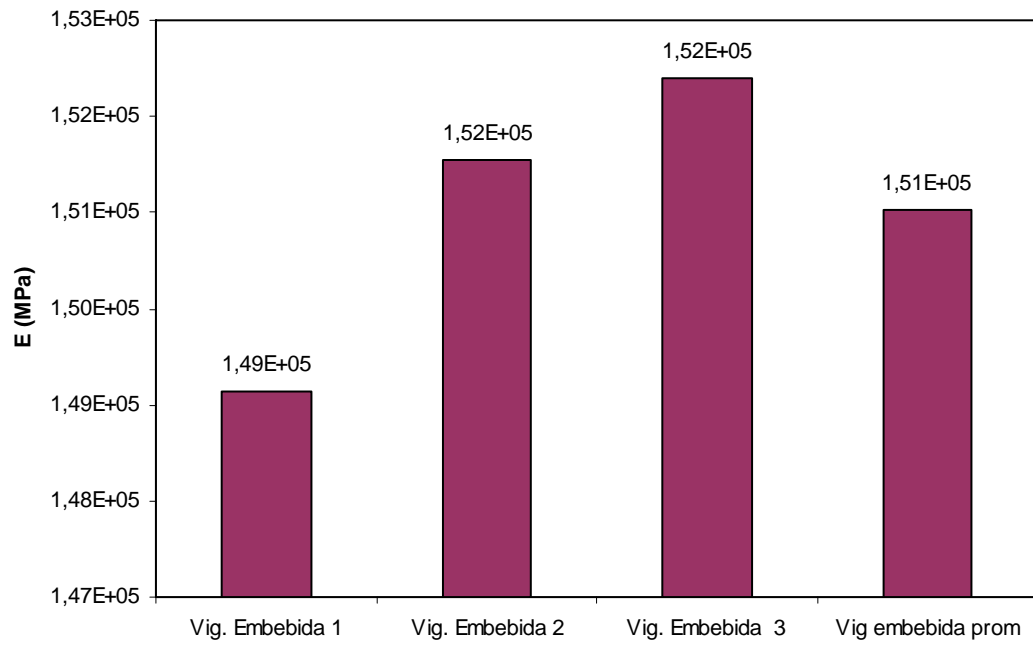


Gráfico 13: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con el cordón embebido.



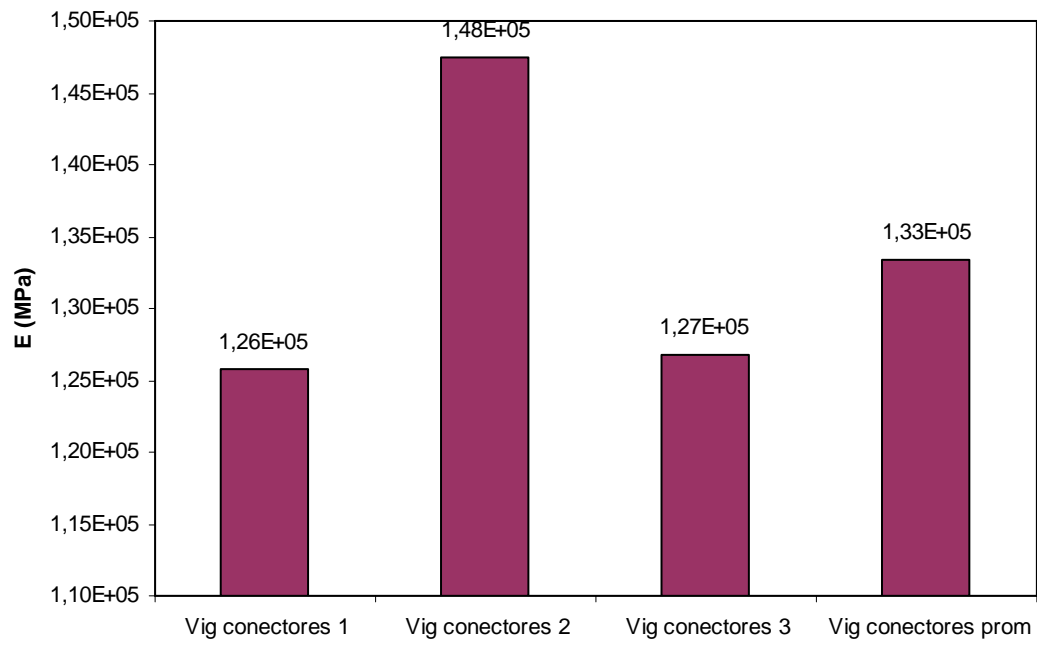


Gráfico 14: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con conectores de cortante.

## 5.6 CONSIDERACION SOBRE LA RIGIDEZ

Observando los diagramas carga - deformación de las viguetas ensayadas se puede observar que existe una zona inicial con un comportamiento casi lineal entre la deformación y la carga el cual esta terminando en punto aparente de fluencia de la sección, a continuación aparece otro tramo que presenta proporcionalidad entre la carga y la deformación, aunque no lineal.

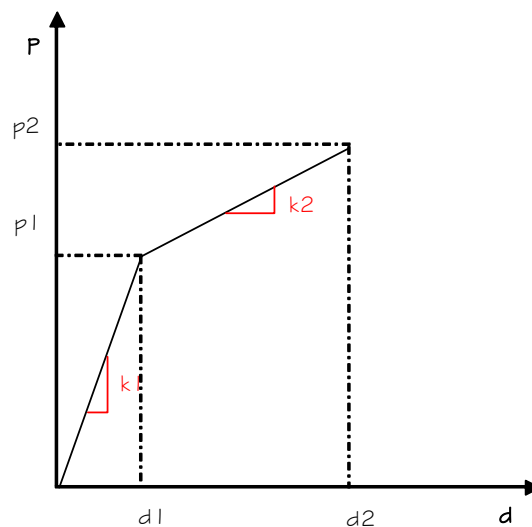


Figura 13: Representación de la rigidez de un elemento dada en un diagrama carga deformación.

Denominando  $k_1$  como la proporcionalidad existente en el primer tramo y  $k_2$  la proporcionalidad existente hasta una deformación igual 4 mm, por

considerarse este un punto seguro de proporcionalidad según los diagramas, ambas constantes puede determinarse como:

$$k1 = \frac{(p1 - p0)}{(d1 - d0)} \quad k2 = \frac{(p2 - p1)}{(d2 - d1)}$$

Luego, si se quiere conocer la degradación de este factor, entre un tramo y el otro, se obtiene un porcentaje de pérdida, igual a:

$$\% \text{ deg} = \frac{(k1 - k2)}{k1} \times 100$$

No	Vigueta embebida			Vigueta conectores		
	K1	K2	Perdida	K1	K2	Perdida
1	1,07	0,09	91,9%	0,69	0,07	89,2%
2	0,89	0,07	91,8%	1,86	0,15	91,9%
3	1,26	0,10	92,1%	1,28	0,12	90,3%

Tabla 3: Valores de proporcionalidad en los tramos del diagrama carga deformación para la vigueta embebida y con conectores.

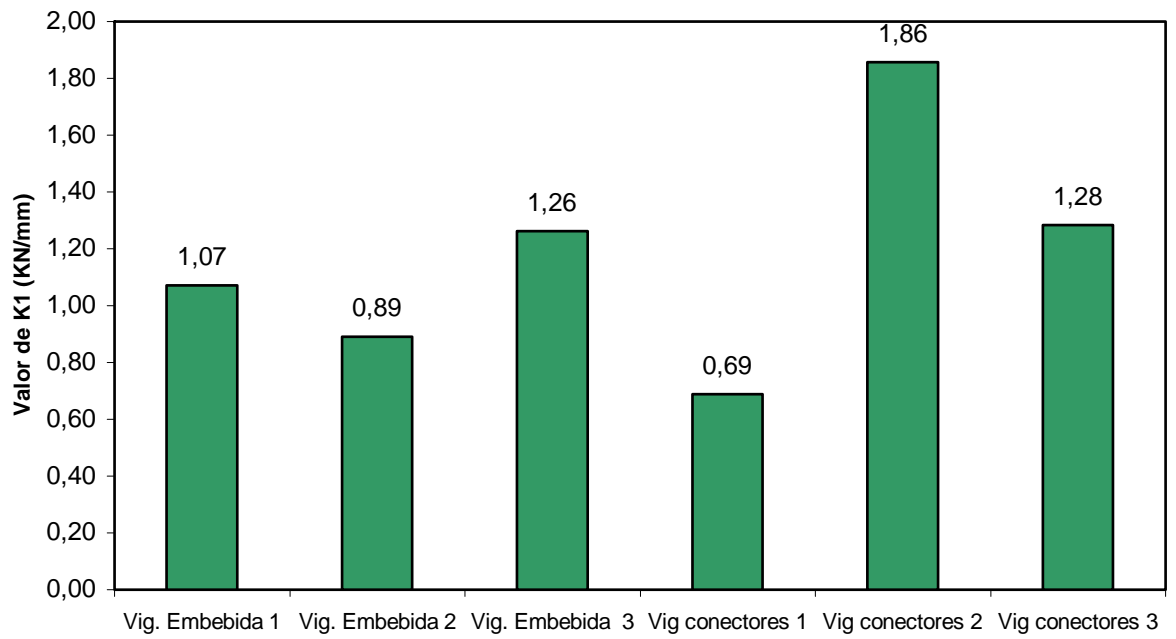


Gráfico 15: Valores de K1 para las viguetas ensayadas.

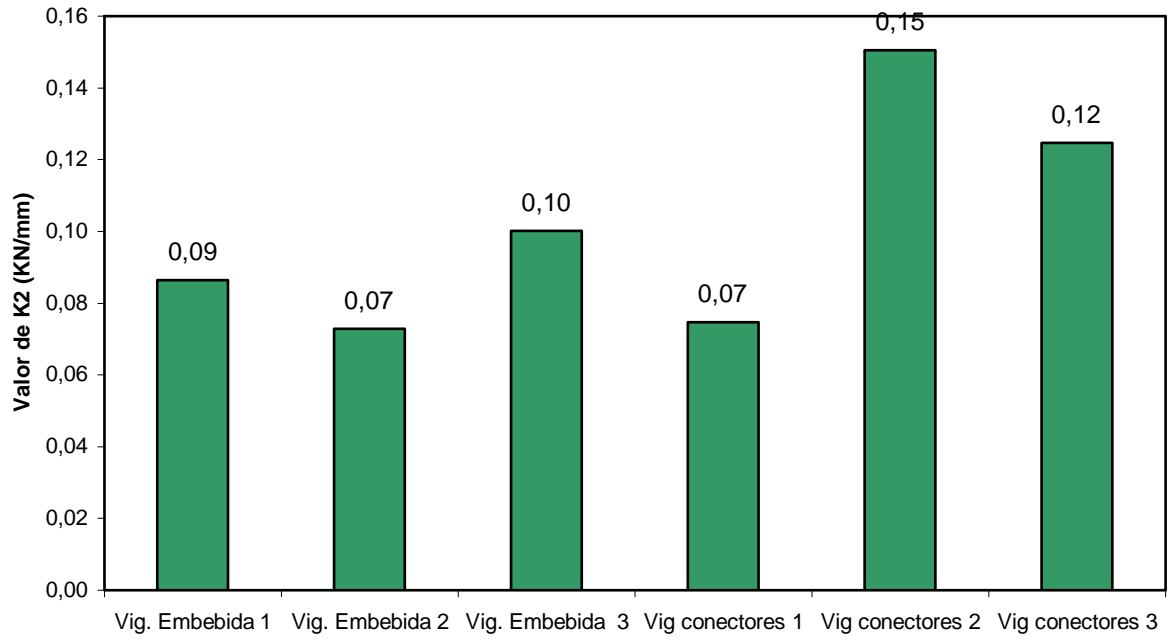


Gráfico 16: Valores de K2 para las viguetas ensayadas.

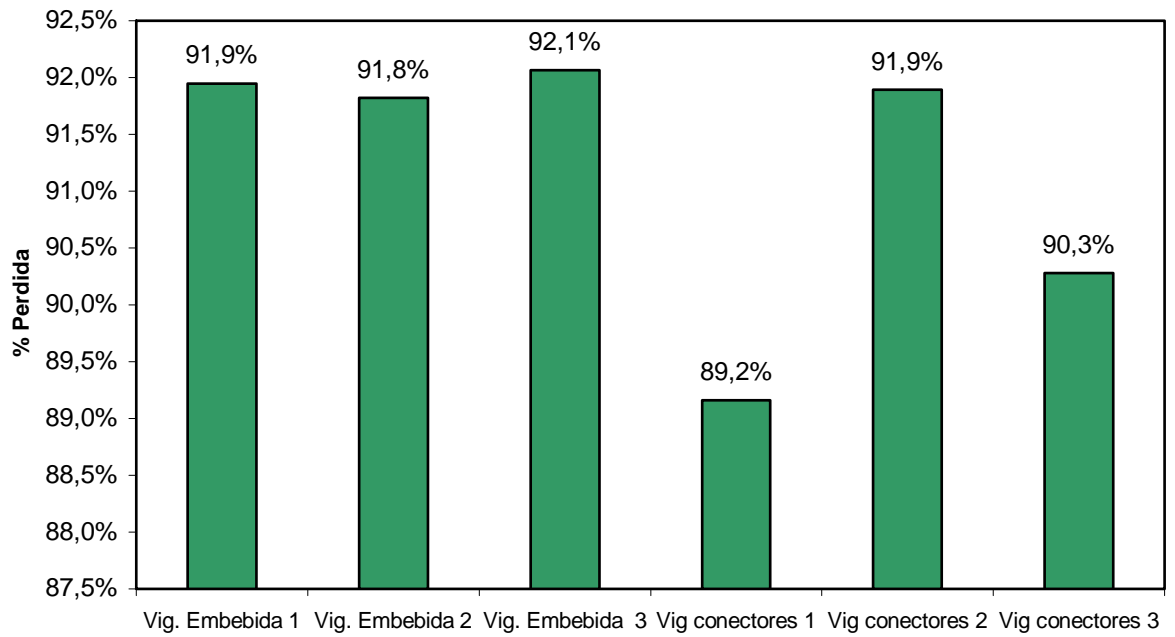


Gráfico 17: Porcentaje de pérdida de rigidez.

### 5.7 CONSIDERACION SOBRE LA DUCTILIDAD

Ductilidad  $u = \text{desplazamiento máximo} / \text{desplazamiento en el punto de fluencia}$

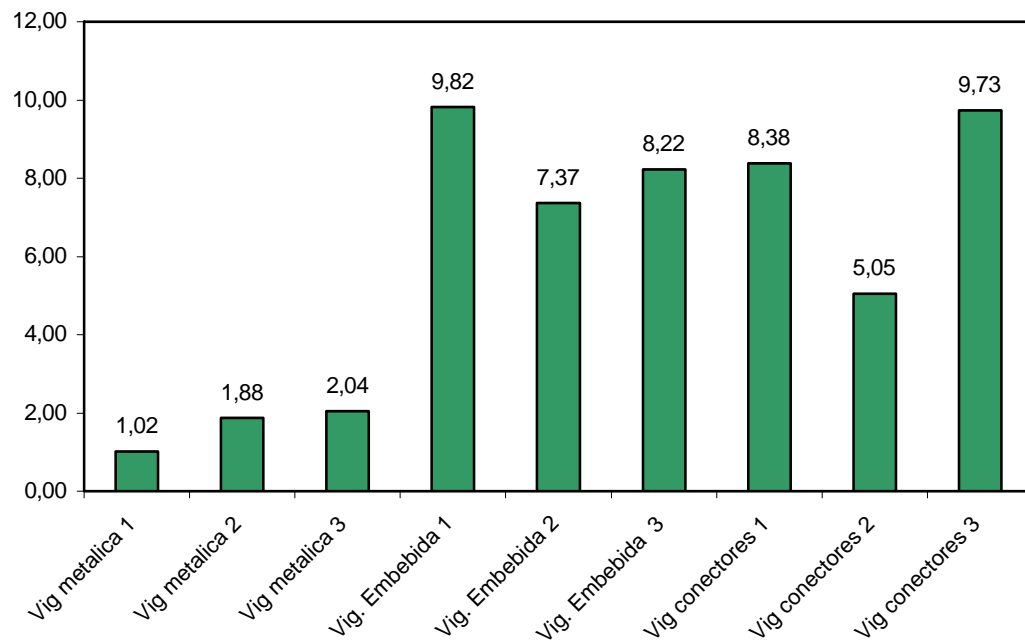


Gráfico 18: Valores de ductilidad para las viguetas ensayadas.

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentarán grupos de resultados, según el parámetro evaluado, con el correspondiente análisis:

### 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Para evitar desfases en los resultados y poder evaluar adecuadamente las secciones construidas, a la hora de la fabricación se controlaron aspectos muy importantes en lo referente a los tamaños de las viguetas metálicas así como a las dimensiones de la loseta de concreto. Por último se utilizaron formaletas iguales que generaban unas dimensiones iguales de la loseta en la consideración de viguetas compuestas.

El hecho que algunas viguetas fueran compuestas (o al menos es lo que se trata de evaluar con el presente trabajo) se pudo evidenciar en las capacidades de absorción de carga en relación a las viguetas metálicas ensayadas.

Es de anotar que la muestra 1 de la vigueta metálica presentó unas características diferentes de ensayo a las otras 2 muestras, ya que se intentó simular en laboratorio la restricción lateral que causaría una formaleta en obra. (esto se logró amarrando a la sección metálica de la muestra 1, madera que impidiera el pandeo lateral del elemento). Esta restricción colaboró para que el tipo de falla de la sección fuera diferente y que a su vez tuviera un mejor comportamiento final de carga que las otras dos muestras



## 6.2 DIAGRAMAS CARGA DEFORMACIÓN VIGUETAS ENSAYADAS

En las muestras ensayadas (viguetas metálicas, viguetas con el cordón a compresión embebido y viguetas con conectores de cortante) se puede evidenciar un comportamiento relativamente muy parecido entre ellas en sus diagramas carga / deformación, pues en éstas se observan unas zonas muy claras de comportamiento. La primera de ellas, en la que se presenta un incremento de carga considerable para una deformación del elemento muy pequeña, atribuible a la acomodación de las probetas a la máquina de ensayo.

Una segunda zona que muestra un comportamiento lineal, en donde el elemento posee una absorción de carga muy compatible con la deformación obtenida y que acaba en un punto cercano al de fluencia. Y una última zona que muestra un comportamiento algo lineal pero donde la capacidad de absorción de carga es muy baja (casi nula en las viguetas metálicas) en relación a la deformación que acumula hasta llegar a la falla.

Aunque su comportamiento es muy similar, las viguetas metálicas evidenciaron una menor capacidad de carga en función de la deformación y un a valor de deformación última bajo como era de esperarse (cercana al 50% de la correspondiente a las viguetas con cordón embebido y con conectores).

En promedio las viguetas con el cordón embebido soportaron mayores cargas y deformaciones que las viguetas con conectores de cortante.

### 6.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS A UN NIVEL LÍMITE DE FUNCIONAMIENTO

Considerando la deformación como parámetro importante para evaluar un nivel de servicio determinado, se comparan las cargas correspondientes para deflexiones iguales a 6.67 mm ( $L/480$ ). Esta comparación determinó que tanto las viguetas con conectores de cortante, así como las que tiene el cordón embebido, para esta condición de servicio soportan en promedio el doble de carga que las viguetas metálicas, situación que era de esperarse por las diferencias considerables en los momentos de inercia entre estas secciones. Se esperaban valores superiores de carga para esta misma deformación en la vigueta con conectores que en la vigueta con el cordón embebido por la diferencia apreciable en su inercia transformada, pero como se notó en los ensayos de laboratorio, el hecho de poseer diferentes resistencias de concreto de alguna manera afectó los valores de carga para la deformación establecida y abre la duda del comportamiento como sección compuesta de las viguetas con conectores de cortante.

### 6.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MAXIMOS DE CARGA

Las viguetas con el cordón embebido en concreto, para las condiciones máximas de carga presentaron deformaciones inferiores a las calculadas lo que permite intuir que las viguetas compuestas con el cordón superior embebido en concreto trabajan como sección compuesta total. Situación completamente opuesta sucedió con las viguetas con conectores de cortante en las que los valores de deformación fueron mayores y por tanto estaría indicando que no se está generando la sección compuesta total con este tipo de viguetas.

Las muestra 1 de las viguetas metálicas por su condición de restricción lateral dada a la hora del ensayo, presentó valores de deformación inferiores que las otras dos muestras que se ensayaron sin esa restricción, lo que indica que la formaleta en obra puede colaborar de una manera importante en la resistencia de estas en los procesos de construcción y así evitar diseños muy conservadores.

## 6.5 ESTIMACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para la estimación de los módulos de elasticidad de las probetas ensayadas se tuvo en consideración los puntos de carga y deformación que correspondían en cada una de los ensayos de las probetas a la región elástica del comportamiento de las mismas, optándose por promediar estos valores para tener un dato representativo de cada muestra ensayada.

Al trabajar con sección transformadas en acero tanto en las vigas con conectores de cortante como las que poseen el cordón superior embebido en concreto, era de esperarse valores del modulo de elasticidad muy similares entre ellas y a su vez con las viguetas metálicas. Esta situación se cumplió relativamente entre las viguetas metálicas y las de cordón embebido, pero las que tenían conectores de cortante, se encontraron un 20% por debajo de las otras, posiblemente por los problemas de lectura que tuvieron estas viguetas a la hora del ensayo, pues la velocidad de aplicación de carga no permitió establecer una zona elástica bien definida en estas probetas para evitar la aparición del error.

## 6.6 CONSIDERACIÓN SOBRE RIGIDEZ

Aunque la pérdida de rigidez entre las viguetas con el cordón embebido y las que tenían conectores de cortante fueron muy similares, las condiciones de carga finales para ambas son muy diferentes, pues mientras las que tenían conectores fallaban por completo, las que tenían el cordón embebido las limitaba las dimensiones de la maquina universal de la Universidad para continuar deformándose.

Es de anotar que para la estimación de los valores de rigidez se obviaron los datos iniciales, pues estos se explican por condiciones de acomodamiento de las probetas a la maquina durante el ensayo y por los valores tan altos de carga para poca deformación que no harían representativa la muestra analizada.

## 6.7 CONSIDERACIÓN SOBRE DUCTILIDAD

El hecho de tener una loseta de concreto mejora altamente el comportamiento dúctil de las viguetas metálicas.

En general el comportamiento de ductilidad de las viguetas compuestas ensayadas fue muy similar (9 % superior en promedio en las viguetas con conectores) y definitivamente el incremento en ductilidad con respecto a las viguetas metálicas fue alrededor del 500%.

Como era de esperarse la ductilidad en las viguetas metálicas fue muy baja, ya que por tratarse de un elemento en celosía la capacidad de disipar carga

se condiciona a la estabilidad local de cada uno de los elementos de ensamble.

## 7. MODOS DE FALLA

### 7.1 VIGUETAS METALICAS

Para indicar el modo de falla en las muestra de las viguetas metálicas, se debe aclarar que se efectuaron dos tipos de ensayo con estas probetas. El primero de ellos consistió en amarrarle lateralmente a la vigueta metálica, travillas de madera para que se cumpliera el efecto de arriostamiento lateral que en obra puede garantizar las formaletas. El modo de falla como lo muestra la fotografía es una falla por pandeo local del cordón superior a compresión en el sitio de aplicación de carga. Esta condición enumerada es la que gobernaba el diseño manual efectuado lo que ayuda a corroborar las hipótesis de análisis previos.



Imagen 12: Ensayo vigueta metálica muestra 1.

Las otras dos probetas se ensayaron sin restringir lateralmente la vigueta, presentando una falla por pandeo general del elemento, situación lógica pues no se tenía ningún punto de restricción lateral.

El hecho de restringir lateralmente estas viguetas a la hora de su uso incrementa de una manera importante los valores de carga máxima y de carga de servicio y se puede considerar que la formaleta puede ayudar para tal fin.

Para una misma deformación la capacidad de absorción de carga por lo indicado anteriormente fue mayor en la restringida lateralmente en casi un 100% y la deformación final para carga de falla calculada es 100% mayor que para las tras probetas sin restricción lateral.

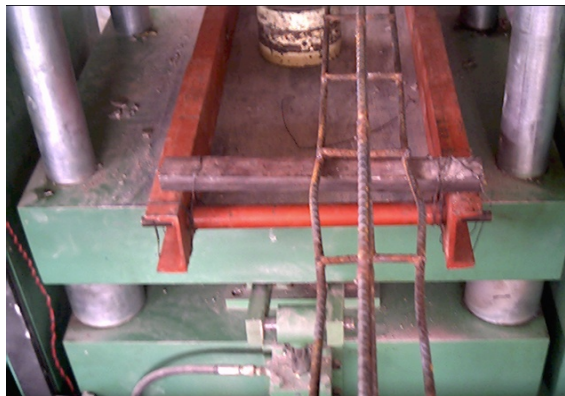


Imagen 13: Deformación en la vigueta de acero muestra 1.

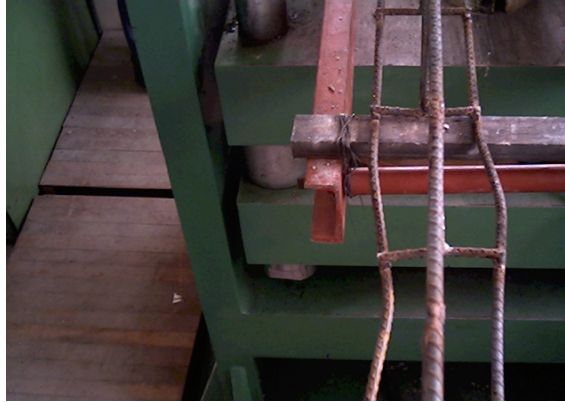


Imagen 14: Deformación en la vigueta de acero muestra 2 y 3.

La curva carga contra deformación de estos elementos, muestra una característica muy importante en las viguetas metálicas en especial en las muestras 2 y 3 (que no tuvieron restricción lateral) en donde no se observa una zona de comportamiento plástico por el contrario, se genera una falla súbita, como se indicó anteriormente. Esta situación explica la baja ductilidad calculada para este tipo de estructuras, ya que el fallo de un elemento puede causar el colapso general de la estructura.

## 7.2 VIGUETAS CON EL CORDÓN EMBEBIDO A COMPRESIÓN

Estas viguetas presentaron una falla inicial por fluencia en el cordón a tracción de la vigueta metálica, situación que fue posible corroborar pues al descargar el elemento se presentó un pandeo longitudinal en la varilla, la cual esta restringida por los puntales de la celosía como muestra la imagen 16.

Después de entrar en fluencia el acero se presentó una falla por cortante en la losa de concreto debida a las cargas puntuales aplicadas en el elemento. La posición de la falla coincide con los puntos de aplicación de carga como lo muestra la imagen 15.

Es importante mencionar que no se presentaron fallas por adherencia ni por longitud de desarrollo del acero embebido en la losa de concreto, lo que valida la hipótesis del funcionamiento de las estructuras compuestas (no deslizamiento horizontal entre el acero y concreto). El ensayo para este tipo de viguetas fue suspendido por limitaciones espaciales en la máquina universal de la Universidad, después de las deformaciones en la vigueta y en este punto la estructura, aunque se deformaba cada vez más, mantenía la carga aplicada por la máquina, permitiendo quizá describir un comportamiento aun mas dúctil que el estimado.



Imagen 15: Forma de falla en el concreto de la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido.





Imagen 16: Deformación en el acero después de retirar la carga aplicada.

### 7.3 VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

El mecanismo de falla que se observó en estas probetas fue similar al observado en las viguetas con el cordón a compresión embebido, con la salvedad que las presillas de la vigueta metálica (ver imagen 18) presentaban una deformación considerable que hace pensar que no se impidió por completo el desplazamiento horizontal entre el acero y el concreto y más bien sucedió de manera parcial. Esto se apoya también en las deformaciones bajo cargas máximas en las que las probetas mostraron definitivamente una deformación mayor que los valores calculados analíticamente.

A diferencia de las viguetas con el cordón embebido, estas alcanzaron un nivel de falla más rápido que ocasiona una degradación más temprana de la estructura.



Imagen 17: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.



Imagen 18: Forma de falla en el concreto y en la presilla de acero de la vigueta compuesta con conector de cortante.

## 8. MODELACIÓN CON ORDENADOR

Como uno de los objetivos que plantea el trabajo es efectuar la comparación en la parte de análisis de una estructura bajo dos métodos, el relacionado con los conceptos clásicos de la estática y el que efectúa un programa de elementos finitos como el SAP 2000. Estos valores posteriormente compararan con los resultados obtenidos mediante el ensayo de unas probetas.

Se procedió de la siguiente manera: A partir de las secciones obtenidas del diseño “manual” se procedió a modelar dicha estructura en el programa teniendo las consideraciones pertinentes de material empleado, tipos de apoyos y restricciones que pueden llevar el tipo de estructura analizada en el presente trabajo.

Para garantizar que tanto el acero como el concreto de las estructuras compuestas trabajaron como una unidad se aprovecho de la función “constraint” del programa que garantiza desplazamientos iguales entre los puntos de conexión de la vigueta de alma abierta en acero con la loseta de concreto.

La losa de concreto se modelo como un elemento rectangular con la sección establecida previamente y con el posicionamiento correspondiente a la estructura compuesta correspondiente.

La función constraint del SAP 2000 es de varias clases de acuerdo al tipo de análisis que se pretenda ejecutar, de acuerdo a las ayudas del programa se

implementaron las opciones EQUAL Y BODY las cuales se ajustaban mas a las condiciones del elemento y cargas que se pretendían evaluar.

A la hora de verificar que el comportamiento del modelo utilizado es el adecuado, se verificó que tanto los desplazamientos, como las rotaciones en el concreto como en el acero fueran iguales para verificar el comportamiento como secciones compuestas de estos modelos y se realizaron comparaciones entre los dos tipos de constraint.

Bajo unas condiciones de carga iguales en el análisis manual y por ordenador se compararon los resultados obtenidos, tanto las fuerzas internas en los elementos como las deflexiones de el elemento y las reacciones obtenidas en los apoyos, las cuales se anexan en la tabla anexa.

DEFLEX NUDO	1,2D + 1,6 L	EQUAL mm	BODY mm	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
	Manual mm				
28	5,12	5,36	5,13	4%	0%
45	5,12	5,36	5,13	4%	0%
46	5,12	5,36	5,13	4%	0%
47	5,12	5,36	5,13	4%	0%

DEFLEX NUDO	PUNTUAL Manual mm	EQUAL mm	BODY mm	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
28	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
45	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
46	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
47	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%

DEFLEX NUDO	LIVE Manual mm	EQUAL mm	BODY mm	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
28	1,03	1,08	1,03	4%	0%
45	1,03	1,08	1,03	4%	0%
46	1,03	1,08	1,03	4%	0%
47	1,03	1,08	1,03	4%	0%

Tabla 4: Valores comparativos de deformación para viguetas embebidas.

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual Mpa	EQUAL KN	BODY KN	esf body Mpa
Cordón superior	Mpa			
136	5,42000741	15,18	17,55	5,42
137	5,42000741	15,18	17,55	5,42
Cordón inferior				
63	215,896048	14,37	14,67	202,39
71	215,896048	14,55	14,66	204,93
Celosía tracción				
4	6,18	5,07	6,16	
120	6,37	4,23	6,02	

Celosía compresión				
124	5,26	2,94	5,69	
116	4,51	4,44	5,28	

ELEMENTOS	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
Cordón superior		
136	0%	14%
137	0%	14%
Cordón inferior		
63	-7%	-4%
71	-5%	-5%
Celosía tracción		
4	-22%	0%
120	-51%	-6%
Celosía compresión		
124	-79%	8%
116	-1%	15%

Tabla 5: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas embebidas.

DEFLEXION NUDO	1,2D + 1,6 L Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	4,32	4,37	4,66	1%	7%
45	4,32	4,37	4,66	1%	7%
46	4,32	4,37	4,66	1%	7%
47	4,32	4,37	4,66	1%	7%

DEFLEXION NUDO	PUNTUAL Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	11,71	14,66	15,74	20%	26%
45	11,71	14,66	15,74	20%	26%
46	11,71	14,66	15,74	20%	26%
47	11,71	14,66	15,74	20%	26%

DEFLEXION NUDO	LIVE Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	0,87	0,88	0,94	1%	7%
45	0,87	0,88	0,94	1%	7%
46	0,87	0,88	0,94	1%	7%
47	0,87	0,88	0,94	1%	7%

Tabla 6: Valores comparativos de deformación para viguetas con conectores.

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual Mpa	BODY KN	EQUAL KN	esf body Mpa	esf equal Mpa
Cordón a compresión					
136	4,79	-18,12	-13,55	6,47	4,84
137	4,79	-18,12	-13,55	6,47	4,84
Cordón a tracción					
63	203,81	13,72	12,62	192,55	177,11
71	203,81	13,72	13,14	192,55	184,41
Celosía a tracción					
4	6,18	6,13	6,23		
120	6,37	5,94	5,81		

Celosía a compresión					
124	5,26	5,75	5,37		
116	4,51	5,19	4,41		

ELEMENTOS	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
Cordón a compresión		
136	1%	26%
137	1%	26%
Cordón a tracción		
63	-15%	-6%
71	-11%	-6%
Celosía a tracción		
4	1%	-1%
120	-10%	-7%
Celosía a compresión		
124	2%	9%
116	-2%	13%

Tabla 7: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas con conectores.

DEFLEXION NUDO	1,2D +1,6 L MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	6,83	8,09	16%
55	6,83	8,09	16%
75	6,83	7,94	14%



DEFLEXION NUDO	PUNTUAL MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	12,25	26,49	54%
55	12,25	26,49	54%
75	12,25	26,48	54%

DEFLEXION NUDO	LIVE MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	3,09	3,66	16%
55	3,09	3,66	16%
75	3,09	3,59	14%

Tabla 8: Valores comparativos de deformación para viguetas metálicas.

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual KN	SAP 2000 KN	DIFERENCIA MAN/ SAP
Cordón superior			
32	6,083626089	7,48	19%
33	6,083626089	7,48	19%
Cordón inferior			
131	12,16725218	11,96	-2%
128	12,16725218	11,96	-2%
Celosía tracción			
138	3,30	3,51	6%
140	3,40	3,71	8%
Celosía compresión			
139	2,81	2,91	3%
141	2,41	2,58	7%

Presillas	KN-MM		
117	70,21	29,92	-135%
115	70,21	48,44	-45%

Tabla 9: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas metálicas.

## 8.1 RESULTADOS ANALISIS MANUAL / ANALISIS POR ORDENADOR

Se pudo observar que la función del SAP 2000, constraint permite garantizar iguales desplazamientos y giros entre los materiales que conformaban la sección compuesta tanto para la opción BODY como para la EQUAL.

Las diferencias en deformaciones y rotaciones que se obtuvieron entre estas dos opciones de constraint eran relativamente muy pocas, sin embargo, de acuerdo a las ayudas del programa, la opción BODY aplica mas a la condición evaluada, situación que se corroboró al comparar los valores resultantes de deformación y fuerza en los elementos, con los datos provenientes del análisis manual.

Se pudo verificar que las hipótesis de análisis asumidas en los cálculos manuales son muy acertadas pues las variaciones con relación a los resultados arrojados por el SAP son bajos (del orden del 6 %) y estas se pueden explicar con el hecho que el programa asume deformaciones axiales de los elementos que el calculo manual no considera.

Se verificó en el modelo de la vigueta en celosía que los elementos que la forman absorben muy poco momento y cortante, situación que concuerda con la hipótesis de diseño manual que asume los nudos de los elementos como articulaciones.

Al efectuar la comprobación del cortante en las secciones compuestas (viguetas con el cordón embebido y con conectores) se observaba como la loseta de concreto contribuía con en determinados casos con el 50% de la absorción de corte de la sección.

## 9. ANALISIS ECONÓMICO

Uno de los objetivos de este trabajo es la evaluación económica del las viguetas compuestas con alma en celosía.

Para entrar a determinar su viabilidad económica se entrara a comparar en costos por metro cuadrado frente a algunos de los sistemas de entrepiso mas comúnmente usados en el país.

Se escogieron para efectuar las comparaciones, entrepisos en losa maciza, losa aligerada con ladrillo farol y losa con lámina colaborante tipo steeldeck. Para efectuar una adecuada comparación se fijaron unos parámetros iguales en las variables significativas (luz a cubrir, carga a soportar, deflexiones máximas) para tener puntos de referencia.

Teniendo en consideración lo anterior se diseñaron cada una de las losas mencionadas, y se presupuestaron sus costos, al igual que el de las viguetas compuestas de este trabajo. Dentro de los anexos se encuentran las memorias de cálculo y los análisis unitarios para cada uno de los tipos de losa diseñados.

A continuación se muestran los valores finales por metro cuadrado para cada tipo de losa analizado.

**CUADRO COMPARATIVO COSTO /M2 SISTEMAS DE ENTREPISO**

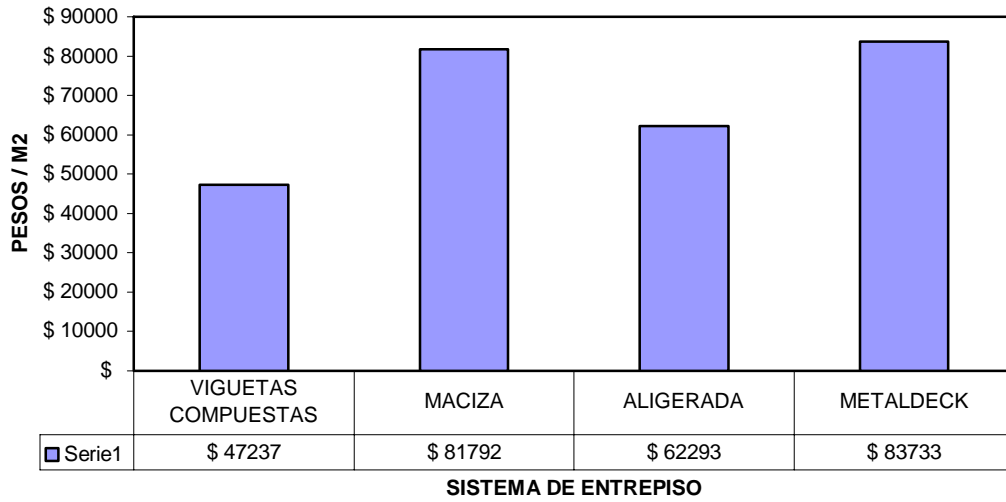


Gráfico 19: Cuadro comparativo costo/m2 sistemas de entrepiso.

## 10. CONCLUSIONES

- Mediante la experimentación se pudo determinar que si se desarrolló la acción compuesta total en las viguetas que tenían el cordón a compresión embebido en la losa de concreto, pues los valores obtenidos mediante los ensayos de las probetas así permiten concluirlo, no se observaron fallas por adherencia y por longitud de desarrollo de las varillas embebidas, lo que permitir deducir que no se generaron desplazamiento relativos entre el concreto y el acero del cordón a compresión. Además los valores obtenidos de carga y deflexiones son tanto para condiciones de servicio, como ultimas, superiores a los valores obtenidos del proceso de análisis manual y por medio de ordenador.
- Las viguetas con conectores de cortante presentaron también un comportamiento como viguetas de sección compuesta para las condiciones iniciales de carga y las condiciones de servicio. Sin embargo mostraron un comportamiento de sección compuesta que se evidencio por el desplazamiento relativo entre el concreto y el acero del cordón superior de las viguetas en los niveles de carga mas elevados. Esta acción compuesta parcial también se hace evidente por el hecho de que los valores de deformación en la condición última de

carga son muy superiores que los calculados manualmente y por medio del ordenador.

- El construir las viguetas metálicas en sección compuesta con el concreto, le genera un incremento de al menos el doble de la capacidad de carga para las condiciones de servicio y de falla en relación con las viguetas metálicas en celosía. Esta cualidad puede permitir al diseñador reducir las secciones del cordón superior de la viga de acero siempre y cuando considere el comportamiento como sección compuesta del elemento.
- Las viguetas metálicas en celosía mostraron una resistencia superior a la calculada previamente para las condiciones de servicio y de falla, sin embargo al llegar a su carga última presentaron un comportamiento indeseado pues se dio una falla súbita. Es recomendable hacia el futuro evaluar con mayor detenimiento este tipo de estructuras para entrar a determinar parámetros específicos que este trabajo no abarcaba como las condiciones de ductilidad y de carga de este tipo de estructuras.
- Las condiciones impuestas por la forma y tamaño de la máquina de ensayo con que cuenta la Universidad Nacional, limitan los anchos de viguetas compuestas a ensayar y las deflexiones máximas que se les pudo dar a las viguetas con el cordón embebido en concreto, lo cual impidió un cálculo más real de la ductilidad y de la evaluación de la integridad estructural de estos elementos. Esta misma condición obligaba a que cada probeta fuera ensayada para condiciones muy

atípicas de carga (carga a los tercios de la luz) y no las normales y concordante con los diseños convencionales.

- Existieron algunas variables dentro de los ensayos de las probetas que sería bueno corregir a futuro para garantizar unas condiciones óptimas de ensayo y así, una adecuada evaluación de comportamiento del elemento. Los niveles de calibración de la máquina, la colocación y las lecturas en los deformímetros instalados para el ensayo, la velocidad de aplicación de carga y toma de lecturas, por mencionar algunas afectan de manera significativa los ensayos realizados.
- Este trabajo de grado queda sentado como precedente de futuras investigaciones que pretendan conocer un poco más a fondo los tipos de estructuras analizadas, su comportamiento y uso. Abre también la posibilidad de entrar a reevaluar algunos criterios y normativas que sobre la misma pesan, para aprovecharlas de una mejor forma. Los anchos efectivos de las viguetas compuestas del tipo analizado, el espesor de la loseta de concreto, la cantidad de conectores requeridos para un comportamiento de sección compuesta total, por mencionar algunos de los temas a estudiar con posterioridad.
- Las viguetas compuestas analizadas durante el trabajo (con el cordón a compresión embebido) presentan comportamientos de degradación de su rigidez después que se alcanza el punto de fluencia en la respectiva sección. Lo anterior posibilita un nivel de seguridad aceptable por superación de la carga elástica de diseño, pero por los niveles de



deformación finales obtenidos, seguramente la estructura no permitirá su uso posterior al evento y requerirá de demolición. Las viguetas compuestas con conectores de cortante presentaron una degradación en el comportamiento estructural de tal nivel que no garantiza las condiciones de seguridad que las otras viguetas compuestas analizadas.

- La modelación de viguetas en celosía con el cordón embebido y con conectores de cortante, por medio de un ordenador y un programa de elementos finitos, arrojaron valores muy similares a los calculados manualmente, lo que permite validar las hipótesis de diseño manual.
- La modelación con ordenador permitió observar características en los elementos modelados que sería bueno corroborar en futuras investigaciones, como la capacidad de admisión de cortante por la losa de concreto en este tipo de estructuras.
- Se obtiene menor dispersión en los resultados de deformación vertical entre los calculados manualmente y por ordenador, cuando la carga que se aplica es distribuida y no puntual.
- Las discrepancias entre el modelo generado por ordenador y los valores resultantes del cálculo manual radican en su gran mayoría en las deformaciones axiales de los elementos que considera el programa usado (sap 2000)

- Al efectuar la comparación en costos por metro cuadrado con diferentes tipos de entrepiso normalmente utilizados en las tecnologías locales, se puede ver que este tipo de entrepiso, es una opción competitiva y realmente de menor costo. La mayor implementación de este tipo de losas puede fomentar la construcción y el desarrollo urbano en especial en vivienda de interés social donde por sus menores costos pueden inclinar a los propietarios a implementarlos como solución de mejora y ampliación de vivienda.
- La configuración de las viguetas compuestas facilita algunos procesos de construcción como lo son la instalación de cielo rasos sin estructura adicional de soporte, la colocación de redes eléctricas, hidráulicas y sanitarias por su fácil acceso y reparación, que son valores agregados a la hora de construir un entrepiso en una vivienda.

## 11. BIBLIOGRAFIA

MC CORMAC, Jack. ESTRUCTURAS ANALISIS Y DISEÑO. ESTRUCTURAS DE ACERO METODO LRFD. Editorial Alfaomega. Bogotá 1991

BROCKENBROUGH, MERRIT. Roger, Frederick. MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. Tomos I a III. Editorial Mc Graw Hill. Segunda Edición. Bogotá 1997

GALAMBOS, T. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD. Editorial Prentice Hall, México. 1996.

GARCIA, Jorge Mario. CURSO BASICO DE CALCULO Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS EN ORDENADOR. Editorial Mc Graw Hill. España 2000

BRESLER, Boris. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO . Editorial Limusa. Méjico . 1978

SEGUI, William. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO VON LRFD. International Thomson Editores. Méjico . 2000

Tablas de Perfiles y varillas FERRASA SA

LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN. MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION . Tomos I a III AISC. N.Y. Segunda Edición, 1994.

NSR 98 Normas Colombianas de Diseño y construcción sismoresistente

STEEL JOIST INSTITUTE, *Standard Specifications, Load Tables and Weight tables*

[www. Steeljoist.org](http://www.Steeljoist.org)

SALMON, Charles G. STEEL STRUCTURES, DESIGN AND BEHAVIOR . Ed Harper Collins . 1996

CAÑAS, H. DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS CON FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA. Universidad Tecnológica de Pereira. 1997.

VALENCIA, G. ESTRUCTURAS DE ACERO, Diseño con factores de Carga y Resistencia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1997.

## TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 ORÍGENES DE LAS ARMADURAS	4
3.2 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS	6
3.2.1 Nudo	6
3.2.2 Cordones	6
3.2.3 Riostras, diagonales o miembros del alma	6
3.3 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS	8
3.3.1 Fluencia y pandeo en los segmentos principales	8
3.3.2 Fuerza cortante en la celosía	9
3.3.3 Pandeo lateral con torsión	9
3.4 HIPÓTESIS DE DISEÑO	9
3.5 VIGUETAS EN CELOSÍA O DE ALMA ABIERTA	9
3.6 DISEÑO Y MANUFACTURA. HIPÓTESIS DE DISEÑO	10
3.6.1 Tracción	10
3.6.2 Compresión	11
3.6.3 Flexión	12
3.6.4 Flexo compresión	12
3.6.5 Máxima relación de esbeltez	13
3.7 DISEÑO DE LOS MIEMBROS	14
3.7.1 Cordones	14
3.7.2 Alma o celosía	14
3.7.3 Empalmes	15
3.7.4 Contraflecha	15
3.7.5 Pisos y paneles de cubierta	16
3.7.6 Deflexión	16
3.8 VIGAS EN CONSTRUCCIÓN COMPUESTA	16
3.8.1 Determinación del ancho efectivo	20
3.8.2 Transmisión de la fuerza de cortante	21
3.9 ESFUERZOS EN VIGAS COMPUESTAS	22
3.9.1 Comportamiento a flexión	22
3.9.2 Capacidad a momento de las secciones compuestas	28

3.9.3 Soporte lateral	32
3.9.4 Apuntalamiento	33
3.9.5 Refuerzo adicional en secciones compuestas	33
3.10 HIPÓTESIS PARA EL DISEÑO DE LA LOSA COMPUESTA	34
3.11 LOSAS COMPUESTAS CON CONECTORES DE CORTANTE	35
3.11.1 Resistencia de los conectores de cortante	36
3.12 ADHERENCIA Y LONGITUD DE DESARROLLO DEL ACERO	37
4. METODOLOGÍA	41
4.1 DIMENSIONES Y CANTIDAD DE LAS MUESTRAS	41
4.2 EVALUACION EXPERIMENTAL	47
4.2.1 Tipo de acero a utilizar	47
4.3 DIMENSIONAMIENTO Y PROBETAS UTILIZADAS	48
4.4 CANTIDAD DE LAS MUESTRAS A UTILIZAR	49
4.5 UBICACIÓN DEL ACERO DE LAS VIGUETAS DENTRO DEL CONCRETO	50
4.6 LOSETA DE CONCRETO	50
4.7 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS	51
4.8 ENSAYOS DE LABORATORIO	55
5. RESULTADOS	60
5.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES	60
5.1.1 Mediciones tomadas antes del ensayo	60
5.1.2 Datos tomados durante el ensayo	61
5.1.3 Parámetros obtenidos mediante formulas	61
5.2 DIAGRAMA CARGA DEFORMACIÓN	62
5.2.1 Viguetas metálicas en celosía	62
5.2.2 Viguetas compuestas en celosía con el cordón a compresión embebido en concreto	62
5.2.3 Viguetas compuestas en celosía con conectores de cortante	63
5.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS A UN NIVEL LIMITE DE FUNCIONAMIENTO	65
5.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MÁXIMOS DE CARGA	69
5.5 DETERMINACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD	72
5.6 CONSIDERACIÓN SOBRE LA RIGIDEZ	78
5.7 CONSIDERACIÓN SOBRE LA DUCTILIDAD	82
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	83
6.2 DIAGRAMAS CARGA DEFORMACIÓN VIGUETAS ENSAYADAS	84
6.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS A NIVEL LIMITE DE FUNCIONAMIENTO	85
6.4 DEFORMACIONES VERTICALES PARA ESTADOS MÁXIMOS DE	

CARGA	86
6.5 ESTIMACIÓN DEL MODULO DE ELASTICIDAD	87
6.6 CONSIDERACIÓN SOBRE RIGIDEZ	87
6.7 CONSIDERACIÓN SOBRE DUCTILIDAD	88
7. MODOS DE FALLA	88
7.1 Viguetas metálicas	89
7.2 Viguetas con el cordón embebido a compresión	91
7.3 Viguetas con conectores de cortante	93
8 MODELACIÓN CON ORDENADOR	95
8.1 RESULTADOS ANÁLISIS MANUAL/ ANÁLISIS POR ORDENADOR	102
9. ANÁLISIS ECONÓMICO	104
10. CONCLUSIONES	106
11. BIBLIOGRAFÍA	111

## TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de armaduras	5
Figura 2: Esquema de ensayo de viga a flexión	23
Figura 3: Distribución de los esfuerzos normales en una viga	24
Figura 4: Viga convencional de Euler – Bernoulli	26
Figura 5: Ubicado en la losa de concreto	29
Figura 6: Ubicado en el patín superior de la viga	30
Figura 7: Ubicado en el alma de la viga	32
Figura 8: Vista lateral vigueta metálica (Configuración Pratt).	43
Figura 9: Detalle sección transversal.	44
Figura 10: Sección transversal viguetas con conectores de cortante.	46
Figura 11: Sección transversal viguetas con el cordón a compresión embebido.	46
Figura 12: Modelo de viga empleado en el ensayo a flexión.	73
Figura 13: Representación de la rigidez de un elemento dada en un diagrama carga deformación.	78



## TABLA DE CONTENIDO DE IMAGENES

Imagen 1 : Formaleta para las losas de concreto de las viguetas compuestas	52
Imagen 2: Preparación manual del concreto utilizado	53
Imagen 3: Vaciado y colocación de malla electrosoldada.	53
Imagen 4: Instalación de vigueta metálica con el cordón en compresión embebido en el concreto.	54
Imagen 5: Instalación de vigueta metálica con conector de cortante.	54
Imagen 6: Detalle de viguetas con conectores de cortante y con el cordón embebido.	55
Imagen 7: Detalle de ensayo del cilindro de concreto.	56
Imagen 8: Sistema de montaje de las vigas ensayadas en la máquina universal.	57
Imagen 9: Detalle elemento de generación de cargas sobre la vigueta	58
Imagen 10: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.	59
Imagen 11 : Deformación en la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido.	59
Imagen 12: Ensayo vigueta metálica muestra 1 .	89
Imagen 13: Deformación en la vigueta de acero muestra 1 .	90
Imagen 14: Deformación en la vigueta de acero muestra 2 y 3.	91
Imagen 15: Forma de falla en el concreto de la vigueta compuesta con el cordón a compresión embebido	92
Imagen 16: Deformación en el acero después de retirar la carga aplicada.	93
Imagen 17: Ensayo de vigueta compuesta con conectores de cortante.	94
Imagen 18: Forma de falla en el concreto y en la presilla de acero de la vigueta compuesta con conector de cortante.	94

## TABLA DE CONTENIDO DE GRAFICOS

Gráfico 1: Diagrama carga vs. deformación para viguetas metálicas.	62
Gráfico 2: Diagrama carga vs. deformación para viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.	63
Gráfico 3: Diagrama carga vs. deformación para viguetas compuestas con conectores de cortante.	64
Gráfico 4: Diagrama carga vs. deformación para viguetas ensayadas	65
Gráfico 5: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas metálicas.	66
Gráfico 6: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas con el cordón a compresión embebido en concreto.	67
Gráfico 7: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas compuestas con conectores de cortante.	68
Gráfico 8: Cargas correspondientes a una deformación de 6.67 mm en las viguetas ensayadas.	69
Gráfico 9: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas metálicas.	70
Gráfico 10: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con conectores de cortante.	71
Gráfico 11: Gráfico comparativo de deformación para carga última estimada en viguetas con el cordón a compresión embebido.	72
Gráfico 12: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas metálicas	75
Gráfico 13: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con el cordón embebido.	76
Gráfico 14: Módulos de elasticidad comparativos en viguetas con conectores de cortante.	77
Gráfico 15: Valores de K1 para las viguetas ensayadas	80
Gráfico 16: Valores de K2 para las viguetas ensayadas.	81
Gráfico 17: Porcentaje de pérdida de rigidez.	82
Gráfico 18: Valores de ductilidad para las viguetas ensayadas.	83
Gráfico 19: Cuadro comparativo costo/m2 sistemas de entrepiso.	105

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación longitud-contraflecha para viguetas	15
Tabla 2: Inercias para los distintos modelos de sección.	74
Tabla 3: valores de proporcionalidad en los tramos del diagrama carga deformación para la vigueta embebida y con conectores.	79
Tabla 4: Valores comparativos de deformación para viguetas embebidas.	97
Tabla 5: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas embebidas.	98
Tabla 6: Valores comparativos de deformación para viguetas con conectores	99
Tabla 7: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas con conectores.	100
Tabla 8: Valores comparativos de deformación para viguetas metálicas	101
Tabla 9: Valores comparativos análisis manual y por ordenador para viguetas metálicas.	102

## DETERMINACIÓN DE CARGAS

Tanto las Cargas Muertas como las vivas se estimaran de acuerdo al titulo B de la NSR 98

Aunque el peso de la estructura metálica no se conoce, pues apenas se comenzara a diseñar se tomaran valores estándar para una estructura para soportar tejas

	N/m <sup>2</sup>	
Peso estructura metálica	100	
Peso ductos y redes soportadas	20	
Cielos rasos livianos	250	
Peso losa de concreto espesor 9 cm	2160	
Particiones mampostería	3000	Valores mínimos para no considerar ni efectuar análisis de carga

Carga Viva para vivienda	1800
--------------------------	------

<b>Para el diseño de la viga metálica</b>	N/m <sup>2</sup>
---	------------------

Peso estructura metálica	100
Cargas debidas a la construcción	1000
Peso Losa de concreto espesor 7 cm	1680

## DISEÑO VIGUETA METÁLICA

### Dimensiones viguetas

Largo		Ancho aferente	
3200	mm	400	mm

Espaciamiento entre viguetas (centro a centro en mm)

Ancho aferente para el calculo de las viguetas

	mm
a. Un octavo de la luz , centro a centro de apoyos	400
b. Un medio de la distancia al eje central de la viga adyacente	400
c. La distancia desde el eje central de la viga al borde de la placa	400

### Determinación de Cargas

<i>Carga Muerta</i>		<i>Carga lineal viguetas</i>
Peso estructura metálica	1 00 N/m <sup>2</sup>	40 N/m
Cargas debidas a la construcción	1 000 N/m <sup>2</sup>	400 N/m
		0 N/m
		<b>440 N/m</b>

<i>Carga Viva</i>		
Peso losa de concreto espesor	2 160 N/m <sup>2</sup>	<b>864 N/m</b>

### Combinaciones de carga

1.4 D	616 N/m
1.2 D + 1.6 L	1910,4 N/m

De acuerdo a la sugerencia realiza en el marco teórico la altura la obtenemos tomando L/20 a L/15

Tomando una vigueta de altura 0,21 m

Calculo del momento máximo y cortante máximo

$M = w l^2 / 8$	2555 N-m
$V = W / 2$	3057 N

Tensión y compresión máximas en la vigueta

$T_u \text{ o } C_u = M/d$	12167 N
----------------------------	---------

Como se trata de viguetas simplemente apoyadas, considerando el momento en el centro de la luz estaría cubriendo las mayores solicitaciones de la estructura

## DISEÑO VIGUETAS

### Chequeo por tracción

#### VALORES MÁXIMOS DE CARGA

Estado limite de fluencia en el área bruta

$$\phi P_n = \phi F_y A_g$$

$\phi$	0,9
$F_y$	420 N/mm <sup>2</sup>
$A_g$	32,19 mm <sup>2</sup>
Sean	I # 3 = 71 mm <sup>2</sup>

$$\phi P_n = 26838 \text{ N} \quad \text{OK}$$

Estado de rotura del área neta

$$\phi P_n = \phi F_u A_e$$

$\phi$	0,75
$F_u$	620 N/mm <sup>2</sup>
$A_e$	26,17 mm <sup>2</sup>
Sean	I # 3 = 71 mm <sup>2</sup>

$$\phi P_n = 33015 \text{ N} \quad \text{OK}$$

### Chequeo por compresión

Relación ancho espesor para las varillas dentro del análisis

De acuerdo a lo indicado en la tabla F.2-17, los parámetros de esbeltez no aplican a perfiles simétricos, excepto barras rectangulares con flexión respecto al eje mayor

El chequeo por compresión de la vigueta, requiere un análisis de la sección y de los elementos individuales

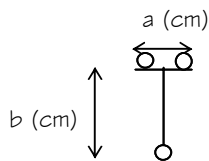
**Varilla**

Diámetro (in)	3/8	área (mm <sup>2</sup> )	71,26	I (mm <sup>4</sup> )	404,05
Diámetro (mm)	9,53	radio de giro	2,38	XX YY(mm)	4,76

**Varilla**

Diámetro (in)	3/8	área (mm <sup>2</sup> )	71,26	I (mm <sup>4</sup> )	404,05
Diámetro (mm)	9,53	radio de giro	2,38	XX YY(mm)	4,76

**sección de la viguetas**



Centro de gravedad de la sección  
 $X = (x_1 A_1 + x_2 A_2) / SA$

$X (cg) = 138,41 \text{ mm}$   
 $Y (cg) = 60 \text{ mm}$

**Geometría**

a (mm)	120
b (mm)	210

**Inercia de la sección**

$I_x = I + A d^2 = 1910402 \text{ mm}^4$   
 $I_y = I + A d'^2 = 436041 \text{ mm}^4$

$r_x = 94,53 \text{ mm}$   
 $r_y = 45,16 \text{ mm}$

**Chequeo por pandeo flector Global**

K =	1	De acuerdo a F.2.3.2.1
L =	3200	mm
Kl/r <sub>x</sub> =	33,85	
Kl/r <sub>y</sub> =	70,85	El entrepiso restringe el pandeo en el sentido débil
F <sub>y</sub>	420	Mpa
E	200000	Mpa
φ	0,85	Factor de seguridad para elementos a compresión

$\phi P_n = \phi A_g F_{cr}$

$\lambda_c = (Kl/r\pi)(F_y/E)^{0.5}$

$\lambda_{cx} = 0,49$

$$F_{cr} = (0.658^{l_c^2}) F_y$$

$$F_{cr} = 277,8 \text{ Mpa}$$

$$\phi P_n = 33652,1 \text{ N}$$

$$\phi P_n = \text{OK}$$

Chequeo por pandeo local de una varilla

$$k/r_z = 88,19$$

$$\lambda_{cz} = 1,29$$

Con  $l_c < 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{l_c^2}) F_y$$

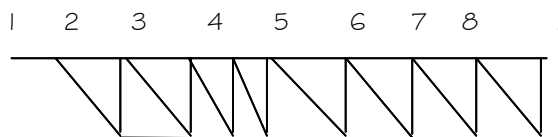
$$F_{cr} = 143,1 \text{ Mpa}$$

$$\phi P_n = 8666,1 \text{ N}$$

$$\phi P_n = \text{OK}$$

### CHEQUEO POR CORTANTE

Reacción 3056,64 K





Nudo	W N/m	L m	P N		d m
1	1910,4	0,13	248,35	2808,29	0,21
2	1910,4	0,21	401,18	2407,10	0,21
3	1910,4	0,21	401,18	2005,92	0,21
4	1910,4	0,21	401,18	1604,74	0,21
5	1910,4	0,21	401,18	1203,55	0,21
6	1910,4	0,21	401,18	802,37	0,21
7	1910,4	0,21	401,18	401,18	0,21
8	1910,4	0,21	401,18	0,00	0,21

Nudo	tracción Diagonales N	compresión Verticales N	sección requerida a tracción		Varilla a utilizar (in)
			área Neta mm <sup>2</sup>	área Bruta mm <sup>2</sup>	
1	3302,84	2808,29	8,74	6,04	3/8
2	3404,16	2407,10	9,01	5,18	3/8
3	2836,80	2005,92	7,50	4,31	3/8
4	2269,44	1604,74	6,00	3,45	3/8
5	1702,08	1203,55	4,50	2,59	3/8
6	1134,72	802,37	3,00	1,73	3/8
7	567,36	401,18	1,50	0,86	3/8
8	0,00	0,00	0,00	0,00	3/8

Chequeo verticales a compresión

Nudo	Varilla diam (in)	Chequeo de esbeltez		Chequeo área	Chequeo esbeltez
		diam (mm)	K/r		
1	3/8	9,53	88,19	OK	OK
2	3/8	9,53	88,19	OK	OK
3	3/8	9,53	88,19	OK	OK
4	3/8	9,53	88,19	OK	OK
5	3/8	9,53	88,19	OK	OK
6	3/8	9,53	88,19	OK	OK
7	3/8	9,53	88,19	OK	OK
8	3/8	9,53	88,19	OK	OK

Nudo	$K/rp)(F_y/E)^{0.5}$	Mpa	N	
1	1,29	210,11	12725,84	OK
2	1,29	210,11	12725,84	OK
3	1,29	210,11	12725,84	OK
4	1,29	210,11	12725,84	OK
5	1,29	210,11	12725,84	OK
6	1,29	210,11	12725,84	OK
7	1,29	210,11	12725,84	OK
8	1,29	210,11	12725,84	OK

### DISEÑO DE LAS PRESILLAS

Por simetria se diseñaran par las primeras presillas

Nudo	tracción Diagonales N	Carga en la presilla N	Luz mm	Momento N-mm	Momento ultimo N-mm
1	3302,84	2808,288	100	70207,2	78008
2	3404,16	2407,104	100	60177,6	66864
3	2836,80	2005,92	100	50148	55720
4	2269,44	1604,736	100	40118,4	44576
5	1702,08	1203,552	100	30088,8	33432
6	1134,72	802,368	100	20059,2	22288
7	567,36	401,184	100	10029,6	11144
8	0	0	100	0	0

Nudo	Cortante N	Cortante N	Reccion Presilla	Momento Chequeo fluencia Fy Z	Momento Chequeo fluencia 1,5 Fy S
1	1404,144	1560,16	1/2	143220	126630
2	1203,552	1337,28	1/2	143220	126630
3	1002,96	1114,4	1/2	143220	126630
4	802,368	891,52	3/8	60774	53701,2
5	601,776	668,64	3/8	60774	53701,2
6	401,184	445,76	3/8	60774	53701,2
7	200,592	222,88	3/8	60774	53701,2
8	0	0	3/8	60774	53701,2

Nudo	chequeo	Cortante	chequeo
		$0,6F_y A_s$	
1	OK	31923	OK
2	OK	31923	OK
3	OK	31923	OK
4	OK	17956	OK
5	OK	17956	OK
6	OK	17956	OK
7	OK	17956	OK
8	OK	17956	OK

#### DISEÑO DE LA SOLDADURA

De acuerdo con lo indicado en F.2.10.2 se diseñara soldadura de tipo de tapón y de ranura como se describe en F.2.10.2.3

Resistencia de las soldaduras es la menor de las siguientes cantidades

$\phi F_b m$	Donde	$F_b m$	resistencia nominal del material base Mpa
$\phi F_w A_w$		$A_b m$	área de la sección transv. del material base
		$F_w$	resistencia nominal de la soldadura Mpa
		$A_w$	área de la sección transv. de la soldadura
		$\phi$	coeficiente de resistencia

Aplicando lo indicado en la Tabla F.2-6

$\phi$	0,75
$\phi$ soldadura	$0,6 F_{exx}$

De acuerdo con lo recomendado por West Arco (productor de soldadura que se utilizara) para soldar acero de alta resistencia , se recomienda utilizar soldadura tipo E7018

Resistencia del metal de soldadura para electrodo E7018	220,5 Mpa
Ancho de la garganta de la soldadura (w)	3/16 plg 4,7625 mm

$0,707 \times w \times \phi F_w$                       742,44279 N/mm

**Metal base**

$\phi R_n = \phi F_{bm} \times \text{Area a corte}$

Resistencia del metal base = 0,54 Fy	226,8 Mpa
Menor espesor a soldar	3/8 plg
Esfuerzo de fluencia de la varilla	420 Mpa

4000,5 N/mm

La resistencia de la soldadura gobierna el diseño

Para una longitud de cordón de 15 mm por ambas caras la resistencia de la soldadura es

29697,71 N                      >                      Q max corte                      3302,84 N

La soldadura chequea y soporta las cargas de diseño

Teniendo en consideración que la aplicación de carga que podríamos ejecutar en el laboratorio de la Universidad se ejecutara a los tercios del elemento, buscaremos la carga puntual que nos generaría el momento que produzca la falla en la sección

M = PL/3	Valor del Momento de Falla	Rel falla x mu 4292,40 N-m
----------	----------------------------	-------------------------------

P = 4024,1 N

P aplicada por la maquina                      8048,3 N

deflexión máxima (mm)                       $23PL^3/648 EI$                       24,499067 Falla

deflexión máxima (mm)	$5wL^4/384 EI$	6,83 Combinacion
deflexión máxima (mm)	$5wL^4/384 EI$	3,09 Servicio





[Redacted]

[Redacted]



























## DISEÑO VIGUETA COMPUESTA CORDON A COMPRESION EMBEBIDO

### Dimensiones

Largo (mm)    Ancho aferente (mm)  
3200                      400

Espaciamiento entre viguetas (centro a centro en mm)

Ancho aferente para el calculo de las viguetas

mm

- a. Un octavo de la luz , centro a centro de apoyos                      400
- b. Un medio de la distancia al eje central de la viga adyacente                      400
- c. La distancia desde el eje central de la viga al borde de la placa                      400

### Determinación de Cargas

			Carga lineal
<i>Carga Muerta</i>			40 N/m
Peso estructura metálica	100	N/m <sup>2</sup>	8 N/m
Peso ductos y redes soportadas	20	N/m <sup>2</sup>	100 N/m
Cielos rasos livianos	250	N/m <sup>2</sup>	672 N/m
Peso losa de concreto espesor 7	1680	N/m <sup>2</sup>	1200 N/m
Particiones mampostería	3000	N/m <sup>2</sup>	
			2020 N/m
<i>Carga Viva</i>			
Carga Viva para vivienda	1800	N/m <sup>2</sup>	720 N/m

### Combinaciones de carga

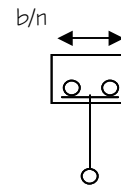
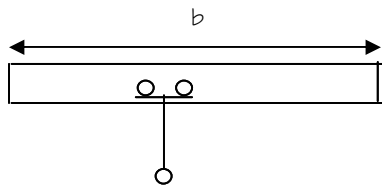
1.4 D                      2828 N/m  
1.2 D + 1.6 L                      3576 N/m

Calculo del momento máximo y cortante máximo

$M = w l^2 / 8$                       4577,28 N-m  
 $V = W l / 2$                       5721,6 N

Como se trata de viguetas simplemente apoyadas, considerando el momento en el centro de la estaría cubriendo las mayores solicitaciones de la estructura

Determinación de la sección compuesta



Conversión por relación de módulos de elasticidad

$$n = E_s / E_c \quad n = 10 \text{ Razón modular}$$

$E_s = 2000000 \text{ Mpa}$   
 $E_c = 200000 \text{ Mpa}$

Calculo de las propiedades geométricas de la sección transformada

Compon.	Dim. mm	Área mm <sup>2</sup>	y barra mm	Aybarra	Inercia mm <sup>4</sup>
Concreto	70 x 40	2800,00	222,78	623784,0	1143333,3
Varilla 3/8	9,525	142,51	205,2375	29248,7	404,0
Varilla 3/8	9,525	71,26	4,7625	339,4	404,0
	$\Sigma A$	<b>3156,28</b>	$\Sigma ay$	<b>653372,1</b>	

Compon.	distancia mm	$I_x + Ad^2$ mm <sup>4</sup>	$I_{yy}$
Concreto	15,773	1839930,8	373333,3
Varilla 3/8	7,755	9379,6	435636,5
Varilla 3/8	202,245	2914968,5	404,0

X barra	60 mm	$I_{xx}$ (mm <sup>4</sup> )	4764278,94
Y barra	207,01 mm	$I_{yy}$ (mm <sup>4</sup> )	809373,8

Esfuerzos de flexión para la sección transformada

$f_c$ máximo en el concreto	M y barra / n ltr	4,88 N/mm <sup>2</sup>
		OK CONCRETO
$f_c$ máximo en el acero	M y barra / ltr	194,31 N/mm <sup>2</sup>
		OK ACERO

Relación de falla

4,31

DEBIDO A CERCANÍA DE FLUENCIA FALLARÍA PRIMERO EL ACERO QUE EL CONCRET

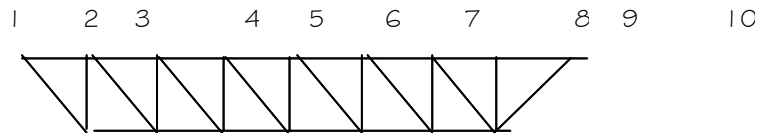
2,16

Teniendo en consideración que la aplicación de carga que podríamos ejecutar en el laboratorio de la Universidad se ejecutara a los tercios del elemento, buscaremos la carga puntual que nos generaría el momento que produzca la falla en la sección

		Rel falla x mu	
$M = PL/3$	Valor del Momento de Falla	9893,95 N-m	
$P =$	9275,6 N		
$P$ aplicada por la maquina	18551,2 N		
deflexión máxima (mm)	$23PL^3/648 EI$	10,19	Falla
deflexion maxima (mm)	$5 w l^4 / 384 EI$	5,12	1,2 d + 1,6 L
deflexion maxima (mm)	$5 w l^4 / 384 EI$	1,03	Servicio

### CHEQUEO POR CORTANTE

Reacción 5721,6 N



	W N/m	L m	P N		d m
1	3576	0,13	464,88	5256,72	0,21
2	3576	0,21	750,96	4505,76	0,21
3	3576	0,21	750,96	3754,80	0,21
4	3576	0,21	750,96	3003,84	0,21
5	3576	0,21	750,96	2252,88	0,21
6	3576	0,21	750,96	1501,92	0,21
7	3576	0,21	750,96	750,96	0,21
8	3576	0,21	750,96	0,00	0,21

	Tracción Diagonales N	compresión Verticales N	Área Neta mm <sup>2</sup>	Área Bruta mm <sup>2</sup>	Varilla a utilizar (in)
1	6182,45	5256,72	16,36	11,30	3/8
2	6372,11	4505,76	16,86	9,69	3/8
3	5310,09	3754,80	14,05	8,07	3/8
4	4248,07	3003,84	11,24	6,46	3/8
5	3186,05	2252,88	8,43	4,84	3/8
6	2124,04	1501,92	5,62	3,23	3/8
7	1062,02	750,96	2,81	1,61	3/8
8	0,00	0,00	0,00	0,00	3/8

	Varilla plg	Chequeo de esbeltez		Chequeo área	Chequeo esbeltez
		diam (mm)	K/r		
1	3/8	9,53	88,19	OK	OK
2	3/8	9,53	88,19	OK	OK
3	3/8	9,53	88,19	OK	OK
4	3/8	9,53	88,19	OK	OK
5	3/8	9,53	88,19	OK	OK
6	3/8	9,53	88,19	OK	OK
7	3/8	9,53	88,19	OK	OK
8	3/8	9,53	88,19	OK	OK

	$\lambda_c =$ $(K/r\pi)(F_y/E)^{0.5}$	F <sub>cr</sub> Mpa	$\phi P_n$ N	Chequeo
1	1,29	210,11	12725,84	OK
2	1,29	210,11	12725,84	OK
3	1,29	210,11	12725,84	OK
4	1,29	210,11	12725,84	OK
5	1,29	210,11	12725,84	OK
6	1,29	210,11	12725,84	OK
7	1,29	210,11	12725,84	OK
8	1,29	210,11	12725,84	OK

luz







## DISEÑO LOSA CONCRETO VIGUETA COMPUESTA

### Determinación de Cargas

<i>Carga Muerta</i>			<i>Carga lineal viguetas</i>
Peso estructura metálica	100	N/m <sup>2</sup>	100 N/m
Peso ductos y redes soport	20	N/m <sup>2</sup>	20 N/m
Cielos rasos livianos	250	N/m <sup>2</sup>	250 N/m
Peso losa de concreto espe	1680	N/m <sup>2</sup>	1680 N/m
Particiones mampostería	3000	N/m <sup>2</sup>	3000 N/m
			5050 N/m
<i>Carga Viva</i>			
Carga Viva para vivienda	1800	N/m <sup>2</sup>	1800 N/m

### Geometría del mezanine

Ancho aferente  
1000 mm

Con el fin de establecer cual es la máxima luz que puede soportar la losa de concreto sin apoyo en las vigas metálicas, se pretende efectuar el análisis de acuerdo a lo indicado en C.9.5.2 teniendo en consideración la situación mas critica ( un apoyo simple y el otro continuo)

Por lo tanto la luz de diseño 840 mm

De acuerdo a los principios del diseño de losas se diseñara para un ancho unitario 1000 mm

### Combinaciones de carga

1,4 D + 1,7 L 10130 N/m

Características de la sección

Se supone

f'c (Mpa)	21	b (mm)	1000	h (mm)	70
Fy (Mpa)	4200	d (mm)	35		

Se establecerán las acciones máximas de acuerdo a lo indicado en C.13.3

Momento positivo máximo  $wl^2/11$  649,79345 N-m

Momento negativo máximo  $wL^2/9$  794,192 N-m

Cortante máximo en primer  $\pm 1,15 \cdot w \cdot L/2$  4892,79 N

Cortante otros apoyos  $w \cdot L/2$  4254,6 N

Diseño por momento Flector

$$\begin{array}{ll} \mu (-) = & 882,43556 \text{ N-m} \\ & 8,8243556 \text{ Tn-cm} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \mu (+) = & 721,99273 \text{ N-m} \\ & 7,2199273 \text{ Tn-cm} \end{array}$$

$$K = \mu / (b d^2) \quad \begin{array}{ll} 0,0072036 & K \\ & 0,0058938 \end{array}$$

$$\rho_{\min} \quad \begin{array}{ll} 0,0033 & \rho_{\min} \\ & 0,0033 \end{array}$$

$$A_s = \rho b d \quad \begin{array}{ll} 115,5 \text{ mm}^2 & A_s = \rho b d \\ & 115,5 \text{ mm}^2 \end{array}$$

Con malla electrosoldada de 4,5 mm en retículas de 15 cm

Chequeo por cortante

De acuerdo a C.I.I.I

$$\begin{array}{ll} v_u \leq \phi v_n & v_u = V_u / b w d \\ v_u = & 0,139794 \text{ Mpa} \end{array}$$

$$v_n = v_c + v_s$$

$$v_c = (f'c)^{0.5} / 6 \quad 0,7637626 \text{ Mpa}$$

Chequea por cortante

## VIGUETA CON CONECTORES DE CORTANTE

Determinación de la sección compuesta



Razón modular

$$n = E_s / E_c$$

$n = 10,00$   
 $E_s = 200000 \text{ Mpa}$   
 $E_c = 20000,0 \text{ Mpa}$

Calculo de las propiedades geométricas de la sección transformada

Compon.	Dim. mm	Área mm <sup>2</sup>	y barra mm	Aybarra	Inercia mm <sup>4</sup>
Concreto	70 x 40	2800,00	245	686000,0	1143333,3
Varilla 3/8	9,525	142,51	205,2375	29248,7	404,0
Varilla 3/8	9,525	71,26	4,7625	339,4	404,0
	$\Sigma A$	3156,28	$\Sigma ay$	715588,1	

Compon.	distancia mm	$I_x + A d^2$ mm <sup>4</sup>	$I_y$
Concreto	18,281	2079088,8	285996,1
Varilla 3/8	21,481	66570,1	435636,5
Varilla 3/8	221,956	3510792,8	404,0

X barra                      60 mm                       $I_x$  ( mm<sup>4</sup>)                      5656451,8  
 Y barra                      226,72 mm                       $I_y$  (mm<sup>4</sup>)                      722036,6

La fuerza de diseño de los conectores de cortante se estima por la menor de las siguientes cantidades de acuerdo a F.2.9.5.2

Fy As                      89782 N  
 SQn                        119709,64 N

Suma de resistencia nominal de los conectores entre el punto de máximo mto positivo y el punto de momento cero

### DETERMINACIÓN DEL EJE NEUTRO PLÁSTICO

Asumiendo que se suministraran la cantidad de conectores necesarios para garantizar un comportamiento compuesto total

La fuerza cortante horizontal entre las secciones de acero y concreto , será la menor de

0.85 Ac f'c                499800 N                      EL ACERO GOBIERNA  
 Fy As                        89782 N

C=                            89782 N

Esto significa que la altura total de la losa no es necesaria para desarrollar la fuerza de compresión requerida , Entonces

C = 0.85 f'c a b  
 a =                            12,6 mm

La fuerza C esta localizada en el centroide del area de compresión a una profundidad de a/2 de la parte superior de la losa

La fuerza T esta localiza en el centroide del área de acero previamente calculado, por lo : que el brazo del par de T y C es

d = (h vig - y vig ) + t - a/2                                      135 mm

La resistencia nominal es la resistencia del par

Mn = C d = T d    12147556 N-mm

La resistencia de diseño es de

ϕbMn = 0.85 Mn    10325423 N-mm                      OK

Mu    4577280 N-mm

Se utilizaran conectores de cortante de espigo

Qn = 0.5 Asc( f'c Ec )^0.5 <= Asc Fu

Asc ( cm <sup>2</sup> )	71,26	Área transversal de un conector de espigo
f'c (Mpa)	21	resistencia del concreto a la compresión
Ec (Mpa)	20000	Modulo de elasticidad del concreto
Fu (Mpa)	420	Resistencia mínima especificada a tensión de un conector de espigo

Se usaran conectores de diámetro de 3/8"

$$Q_n = \frac{23089,498}{29927,41} = 0.5 \text{ Asc} (f'c Ec)^{0.5} = \text{Asc Fu}$$

Conectores de cortante a utilizar:

Diámetro	3/8"
Longitud (cm)	5
Cabeza ( cm)	2,5
Conectores por viga	8 espaciados uniformemente y sobre las presillas

Teniendo en consideración que la aplicación de carga que podríamos ejecutar en el laboratorio de la Universidad se ejecutara a los tercios del elemento, buscaremos la carga puntual que nos generaría el momento que produzca la falla en la sección

$$M = PL/3 \quad \text{Valor del Momento de Falla} \quad \text{Rel falla x mu} \quad 12147,56 \text{ N-m}$$

$$P = 11388,3 \text{ N}$$

$$P \text{ aplicada por la maquina} = 22776,7 \text{ N}$$

$$\text{deflexión máxima} = \frac{23PL^3}{648 EI} = 11,7081664 \text{ Falla}$$

deflexión máxima (mm)	$5 w l^4 / 384 EI$	4,32 Combinada
deflexión máxima (mm)	$5 w l^4 / 384 EI$	0,87 Servicio









CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR

VIGUETAS METALICAS

DEFLEXION NUDO	1,2D + 1,6 L MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	6,83	8,09	16%
55	6,83	8,09	16%
75	6,83	7,94	14%

DEFLEXION NUDO	PUNTUAL MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	12,25	26,49	54%
55	12,25	26,49	54%
75	12,25	26,48	54%

DEFLEXION NUDO	LIVE MANUAL mm	SAP 2000 mm	DIFERENCIA MAN/ SAP
36	3,09	3,66	16%
55	3,09	3,66	16%
75	3,09	3,59	14%

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual KN	SAP 2000 KN	DIFERENCIA MAN/ SAP
Cordon superior			
32	6,08363	7,48	19%
33	6,08363	7,48	19%
Cordon inferior			
131	12,1673	11,96	-2%
128	12,1673	11,96	-2%
Celosia traccion			
138	3,30	3,51	6%
140	3,40	3,71	8%
Celosia compresion			
139	2,81	2,91	3%
141	2,41	2,58	7%
Presillas	KN-MM		
117	70,21	29,92	-135%
115	70,21	48,44	-45%

CUADRO COMPARATIVO MODELO TIPO BODY CON  
MODELO TIPO EQUAL PARA DEFLEXION  
PARA VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

DEFLEXION NUDO	1,2 D + 1,6 L BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	4,37	4,66	6%
45	4,37	4,66	6%
46	4,37	4,66	6%
47	4,37	4,66	6%

53	2,45	2,52	3%
70	2,45	2,52	3%
71	2,45	2,52	3%
72	2,45	2,52	3%

DEFLEXION	PUNTUAL BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	14,66	15,74	7%
45	14,66	15,74	7%
46	14,66	15,74	7%
47	14,66	15,74	7%
53	8,20	8,53	4%
70	8,20	8,53	4%
71	8,20	8,53	4%
72	8,20	8,53	4%

ROTACION	1,2 D + 1,6 L BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	-6,43E-05	-6,65E-05	3%
45	-6,43E-05	-6,65E-05	3%
46	-6,43E-05	-6,65E-05	3%
47	-6,43E-05	-6,65E-05	3%
53	3,67E-03	4,10E-03	11%
70	3,67E-03	4,10E-03	11%
71	3,67E-03	4,10E-03	11%
72	3,67E-03	4,10E-03	11%

ROTACION	PUNTUAL BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	-1,98E-04	-2,01E-04	1%
45	-1,98E-04	-2,01E-04	1%
46	-1,98E-04	-2,01E-04	1%
47	-1,98E-04	-2,01E-04	1%
53	1,27E-02	1,43E-02	11%
70	1,27E-02	1,43E-02	11%
71	1,27E-02	1,43E-02	11%
72	1,27E-02	1,43E-02	11%

CUADRO COMPARATIVO MODELO TIPO BODY CON  
MODELO TIPO EQUAL PARA DEFLEXION  
PARA VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

DEFLEXION	LIVE BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	0,88	0,94	6%
45	0,88	0,94	6%
46	0,88	0,94	6%
47	0,879	0,9374	6%
53	0,49	0,51	3%
70	0,49	0,51	3%
71	0,49	0,51	3%
72	0,49	0,51	3%

ROTACION	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	-1,30E-05	-4,04E-05	68%
45	-1,30E-05	-4,04E-05	68%
46	-1,30E-05	-4,04E-05	68%
47	-1,30E-05	-4,04E-05	68%
53	7,38E-04	8,25E-04	10%
70	7,38E-04	8,25E-04	10%
71	7,38E-04	8,25E-04	10%
72	7,38E-04	8,25E-04	10%

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
PARA VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

DEFLEXION NUDO	1,2D + 1,6 L Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	4,32	4,37	4,66	1%	7%
45	4,32	4,37	4,66	1%	7%
46	4,32	4,37	4,66	1%	7%
47	4,32	4,37	4,66	1%	7%

DEFLEXION NUDO	PUNTUAL Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	11,71	14,66	15,74	20%	26%
45	11,71	14,66	15,74	20%	26%
46	11,71	14,66	15,74	20%	26%
47	11,71	14,66	15,74	20%	26%

DEFLEXION NUDO	LIVE Manual mm	BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA MAN/BODY	DIFERENCIA MAN/EQUAL
28	0,87	0,88	0,94	1%	7%
45	0,87	0,88	0,94	1%	7%
46	0,87	0,88	0,94	1%	7%
47	0,87	0,88	0,94	1%	7%

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
PARA VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual Mpa	BODY KN	EQUAL KN	esf body Mpa	esf equal Mpa
Cordon a compresion					
136	4,79	-18,12	-13,55	6,47	4,84
137	4,79	-18,12	-13,55	6,47	4,84
Cordon a traccion					
63	203,81	13,72	12,62	192,55	177,11
71	203,81	13,72	13,14	192,55	184,41
Celosia a traccion					
4	6,18	6,13	6,23		
120	6,37	5,94	5,81		
Celosia a compresion					
124	5,26	5,75	5,37		
116	4,51	5,19	4,41		

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
 PARA VIGUETAS CON CONECTORES DE CORTANTE

ELEMENTOS	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
Cordon a compresion 136 137	1% 1%	26% 26%
Cordon a traccion 63 71	-15% -11%	-6% -6%
Celosia a traccion 4 120	1% -10%	-1% -7%
Celosia a compresion 124 116	2% -2%	9% 13%



CUADRO COMPARATIVO MODELO TIPO BODY CON  
 MODELO TIPO EQUAL PARA DEFLEXION  
 PARA VIGUETAS CON EL CORDON EMBEBIDO

DEFLEXION NUDO	1,2 D + 1,6 L BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	5,36	5,13	-5%
45	5,36	5,13	-5%
46	5,36	5,13	-5%
47	5,36	5,13	-5%
53	2,87	2,86	0%
71	2,87	2,86	0%
70	2,87	2,86	0%
72	2,87	2,86	0%

DEFLEXION NUDO	PUNTUAL BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	10,00	9,54	-5%
45	10,00	9,54	-5%
46	10,00	9,54	-5%
47	10,00	9,54	-5%
53	5,36	5,30	-1%
71	5,36	5,30	-1%
70	5,36	5,30	-1%
72	5,36	5,30	-1%

ROTACION	1,2 D + 1,6 L BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	-6,94E-05	-6,99E-05	1%
45	-6,94E-05	-6,99E-05	1%
46	-6,94E-05	-6,99E-05	1%
47	-6,94E-05	-6,99E-05	1%
53	4,62E-02	4,32E-02	-7%
71	4,62E-02	4,32E-02	-7%
70	4,62E-02	4,32E-02	-7%
72	4,62E-02	4,32E-02	-7%

ROTACION	PUNTUAL BODY mm	EQUAL mm	DIFERENCIA %
28	-1,28E-04	-1,20E-04	-6%
45	-1,28E-04	-1,20E-04	-6%
46	-1,28E-04	-1,20E-04	-6%
47	-1,28E-04	-1,20E-04	-6%
53	8,86E-03	8,27E-03	-7%
71	8,86E-03	8,27E-03	-7%
70	8,86E-03	8,27E-03	-7%
72	8,86E-03	8,27E-03	-7%

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
PARA VIGUETAS CON EL CORDON EMBEBIDO

ELEMENTOS	1,2D + 1,6 L Manual Mpa	EQUAL KN	BODY KN	esf body Mpa	esf equal Mpa
Cordon superior 136	Mpa 5,42000741	15,18	17,55	5,42	6,27

137	5,42000741	15,18	17,55	5,42	6,27
Cordon inferior					
63	215,896048	14,37	14,67	202,39	206,62
71	215,896048	14,55	14,66	204,93	206,48
Celosis traccion					
4	6,18	5,07	6,16		
120	6,37	4,23	6,02		
Celosis compresion					
124	5,26	2,94	5,69		
116	4,51	4,44	5,28		

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
PARA VIGUETAS CON EL CORDON EMBEBIDO

ELEMENTOS	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
Cordon superior		
136	0%	14%
137	0%	14%
Cordon inferior		
63	-7%	-4%
71	-5%	-5%

Celosia traccion		
4	-22%	0%
120	-51%	-6%
Celosia compresion		
124	-79%	8%
116	-1%	15%

CUADRO COMPARATIVO ANALISIS MANUAL Y POR ORDENADOR  
PARA VIGUETAS CON EL CORDON EMBEBIDO

DEFLEX NUDO	1,2D + 1,6 L	EQUAL mm	BODY mm	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
	Manual mm				
28	5,12	5,36	5,13	4%	0%
45	5,12	5,36	5,13	4%	0%
46	5,12	5,36	5,13	4%	0%
47	5,12	5,36	5,13	4%	0%

DEFLEX NUDO	PUNTUAL	EQUAL mm	BODY mm	DIFERENCIA MAN/EQUAL	DIFERENCIA MAN/BODY
	Manual mm				
28	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
45	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
46	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%
47	10,19	10,00	9,54	-2%	-7%

DEFLEX	LIVE	EQUAL	BODY	DIFERENCIA	DIFERENCIA
	Manual				

NUDO	mm	mm	mm	MAN/EQUAL	MAN/BODY
28	1,03	1,08	1,03	4%	0%
45	1,03	1,08	1,03	4%	0%
46	1,03	1,08	1,03	4%	0%
47	1,03	1,08	1,03	4%	0%

## ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO

Para poder efectuar un análisis comparativo, se diseñara una losa de entrepiso con una dimensiones iguales para cada losa.

Se diseñaran 4 tipos de losa de diferentes para efectuar el análisis económico de las misma

Losa combinada d acero y concreto

Losa maciza en una dirección

Losa con lamina colaborante

Losa aligerada con ladrillo farol

El área que se tendrá en consideración será de 3.2 x 4 m, con el fin de que las viequetas ya diseñadas paa el resto del trabajo nos sirvan para tal fin,.

Se procederá entonces a diseñar las demás losas de entrepiso

## DISEÑO LOSA MACIZA SIMPLEMENTE APOYADA

Espesor de losa asumido

140 mm

Se deben chequear deflexiones para verificar el diseño

Cargas Muertas

	N/m <sup>2</sup>	
Cielos rasos livianos	250	
Peso losa de concreto espesor	3360	
Particiones mampostería	3000	Vrs mín para no considerar análisis de carga
	<b>6610</b>	
Carga Viva para vivienda	1800	

## Geometría del mezanine

Con el fin de establecer cual es la máxima luz que puede soportar la losa de concreto sin apoyo en las vigas metálicas, se pretende efectuar el análisis de acuerdo a lo indicado en C.9.5.2 teniendo en consideración la situación mas critica ( un apoyo simple y el otro continuo;

Por lo tanto la luz de diseño

3200 mm

De acuerdo a los principios del diseño de losas se diseñara para un ancho unitario 1000 mm

### Combinaciones de carga

$$1,4 D + 1,7 L \quad 12314 \text{ N/m}$$

Características de la sección

Se supone

$f'c$ (Mpa)	$21$	$b$ (mm)	$1000$	$h$ (mm)	$140$
$Fy$ (Mpa)	$420$	$d$ (mm)	$115$		

Se establecerán las acciones máximas para una losa simplemente apoyada y armada en una dirección

$$\text{Momento positivo máximo} \quad w l^2 / 8 \quad 15761,92 \text{ N-m}$$

$$\text{Cortante otros apoyos} \quad w * L / 2 \quad 19702,4 \text{ N}$$

Diseño por momento Flector

$$Mu (+) = \quad 17513,24444 \text{ N-m}$$
$$\quad \quad \quad 175,1324444 \text{ Tn-cm}$$

$$K \quad 0,013242529$$

$$r \quad 0,0055$$

$$As = \rho b d \quad 632,5 \text{ mm}^2 \quad \text{Sean} \quad \# 4 \text{ cada } 20 \text{ cm}$$

Refuerzo para retracción de fraguado y variación de temperatura

Debe cumplir con los requisitos exigidos en C.7.12

$$\rho_{\min} \quad 0,0018$$

$$As = \rho b d \quad 207 \text{ mm}^2 \quad \text{Sean}$$

Malla electrosoldada D221  
Calibre 6.5 mm cada 15 cm de retícula

Chequeo por cortante  
De acuerdo a C.I.I.I

$$v_u \leq \phi v_n \quad v_u = V_u / b_w d$$

$$v_n = v_c + v_s \quad v_u = 0,17132522 \text{ Mpa}$$

$$v_c = (f'c)^{0.5} / 6 \quad 0,7637626 \text{ Mpa}$$

$$\phi v_c \quad 0,6491982 \text{ MPa}$$

Chequea por cortante

### Verificación de deflexiones

$$d_{max} = 5 w L^4 / (384 E_c I_e) \quad 7,73676229 \text{ mm}$$

$$E_c = 3900 (f'c)^{0,5}$$

$$I_e = (M_{cr} / M_{max})^3 * I_g + (1 - (M_{cr}/M_a)^3) I_{cr} \quad 121591813 \text{ mm}^4$$

$M_{cr}$	Momento de fisuración	10478823,1 N-mm
$M_{max}$	Momento máximo de carga	17513244,4 N-mm
$I_g$	Inercia de la sección bruta de concreto	228666667 mm <sup>4</sup>
$I_{cr}$	Inercia de la sección fisurada	92402886,2 mm <sup>4</sup>
$E_c$	Modulo de elasticidad del concreto	17872,0 Mpa
$f_r = 0,7 (f'c)$	Esfuerzo rotura del concreto	3,20780299 Mpa
$M_{cr} = f_r I_g / y_t$		10478823,1 N-mm

Deflexión a largo plazo

$$\lambda = \zeta / (1 + 50 \rho') \quad 1,5686275 \quad \text{Tabla C9-2}$$

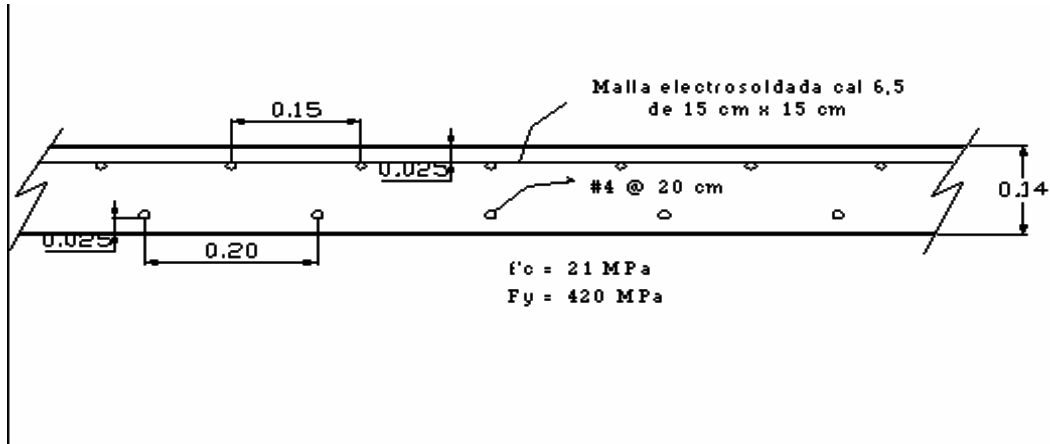
$$d_{max} * \lambda \quad 12,136098 \text{ mm} \quad \text{mm} \quad \text{OK}$$

cumple por deflexiones

L/240

Deflexión máxima para carga permanentes y cargas vivas 13,33





## DISEÑO LOSA CON ALIGERADA CON BLOQUE DE ARCILLA

Losa de entrepiso simplemente apoyada de una luz

Espesor de losa para no chequear deflexiones  $l/11$  mm 290,91

Cargas Muertas

	N/m <sup>2</sup>	
Aligerante en bloque de arcilla	420	
Viguetas en concreto	450	
Cielos rasos livianos	250	
Peso losa de concreto espesor	1200	
Particiones mampostería	3000	Vrs mín para no considerar análisis de carga
	<b>4450</b>	
Carga Viva para vivienda	1800	

### Geometría del mezanine

Por lo tanto la luz de diseño 3200 mm

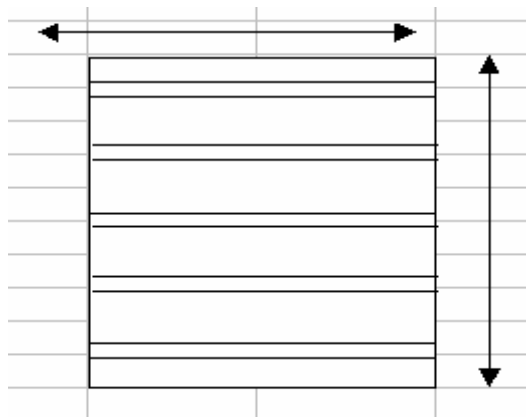
Determinación del ancho efectivo de acuerdo a C.8.5.7 800 mm

Ancho de la vigueta o nervadura 100 mm

Espesor de la loseta 50 mm

$t > b_w$  ok C.8.5.7.3

Cumple requisitos de C.8.5.7.3 ancho efectivo proyectado a cada lado  $< 4$  espesor del alma



### Combinaciones de carga

$$1,4 D + 1,7 L \quad 9290 \text{ N/m}$$

Características de la sección

Se supone

$f'c$ (Mpa)	21	$b$ (mm)	800	$h$ (mm)	200
$Fy$ (Mpa)	420	$d$ (mm)	175	$bw$ (mm)	100
$t$ (mm)	50				

Se establecerán las acciones máximas para una losa simplemente apoyada

$$\text{Momento positivo máximo} \quad w l^2 / 8 \quad 11891,2 \text{ N-m}$$

$$\text{Cortante otros apoyos} \quad w * L / 2 \quad 14864 \text{ N}$$

Diseño por momento Flector

$$Mu (+) = \quad 13212,44 \text{ N-m} \\ \quad \quad \quad 132,12 \text{ Tn-cm}$$

Chequeo posición del eje Neutro para determinar si su funcionamiento es de sección T o rectangular

$$K \quad 0,005392834 \quad \rho = \quad 0,002$$

$$a = \rho d Fy / 0.85 f'c \quad a = \quad 8,23529412 \text{ mm}$$

Se diseñara como sección rectangular

$$\rho_{\min} = F'c^{0.5} / 4 Fy \quad \text{De acuerdo a C. 10.5} \\ \rho_{\min} \quad 0,0033$$

$$As = \rho b d \quad 462 \text{ mm}^2 \quad \text{Sean} \quad 1 \# 5 + 1 \# 6$$

Por requerimiento debe llevar al menos 2 varillas # 4 en la parte a compresión de la vigueta

Refuerzo para retracción de fraguado y variación de temperatura

Debe cumplir con los requisitos exigidos en C.7.12

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

$$A_s = \rho b d = 36 \text{ mm}^2 \quad \text{Sean malla electrosoldada D50} \\ 25 \text{ cm long } 25 \text{ cm trans. Cal 4r}$$

Chequeo por cortante  
De acuerdo a C.11.1

$$v_u \leq \phi v_n \quad v_u = V_u / b_w d \\ v_u = 0,84937143 \text{ Mpa}$$

$$v_n = v_c + v_s$$

$$v_c = (f'c)^{0.5} / 6 = 0,7637626 \text{ Mpa} \\ \phi v_c = 0,6491982 \text{ MPa}$$

Se colocara acero mínimo requerido de acuerdo a C.11.5.5

$$A_v = b_w s / 3 F_y \quad s_{\max} = d/2 = 87,5 \text{ mm}$$

$$A_v = 6,944444444 \text{ mm}^2 \quad \text{Sea } \# 2 \text{ cada } 9 \text{ cm a lo largo del elemento}$$

#### Verificación de deflexiones

$$d_{\max} = 5 w L^4 / (384 E_c I_e) = 0,2889196 \text{ mm}$$

$$E_c = 3900 (f'c)^{0.5} \\ I_e = (M_{cr} / M_{\max})^3 I_g + (1 - (M_{cr} / M_a)^3) I_{cr} = 2456422919 \text{ mm}^4$$

$M_{cr}$	Momento de figuración	21185673,4 N-mm
$M_{\max}$	Momento máximo de carga	13212444,4 N-mm
$I_g$	Inercia de la sección bruta de concreto	766584290 mm <sup>4</sup>
$I_{cr}$	Inercia de la sección fisurada	225430343 mm <sup>4</sup>
$E_c$	Modulo de elasticidad del concreto	17872,0 Mpa
$f_r = 0,7 (f'c)$	Esfuerzo rotura del concreto	3,20780299 Mpa
$M_{cr} = f_r I_g / y_t$		21185673,4 N-mm



## DISEÑO DE LA LOSA CON STEELDECK

Para escoger un adecuado perfil de steeldeck y un espesor de losa, se hará un predimensionamiento por el método de esfuerzos admisibles. Una vez encontrados el perfil y el espesor de concreto se procederá a efectuar los chequeos correspondientes

$$d_{adm} = \frac{L_e}{360} = 0,88888889 \text{ cm}$$

$$I_c = \text{coef} * w_{cs} * L^4 / (d_{adm} * E_s) = 372,774446 \text{ cm}^4$$

Esfuerzo admisible de tensión en el acero

$$M_{pp}/S_i + M'_{pp} + M_{cs} / S_{ic} < 1,33(0,6 F_y)$$

$M_{pp}$	307,2 Kg-m
$M'_{pp}$	0 sin apuntalar
$M_{cs}$	646,4 Kg-m
$S_i$	30,48 Asumo lamina cal 18 en 2" en cm <sup>3</sup> de las tablas de diseño
$F_y$	1860 K/cm <sup>2</sup>

$$S_{ic} = 75,86 \text{ cm}^3$$

$$(M_{pp} + M'_{pp} + M_{cs} / S_{ic}) < 0,6 F_y$$

$$S_{ic} = 68,11 \text{ cm}^3$$

Esfuerzo admisible a compresion del concreto

$$\sigma_{adm} = 0,45 f'_c = 94,5 \text{ K/cm}^2$$

$$M'_{pp} + M_{cs} / N_{scc} < \sigma_{adm}$$

$N =$	11 Recomendado por Acesco
$S_{cc}$	62,18 cm <sup>3</sup>

Resistencia de la adherencia a cortante

$$V_r = W_{cs} * L / 2 = 808 \text{ K/m} \quad \text{OK}$$

	Parámetro	Solicitado	Suministrado
Deflexión	$I_c$ (cm <sup>4</sup> )	372,77	559,04
Tensión en el acero	$S_{ic}$ (cm <sup>3</sup> )	75,86	77,79
Compresión en el concreto	$S_{cc}$ (cm <sup>3</sup> )	62,18	146,58
Adherencia	$V_r$ (kg/m)	808	1223

El suministrado por lamina steeldeck cal 18 en 2" con una losa de 11 cm de espesor con apuntalamiento en el centro de la luz

Con esta sección escogida lo chequeo por el método de la resistencia última

Chequeo por flexión

$$\rho_b = 0,85 \beta_1 (f_c / a_y)(E_s E_C / \epsilon_s + \epsilon_c)(h - d_d / d)$$

$\beta_1 =$	0,85
$\epsilon_c =$	0,003
$E_s =$	2077500 K/cm <sup>2</sup>
$h =$	12 cm
$d_d =$	6,09 cm
$d =$	9,46 cm
$F_y$	2325 K/cm <sup>2</sup>
$\rho_b =$	0,0297

$\rho = A_s / b d$	0,0159	LOSA SUBREFORZADA
$A_s =$	15,05 cm <sup>2</sup>	

Losa de entrepiso simplemente apoyada de una luz

Cargas Muertas	N/m <sup>2</sup>	
Cielos rasos livianos	250	
Peso losa de concreto espesor	2280	
Peso lamina steeldeck	131,4	
Particiones mampostería	3000	Vrs mín para no considerar análisis de carga

Carga Viva para vivienda	1800
--------------------------	------

### Geometría del mezanine

Luz de diseño	3200 mm
---------------	---------

### Combinaciones de carga

1,4 PP	3376,02 N/m
1,7 Cs	8585 N/m

### Chequeo por flexión

Con la característica de losa subreforzada entonces

$$a = A_s F_y / 0,85 f'c b \quad 19,60 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s F_y (d - a/2) \quad 29672065,4 \text{ N-mm}$$

$$\phi M_n \quad 26704858,9 \text{ N-mm}$$

$$M_u = 1,4 PP + 1,7 C\varepsilon \quad 24730791,8 \text{ N-mm}$$

$$M_u < \phi M_n \quad \text{CHEQUEA POR FLEXION}$$

Acero para efectos de temperatura y retracción D131 de 5 mm de 15 x15 cm

### Resistencia de adherencia a cortante

$$V = V_{cs} < V_r \quad 13392,60 \text{ N/m}$$

$$1339,26 \text{ k/m}$$

$$V_r \quad 1336 \text{ K/m}$$

Se puede decir que chequea

### Chequeo por cortante

De acuerdo a C.I.I.I

$$v_u \leq \phi v_n$$

$$v_n = v_c + v_s$$

$$v_c = (f'c)^{0.5} / 6 \quad 0,7637626 \text{ Mpa}$$

$$\phi_{st} \quad 0,646 \text{ MPa}$$

$$v_u = V_u / A_c \quad 0,247 \text{ Mpa}$$

$$V_u = 19137,63556 \text{ N/m}$$

$$A_c = 77600 \text{ mm}^2/\text{m}$$

De tablas Manual Acesco



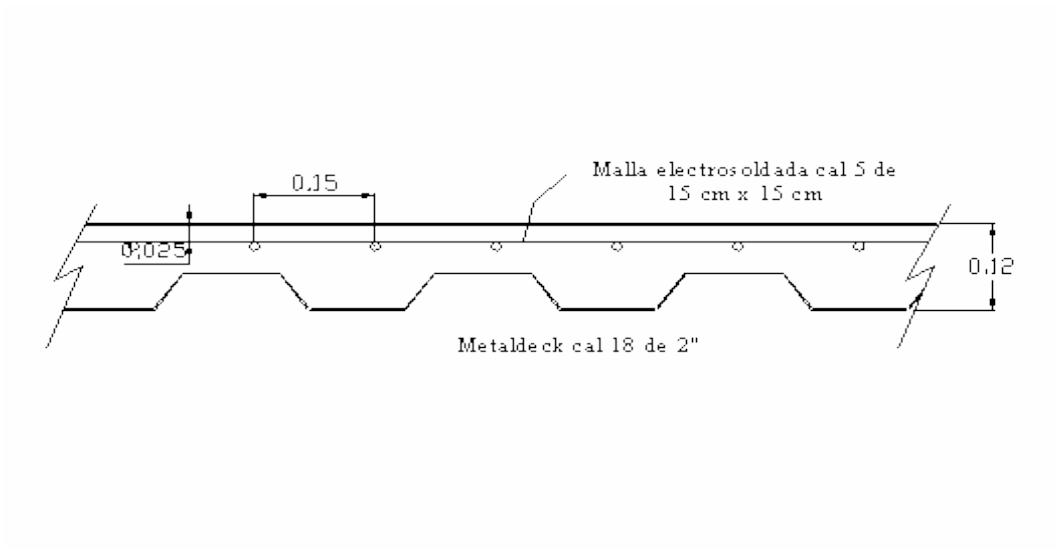
Chequea por cortante

### Deflexiones

100 Le / h

26,666667 >

22 OK



ANALISIS UNITARIOS PARA CALCULO DE COSTOS ENTREPISOS COMPARADOS

CONCRETO 3000 PSI

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Arena	m3	0,56	30000	16800
Grava	m3	0,86	36000	30960
Cemento	Bulto	7	17967	125769
Agua	lt	147	30	4410
				177939

Viguetas metalicas 0,21\*0,12\*3,2

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Acero 420 Mpa corrugado 3/8 x 6m	und	3,222222222	4051	13053,222
Soldadura 6013	und	4	105	420
Soldadura 7018	und	13	142	1846
				15319,222

Fueron 9 viguetas

FORMALETA PARA LOSA MACIZA Y ALIGERADA ( 3,2 X 4 )

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Tablero 0,7x1,40	und	15	140	2100
Tacos formaletas	und	8	100	800
Cerchas metalicas x 3m	und	4	90	360
Teleras	und	4	80	320
				3580

Uso promedio de formaleta 20 dias  
area

71600  
12,8  
5593,75

Formaleta lateral

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Tabla formaleta x 3m	und	5	5100	25500
Varillones x 3m	und	5	2500	12500
Puntillas	Lb	2	1500	3000

TOTAL FORMALETA

112600

**FORMALETA PARA VIGUETAS COMPUESTAS ( 3,2 X 4)**

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Tablero 0,7x1,40	und	15	140	2100
Tacos formaletas	und	24	100	2400
Cerchas metalicas x 3m	und	12	90	1080
Teleras	und	12	80	960

6540

Uso promedio de formaleta 15 dias  
area

98100  
12,8  
7664,0625

**Formaleta lateral**

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Tabla formaleta x 3m	und	5	5100	25500
Varillones x 3m	und	5	2500	12500
Puntilla 1 1/2	Lb	2	1500	3000

**TOTAL FORMALETA**

139100

ANALISIS COSTOS ENTREPISO VIVIENDA AREA 3,2 X 4

**ENTREPISO DE VIGUETAS METALICAS Y LOSETA DE CONCRETO**

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Concreto	m3	0,896	177939	159433,34
Viguetas	und	5	15319,222	76596,111
Formaleta	glb	1	139100	139100
Malla electrosoldada 2,44* 6 cal 4 mm abert 15 x 15	und	1	37500	37500
				375129,46
<b>Mano de Obra</b>				
Fabricacion viguetas metalicas	horas	15	5000	75000
Mezclado y Vaciado Losa concreto	horas	24	2500	60000
Armado Formaleta	horas	35	2700	94500
				229500

604629,5

ENTREPISO EN LOSA MACIZA E = 14 CM

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Losa de entrepiso espesor	m3	1,792	177939	318866,69
Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	72,5	1600	116000
Alambre dulce	kg	7	1724	12068
Malla electrosoldada 2,44 x 6 cal 6.5 de 15 x 15	und	1	99000	99000
Formaleta	und	1	112600	112600
				658534,69
<b>Mano de Obra</b>				
Mezclado y Vaciado Losa concreto	horas	55	2500	137500
Armado Formaleta		21	2700	56700
Armado acero de refuerzo		18	2500	194200
				388400

1046935

ENTREPISO EN LOSA ALIGERADA CON LADRILLO FAROL

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Loseta de concreto espesor 5 cm	m3	0,64	177939	113880,96
Viguetas de concreto	m3	0,24	177939	42705,36
Aligerante ladrillo farol	und	160	450	72000
Acero de refuerzo Fy 420 Mpa	kg	100,8	1600	161280
Alambre dulce	kg	6	1724	10344
Malla electrosoldada D50 cal 4 mm 25 x 25	und	1	21143	21143
Formaleta	und	1	112600	112600
				533953,32
<b>Mano de Obra</b>				
Mezclado y vaciado Losa concreto	horas	30	2500	75000
Armado Formaleta		21	2700	56700
Armado acero de refuerzo		36	2500	131700
				263400

797353,3

Item	Unidad	Cantidad	Vr Unitario	Vr Total
Lamina steeldeck cal 18 de 2"	und	3	216000	648000
Losa de concreto	m3	1,216	177939	216373,82
Formaleta lateral	glb	1	41000	41000
Malla electrosoldada 5mm de 15 x 15 cm	und	1	58100	58100
Soldadura 6013 x 1/8	und	2	105	210
				963683,82
<b>Mano de Obra</b>				
Mezclado y vaciado Losa concreto	horas	36	2500	90000
Armado Formaleta lateral	horas	3	2700	8100
Armado acero de refuerzo	horas	2	2500	5000
Colocacion de la lamina	horas	2	2500	5000
				108100

1071784



dia

por m<sup>2</sup>

dia

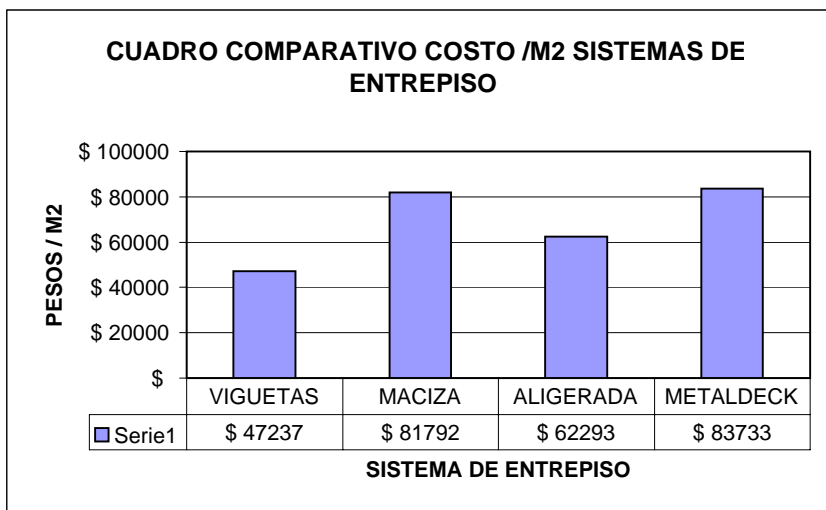
por m<sup>2</sup>

1593,4524	3,36	3/8
2056,6667	1,5	1/4
1573,4007	5,94	1/2





	Costo por m2 \$	\$/m2	Tiempo
VIGUETAS METALICAS	ENTREPISO D #####	\$ 47237	15
MACIZA	ENTREPISO EI #####	\$ 81792	21
ALIGERADA	ENTREPISO EI #####	\$ 62293	21
METALDECK	ENTREPISO EI #####	\$ 83733	15



\_\_\_\_\_