

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LOSAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO EN SUS
CONDICIONES DE SERVICIO Y ESTADOS LÍMITES DE
RESISTENCIA**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil
Por la Br. Bilbao Torres, Estebeni**

Caracas, Noviembre, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LOSAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO EN SUS
CONDICIONES DE SERVICIO Y ESTADOS LÍMITES DE
RESISTENCIA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Manuel Velásquez

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil
Por la Br. Bilbao Torres, Estebeni**

Caracas, Noviembre, 2004

Agradecimientos

A mi tutor Académico, el Prof. José Manuel Velásquez

A mi familia

A mis amigos

A todos aquellos que colaboraron de una u otra forma al desarrollo de este Trabajo de Investigación.

BILBAO T, Estebeni

**“ESTUDIO DE LOSAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO EN SUS
CONDICIONES DE SERVICIO Y ESTADOS LÍMITES DE
RESISTENCIA”**

**Tutor Académico: Prof. José Manuel Velásquez. Trabajo Especial de Grado.
Caracas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2004**

Palabras Claves: Láminas de Acero, Losas Mixtas, Etapa Constructiva, Flecha, Vibraciones,
Resistencia.

RESUMEN

La construcción compuesta ha representado en los últimos años una gran ventaja para aliviar el peso y costo de las estructuras. Los sistemas de pisos de edificios estructurales de acero, por lo general, están constituidos por este tipo de construcción. El tipo de sistema de piso más utilizado es en el que se combinan láminas acanaladas de acero y concreto. Estas láminas acanaladas trabajan como encofrado del concreto y constituyen el refuerzo positivo cuando el concreto alcanza su resistencia. Estas láminas deben cumplir ciertas especificaciones para garantizar la unión entre ellas y el concreto.

El diseño de estas losas debe garantizar su buen funcionamiento durante la etapa constructiva, la etapa de servicio y en su estado límite de resistencia. La etapa constructiva es la que más preocupa a los calculistas, ya que la lámina por sí sola debe resistir las cargas constructivas y de peso propio, sin exceder los límites de flecha y de tensión.

En este trabajo se estudian los tipos de láminas de acero más frecuentemente usados en la construcción en Venezuela. Estos poseen distintas alturas, distintas dimensiones y en general, distintas propiedades.

Una vez que el concreto ha endurecido sobre la lámina, se estudian sus condiciones de servicio y etapa de resistencia.

Igualmente se busca lograr el trabajo compuesto entre la losa y las correas de acero, mediante el uso de conectores de corte. Del mismo modo, se debe verificar en la etapa de montaje de la correa, que esta cumpla con los criterios de flecha y tensión admisible.

Se estudia la viga mixta en condiciones de servicio y en su etapa última resistente.

Una parte importante en el diseño de las vigas mixtas es el control de la vibración. Esta debe regularse para evitar molestias a los ocupantes de la edificación, a pesar de que la resistencia de ésta, no se vea afectada.

Durante el desarrollo del trabajo se van presentando tablas que limitan la separación entre apoyos para las láminas en su etapa constructiva, así como las separaciones máximas entre correas durante su instalación.

Igualmente se tabulan cargas de servicio y cargas máximas para las losas mixtas y valores de inercia y momentos minorados que facilitan el diseño de las vigas mixtas.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	17
1.1	<i>TIPOS DE SISTEMAS DE PISOS UTILIZADOS EN ESTRUCTURAS DE ACERO.</i>	
	18	
1.2	<i>LOSAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO CON LÁMINAS ACANALADAS.</i>	23
1.2.1	Reseña histórica.	24
1.2.2	Steel Deck Institute.	26
1.3	<i>PROPIEDADES DE LAS LÁMINAS</i>	26
1.3.1	Ventajas	29
1.3.2	Desventajas	31
1.3.3	Otras consideraciones en el diseño	31
2	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS LÁMINAS DE ACERO MÁS UTILIZADAS EN VENEZUELA	33
2.1	<i>TIPOS DE LÁMINAS Y SU DESCRIPCIÓN.....</i>	33
2.1.1	Encofrado colaborante LOSACERO.	33
2.1.2	Encofrado colaborante SIGALDECK	34
2.1.3	Encofrado colaborante PLACACERO	36
2.1.4	Encofrado colaborante LUVITEC	37
2.1.5	Encofrado colaborante CORPALOSA	38
2.2	<i>PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS LÁMINAS</i>	39
3	LOSAS MIXTAS ACERO-CONCRETO	42
3.1	<i>ETAPA DE INSTALACIÓN DE LAS LÁMINAS.....</i>	42
3.1.1	Flecha.....	42
3.1.2	Tensión admisible	49
3.2	<i>ETAPA DE SERVICIO PARA LOSAS MIXTAS ACERO-CONCRETO</i>	59
3.3	<i>CONDICIÓN DE RESISTENCIA.</i>	75
3.3.1	Resistencia al corte por adherencia.....	75

3.3.2	Resistencia a flexión.....	83
3.3.3	Determinación de resistencia de las losas mixtas	85
4	VIGAS MIXTAS ACERO-CONCRETO.....	107
4.1	<i>CONECTORES DE CORTE.....</i>	<i>107</i>
4.2	<i>VIGAS DE ALMA ABIERTA. STEEL JOIST.....</i>	<i>110</i>
4.2.1	Ventajas de las Steel Joist.....	111
4.2.2	Steel Joist Institute.....	112
4.3	<i>ETAPA DE MONTAJE PARA LAS CORREAS.....</i>	<i>123</i>
4.3.1	Flecha.....	123
4.3.2	Tensión admisible	131
4.4	<i>ETAPA DE SERVICIO DE LAS VIGAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO</i>	<i>141</i>
4.4.1	Condiciones de flecha.....	141
4.4.2	Vibración	148
4.5	<i>CONDICIÓN DE RESISTENCIA PARA LAS VIGAS MIXTAS.....</i>	<i>167</i>
5	CONCLUSIONES	174
6	RECOMENDACIONES	176
7	APÉNDICES	177
8	BIBLIOGRAFÍA	185
9	ANEXOS.....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Losa de concreto reforzada en una dirección con viga embutida en concreto.	19
Figura 1.2 Casetones metálicos para pisos reticulares.....	20
Figura 1.3 Colocación de tabelones entre vigas “doble T”.....	23
Figura 1.4 Colocación de pletinas de madera en los bordes.....	23
Figura 1.5 Ejemplos de láminas de acero con trabamientos mecánicos.....	27
Figura 1.6 Lámina clasificada Categoría III según Schuster.	28
Figura 1.7 Típico soffito metálico con canales abiertos y canales cerrados.	28
Figura 2.1 Esquema de lámina LOSACERO. Peralte 1,5” (3,81 cm).....	34
Figura 2.2 Esquema de lámina SIGALDECK 734. Peralte 1,5” (3,81 cm).....	35
Figura 2.3 Esquema de lámina SIGALDECK 900. Peralte 1,5” (3,81 cm).....	35
Figura 2.4 Esquema de lámina SIGALDECK 3”. (7,62 cm).....	36
Figura 2.5 Esquema de lámina PLACACERO. Peralte 6 cm.	36
Figura 2.6 Esquema de lámina LUVITEC Sección 36/15. Peralte 1,5” (3,81 cm)	37
Figura 2.7 Esquema de lámina LUVITEC Sección 4. Peralte 2,5” (6,35 cm)	38
Figura 2.8 Esquema de lámina CORPALOSA. Peralte 1,5” (3,81 cm)	38
Figura 3.1 Disposiciones recomendadas de las cargas constructivas por el SDI.	49
Figura 3.2 Definición de las variables en una losa mixtas acero-concreto.....	59
Figura 3.3 Modelo con modo de falla por adherencia.....	76
Figura 3.4 Modelo típico de prueba de lámina metálica.....	77
Figura 3.5 Gráfico típico que relaciona los parámetros que intervienen en una falla por adherencia en una lámina metálica	78
Figura 3.6 Diagramas de corte de carga uniforme y carga concentrada.....	80
Figura 3.7 Comparación de Sistema con carga uniforme + carga concentrada y Sistema con dos cargas concentradas.....	81
Figura 4.1 Conectores de corte	108
Figura 4.2 Vista de un conector Espárrago (Stud).....	109
Figura 4.3 Otros tipos de conectores de corte.....	110
Figura 4.4 Viga de alma abierta (Steel Joist).....	111
Figura 4.5 Extensiones típicas del cordón superior de las vigas de serie K.	115

Figura 4.6 Apoyos típicos de Steel Joist.....	117
Figura 4.7 Arriostramiento horizontal	119
Figura 4.8 Definición de la luz de la viga.....	120
Figura 4.9 Diagrama de capacidad de corte y momento para la vigas de serie KCS	122
Figura 4.10 Viga compuesta. Diagramas de esfuerzo y deformación superpuestos.....	141
Figura 4.11 Cálculo del área transformada.....	143
Figura 4.12 Valores de L_l y L para el cálculo de k	152
Figura 4.13 Gráfico para calcular FCD con la frecuencia natural del sistema en Hz.....	159
Figura 4.14 Escala Modificada de Reiher-Meister	161
Figura 4.15 Típico gráfico de vibración transitoria del “Impacto de talón”	163
Figura 4.16 Niveles de aceptación para pisos con movimientos vibratorios producidos al caminar, para edificios residenciales, escolares y oficinas.....	164
Figura 4.17 Eje neutro plástico en la losa de concreto	168
Figura 4.18 Eje neutro en el ala superior de la viga de acero	169
Figura 4.19 Eje neutro en el alma de la viga de acero	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tabla comparativa de las propiedades características de las distintos tipos de láminas de acero.	40
Tabla 2.2 Volumen de concreto sobre el encofrado colaborante.	41
Tabla 3.1 Valores de momentos en los vanos, en los apoyos y deflexiones para la configuración mostrada.	44
Tabla 3.2 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LOSACERO (1,5”) en su montaje, según su flecha.	46
Tabla 3.3 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas SIGALDECK en su montaje, según su flecha.	46
Tabla 3.4 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas PLACACERO en su montaje, según su flecha.	47
Tabla 3.5 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LUVITEC en su montaje, según su flecha.	47

Tabla 3.6 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas CORPALOSA en su montaje, según su flecha.	48
Tabla 3.7 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LOSACERO (1,5") en su montaje, según su tensión admisible.	52
Tabla 3.8 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas SIGALDECK en su montaje, según su tensión admisible.	52
Tabla 3.9 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas PLACACERO en su montaje, según su tensión admisible.	53
Tabla 3.10 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LUVITEC en su montaje, según tensión admisible.	53
Tabla 3.11 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas CORPALOSA en su montaje, según su tensión admisible.	54
Tabla 3.12 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero LOSACERO en su montaje.	56
Tabla 3.13 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero SIGALDECK en su montaje.	56
Tabla 3.14 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero PLACACERO en su montaje.	57
Tabla 3.15 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero LUVITEC en su montaje.	57
Tabla 3.16 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero CORPALOSA en su montaje.	58
Tabla 3.17 Momentos de Inercia efectivos (I_d) para todas las láminas según el espesor de la losa y el calibre de la lámina metálica. Valores en cm^4/m .	61
Tabla 3.18 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LOSACERO 1,5". Calibre 18 y Calibre 20.	63
Tabla 3.19 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LOSACERO 1,5". Calibre 22.	64
Tabla 3.20 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 20 y Calibre 22	65

Tabla 3.21 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 24	66
Tabla 3.22 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina SIGALDECK 3". Calibre 18, Calibre 20 y Calibre 22	67
Tabla 3.23 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina PLACACERO (6cm) Calibre 18 y Calibre 20	68
Tabla 3.24 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina PLACACERO (6cm). Calibre 22 y Calibre 24	69
Tabla 3.25 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LUVITEC Sección 36/15 (1,5"cm). Calibre 18 y Calibre 20	70
Tabla 3.26 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LUVITEC Sección 36/15 (1,5"cm). Calibre 22 y Calibre 24	71
Tabla 3.27 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LUVITEC Sección 4 (2,5"cm). Calibre 18 y Calibre 20	72
Tabla 3.28 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina LUVITEC Sección 4 (2,5"cm). Calibre 22 y Calibre 24	73
Tabla 3.29 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina CORPALOSA (1,5"cm). Calibre 18 y Calibre 20	74
Tabla 3.30 Cargas máximas de servicio en Kgf/m^2 para la lámina CORPALOSA (1,5"cm). Calibre 22	75
Tabla 3.31 Valores de γ para varias condiciones de soporte	82
Tabla 3.32 Relación compresión/altura (c/d) para cada tipo de lámina para un concreto de $f'c=200\text{Kgf/cm}^2$	87
Tabla 3.33 Relación compresión/altura (c/d) para cada tipo de lámina para un concreto de $f'c=250\text{Kgf/cm}^2$	88
Tabla 3.34 Relación compresión/altura balanceada (c/d) _b para cada tipo de lámina.	89
Tabla 3.35 Valores de a y Momentos Minorados positivos para cada lámina de acero con concreto $f'c=200 \text{ Kgf/cm}^2$.	90
Tabla 3.36 Valores de a y Momentos Minorados positivos para cada lámina de acero con concreto $f'c=250 \text{ Kgf/cm}^2$	91

Tabla 3.37 Cargas últimas mayoradas para la lámina LOSACERO con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	93
Tabla 3.38 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 1,5" con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	94
Tabla 3.39 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 3" con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	95
Tabla 3.40 Cargas últimas mayoradas para la lámina PLACACERO con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	96
Tabla 3.41 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 36/15 con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	97
Tabla 3.42 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 4 con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	98
Tabla 3.43 Cargas últimas mayoradas para la lámina CORPALOSA con resistencia del concreto $f'c=200$ Kgf/cm ²	99
Tabla 3.44 Cargas últimas mayoradas para la lámina LOSACERO con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	100
Tabla 3.45 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 1,5" con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	101
Tabla 3.46 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 3" con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	102
Tabla 3.47 Cargas últimas mayoradas para la lámina PLACACERO con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	103
Tabla 3.48 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 36/15 con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	104
Tabla 3.49 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 4 con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	105
Tabla 3.50 Cargas últimas mayoradas para la lámina CORPALOSA con resistencia del concreto $f'c=250$ Kgf/cm ²	106
Tabla 4.1 Significado de la notación de las Vigas de Alma Abierta según SIDETUR	112
Tabla 4.2 Cargas constructivas que soportan las correas en Kgf/m ² .	125
Tabla 4.3 Cargas permisibles de cada perfil para la condición de flecha máxima (Kgf/ml)	126

Tabla 4.4 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 1,5" de altura según su flecha.	127
Tabla 4.5 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" de altura según su flecha.	128
Tabla 4.6 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm de altura según su flecha.	129
Tabla 4.7 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5" de altura según su flecha.	130
Tabla 4.8 Cargas permisibles de cada perfil para la condición de tensión admisible	132
Tabla 4.9 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 1,5" para la condición de tensión admisible.	133
Tabla 4.10 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" para la condición de tensión admisible.	134
Tabla 4.11 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm para la condición de tensión admisible.	135
Tabla 4.12 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5" para la condición de tensión admisible.	136
Tabla 4.13 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 1,5" para la condición más crítica en su montaje.	137
Tabla 4.14 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" para la condición más crítica en su montaje.	138
Tabla 4.15 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm para la condición más crítica en su montaje.	139
Tabla 4.16 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5" para la condición más crítica en su montaje.	140
Tabla 4.17 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 1,5"	144
Tabla 4.18 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 3"	145
Tabla 4.19 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 6 cm	146

Tabla 4.20 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanadas de 2,5"	147
Tabla 4.21 Valores del coeficiente k en función de L_1/L	152
Tabla 4.22 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanadas de 1,5"	154
Tabla 4.23 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanadas de 3"	155
Tabla 4.24 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanadas de 6 cm.	156
Tabla 4.25 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanadas de 2,5".	157
Tabla 4.26 Determinación del nivel de vibración. A_0 (mm); f (Hz)	161
Tabla 4.27 Capacidades resistentes minoradas para momentos positivos (ϕM_t) en Kgf m, para $f'c=200$ Kgf/cm ² .	171
Tabla 4.28 Capacidades resistentes minoradas para momentos positivos (ϕM_t) en Kgf m, para $f'c=250$ Kgf/cm ² .	172

NOTACIÓN

A_0	amplitud inicial de impacto de las pisadas de los transeúntes
A_{0p}	amplitud inicial de las vigas principales
A_{0r}	amplitud inicial de las vigas de reparto
A_{0s}	amplitud inicial de todo el sistema
A_s	área de acero del soffito metálico (lámina acanalada de acero)
a_0	aceleración pico en porcentaje de gravedad
b_e	ancho efectivo de la losa
D	amortiguamiento
d	altura del soffito metálico
d_e	espesor efectivo de la losa para el cálculo de I_{tr} en el cálculo de la vibración
d_s	flecha estática producida en la viga por una carga de 272 Kgf.
E_s	módulo de elasticidad del acero
f'_c	resistencia especificada del concreto a la compresión.
F_y	tensión cedente mínima para el tipo de acero utilizado
f_p	frecuencia de las vigas principales
f_r	frecuencia de las vigas de reparto
f_s	frecuencia de todo el sistema de piso
g	gravedad
I	inerencia del perfil de acero
I_d	momento de inercia efectivo promedio de la losa mixta
I_{CR}	momento de inercia de la sección agrietada de la losa
I_u	momento de inercia de la sección no agrietada de la losa
I_T	momento de inercia transformada de las vigas mixtas
I_{tr}	momento de inercia transformada en el cálculo de la frecuencia natural de la vibración
I_s, I_x	momento de inercia de la lámina metálica
L	longitud
L'	zona de corte en los ensayos de corte
M_{ro}	momento resistente último para flexión (losas sobrerreforzadas)
M_{ru}	momento resistente último para flexión (losas subreforzadas)

M_t	resistencia teórica a flexión para vigas mixtas
m	pendiente de la recta de la regresión lineal en los ensayos de corte
N_{ef}	número efectivo de vigas
n	relación modular
S_{fondo}	módulo de sección de la lámina respecto al fondo
S_{tope}	módulo de sección de la lámina respecto al tope
V_{ac}	resistencia calculada de los conectores de corte
V_e	último corte resultante en las pruebas experimentales
V_u	última capacidad de corte
ε_{cu}	deformación unitaria del concreto
ϕ_c	factor de minoración de resistencia para el concreto en flexión
ϕ_s	factor de minoración de resistencia para el acero en sofitos metálicos
ϕ_v	factor de minoración de la resistencia al corte por adherencia
γ	porción de carga muerta soportada por la losa una vez removidos los puntales
γ_{acero}	peso específico del acero

1 INTRODUCCIÓN

En un gran porcentaje de construcciones actuales, en estructuras de acero principalmente, se ha utilizado la combinación de concreto armado y acero estructural. Jack McCormac (1989) expone en su libro “Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD” que si se utilizaran columnas de concreto armado en edificios muy altos, éstas tendrían que ser excesivamente gruesas en los pisos bajos y ocuparían demasiado espacio. Las columnas de acero embebidas y aseguradas con concreto reforzado se usan generalmente y se conocen como columnas compuestas. Del mismo modo, los sistemas de piso de la mayoría de los edificios de acero estructural constituyen una construcción compuesta entre el acero y el concreto. La construcción compuesta incluye a los miembros estructurales formados de dos materiales: acero estructural y concreto reforzado. Estrictamente hablando, cualquier miembro formado por dos o más materiales es compuesto. Sin embargo en edificios y puentes, esto de manera usual, significa acero estructural y concreto.

Entre muchos tipos de pisos compuestos que se usan actualmente o están ya en desuso, se encuentran los siguientes:

- Losas de concreto sobre vigas de alma abierta denominadas Steel Joists
- Losas de concreto reforzadas en una o dos direcciones, apoyadas sobre vigas de acero.
- Losas de concreto trabajando en colaboración con vigas de acero.
- Piso de losa reticular.
- Pisos de lámina acanalada de acero.
- Losas de tableros.

McCormac agrega que entre los diferentes factores que deben considerarse en la selección del sistema de piso por utilizar en una construcción determinada, están: las cargas por soportar, grado de seguridad contra incendio, aislamiento térmico y acústico, peso muerto del piso,

aspecto del piso por debajo (ya sea liso o con traveses visibles), posibilidad de localización de conductos, tuberías o alambres en el piso; apariencia, mantenimiento requerido, tiempo de construcción, deflexión permitida en el piso y vibraciones permitidas según el uso de la edificación.

1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE PISOS UTILIZADOS EN ESTRUCTURAS DE ACERO.

A continuación se presenta una descripción breve de los sistemas de piso mencionados por McCormac junto con alguna exposición de sus ventajas y usos principales.

- Losas de concreto sobre vigas de alma abierta (Steel Joists)
Estas losas son fabricadas con perfiles angulares unidos con diagonales (barra redonda lisa continua). Este tipo de viga es diseñada para sistemas de pisos al igual que sistemas de techos y cubiertas de edificaciones. Estos sistemas serán estudiados con más profundidad en el Capítulo 4.2.
- Losas de concreto reforzadas en una o dos direcciones
 - Losas reforzadas en una dirección: Gran número de pisos de losa de concreto en edificios viejos tanto de oficinas como industriales, lo constituían losas de concreto reforzadas en una dirección, de aproximadamente 10 cm de espesor, apoyadas sobre vigas de acero colocadas a 1,8 y 2,4 m entre centros.
Las losas reforzadas en una dirección se usan cuando el lado largo de la losa es de dos o más veces la longitud del lado corto; en tal condición el lado corto es mucho más rígido que el claro largo y, consecuentemente, casi toda la carga la soporta el claro corto.
La dirección corta es la dirección principal de flexión, por tanto, la de las barras de refuerzo principal en el concreto, pero se requiere refuerzo por temperatura y por retracción en la otra dirección.
En la Figura 1.1 se muestra la sección transversal característica de un piso con losa de concreto, reforzada en una dirección, apoyada sobre vigas de acero. Cuando se utilizan vigas de acero para apoyar vigas de concreto reforzado,

puede ser necesario ahogarlas en el concreto para lograr protección contra incendio. También en la Figura 1.1 se muestra esta condición.

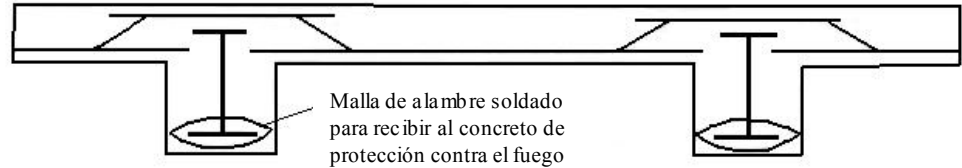


Figura 1.1 Losa de concreto reforzada en una dirección con viga embutida en concreto.

Fuente: “Diseño de Estructuras de acero. Método LRFD”

Las losas reforzadas en una dirección tienen la ventaja de que son encofradas de modo que puedan quedar apoyadas completamente sobre vigas de acero sin necesidad de apuntalamiento vertical. Tienen la desventaja que son más pesadas que la mayoría de los sistemas más recientes de pisos livianos. Cuando se desea un piso para recibir cargas pesadas, un piso rígido o un piso muy durable, las losas reforzadas en un sentido pueden ser la elección más conveniente.

- Losas de concreto reforzadas en dos direcciones: Esta losa de concreto se utiliza cuando las losas son cuadradas o casi cuadradas y las vigas de apoyo se colocan en los cuatro bordes. El refuerzo principal se coloca en las dos direcciones. Las demás características son semejantes a las de las losas reforzadas en un sentido.

- Losas de concreto trabajando en colaboración con vigas de acero

Estos son uno de los llamados pisos compuestos. Los pisos compuestos son aquellos donde las vigas de acero se unen con losas de concreto para que ambas actúen como una unidad y resistan las cargas totales, las mismas que de otra manera serían soportadas únicamente por las vigas. Puede haber ahorro en las dimensiones de las vigas de acero cuando se usan pisos compuestos, porque la losa actúa como parte de la viga.

Una ventaja especial de los pisos compuestos es que utilizan la alta resistencia del concreto a la compresión en casi la totalidad del peralte de la losa, al mismo tiempo

que somete a tensión un gran porcentaje del acero, que normalmente es el caso de las estructuras de acero. El resultado es un menor peso de acero en la estructura. Una ventaja adicional de los pisos compuestos es que pueden permitir una reducción apreciable en el espesor total del piso, que es muy importante en edificios de mucha altura.

- Piso de losa reticular

Existen diversos tipos de losas reticulares que se construyen vertiendo el concreto en moldes removibles llamados casetones o formaletas (ver Figura 1.2). También existen algunos moldes especiales de material corrugado ligero que pueden dejarse en el lugar. Las hileras de estas formaletas se acomodan sobre el encofrado y el concreto se vierte sobre la parte superior de éstas. Las vigas se forman entre las formaletas dando un piso del tipo de viga T.

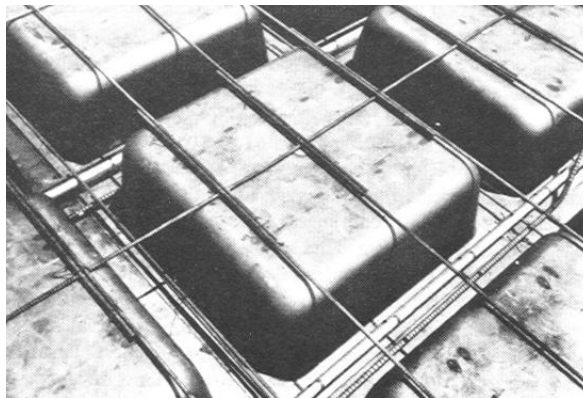


Figura 1.2 Casetones metálicos para pisos reticulares.

Fuente: “Diseño de Estructuras de acero. Método LRFD”

Estos pisos son adecuados para cargas pesadas considerables. Son bastante más ligeros que los pisos de losa de concreto reforzado en uno y dos sentidos. Aunque son bastante más ligeros, necesitan de una buena cantidad de encofrado, incluyendo el apuntalamiento bajo las nervaduras. Por esto, la mano de obra es mayor que para muchos otros pisos, pero el ahorro debido a la reducción de peso y la reutilización de los moldes de medidas estándares, los hace competitivos. La construcción en dos sentidos, es decir, con nervaduras en ambas direcciones, es muy útil. Al usar moldes con extremos cerrados se obtiene un piso con apariencia en forma de un *waffle*. Este

último tipo de piso se usa comúnmente cuando los paneles son cuadrados o casi cuadrados.

- Pisos de lámina acanalada de acero

En años recientes los pisos con lámina acanaladas de acero como encofrado han llegado a ser muy populares en algunas aplicaciones, sobre todo en edificios de oficinas. También son populares para hoteles, casas de apartamentos y otras construcciones, donde las cargas no son muy grandes.

Este tipo de piso es la principal razón de estudio de este Trabajo de Investigación, por lo que será explicado con mucho más detenimiento en las secciones siguientes.

- Losas de tabelones

La construcción de losas de tabelones para platabandas es una práctica tradicional ampliamente difundida en Venezuela. El catálogo de SIDETUR de losas de tabelones indica que el sistema conocido comúnmente con este nombre, está constituido por perfiles de acero (vigas “doble T” IPN) y bloques de arcilla tipo tabelón que se insertan en los perfiles “doble T”. La construcción de techos y pisos para viviendas apoyados sobre una estructura convencional de concreto armado o acero estructural es, sin duda, la aplicación más difundida de este sistema constructivo. La aplicación de este sistema no se limita al caso de superficies horizontales, también puede aplicarse en superficies inclinadas, siempre y cuando el concreto pueda vaciarse apropiadamente.

Las ventajas de este tipo de losa son: suministra un piso firme, seguro y duradero, cuya cara inferior puede frisarse para obtener una excelente apariencia. Es de rápida instalación. Tiene buen aislamiento acústico y térmico. No necesita puntales ni encofrados. Es un sistema de piso más liviano que el resto de sistemas de pisos convencionales. Es un sistema económico que utiliza materiales tradicionales y herramientas comunes.

Los componentes de la losa de tabelones son:

- **Correas:** son los elementos de soporte de la losa, consistentes en perfiles “doble T” IPN de acero estructural. Estos perfiles se apoyan sobre las vigas de corona de la

estructura principal, y que se separan entre si de manera que permiten la entrada y apoyo de los tabelones.

- Tabelones: son bloques de arcilla, prefabricados, típicamente en largos de 60 y 80 cm, con ancho de 20 cm y con espesores de 4, 6 y 9 cm. Los tabelones se colocan entre las alas de las correas y sirven de encofrado permanente para la loseta de concreto.
- Loseta de concreto: se vacía con un espesor mínimo de 4 cm sobre el ala superior de las correas para formar el piso propiamente dicho. La loseta posee una armadura de acero como protección contra el agrietamiento por efectos de retracción y temperatura.
- Relleno: en los casos en que las correas seleccionadas para la losa sean muy grandes, es recomendable utilizar un material de relleno entre el tabelón y el vaciado del concreto. Este relleno debe ser liviano y de fácil instalación, se pueden utilizar láminas de animes o alguna combinación de tabelones.

El proceso constructivo es sencillo. La construcción de la losa comienza con el corte de las vigas “doble T” a la medida necesaria para cubrir el área de la vivienda; las mismas se apoyarán y fijarán a las vigas de corona. A continuación se comienza a deslizar los tabelones entre dos vigas hasta cubrir todo el espacio vacío (ver Figura 1.3). Se procede de igual forma con todos los espacios vacíos entre vigas hasta cubrir toda la losa. Se sugiere soldar unas pletinas a las vigas “doble T” para evitar que estas se muevan. Una vez instaladas las vigas y los tabelones, se coloca una malla electrosoldada. Para evitar pérdidas de concreto y conseguir un mejor acabado final, se recomienda encofrar los bordes de la losa. (ver Figura 1.4) Por último se vierte el concreto.

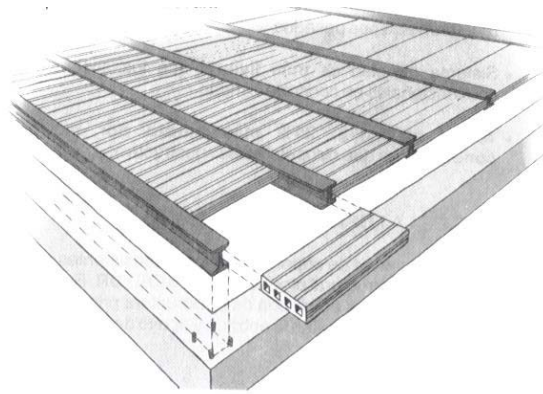


Figura 1.3 Colocación de tableros entre vigas “doble T”

Fuente: Catálogo SIDETUR. “Losas de tableros”

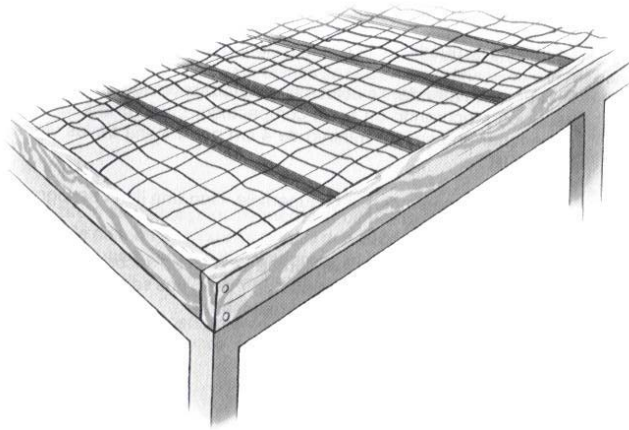


Figura 1.4 Colocación de pletinas de madera en los bordes

Fuente: Catálogo SIDETUR. “Losas de tableros”

1.2 LOSAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO CON LÁMINAS ACANALADAS.

De un tiempo para acá se ha incrementado el uso de láminas acanaladas y corrugadas de acero como miembro estructural para soportar las cargas del piso en los edificios. R. M. Schuster (1974) en su publicación “Composite Steel-Deck-Reinforced Concrete Floor Systems”, expone que estos sistemas son una forma de construcción más económica y ligera creada integrando las propiedades estructurales del concreto y las láminas de acero, con el concreto permanentemente colocado sobre el encofrado. Esto inmediatamente sugiere que hay una

posibilidad de crear acción conjunta entre el acero y el concreto. Por supuesto, los dos materiales pudieran ser utilizados en conjunto sin la necesidad de que actúen compuestamente. En cualquiera de los dos casos, la plataforma de trabajo utilizada en la etapa del vaciado del concreto, permanece en el sitio de trabajo durante toda su vida útil. Cuando la losa mixta de acero-concreto es diseñada como un sistema de acción no conjunta, la lámina de acero sirve sólo como encofrado, soportando las cargas de construcción y el peso del concreto líquido. Luego que el concreto endurece, la lámina de acero no tiene otra función y el concreto reforzado debe soportar todas las cargas impuestas.

Sin embargo, cuando la lámina de acero es capaz de desarrollar acción conjunta con el concreto, actúa desempeñando ambos roles en su funcionamiento como plataforma de trabajo y como refuerzo positivo para la losa en su etapa de servicio. Por esto, el único acero adicional que hay que colocar es el acero requerido por retracción y temperatura, y en el caso de losas continuas, para resistir los momentos negativos.

Más recientemente la construcción de losas mixtas ha sido modificada para actuar conjuntamente con las vigas de soporte y vigas de alma abierta. En estos casos deben ser suministrados conectores de corte entre el miembro de apoyo y la viga.

1.2.1 Reseña histórica.

Shuster en su artículo realiza una breve reseña histórica de la literatura y de los avances en estos sistemas y se presentan a continuación.

No fue hasta 1950 cuando la primera losa compuesta salió al mercado. El producto fue elaborado por la empresa Granco Steel Products Company en San Luis, utilizando un acero de alta resistencia con cables soldados transversalmente en el tope de las corrugaciones. La primera publicación reconocida sobre estas losas fue realizada por el autor Bengt F. Friberg en 1954. Su trabajo comparaba la excelente relación de precios entre este sistema y las losas convencionales de concreto. En 1967 S. Bryl hizo un reportaje basado en la comparación de varios perfiles de acero actuando conjuntamente con el concreto. A raíz del análisis de numerosos resultados, Bryl publicó las siguientes características del comportamiento de estas losas compuestas:

- 1) La falla repentina ocurre cuando no se utilizan los dispositivos de corte.

- 2) Grandes deformaciones plásticas y un considerable incremento de la capacidad de carga ocurre cuando sí se utilizan dispositivos de transferencia de corte.
- 3) La losa compuesta debe ser analizada como una sección no agrietada utilizando los criterios del diseño del concreto.

En 1967 varios productores de estas láminas ya las tenían en el mercado en Estados Unidos y Canadá. Cada productor, utilizando los principios básicos de la ingeniería, desarrolló su producto gracias a numerosas investigaciones independientes para que éste sea aceptado por los códigos vigentes de la época de la región.

En muchos casos las autoridades locales les solicitaron a los productores más investigaciones y pruebas para garantizar el adecuado funcionamiento del producto dependiendo de la situación constructiva particular. Esta situación obviamente molestaba a algunos de los productores ya que era un requerimiento que les generaba un aumento de costos, y entre estrechos competidores, no era conveniente.

Reconociendo entonces la necesidad de crear especificaciones estándares para el diseño, la AISI inició un proyecto de investigación en la Iowa State University bajo la dirección del Doctor Ekberg para desarrollar las bases para el diseño de los sistemas de pisos mixtos de láminas de acero y concreto. Estos estudios se realizaron desde 1967 hasta 1970 y el particular énfasis fue el de desarrollar una ecuación válida para conocer la resistencia última de diseño. En esta investigación se concretó que en la mayoría de los casos las muestras fallaban cuando se producía una ruptura entre la conexión de ambos materiales y muy pocos fallaban por su resistencia a flexión. Igualmente comprobaron que la última capacidad de carga varía con cada perfil de acero según sus corrugaciones, la luz de la losa, los conectores de corte y el porcentaje de acero. Con estos estudios al mismo tiempo se determinó el modo de calcular la resistencia última para fallas por flexión, tanto para losas subreforzadas como sobreforzadas. En 1971 Porter y Ekberg presentaron un estudio como continuación de los realizados en Iowa State University. Este se basó en el comportamiento de las losas mixtas cargadas en una y dos direcciones.

Para el año 1973 se comenzó el estudio del diseño de las losas mixtas con vigas de alma abierta en lugar de las vigas convencionales, siendo las primeras significativamente más livianas.

1.2.2 Steel Deck Institute.

El Steel Deck Institute (SDI) es un organismo formado para dar uniformidad al diseño, fabricación, control de calidad y prácticas de construcción aplicables en la construcción con láminas de acero también conocidas como sofitos metálicos.

1.3 PROPIEDADES DE LAS LÁMINAS

Las láminas de acero utilizadas para las losas mixtas de acero-concreto son comercializadas en una variedad de formas y tamaños. Usualmente consisten en láminas de acero formadas en frío corrugadas con la adecuada resistencia para soportar las cargas en la construcción.

El SDI en su publicación “Designing with Steel Form Deck” (2003), indica que debido a que estas láminas de acero pueden ser utilizadas en muchas formas, no han mantenido su mismo diseño durante el tiempo. Éstas han variado en forma y tamaño promoviendo su uso en un rango mucho mayor de diseños. Los calibres existentes van desde el calibre 10 (3,4 mm) hasta el calibre 28 (0,38 mm) y las alturas van desde 9/16 plg (14 mm) hasta 7,6 plg (193 mm). Del mismo modo los grados del acero varían, utilizando aceros con un esfuerzo de cedencia desde 33 Ksi (2320 Kgf/cm²) a 80 Ksi (5625 Kgf/cm²).

Generalmente una de las superficies de las láminas tiene un acabado galvanizado para garantizarle la resistencia ante la corrosión. El grado de galvanizado depende del tipo de ambiente al que va a estar expuesto.

Estos sofitos metálicos deben tener dispositivos de trabamientos metálicos con el relleno de concreto. La Norma Venezolana COVENIN- MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica en el comentario de su Capítulo 29 que los sofitos que no tengan estos dispositivos de trabamiento mecánico no serán usados en las losas de sección mixta. Este trabamiento mecánico es suministrado por mecanismos de transferencia de corte o por el perfil geométrico del sofito o por una combinación de ambos. Dichos trabamientos deben suministrar la resistencia a la separación tanto vertical como desplazamiento horizontal entre la superficie de ambos materiales. Algunos ejemplos de dispositivos de transferencia de corte son los embosados (verticales, horizontales, inclinados o

una combinación en tales direcciones); alambres de transferencia, arandelas o dispositivos similares soldados, planchas perforadas, etc. Estos ejemplos se muestran en la Figura 1.5

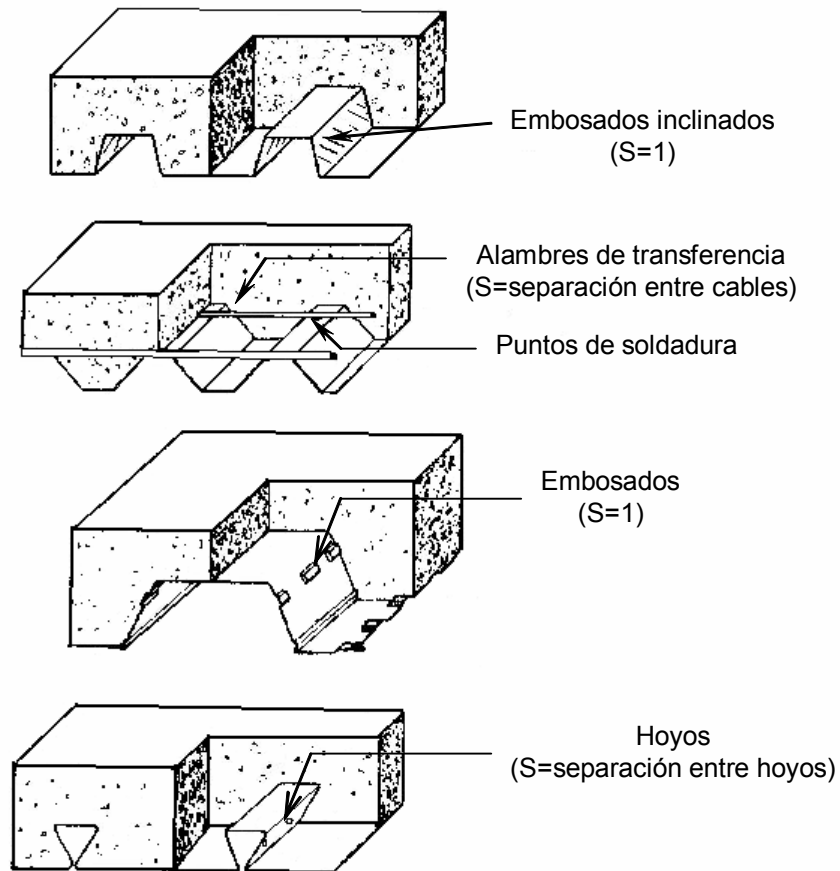


Figura 1.5 Ejemplos de láminas de acero con trabamientos mecánicos

Fuente: Modificado del Artículo Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs.

Según sus dispositivos de corte y su forma de canal abierto o cerrado, Shuster clasifica los perfiles en las siguientes categorías:

- Categoría I: son los perfiles de acero que proporcionan su capacidad de corte horizontal por corrugaciones espaciadas uniformemente para todos los espesores y alturas de las láminas. (representado en la primera imagen de la Figura 1.5)
- Categoría II: son las láminas cuyos mecanismos de transferencia de corte se encuentran a distancias variables según la altura y espesor de la lámina. (representado en la segunda imagen de la Figura 1.5)

- Categoría III: son las láminas que no tienen mecanismos de transferencia de corte. Esta depende de la unión química entre el concreto y el acero. (Ver Figura 1.6)

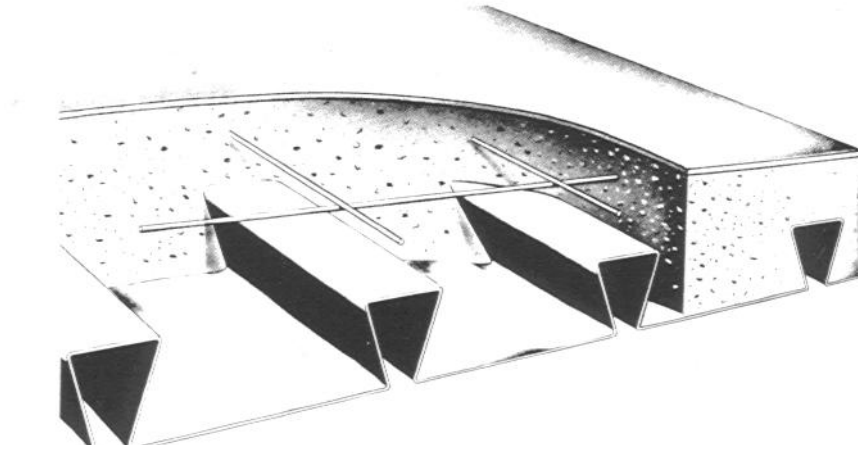


Figura 1.6 Lámina clasificada Categoría III según Schuster.

Fuente: Artículo “Composite Steel-Deck-Reinforced Concrete Floor Systems”

Los soffitos metálicos también pueden ser clasificados según la forma de sus canales, como lo indican Porter y Ekberg (1976) en su manual “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”, con canales abiertos o con canales cerrados. Estos se diferencian entre ellos ya que los de canal cerrado permiten el paso a través de ellos a sistemas eléctricos, sistemas de comunicación u otros sistemas relacionados con la losa. Esto se logra colocando una lámina extra en la parte inferior de los canales. La Figura 1.7 muestra ambos tipos de canales.

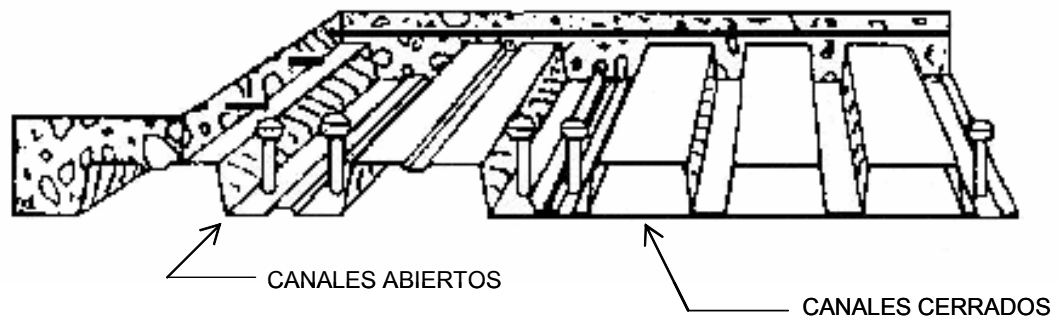


Figura 1.7 Típico soffito metálico con canales abiertos y canales cerrados.

Fuente: Modificado del Artículo “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”.

1.3.1 Ventajas

Las ventajas de estos sistemas de piso, especialmente utilizados en edificios con miembros estructurales de acero, son numerosas. Schuster numera algunas de ellas:

- 1) La lámina de acero sirve como encofrado del concreto fresco y permanece en su sitio permanentemente. Un gran porcentaje del costo total de los sistemas de piso ha sido la operación de colocar y remover el encofrado bien sea de acero o madera. Obviamente, eliminando esta operación, los beneficios económicos son notables.
- 2) Facilidad de instalación de las láminas de acero. Como estas láminas son livianas, su manejo y colocación se facilita, reduciendo el tiempo de su instalación. Los edificios de acero por lo general son construidos más rápidamente que los de concreto, especialmente cuando se utiliza este tipo de sistema de piso. Las láminas de acero pueden ser instaladas una vez que se instalen los miembros estructurales principales.
- 3) Plataforma de trabajo que a la vez soporta cargas muertas y constructivas. Una vez que la lámina ha sido colocada y seguramente conectada con los miembros estructurales, una plataforma de trabajo queda dispuesta para el desplazamiento de los trabajadores, sus materiales y equipos.
- 4) Los puntales temporales durante la construcción pueden ser minimizados o eliminados. La mayoría de las láminas presentadas en el mercado tienen una adecuada resistencia y rigidez en virtud de su forma geométrica para soportar las cargas durante la construcción sin la necesidad de utilizar puntales. Claro que en el diseño de las separaciones de las correas se debe considerar los criterios de deflexiones y tensiones admisibles.
- 5) Un mínimo de acero por temperatura y retracción es requerido. La cantidad de acero por retracción y temperatura es poca para vigas simplemente apoyadas y para vigas continuas.
- 6) La lámina de acero sirve como refuerzo positivo luego que el concreto ha sido vaciado y endurecido. No es necesaria la utilización de barras de acero para momentos positivos. Sólo es necesaria su colocación para vigas

continuas en sus zonas de momentos negativos. Mayor ventaja adicional representa el hecho de que estas láminas proporcionan el acero para resistir tracciones más cerca de la zona traccionada que las mismas barras utilizadas en el concreto armado, eliminando así las visibles grietas en el concreto de recubrimiento por debajo de la losa.

- 7) Fácil distribución de los sistemas eléctricos y sistemas de aire acondicionado. La forma geométrica de los perfiles de acero permiten la formación de ductos a través de los cuales pueden atravesar sistemas de cableados. Pueden combinarse estos sistemas de canales cerrados con los de canales abiertos en un mismo piso ya que son compatibles.

El SDI en enumera otras de las ventajas que implica el uso de este sistema de piso, entre las cuales están:

- Versatilidad

Las láminas fabricadas con las especificaciones del SDI por distintas compañías están disponibles en distintas formas y tamaños, con distintas alturas y espaciamiento entre canales, con o sin elementos que aportan rigidez, con o sin materiales que ayudan a la acústica, con canales abiertos o cerrados y variando el espesor de la lámina. Es por esta gran gama de posibilidades que estas láminas pueden ser utilizadas en una gran cantidad de proyectos estructurales.

- Mayor resistencia estructural con menor peso.

Las propiedades del acero son utilizadas en su máxima efectividad en el diseño de estas láminas, resultando un producto con una alta relación resistencia/peso. Es por esto que su distribución, construcción y sistemas de apoyo resultan más económicos que otros sistemas.

- Atractiva apariencia:

A pesar que el acero es un miembro estructural, es visualmente atractivo cuando se deja expuesto a la vista de los ocupantes. Estas láminas son fáciles de mantener, duraderas y pueden ser utilizadas con otros sistemas de techos.

- Calidad Estándar

Gracias a la ingeniería y a los continuos avances tecnológicos, los miembros del SDI producen láminas de acero que conforman las especificaciones estándares.

- Durabilidad probada.

Las láminas de acero colocadas trabajando satisfactoriamente, deben durar más de medio siglo.

- Economía y valor:

El valor es determinado combinando los valores iniciales, el costo del ciclo de vida y todo su desarrollo. Este sistema representa los diseños de piso y techo con mejor valor en la industria.

1.3.2 Desventajas

Así como se han mencionado todas las ventajas de esta construcción, Schuster también expresa las posibles menores desventajas que pudieran tener estos sistemas de piso. Entre las cuales están las siguientes.

Por ejemplo, en las zonas de mucho tránsito en la construcción, debe tenerse especial cuidado en proteger la superficie del acero de posibles daños por cargas concentradas. Normalmente en una buena construcción se utilizan láminas de madera en las zonas en donde el concreto debe ser dispuesto en carretillas. Otra desventaja menor es que justo antes de vaciar el concreto en la lámina, ésta debe ser limpiada y remover todo los desperdicios, escombros, restos de aceite o agua que pudieran haberse posado durante su colocación. Esto es necesario para garantizar la adherencia entre ambos materiales.

A pesar que se ha mencionado que esta lámina sirve de plataforma de trabajo durante la construcción, no se ha indicado que no es fácil caminar sobre ellas. Estas pueden resultar un tanto resbalosas. Tal efecto ha sido reconocido por los fabricantes de las láminas y han tomado las consideraciones necesarias para minimizarlo.

1.3.3 Otras consideraciones en el diseño

Otro aspecto en el diseño, es que la losa debe tener acero de retracción y temperatura. La Norma COVENIN–MINDUR 1618-98 “Estructuras de acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica que a menos que por la protección contra incendios se especifique un refuerzo mayor, las losas mixtas acero-concreto tendrán como mínimo el acero de refuerzo

por retracción y temperatura de 0,00075 veces el área de la losa de concreto por encima del sofito pero no menor de 0,60 cm²/m. La separación de las barras que constituyen este refuerzo no será mayor de 35 cm ni 5 veces el espesor de la losa.

En caso de utilizar tecnofibra debe realizarse con especial cuidado. Esta no puede reemplazar el refuerzo principal de la losa. Si estas fibras son utilizadas incorrectamente, la lámina de acero será quien resista la totalidad de los esfuerzos correspondientes al acero de refuerzo. Igualmente la consideración respecto a la resistencia al fuego pudiera haberse visto afectada.

2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS LÁMINAS DE ACERO MÁS UTILIZADAS EN VENEZUELA

En Venezuela, las marcas de soffits metálicos utilizados hoy en día en la construcción son los conocidos como Encofrado Colaborante LOSACERO, SIGALDECK, PLACACERO, LUVITEC Y CORPALOSA.

2.1 TIPOS DE LÁMINAS Y SU DESCRIPCIÓN

2.1.1 Encofrado colaborante LOSACERO.

Según el catálogo proporcionado por su fabricante LUMETAL C.A., el LOSACERO está formado por láminas de acero estructural según la norma ASTM-A611 ó A466 con un espesor nominal mínimo de 0,70 mm (calibre 22) las cuales tiene un esfuerzo mínimo cedente de 2320 Kg/cm². Para ver esta clasificación del acero ver en los anexos la **Tabla A**.

El peralte o altura de la lámina LOSACERO es de 1,5” (3,81 cm).

El acero galvanizado se obtiene recubriendo el acero base con una capa de zinc y cromo de acuerdo a las normas ASTM-A525.

Las láminas LOSACERO están corrugadas con muescas que garantizan la unión o adherencia mecánica entre el concreto y el acero.

Los calibres más utilizados son los que se muestran en este estudio (Calibres 18, 20 y 22). Utilizar láminas LOSACERO de mayor espesor ocasionaría excesivo gasto en acero y calibres más delgados obligarían a usar muchas correas como soportes, lo que incrementa el costo y el peso de la estructura, además de presentar problemas de aplastamiento en las láminas en el momento del vaciado.

Las láminas LOSACERO pueden ser en todo caso colocadas a tope o solapadas entre sí sobre los soportes metálicos. Las láminas serán colocadas a lo largo y ancho en el área solapando transversal y longitudinalmente. Cuando se coloquen dos láminas a tope sobre las correas metálicas de apoyo, cada lámina será fijada al elemento estructural individualmente.

Si hubiese la necesidad de colocar materiales pesados, algún equipo u otro objeto de gran peso sobre la plataforma, se protegerá su superficie mediante el uso de tablas de madera o algún elemento equivalente.

A continuación en la Figura 2.1 se muestra un esquema de la lámina LOSACERO.

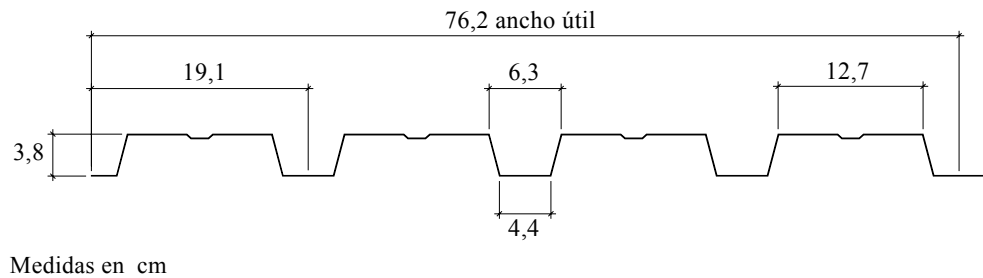


Figura 2.1 Esquema de lámina LOSACERO. Peralte 1,5” (3,81 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo LOSACERO. “Especificaciones técnicas y manual de instalación”

2.1.2 Encofrado colaborante SIGALDECK

Este encofrado colaborante es fabricado con la calidad y tecnología de SIGALCA. Esta lámina se presenta galvanizada.

El diseño especial de los resaltes laterales evita el deslizamiento y separación del concreto. Puede ser utilizada en losas mixtas en obras civiles tales como platabandas, pisos, mezaaninas, puentes, entre otros.

SIGALDECK ofrece láminas de 1,5” (3,81 cm) de altura y con sus dos anchos diferentes cubre las áreas requeridas en forma óptima reduciendo el desperdicio. Los distintos anchos nominales son para SIGALDECK 734 cuyo ancho útil es 734 mm y SIGALDECK 900 que cubre un ancho de 900 mm.

Igualmente SIGALDECK ofrece láminas de 3" (7,62 cm), la cual está especialmente diseñada para cubrir mayores distancias entre apoyos y soportar elevadas cargas. Esta es ideal para losas de estacionamiento y losas de puentes. En la Figura 2.2 y Figura 2.3 se muestran los esquemas de las láminas SIGALDECK 734 y SIGALDECK 900 respectivamente. La Figura 2.4 muestra el esquema de la lámina SIGALDECK 3".

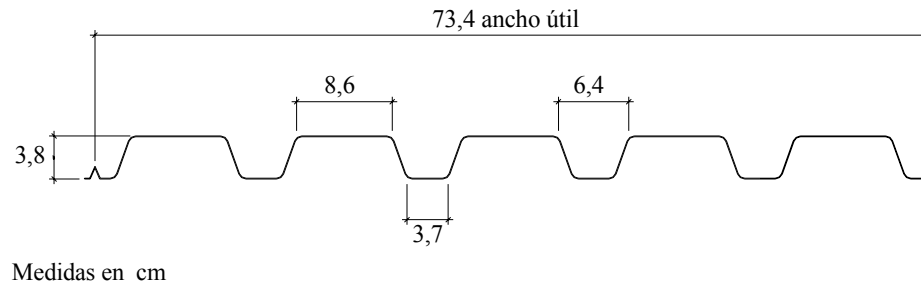


Figura 2.2 Esquema de lámina SIGALDECK 734. Peralte 1,5" (3,81 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo SIGALDECK.

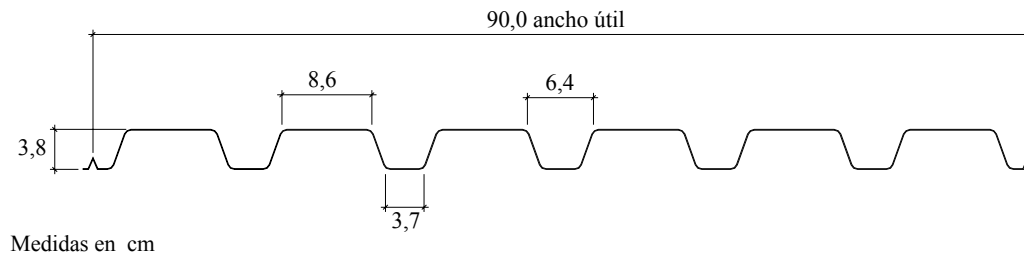


Figura 2.3 Esquema de lámina SIGALDECK 900. Peralte 1,5" (3,81 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo SIGALDECK.

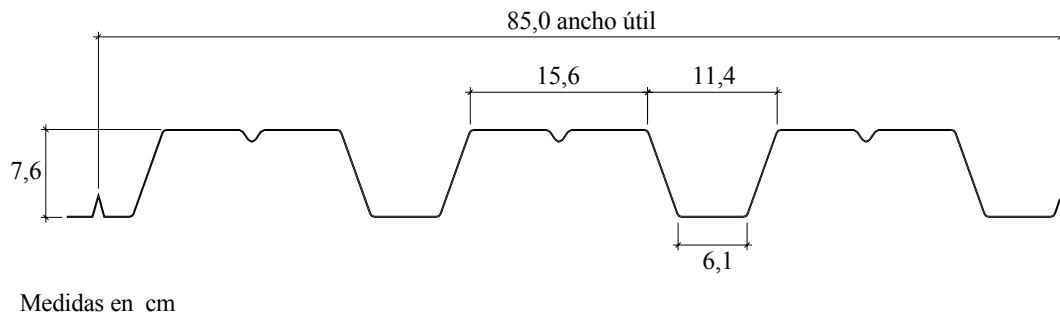


Figura 2.4 Esquema de lámina SIGALDECK 3''. (7,62 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo SIGALDECK

2.1.3 Encofrado colaborante PLACACERO

Las láminas PLACACERO diseñadas para pisos y techo por LOPBARCA CONSTRUCCIONES, son unas láminas corrugadas de acero destinadas a la fabricación de placas de concreto. Su manual indica que posee indentaciones laterales, superiores e inferiores que permiten la unión mecánica entre el acero y el concreto. Tiene un novedoso diseño con altura de 6 cm que confiere características estructurales tales como mayor momento de inercia, módulo de sección y momento resistente. Su ancho útil es de 75 cm y es un acero galvanizado de alta resistencia. Sus medidas se muestran en la Figura 2.5.

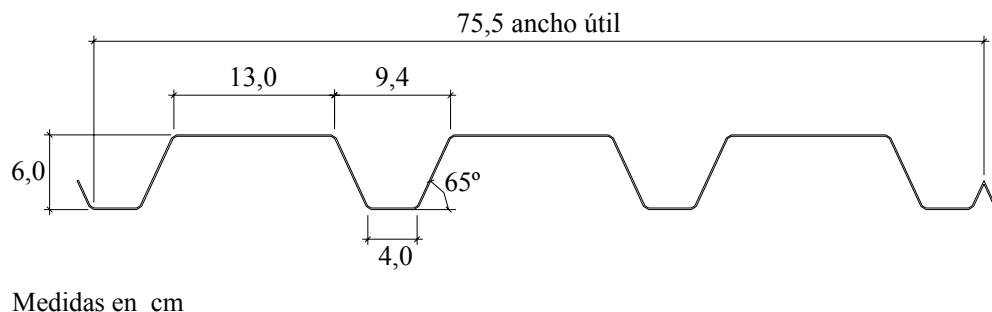


Figura 2.5 Esquema de lámina PLACACERO. Peralte 6 cm.

Fuente: Modificado del Catálogo PLACACERO.

2.1.4 Encofrado colaborante LUVITEC

Las INDUSTRIAS MONTERREY proporcionan encofrados colaborantes varios, entre los cuales los utilizados para entrepisos metálicos son: LUVITEC Sección 36/15 y LUVITEC Sección 4.

La lámina LUVITEC Sección 36/15 tiene un peralte o altura de 1,5” (3,81 cm) y un ancho efectivo de 36” (91,44 cm) y debido a su diseño este perfil logra una magnífica relación entre su resistencia y su belleza. La unión de los traslapes ha sido diseñada para quedar oculta, conservando así la continuidad visual. El F_y del acero utilizado es mínimo grado 33 (33 Ksi) (2320 Kgf/cm²). En la tabla de propiedades se muestran los calibres disponibles a pesar que los calibres aceptados por el SDI son el 22, 20 y 18.

Por su lado la lámina LUVITEC Sección 4, tiene un peralte de 2,5” (6,35 cm) y un ancho efectivo de 95 cm. Por su mayor peralte permite obtener distancia entre apoyos más grandes. Su geometría fue diseñada de tal manera que los valles son más anchos que las crestas logrando tener mayor área de concreto en contacto con los apoyos. Esto repercute en un aumento en su capacidad de carga al tener mayor resistencia a los efectos de corte. En cubiertas compuestas el óptimo uso de este perfil se logra en combinación con aislantes térmicos. El acero utilizado en la fabricación del perfil es grado 33 (33 Ksi) (2320 Kgf/cm²). Estas láminas de acero acanaladas están fabricadas con acero estructural galvanizado siguiendo Normas Internacionales, cuyo recubrimiento metálico de Zinc (Zintro) provee al sistema la protección catódica alargando su vida útil, adicionalmente se ofrece galvanizado más un pre-pintado por la cara que estará expuesta al ambiente, para casos de losas de edificios que estarán expuestos a ambientes normales o salinos como pudieran ser los estacionamientos de vehículos. Sus geometrías se muestran en la Figura 2.6 y Figura 2.7 respectivamente.

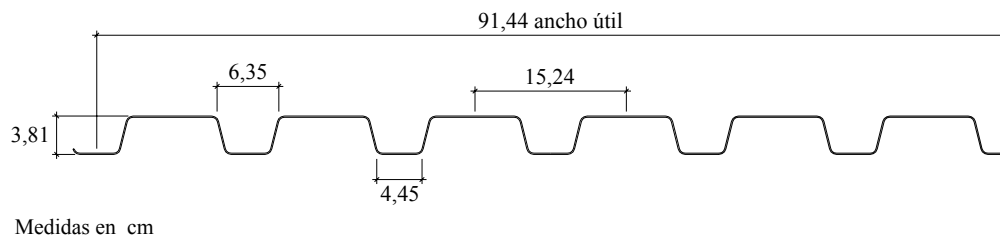


Figura 2.6 Esquema de lámina LUVITEC Sección 36/15. Peralte 1,5” (3,81 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo distribuido por Industrias Monterrey.

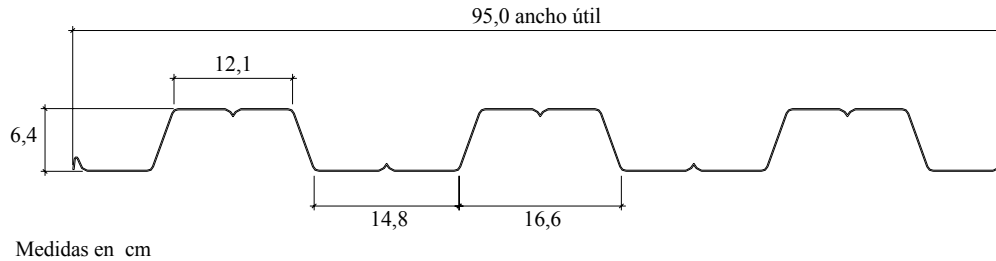


Figura 2.7 Esquema de lámina LUVITEC Sección 4. Peralte 2,5" (6,35 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo distribuido por Industrias Monterrey.

2.1.5 Encofrado colaborante CORPALOSA

Esta lámina acanalada es producida por CORPACERO. Tiene un peralte de 1,5" (3,81 cm). El F_y del acero utilizado en su fabricación es de 33 Ksi (2320 Kg/cm²). Por su acabado este encofrado también puede ser dejado a la vista o puede instalársele cualquier tipo de cielo raso falso, brindando un determinado atractivo. Este sistema es compatible con mampostería estructural, sistemas tradicionales y estructuras metálicas. No sólo se utiliza para entresijos sino también para mezzaninas, estacionamientos, puentes. Es de fácil transporte y manipulación. Para zonas de alta salinidad se recomienda galvanizados G-90. La Figura 2.8 muestra sus dimensiones.

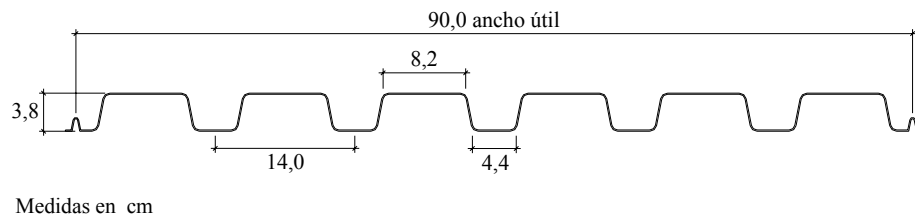


Figura 2.8 Esquema de lámina CORPALOSA. Peralte 1,5" (3,81 cm)

Fuente: Modificado del Catálogo de CORPACERO.

En los anexos se muestra la comparación de tamaños en un dibujo a escala de todas las láminas antes mencionadas. (**Figura A** y **Figura B**)

2.2 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS LÁMINAS

El cálculo de las propiedades características de las láminas se basa en el cálculo de su inercia, área de acero, módulo de sección y peso. Todas estas propiedades calculadas en sus respectivas unidades de medición por unidad de longitud. La unidad de longitud tomada para cada propiedad es el metro (m).

Para el cálculo de las propiedades, se utilizó el programa AutoCAD 2004, dibujando cada perfil con su respectivo espesor y dimensiones especificadas en los catálogos, limitando la longitud de cada lámina a un metro. El programa mencionado suministra los valores de: área de la sección, perímetro, ubicación del centroide, momentos de inercia respecto al centro de coordenadas, radio de giro respecto al eje X e Y, y principales momentos de inercia e inercia rotacional respecto al centroide de la sección. Ejemplo de esto se muestra en la **Figura C** de los Anexos.

Tomando la sección de la figura calculada simétrica respecto al eje Y, el principal momento de inercia de la sección es paralelo al eje X, y así el valor de la inercia de la lámina por metro lineal es el valor indicado por el AutoCAD. Este cálculo de la inercia también fue realizado manualmente, y como se comprobó que los resultados no variaban en más de 1%, fueron calculados con el programa por ser mucho más rápida su ejecución.

Para el cálculo de la inercia de cada lámina no se consideraron los pliegues concernientes al solape de una lámina con la otra en la construcción, ya que en la obra, estas láminas pudieran estar tanto colocadas a tope, solapadas entre sí o bien pudieran ser cortadas en su ancho de modo que estos pliegues no intervendrían en la inercia de la sección realmente utilizada.

Los valores de módulo de sección que no son calculados directamente por el programa, son calculados con la Ecuación 1 .

$$S_{tope} = \frac{I_x}{y_{tope}} \quad (1)$$

donde S_{tope} es el módulo de sección respecto al tope de la lámina (cm^3/m), I_x es el momento de inercia principal respecto al eje X (cm^4/m) y y_{tope} es la distancia desde el centroide hasta el tope de la lámina (cm).

Análogamente se tiene:

$$S_{fondo} = \frac{I_x}{y_{fondo}}$$

Por otro lado, el peso de la lámina por unidad de longitud, fue calculado con la Ecuación 2.

$$P = A_s * \gamma_{acero} \quad (2)$$

donde A_s es el área de acero por unidad de longitud y γ_{acero} es el peso específico del acero, utilizado como 7850 Kg/m³.

En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades calculadas de todas las láminas estudiadas en este trabajo.

Tabla 2.1 Tabla comparativa de las propiedades características de las distintos tipos de láminas de acero.

Fuente: Elaboración propia.

Marca de sofito	Calibres disponibles	Espesor (mm)	Propiedades características					
			h (mm)	I_x (cm ⁴ /m)	S_{tope} (cm ³ /m)	S_{fondo} (cm ³ /m)	Peso (Kg/m ²)	Ancho Util (mm)
LOSACERO	18	1,20	38	37,95	26,58	15,93	12,39	762
	20	0,09		28,94	20,35	12,12	9,32	
	22	0,70		22,76	16,05	9,51	7,26	
SIGALDECK 734	20	0,90	38	26,19	19,28	10,68	9,36	734
	22	0,70		20,53	15,23	8,34	7,26	
	24	0,60		17,69	13,17	7,17	6,22	
SIGALDECK 900	20	0,90	38	26,19	19,28	10,68	9,36	900
	22	0,70		20,53	15,23	8,34	7,26	
	24	0,60		17,69	13,17	7,17	6,22	
SIGALDECK 3"	18	1,20	76	136,34	55,36	26,44	13,20	850
	20	0,90		103,23	42,08	19,98	9,88	
	22	0,70		80,82	33,04	15,62	7,67	
PLACACERO	18	1,20	60	80,48	41,55	19,81	12,16	755
	20	0,90		61,12	31,52	15,05	9,13	
	22	0,70		47,93	24,70	11,81	7,11	
	24	0,60		41,26	21,26	10,16	6,10	
LUVITEC 36/15	18	1,20	38	38,81	25,03	17,18	12,83	914
	20	0,91		28,27	20,35	11,68	9,55	
	22	0,75		23,56	16,99	9,72	7,84	
	24	0,53		16,90	12,17	6,98	5,51	
LUVITEC 4	18	1,20	64	116,33	36,27	37,01	12,15	950
	20	0,91		89,58	27,88	28,56	9,26	
	22	0,75		73,63	22,89	23,50	7,57	
	24	0,53		52,21	16,23	16,66	5,34	
CORPALOSA 1 1/2"	18	1,20	38	38,99	25,93	16,91	12,97	900
	20	0,90		29,80	19,79	12,94	9,76	
	22	0,75		25,07	16,62	10,89	8,14	

Igualmente fueron calculados los volúmenes de concreto que se requieren para losas de distintos tipos de espesores.

La Norma COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica en su Capítulo 29 lo siguiente: “Estructuralmente el espesor mínimo, h , de las losas será de 90 mm. El espesor mínimo del concreto sobre la parte más exterior del sofito metálico será de 50 mm. Cuando se coloque acero de refuerzo sobre el sofito metálico, el recubrimiento mínimo sobre el refuerzo será de 20 mm.”.

Es por esto, que para ciertas alturas de láminas no puede colocarse un espesor de losa de concreto menor al especificado.

La Tabla 2.2 muestra los valores de concreto requeridos según es espesor total de la losa de concreto.

Tabla 2.2 Volumen de concreto sobre el encofrado colaborante.

Fuente: Elaboración propia.

Marca de sofito	Volumen de concreto según espesor de losa (m^3/m^2)			
	9cm	10cm	12cm	14cm
LOSACERO	0,0640	0,0740	0,0940	0,1140
SIGALDECK 734	0,0633	0,0733	0,0933	0,1133
SIGALDECK 900	0,0633	0,0733	0,0933	0,1133
SIGALDECK 3"	-	-	-	0,0844
PLACACERO	-	-	0,0757	0,0957
LUVITEC 36/15	0,0637	0,0737	0,0937	0,1137
LUVITEC 4	-	-	0,0883	0,1083
CORPALOSA 1 1/2"	0,0648	0,0748	0,0948	0,1148

3 LOSAS MIXTAS ACERO-CONCRETO

En esta sección se estudiarán las losas mixtas de acero-concreto construidas de concreto reforzado colocado permanentemente sobre sofitos metálicos que actúan como encofrado durante la construcción y pueden considerarse como refuerzo positivo luego que el concreto ha endurecido.

3.1 ETAPA DE INSTALACIÓN DE LAS LÁMINAS.

El SDI afirma que a los fabricantes de las láminas de acero les concierne más el desarrollo del encofrado colaborante bajo las cargas constructivas que el diseño de la losa en general. La lámina debe ser capaz de soportar el peso del concreto y los pesos de trabajo durante la fase del vaciado del concreto si no se usan puntales temporales.

El uso de apuntalamientos o no, es decisión del calculista. La forma más común de trabajo es trabajar sin apuntalamiento. McCormac expone algunas de las razones:

- Independientemente de razones económicas el uso de puntales es una operación delicada, sobre todo cuando su asentamiento es posible.
- Al realizar pruebas se ha encontrado que las resistencias últimas de las secciones compuestas de dimensiones iguales, son las mismas, se utilice o no el apuntalamiento.

Los criterios de diseño en esta etapa constructiva son: por flecha y tensión admisible.

3.1.1 Flecha

En cuanto al cálculo de la flecha la Norma COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” limita la flecha durante la construcción al menor valor entre:

- $L/180$
- 20 mm

donde para tramos simples la flecha es calculada como lo indica la Ecuación 3.

$$\Delta = \left(\frac{5wL^4}{384E_s I_x} \right) \gamma_p \quad (3)$$

siendo E_s el módulo de elasticidad del acero, tomado como 2.100.000 Kgf/cm², I_x momento de inercia del sofito metálico, L luz del sofito, w la carga permanente uniforme debida a la losa de concreto y el sofito metálico y γ_p un factor de mayoración igual a 1,10.

Asimismo para el cálculo de deflexiones para dos, tres o más tramos iguales, la Norma indica la utilización de las siguientes ecuaciones. Ecuación 4 para dos tramos iguales y Ecuación 5 para tres o más tramos iguales.

$$\Delta = 0,42\Delta_{\text{tramos simples}} \quad (4)$$

$$\Delta = 0,53\Delta_{\text{tramos simples}} \quad (5)$$

Del mismo modo la Norma antes mencionada, indica que los sofitos metálicos se diseñarán para soportar el efecto más desfavorable de las siguientes cargas variables debidas a la construcción, aplicadas separadamente.

- a) Una carga uniforme de 100 Kgf/m²
- b) Una carga concentrada de 80 Kgf ubicada en la posición más desfavorable. Esta carga podrá considerarse actuando en un ancho de 300 mm.

Si pudieran llegar a ocurrir cargas mayores se deben hacer las consideraciones adicionales.

En el presente Trabajo de Investigación, se consideró necesario incluir estas cargas constructivas en el cálculo de la flecha de la lámina durante la construcción junto con las cargas de peso del sofito y del concreto, así no lo indique la Norma. Esto es por considerar que dichas cargas no son solamente cargas instantáneas en la construcción, sino se considera su condición más desfavorable que sería el caso de que permanezcan e influyan en la flecha durante la construcción.

Igualmente se consideró que las ecuaciones presentadas por la Norma para el cálculo de la flecha (Ecuaciones 3, 4 y 5) no eran lo suficientemente específicas, así que se utilizaron las ecuaciones que se muestran en la Tabla 3.1.


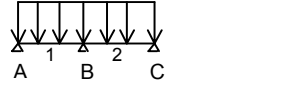
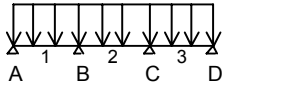
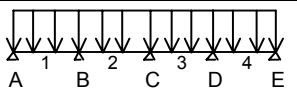

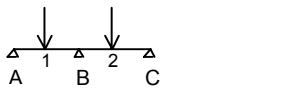
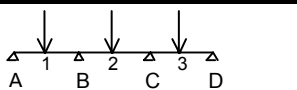
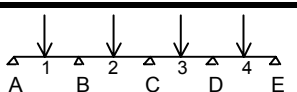
Caso de carga	Máx. momentos en los vanos. (Factor: pl^2)				Momentos en los apoyos. (Factor: pl^2)			Curvatura en el centro del vano. $d = K (pl^4 / EI)$			
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	K_1	K_2	K_3	K_4
	0,1250							0,01302			
	0,0703	0,0703			-0,1250			0,00521	0,00521		
	0,0800	0,0250	0,0800		-0,1000	-0,1000		0,00677	0,00052	0,00677	
	0,0772	0,0364	0,0364	0,0772	-0,1071	-0,0714	-0,1071	0,00632	0,00186	0,00186	0,00632
Caso de carga	Máx. momentos en los vanos. (Factor: pl)				Momentos en los apoyos. (Factor: pl)			Curvatura en el centro del vano. $d = K (pl^3 / EI)$			
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_B	M_C	M_D	K_1	K_2	K_3	K_4
	0,2500							0,02083			
	0,1562	0,1562			-0,1875			0,00911	0,00911		
	0,1750	0,1000	0,1750		-0,1500	-0,1500		0,01146	0,00208	0,01146	
	0,1697	0,1161	0,1161	0,1697	-0,1607	-0,1071	-0,1607	0,01079	0,00409	0,00409	0,01079

Tabla 3.1 Valores de momentos en los vanos, en los apoyos y deflexiones para la configuración mostrada.

Fuente: Modificado del libro “Estática en la Construcción”

Para la escogencia de la carga más desfavorable de construcción, se realizó una tabla comparativa la cual expresó que para configuraciones simplemente apoyadas, la carga distribuida de 100 Kg/m^2 predomina para longitudes mayores a 1,24 m. Para configuraciones de dos tramos, igualmente la carga lineal predomina para longitudes mayores a 1,40 m. Para tres tramos la carga lineal predomina a partir de longitudes de 1,36 m. Por último para losas apoyadas en 4 tramos la carga lineal es más desfavorable a partir de los 1,37 m. Como todas las longitudes obtenidas son mayores a los 4 valores antes mencionados, la carga distribuida es la que priva en todo momento en el cálculo de la deflexión.

La Tabla 3.2 muestra las separaciones máximas ente apoyos para la lámina LOSACERO restringiendo la flecha a sus valores máximos permitidos.

Dicho cálculo fue realizado para cada lámina y para cada espesor de concreto. Para una sección simplemente apoyada se utilizó la Ecuación 6 iterando los valores de L .

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E_s I_x} = \Delta_{\max} = \frac{L}{180} \text{ ó } 2\text{cm} \quad (6)$$

despejando L del miembro izquierdo de la ecuación, se obtiene

$$L = 4 \sqrt[4]{\frac{\Delta_{\max} 384 E_s I_x}{5 q}}$$

Del mismo modo se calcularon todas las distancias máximas permitidas por flecha, utilizando las expresiones respectivas para cada configuración.

La Tabla 3.2, Tabla 3.3, Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6 muestran los valores de separación máxima entre apoyos en el montaje para no exceder las flechas permitidas para las láminas LOSACERO, SIGALDECK, PLACACERO, LUVITEC Y CORPALOSA.

Tabla 3.2 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LOSACERO (1,5") en su montaje, según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,34	3,17	2,91	2,97	2,27	3,08	2,83	2,89	2,16	2,93	2,68	2,74	2,07	2,80	2,57	2,63
20	2,14	2,91	2,67	2,73	2,08	2,83	2,59	2,65	1,98	2,68	2,46	2,52	1,89	2,57	2,35	2,41
22	1,98	2,69	2,47	2,52	1,93	2,61	2,40	2,45	1,83	2,48	2,27	2,33	1,75	2,37	2,18	2,23

Tabla 3.3 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas SIGALDECK en su montaje, según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Esesor de losa(cm)	9				10				12				14				
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
734	20	2,08	2,82	2,58	2,65	2,02	2,74	2,51	2,57	1,91	2,60	2,38	2,44	1,83	2,49	2,28	2,33
	22	1,92	2,61	2,39	2,45	1,86	2,53	2,32	2,37	1,77	2,40	2,20	2,25	1,69	2,29	2,11	2,16
	24	1,83	2,48	2,27	2,33	1,78	2,41	2,21	2,26	1,69	2,29	2,10	2,15	1,61	2,19	2,00	2,05
900	20	2,08	2,82	2,58	2,65	2,02	2,74	2,51	2,57	1,91	2,60	2,38	2,44	1,83	2,49	2,28	2,33
	22	1,92	2,61	2,39	2,45	1,86	2,53	2,32	2,37	1,77	2,40	2,20	2,25	1,69	2,29	2,11	2,16
	24	1,83	2,48	2,27	2,33	1,78	2,41	2,21	2,26	1,69	2,29	2,10	2,15	1,61	2,19	2,00	2,05
3"	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,38	4,32	4,05	4,12
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,09	4,04	3,78	3,85
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,86	3,81	3,55	3,63

Tabla 3.4 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas PLACACERO en su montaje, según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Condiciones de apoyos								
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)							
18	2,88	3,83	3,58	3,65	2,74	3,69	3,40	3,49
20	2,64	3,58	3,28	3,36	2,50	3,40	3,11	3,19
22	2,44	3,31	3,03	3,11	2,32	3,14	2,88	2,95
24	2,32	3,15	2,89	2,95	2,21	2,99	2,74	2,81

Tabla 3.5 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LUVITEC en su montaje, según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14				
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Condiciones de apoyos																	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
Sección 36/15	18	2,36	3,20	2,93	3,00	2,29	3,10	2,85	2,91	2,18	2,95	2,70	2,77	2,08	2,82	2,59	2,65
	20	2,13	2,89	2,65	2,71	2,07	2,81	2,57	2,63	1,96	2,66	2,44	2,50	1,88	2,55	2,34	2,39
	22	2,01	2,72	2,50	2,56	1,95	2,65	2,43	2,48	1,85	2,51	2,30	2,36	1,77	2,40	2,20	2,25
	24	1,80	2,45	2,24	2,29	1,75	2,38	2,18	2,23	1,66	2,25	2,07	2,11	1,59	2,16	1,98	2,02
Sección 4	18	-	-	-	-	-	-	-	-	3,18	4,12	3,86	3,93	3,04	3,98	3,73	3,80
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	2,92	3,87	3,63	3,69	2,79	3,74	3,47	3,55
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	2,74	3,69	3,41	3,49	2,62	3,55	3,26	3,33
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	2,45	3,33	3,05	3,12	2,34	3,17	2,91	2,98

Tabla 3.6 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas CORPALOSA en su montaje, según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,35	3,19	2,92	2,99	2,29	3,10	2,84	2,91	2,17	2,95	2,70	2,76	2,08	2,82	2,59	2,65
20	2,16	2,93	2,68	2,74	2,10	2,85	2,61	2,67	1,99	2,70	2,48	2,54	1,91	2,59	2,37	2,43
22	2,04	2,77	2,54	2,60	1,98	2,69	2,47	2,52	1,89	2,56	2,34	2,40	1,80	2,45	2,24	2,29

3.1.2 Tensión admisible

El otro criterio que limita la separación entre apoyos para las láminas sin apuntalamiento temporal, es la tensión admisible. Esta no debe exceder $0,60 F_y$, según las recomendaciones del SDI. En el manual “Designing with Steel Form Deck” del SDI, se presenta que para el cálculo del mayor momento actuante positivo o negativo se utiliza la configuración más desfavorables de las presentadas en la Figura 3.1.

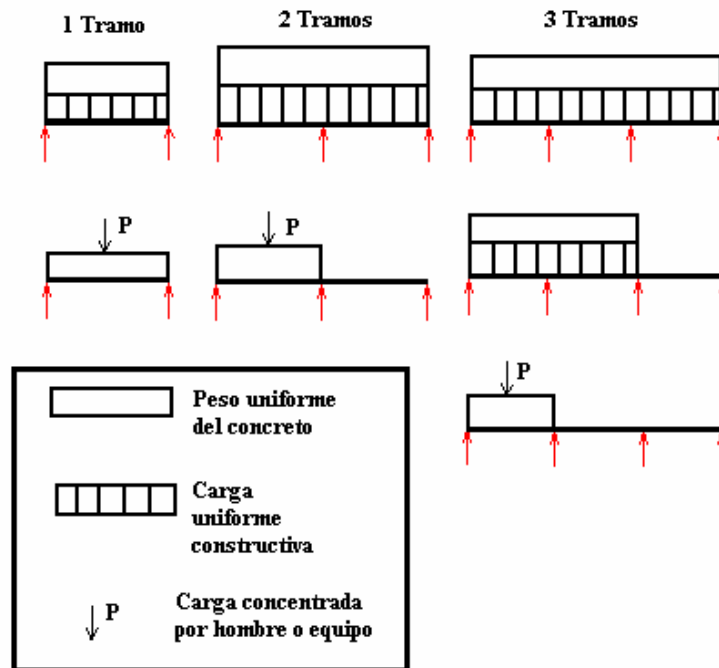


Figura 3.1 Disposiciones recomendadas de las cargas constructivas por el SDI.

Fuente: Modificado del Manual “Designing with Steel Form Deck” del SDI.

En este Trabajo de Investigación se consideró que estas condiciones de cargas son poco probables, ya que por tratarse de distancias entre correas tan pequeñas, asumir que sólo se carga un tramo y el adyacente queda descargado, es una hipótesis incierta. Es por esto que las suposiciones de cargas utilizadas en el cálculo son las que se muestran en la Tabla 3.1. Igualmente entre las recomendaciones del SDI se encuentra que para los tramos simplemente apoyados, la carga del concreto debe ser aumentada en un 50% o un peso de 30 psf (45 Kgf/m), cualquiera que sea menor. Esta consideración no fue tomada en cuenta, ya que esta disposición de láminas simplemente apoyadas es muy poco probable.

Para el cálculo de la longitud máxima permitida se utilizó la Ecuación 7.

$$f = \frac{M_{\max}}{S_{\min}} = 0,6 F_y \quad (7)$$

donde M_{\max} es el momento máximo positivo o negativo en la sección más desfavorable de la losa, S_{\min} es el módulo de sección en esa misma sección de la losa, el menor de ambos entre S_{tope} y S_{fondo} ; y F_y es el esfuerzo de fluencia del acero.

Para escoger la mayor carga constructiva se hizo el estudio de cada disposición de las láminas por separado.

Para la disposición de la losa simplemente apoyada, se estudió el caso con la carga distribuida del peso del concreto y el perfil más la carga constructiva de 100 Kgf/m² y el caso de la carga distribuida nuevamente del peso del concreto y el perfil más la carga puntual en su posición más desfavorable de 80 Kgf. Ambas ecuaciones se muestran como Ecuación 8 y Ecuación 9.

$$M = \overbrace{\frac{qL^2}{8}}^{\text{Momento debido al peso del concreto y la lámina}} + \overbrace{\frac{100L^2}{8}}^{\text{Momento debido a la carga constructiva}} \quad (8)$$

$$M = \frac{qL^2}{8} + \frac{80L}{4} \quad (9)$$

siendo q la carga distribuida debido al concreto y a la lámina de acero.

Haciendo la comparación de ambas ecuaciones, se demostró que la Ecuación 8 es válida para distancias mayores a 1,60 m. Para la mayoría de los casos la longitud sobrepasó los 1,60 m por lo que la Ecuación 8 fue la más utilizada. Sólo en cinco contadas ocasiones se utilizó la Ecuación 9, quedando por resolver una ecuación de segundo grado.

Análogamente se realizó el mismo procedimiento para las losas de dos o más tramos. Las Ecuaciones 10 y 11 fueron las comparadas para las losas de dos tramos.

$$M = 0,125 qL^2 + 0,125 * 100 L^2 \quad (10)$$

$$M = 0,125 qL^2 + 0,1875 * 80 L \quad (11)$$

La Ecuación 10 predomina sobre la otra para las longitudes mayores a 1,20 m. Como en ningún caso la longitud obtenida fue menor a este valor, la Ecuación 11 no fue utilizada.

Para losas soportadas en tres tramos, se compararon las Ecuaciones 12 y 13.

$$M = 0,1 qL^2 + 0,1 * 100 L^2 \quad (12)$$

$$M = 0,08 qL^2 + 0,175 * 80 L \quad (13)$$

La Ecuación 12 predomina sobre la Ecuación 13 para longitudes mayores a 1,40 m. En ningún caso la longitud fue menor a este valor, por lo que la primera ecuación fue la utilizada en todo momento.

Por último para las losas soportadas en 4 tramos, se compararon las Ecuaciones 14 y 15.

$$M = 0,1071 qL^2 + 0,1071 * 100 L^2 \quad (14)$$

$$M = 0,0772 qL^2 + 0,1697 * 80L \quad (15)$$

La primera ecuación volvió a superar a la segunda, siempre que la longitud sea mayor a 1,30 m, lo cual ocurrió en todos los casos.

Una vez calculadas todas las longitudes máximas de apoyo para no sobrepasar la tensión admisible, se establecieron los valores en la Tabla 3.7, Tabla 3.8, Tabla 3.9, Tabla 3.10 y Tabla 3.11 para las láminas LOSACERO, SIGALDECK, PLACACERO, LUVITEC y CORPALOSA.

Tabla 3.7 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LOSACERO (1,5”) en su montaje, según su tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,58	2,58	2,89	2,79	2,47	2,47	2,77	2,67	2,29	2,29	2,56	2,48	2,14	2,14	2,40	2,32
20	2,27	2,27	2,53	2,45	2,17	2,17	2,42	2,34	2,01	2,01	2,24	2,17	1,88	1,88	2,10	2,03
22	2,01	2,01	2,25	2,18	1,93	1,93	2,16	2,08	1,78	1,78	1,99	1,93	1,67	1,67	1,86	1,80

Tabla 3.8 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas SIGALDECK en su montaje, según su tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14				
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
734	20	2,13	2,13	2,39	2,30	2,04	2,04	2,28	2,21	1,89	1,89	2,11	2,04	1,77	1,77	1,97	1,91
	22	1,89	1,89	2,12	2,05	1,81	1,81	2,02	1,96	1,67	1,67	1,87	1,81	1,56	1,57	1,75	1,69
	24	1,76	1,76	1,97	1,90	1,68	1,68	1,88	1,82	1,55	1,56	1,74	1,68	1,43	1,45	1,62	1,57
900	20	2,13	2,13	2,39	2,30	2,04	2,04	2,28	2,21	1,89	1,89	2,11	2,04	1,77	1,77	1,97	1,91
	22	1,89	1,89	2,12	2,05	1,81	1,81	2,02	1,96	1,67	1,67	1,87	1,81	1,56	1,57	1,75	1,69
	24	1,76	1,76	1,97	1,90	1,68	1,68	1,88	1,82	1,55	1,56	1,74	1,68	1,43	1,45	1,62	1,57
3"	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,05	3,05	3,41	3,30
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67	2,67	2,98	2,88
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,37	2,37	2,65	2,56

Tabla 3.9 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas PLACACERO en su montaje, según su tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)							
18	2,71	2,71	3,02	2,92	2,51	2,51	2,80	2,71
20	2,37	2,37	2,65	2,56	2,19	2,19	2,45	2,37
22	2,11	2,11	2,36	2,28	1,95	1,95	2,18	2,11
24	1,96	1,96	2,19	2,11	1,81	1,81	2,02	1,96

Tabla 3.10 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas LUVITEC en su montaje, según tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14				
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
Sección 36/15	18	2,68	2,68	3,00	2,90	2,57	2,57	2,87	2,78	2,38	2,38	2,66	2,57	2,23	2,23	2,49	2,41
	20	2,23	2,23	2,49	2,41	2,13	2,13	2,38	2,30	1,97	1,97	2,20	2,13	1,84	1,84	2,06	1,99
	22	2,04	2,04	2,28	2,20	1,95	1,95	2,18	2,11	1,80	1,80	2,02	1,95	1,69	1,69	1,89	1,82
	24	1,73	1,73	1,94	1,87	1,66	1,66	1,85	1,79	1,52	1,53	1,71	1,66	1,41	1,43	1,60	1,55
Sección 4	18	-	-	-	-	-	-	-	-	3,53	3,53	3,95	3,81	3,29	3,29	3,68	3,56
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	3,11	3,11	3,48	3,36	2,90	2,90	3,24	3,13
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	2,82	2,82	3,16	3,05	2,63	2,63	2,94	2,85
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	2,39	2,39	2,67	2,58	2,22	2,22	2,49	2,40

Tabla 3.11 Longitudes máximas entre apoyos para las láminas CORPALOSA en su montaje, según su tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,65	2,65	2,96	2,86	2,54	2,54	2,84	2,74	2,35	2,35	2,63	2,54	2,20	2,20	2,46	2,38
20	2,33	2,33	2,61	2,52	2,23	2,23	2,50	2,41	2,07	2,07	2,31	2,23	1,93	1,93	2,16	2,09
22	2,14	2,14	2,40	2,32	2,05	2,05	2,30	2,22	1,90	1,90	2,13	2,05	1,78	1,78	1,99	1,92

Finalmente, en las tablas siguientes se presenta un resumen que muestra las longitudes críticas para las restricciones de flecha y tensión admisible, la menor de ambas, para láminas en sus etapas constructivas. (Ver Tabla 3.12, Tabla 3.13, Tabla 3.14, Tabla 3.15 y Tabla 3.16)

Tabla 3.12 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero LOSACERO en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,34	2,58	2,89	2,79	2,27	2,47	2,77	2,67	2,16	2,29	2,56	2,48	2,07	2,14	2,40	2,32
20	2,14	2,27	2,53	2,45	2,08	2,17	2,42	2,34	1,98	2,01	2,24	2,17	1,88	1,88	2,10	2,03
22	1,98	2,01	2,25	2,18	1,93	1,93	2,16	2,08	1,78	1,78	1,99	1,93	1,67	1,67	1,86	1,80

Nota: los valores sombreados son en los que predomina la condición de flecha

Tabla 3.13 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero SIGALDECK en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14				
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
734	20	2,08	2,13	2,39	2,30	2,02	2,04	2,28	2,21	1,89	1,89	2,11	2,04	1,77	1,77	1,97	1,91
	22	1,89	1,89	2,12	2,05	1,81	1,81	2,02	1,96	1,67	1,67	1,87	1,81	1,56	1,57	1,75	1,69
	24	1,76	1,76	1,97	1,90	1,68	1,68	1,88	1,82	1,55	1,56	1,74	1,68	1,43	1,45	1,62	1,57
900	20	2,08	2,13	2,39	2,30	2,02	2,04	2,28	2,21	1,89	1,89	2,11	2,04	1,77	1,77	1,97	1,91
	22	1,89	1,89	2,12	2,05	1,81	1,81	2,02	1,96	1,67	1,67	1,87	1,81	1,56	1,57	1,75	1,69
	24	1,76	1,76	1,97	1,90	1,68	1,68	1,88	1,82	1,55	1,56	1,74	1,68	1,43	1,45	1,62	1,57
3"	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,05	3,05	3,41	3,30
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67	2,67	2,98	2,88
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,37	2,37	2,65	2,56

Nota: los valores sombreados son en los que predomina la condición de flecha.

Tabla 3.14 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero PLACACERO en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Espesor de losa(cm)	12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)							
18	2,71	2,71	3,02	2,92	2,51	2,51	2,80	2,71
20	2,37	2,37	2,65	2,56	2,19	2,19	2,45	2,37
22	2,11	2,11	2,36	2,28	1,95	1,95	2,18	2,11
24	1,96	1,96	2,19	2,11	1,81	1,81	2,02	1,96

Nota: en ningún caso predomina la condición de flecha.

Tabla 3.15 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero LUVITEC en su montaje.

Fuente: Elaboración propia. .

Espesor de losa(cm)	9				10				12				14				
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)																
Sección 36/15	18	2,36	2,68	2,93	2,90	2,29	2,57	2,85	2,78	2,18	2,38	2,66	2,57	2,08	2,23	2,49	2,41
	20	2,13	2,23	2,49	2,41	2,07	2,13	2,38	2,30	1,96	1,97	2,20	2,13	1,84	1,84	2,06	1,99
	22	2,01	2,04	2,28	2,20	1,95	1,95	2,18	2,11	1,80	1,80	2,02	1,95	1,69	1,69	1,89	1,82
	24	1,73	1,73	1,94	1,87	1,66	1,66	1,85	1,79	1,52	1,53	1,71	1,66	1,41	1,43	1,60	1,55
Sección 4	18	-	-	-	-	-	-	-	-	3,18	3,53	3,86	3,81	3,04	3,29	3,68	3,56
	20	-	-	-	-	-	-	-	-	2,92	3,11	3,48	3,36	2,79	2,90	3,24	3,13
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	2,74	2,82	3,16	3,05	2,62	2,63	2,94	2,85
	24	-	-	-	-	-	-	-	-	2,39	2,39	2,67	2,58	2,22	2,22	2,49	2,40

Nota: los valores sombreados son en los que predomina la condición de flecha

Tabla 3.16 Longitudes máximas entre apoyos considerando la condición más crítica para las láminas de acero CORPALOSA en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Calibre	Máxima separación entre apoyos (m)															
18	2,35	2,65	2,92	2,86	2,29	2,54	2,84	2,74	2,17	2,35	2,63	2,54	2,08	2,20	2,46	2,38
20	2,16	2,33	2,61	2,52	2,10	2,23	2,50	2,41	1,99	2,07	2,31	2,23	1,91	1,93	2,16	2,09
22	2,04	2,14	2,40	2,32	1,98	2,05	2,30	2,22	1,89	1,90	2,13	2,05	1,78	1,78	1,99	1,92

Nota: los valores sombreados son en los que predomina la condición de flecha

3.2 ETAPA DE SERVICIO PARA LOSAS MIXTAS ACERO-CONCRETO

Una vez que el concreto ha fraguado, ambos materiales comienzan a trabajar conjuntamente, sirviendo el sofito metálico como refuerzo en las secciones solicitadas a momentos positivos. Según la Norma COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”, las propiedades de la sección compuesta se calcularán según la convencional teoría elástica de concreto reforzado, transformando las áreas de acero en áreas equivalentes de concreto. Bajo cargas de servicio, muchos segmentos de la losa permanecen sin agrietamiento en una porción significativa tanto de su espesor como su luz, por lo que son considerablemente más rígidas que una losa totalmente agrietada. Sin embargo el suponer que la sección no está agrietada puede resultar no conservador en la estimación de las flechas. Una aproximación más cercana a la realidad es considerar el promedio de las propiedades de las secciones agrietadas y no agrietadas, tal como se detalla en el Apéndice E de la mencionada Norma.

Para el cálculo de estas inercias efectivas (I_d) promedio se utilizó de guía la Figura 3.2.

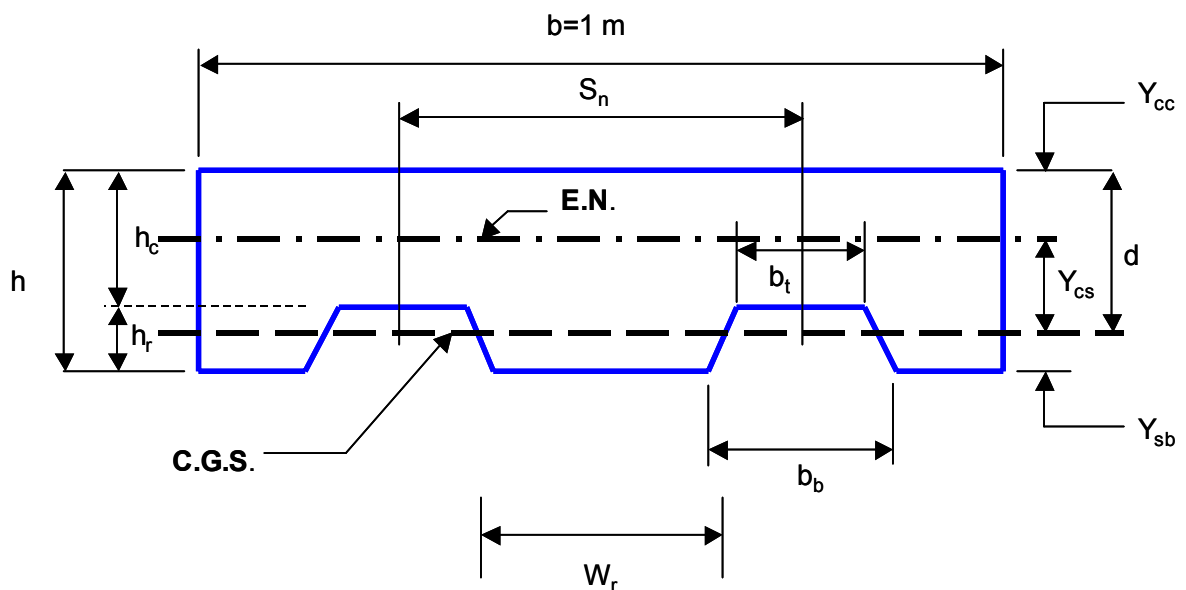


Figura 3.2 Definición de las variables en una losa mixta acero-concreto.

Fuente: Norma COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”

El eje neutro para la sección agrietada, se halla con la Ecuación 16.

$$y_{cc} = d \left\{ \left[2\rho n + (\rho n)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \rho n \right\} \quad (16)$$

en la cual y_{cc} y d se muestran en la Figura 3.2, $\rho = A_s/bd$ y n es la relación modular E_s/E_c , tomado como 10.

De este modo, una vez calculada la posición del eje neutro, la Inercia de la sección agrietada (I_{CR}) viene dada por la Ecuación 17.

$$I_{CR} = \frac{b}{3}(y_{cc})^3 + nA_s(y_{cs})^2 + nI_s \quad (17)$$

donde I_s es el momento de inercia del sofito metálico.

Para el cómputo de la sección no agrietada, se calcula la posición del eje neutro con la Ecuación 18 y la Inercia de la sección no agrietada (I_U) con la Ecuación 19.

$$y_{uc} = y_{cc} = \frac{0,5 b(h_c)^2 + nA_s d - W_r h_r (h - 0,5 h_r) \left(\frac{b}{S_n} \right)}{bh_c + nA_s + W_r h_r \left(\frac{b}{S_n} \right)} \quad (18)$$

$$I_U = \frac{b(h_c)^3}{12} + bh_c(y_{uc} - 0,5h_c)^2 + nI_s + nA_s(y_{us})^2 + W_r h_r \left[\frac{(h_r)^2}{12} + (h - y_{uc} - 0,5h_r)^2 \right] \frac{b}{S_n} \quad (19)$$

donde W_r es el ancho promedio de los nervios del sofito = $0,5 (S_n - b_t + b_b)$; y S_n es la separación entre celdas o nervios del sofito.

Finalmente el momento de inercia de diseño (I_d) es el promedio de los valores calculados para la sección agrietada y no agrietada. (Ver Ecuación 20)

$$I_d = \frac{I_{CR} + I_U}{2} \quad (20)$$

En definitiva, con los valores de altura del sofito metálico, su área de acero y las dimensiones indicadas anteriormente, se pueden calcular las Inercias efectivas de diseño. La siguiente Tabla 3.17 muestra los resultados obtenidos de las inercias efectivas calculadas con el método anteriormente descrito. Este método aproximado para hallar el momento de inercia es gracias a las pruebas realizadas en la Iowa State University (ISU) en el mencionado trabajo de investigación.

Tabla 3.17 Momentos de Inercia efectivos (I_d) para todas las láminas según el espesor de la losa y el calibre de la lámina metálica. Valores en cm^4/m .

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE LAMINA	Calibre	Espesor de losa (cm)			
		9	10	12	14
LOSACERO	18	3979	5244	8674	13486
	20	3486	4631	7753	12159
	22	3132	4190	7086	11198
SIGALDECK 1,5"	20	3595	4779	7994	12515
	22	3243	4339	7326	11549
	24	3059	4108	6975	11040
SIGALDECK 3"	18				12834
	20				11348
	22				10309
PLACACERO	18			8202	12197
	20			7254	10930
	22			6585	10028
	24			6236	10028
LUVITEC 36/15	18	4255	5606	9239	14296
	20	3692	4900	8173	12765
	22	3409	4547	7636	11989
	24	2996	4028	6849	10850
LUVITEC 4	18			10137	15035
	20			9154	13706
	22			8545	12879
	24			7688	11710
CORPALOSA	18	4287	5646	9299	14386
	20	3785	5020	8354	13020
	22	3515	4683	7844	12282

En el estado límite de servicio la flecha se calculará con cargas sin mayorar y con las propiedades inerciales ya calculadas. Como los valores límites de flecha se podrán adoptar los valores de la Tabla 9.5 (b) de la Norma COVENIN-MINDUR 1753. “Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño”. En esta tabla se indica que la deflexión máxima instantánea debida a la carga viva no debe exceder $L/360$, para pisos que pudieran presentar daños por su deflexión.

Limitando entonces la deflexión de la lámina en su etapa de servicio a $L/360$, se puede hallar la sobrecarga admisible a la que puede someterse la losa en su etapa de servicio. Para una lámina simplemente apoyada, la carga de servicio fue calculada con la Ecuación 21.

$$q = \frac{E_s I_d}{0,01302 * 360 L^3} \quad (21)$$

donde E_s es el módulo de elasticidad del acero e I_d es la inercia efectiva de la Tabla 3.17.

De este modo se calcularon todas las cargas de servicio para cada espesor de láminas y cada espesor de losa. Para las losas de dos o más tramos, se utilizaron las expresiones de deflexión de la Tabla 3.1.

La Tabla 3.18, Tabla 3.19, Tabla 3.20, Tabla 3.21, Tabla 3.22, Tabla 3.23, Tabla 3.24, Tabla 3.25, Tabla 3.26, Tabla 3.27, Tabla 3.28, Tabla 3.29 y Tabla 3.30 muestran estos valores de cargas. Es importante destacar que las cargas reflejadas en las tablas no incluyen las cargas debidas a la construcción. Estas cargas están dadas en función de la longitud entre apoyos. La longitud entre apoyos máxima para la que es calculada la carga de servicio para cada configuración y espesor de losa, es la máxima longitud de separación de los apoyos en la etapa de montaje de la lámina, valores enunciados anteriormente.

Tabla 3.18 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina LOSACERO 1,5". Calibre 18 y Calibre 20.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LOSACERO. Calibre 18																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m²)															
1,00	1783	4455	3429	3673	2350	5872	4519	4840	3886	9711	7474	8006	6042	15099	11620	12447
1,10	1339	3347	2576	2759	1765	4411	3395	3637	2920	7296	5615	6015	4539	11344	8730	9352
1,20	1032	2578	1984	2125	1360	3398	2615	2801	2249	5620	4325	4633	3497	8738	6724	7203
1,30	811	2028	1561	1672	1069	2673	2057	2203	1769	4420	3402	3644	2750	6873	5289	5666
1,40	650	1624	1249	1338	856	2140	1647	1764	1416	3539	2724	2918	2202	5503	4235	4536
1,50	528	1320	1016	1088	696	1740	1339	1434	1151	2877	2214	2372	1790	4474	3443	3688
1,60	435	1088	837	897	574	1433	1103	1182	949	2371	1825	1955	1475	3686	2837	3039
1,70	363	907	698	748	478	1195	920	985	791	1977	1521	1630	1230	3073	2365	2534
1,80	306	764	588	630	403	1007	775	830	666	1665	1281	1373	1036	2589	1992	2134
1,90	260	650	500	535	343	856	659	706	567	1416	1090	1167	881	2201	1694	1815
2,00	223	557	429	459	294	734	565	605	486	1214	934	1001	755	1887	1452	1556
2,10	193	481	370	397	254	634	488	523	420	1049	807	864	652	1630	1255	1344
2,20	167	418	322	345	221	551	424	455	365	912	702	752	*	1418	1091	1169
2,30	147	366	282	302	193	483	371	398	*	798	614	658		*	955	1023
2,40	129	322	248	266	*	425	327	350		*	541	579			841	*
2,50	*	285	219	235		376	289	310			478	512			*	
2,60		253	195	209		*	257	275			425	*				
2,70		*	174	187			230	246			*					
2,80			156	167			206	*								
2,90			141	*			*									
			*													

Lámina LOSACERO. Calibre 20																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m²)															
1,00	1562	3903	3004	3218	2075	5186	3991	4275	3473	8680	6680	7156	5447	13613	10477	11223
1,10	1173	2932	2257	2417	1559	3896	2998	3212	2610	6521	5019	5376	4093	10228	7871	8432
1,20	904	2259	1738	1862	1201	3001	2309	2474	2010	5023	3866	4141	3152	7878	6063	6495
1,30	711	1777	1367	1465	944	2360	1816	1946	1581	3951	3040	3257	2480	6196	4769	5108
1,40	569	1422	1095	1173	756	1890	1454	1558	1266	3163	2434	2608	1985	4961	3818	4090
1,50	463	1156	890	953	615	1536	1182	1267	1029	2572	1979	2120	1614	4034	3104	3325
1,60	381	953	733	786	507	1266	974	1044	848	2119	1631	1747	1330	3324	2558	2740
1,70	318	794	611	655	422	1055	812	870	707	1767	1360	1456	1109	2771	2132	2284
1,80	268	669	515	552	356	889	684	733	596	1488	1145	1227	934	2334	1796	1924
1,90	228	569	438	469	303	756	582	623	506	1265	974	1043	794	1985	1527	1636
2,00	195	488	375	402	259	648	499	534	434	1085	835	894	*	*	1310	1403
2,10	169	421	324	347	224	560	431	462	*	*	721	773			1131	1212
2,20	147	367	282	302	*	487	375	401			627	672			*	*
2,30	*	321	247	264		*	328	351			549	*				
2,40		*	217	233			289	309			*					
2,50			192	206			255	*								
2,60			171	*			*									
			*													

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.19 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina LOSACERO 1,5". Calibre 22.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LOSACERO. Calibre 22																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m²)															
1,00	1403	3506	2698	2891	1877	4691	3610	3867	3175	7934	6105	6540	5017	12537	9648	10335
1,10	1054	2634	2027	2172	1410	3524	2712	2905	2385	5961	4587	4914	3769	9420	7249	7765
1,20	812	2029	1562	1673	1086	2715	2089	2238	1837	4591	3533	3785	2903	7255	5584	5981
1,30	639	1596	1228	1316	854	2135	1643	1760	1445	3611	2779	2977	2284	5707	4392	4704
1,40	511	1278	983	1053	684	1710	1316	1409	1157	2891	2225	2383	1828	4569	3516	3767
1,50	416	1039	800	856	556	1390	1070	1146	941	2351	1809	1938	1486	3715	2859	3062
1,60	343	856	659	706	458	1145	881	944	775	1937	1491	1597	1225	3061	2356	2523
1,70	286	714	549	588	382	955	735	787	646	1615	1243	1331	1021	2552	1964	2104
1,80	241	601	463	496	322	804	619	663	544	1360	1047	1121	*	*	1654	1772
1,90	205	511	393	421	274	684	526	564	*	*	890	954			1407	*
2,00	175	438	337	361	235	586	451	483			763	818			*	
2,10	*	*	291	312	*	*	390	418			*	*				
2,20			253	271			339	*								
2,30			222	*			*									
			*													

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.20 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 20 y Calibre 22

Fuente: Elaboración propia.

Lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 20																
Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m²)															
1,00	1611	4025	3097	3318	2141	5351	4118	4411	3581	8950	6888	7378	5607	14013	10784	11551
1,10	1210	3024	2327	2493	1609	4020	3094	3314	2691	6724	5175	5543	4213	10528	8102	8679
1,20	932	2329	1793	1920	1239	3096	2383	2553	2073	5179	3986	4270	3245	8109	6241	6685
1,30	733	1832	1410	1510	975	2435	1874	2008	1630	4074	3135	3358	2552	6378	4908	5258
1,40	587	1467	1129	1209	780	1950	1501	1607	1305	3262	2510	2689	2043	5107	3930	4210
1,50	477	1193	918	983	634	1585	1220	1307	1061	2652	2041	2186	1661	4152	3195	3423
1,60	393	983	756	810	523	1306	1005	1077	874	2185	1682	1801	1369	3421	2633	2820
1,70	328	819	630	675	436	1089	838	898	729	1822	1402	1502	1141	2852	2195	2351
1,80	276	690	531	569	367	917	706	756	614	1535	1181	1265	961	2403	1849	1981
1,90	235	587	452	484	312	780	600	643	522	1305	1004	1076	*	*	1572	1684
2,00	201	503	387	415	268	669	515	551	*	*	861	922			1348	1444
2,10	174	435	334	358	231	578	445	476			744	797			*	*
2,20	*	378	291	312	*	*	387	414			647	*				
2,30		*	255	273			338	363			*					
2,40			224	*			*	*								
			*													

Lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 22																
Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m²)															
1,00	1453	3631	2795	2994	3282	4858	3739	4005	3282	8202	6312	6762	5174	12931	9951	10660
1,10	1092	2728	2100	2249	2466	3650	2809	3009	2466	6163	4743	5080	3887	9715	7476	8009
1,20	841	2101	1617	1732	1899	2811	2164	2318	1899	4747	3653	3913	2994	7483	5759	6169
1,30	661	1653	1272	1363	1494	2211	1702	1823	1494	3733	2873	3078	2355	5886	4529	4852
1,40	530	1323	1018	1091	1196	1770	1362	1460	1196	2989	2300	2464	1886	4712	3626	3885
1,50	431	1076	828	887	973	1439	1108	1187	973	2430	1870	2004	1533	3831	2948	3158
1,60	355	887	682	731	801	1186	913	978	801	2003	1541	1651	1263	3157	2429	2602
1,70	296	739	569	609	668	989	761	815	668	1670	1285	1376	*	*	2025	2170
1,80	249	623	479	513	563	833	641	687	*	*	1082	1159			1706	*
1,90	212	529	407	436	479	708	545	584			920	986			*	
2,00	*	*	349	374	*	*	467	501			*	*				
2,10			302	323			404	*								
2,20			262	*			*									
			*													

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.21 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 24

Fuente: Elaboración propia.

Lámina SIGALDECK 1,5". Calibre 24																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)															
1,00	1371	3425	2636	2824	1841	4600	3540	3792	3125	7809	6010	6438	4946	12361	9513	10190
1,10	1030	2573	1980	2121	1383	3456	2659	2849	2348	5867	4515	4837	3716	9287	7147	7656
1,20	793	1982	1525	1634	1065	2662	2048	2194	1808	4519	3478	3725	2863	7154	5505	5897
1,30	624	1559	1200	1285	838	2094	1611	1726	1422	3554	2735	2930	2251	5626	4330	4638
1,40	499	1248	961	1029	671	1676	1290	1382	1139	2846	2190	2346	1803	4505	3467	3714
1,50	406	1015	781	837	545	1363	1049	1123	926	2314	1781	1907	1466	3663	2819	3019
1,60	335	836	644	689	449	1123	864	926	763	1907	1467	1572	*	*	2323	2488
1,70	279	697	537	575	375	936	720	772	*	*	1223	1310			1936	*
1,80	235	587	452	484	*	*	607	650			1030	*			*	
1,90	*	*	384	412			516	553			*					
2,00			329	*			*	*								
			*													

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina.

Tabla 3.22 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina SIGALDECK 3". Calibre 18, Calibre 20 y Calibre 22

Fuente: Elaboración propia.

Lámina SIGALDECK 3". Calibre 18				
Esesor de losa(cm)	14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)			
1,00	5750	14370	11059	11846
1,10	4320	10796	8309	8900
1,20	3328	8316	6400	6855
1,30	2617	6541	5034	5392
1,40	2096	5237	4030	4317
1,50	1704	4258	3277	3510
1,60	1404	3508	2700	2892
1,70	1170	2925	2251	2411
1,80	986	2464	1896	2031
1,90	838	2095	1612	1727
2,00	719	1796	1382	1481
2,10	621	1552	1194	1279
2,20	540	1350	1039	1113
2,30	473	1181	909	974
2,40	416	1039	800	857
2,50	368	920	708	758
2,60	327	818	629	674
2,70	292	730	562	602
2,80	262	655	504	540
2,90	236	589	453	486
3,00	213	532	410	439
3,10	193	482	371	398
3,20	*	*	337	362
3,30			308	330
3,40			281	*
3,50			258	
			*	

Lámina SIGALDECK 3". Calibre 20				
Esesor de losa(cm)	14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)			
1,00	5084	12706	9778	10475
1,10	3820	9546	7347	7870
1,20	2942	7353	5659	6062
1,30	2314	5783	4451	4768
1,40	1853	4631	3564	3817
1,50	1506	3765	2897	3104
1,60	1241	3102	2387	2557
1,70	1035	2586	1990	2132
1,80	872	2179	1677	1796
1,90	741	1852	1426	1527
2,00	636	1588	1222	1309
2,10	549	1372	1056	1131
2,20	478	1193	918	984
2,30	418	1044	804	861
2,40	368	919	707	758
2,50	325	813	626	670
2,60	289	723	556	596
2,70	258	646	497	532
2,80	*	*	445	477
2,90			401	429
3,00			362	*
			*	

Lámina SIGALDECK 3". Calibre 22				
Esesor de losa(cm)	14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)			
1,00	4619	11543	8883	9515
1,10	3470	8672	6674	7149
1,20	2673	6680	5141	5507
1,30	2102	5254	4043	4331
1,40	1683	4207	3237	3468
1,50	1369	3420	2632	2819
1,60	1128	2818	2169	2323
1,70	940	2349	1808	1937
1,80	792	1979	1523	1632
1,90	673	1683	1295	1387
2,00	577	1443	1110	1189
2,10	499	1246	959	1027
2,20	434	1084	834	894
2,30	380	949	730	782
2,40	334	835	643	688
2,50	*	*	569	609
2,60			505	541
2,70			451	*
			*	

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.23 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina PLACACERO (6cm) Calibre 18 y Calibre 20

Fuente: Elaboración propia.

Lámina PLACACERO. Calibre 18								
Esesor de losa (cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos (m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	3675	9183	7067	7570	5465	13656	10510	11258
1,10	2761	6899	5309	5687	4106	10260	7896	8458
1,20	2126	5314	4090	4381	3162	7903	6082	6515
1,30	1673	4180	3217	3446	2487	6216	4784	5124
1,40	1339	3347	2575	2759	1992	4977	3830	4103
1,50	1089	2721	2094	2243	1619	4046	3114	3336
1,60	897	2242	1725	1848	1334	3334	2566	2749
1,70	748	1869	1438	1541	1112	2780	2139	2291
1,80	630	1575	1212	1298	937	2342	1802	1930
1,90	536	1339	1030	1104	797	1991	1532	1641
2,00	459	1148	883	946	683	1707	1314	1407
2,10	397	992	763	817	590	1475	1135	1216
2,20	345	862	664	711	513	1283	987	1057
2,30	302	755	581	622	449	1122	864	925
2,40	266	664	511	548	395	988	760	814
2,50	235	588	452	484	350	874	673	721
2,60	209	522	402	431	311	777	598	641
2,70	187	467	359	385	*	*	534	572
2,80	167	418	322	345			479	513
2,90	*	*	290	310			*	*
3,00			262	280				
3,10			237	*				
			*					

Lámina PLACACERO. Calibre 20								
Esesor de losa (cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos (m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	3250	8122	6251	6696	4897	12238	9418	10088
1,10	2442	6102	4696	5031	3679	9194	7076	7579
1,20	1881	4700	3617	3875	2834	7082	5450	5838
1,30	1479	3697	2845	3048	2229	5570	4287	4592
1,40	1184	2960	2278	2440	1785	4460	3432	3676
1,50	963	2407	1852	1984	1451	3626	2790	2989
1,60	793	1983	1526	1635	1196	2988	2299	2463
1,70	662	1653	1272	1363	997	2491	1917	2053
1,80	557	1393	1072	1148	840	2098	1615	1730
1,90	474	1184	911	976	714	1784	1373	1471
2,00	406	1015	781	837	612	1530	1177	1261
2,10	351	877	675	723	529	1321	1017	1089
2,20	305	763	587	629	460	1149	884	947
2,30	267	668	514	550	*	*	774	829
2,40	235	588	452	484			681	730
2,50	*	*	400	429			603	*
2,60			356	381			*	
2,70			318	*				
			*					

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.24 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina PLACACERO (6cm). Calibre 22 y Calibre 24

Fuente: Elaboración propia.

Lámina PLACACERO. Calibre 22								
Esesor de losa(cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	2950	7373	5674	6078	4493	11227	8640	9255
1,10	2217	5539	4263	4567	3375	8435	6492	6954
1,20	1707	4267	3284	3517	2600	6497	5000	5356
1,30	1343	3356	2583	2767	2045	5110	3933	4213
1,40	1075	2687	2068	2215	1637	4092	3149	3373
1,50	874	2185	1681	1801	1331	3327	2560	2742
1,60	720	1800	1385	1484	1097	2741	2109	2260
1,70	601	1501	1155	1237	914	2285	1759	1884
1,80	506	1264	973	1042	770	1925	1482	1587
1,90	430	1075	827	886	655	1637	1260	1349
2,00	369	922	709	760	562	1403	1080	1157
2,10	319	796	613	656	*	*	933	999
2,20	277	692	533	571			811	869
2,30	*	*	466	500			*	*
2,40			410	*				
			*					

Lámina PLACACERO. Calibre 24								
Esesor de losa(cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	2794	6982	5373	5756	4493	11227	8640	9255
1,10	2099	5246	4037	4324	3375	8435	6492	6954
1,20	1617	4041	3109	3331	2600	6497	5000	5356
1,30	1272	3178	2446	2620	2045	5110	3933	4213
1,40	1018	2544	1958	2098	1637	4092	3149	3373
1,50	828	2069	1592	1705	1331	3327	2560	2742
1,60	682	1705	1312	1405	1097	2741	2109	2260
1,70	569	1421	1094	1172	914	2285	1759	1884
1,80	479	1197	921	987	770	1925	1482	1587
1,90	407	1018	783	839	655	1637	1260	1349
2,00	349	873	672	719	*	*	1080	1157
2,10	*	*	580	622			933	*
2,20			505	541			*	
			*	*				

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina.

Tabla 3.25 Cargas máximas de servicio en Kgf/m² para la lámina LUVITEC Sección 36/15 (1,5”cm). Calibre 18 y Calibre 20

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LUVITEC Sección 36/15. Calibre 18																
Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m ²)															
1,00	1906	4764	3666	3928	2512	6277	4831	5175	4139	10345	7961	8528	6405	16007	12318	13196
1,10	1432	3579	2755	2951	1887	4716	3629	3888	3110	7772	5981	6407	4812	12026	9255	9914
1,20	1103	2757	2122	2273	1454	3633	2796	2995	2396	5987	4607	4935	3707	9263	7129	7636
1,30	868	2169	1669	1788	1143	2857	2199	2355	1884	4709	3624	3882	2915	7286	5607	6006
1,40	695	1736	1336	1431	915	2288	1760	1886	1509	3770	2901	3108	2334	5833	4489	4809
1,50	565	1412	1086	1164	744	1860	1431	1533	1227	3065	2359	2527	1898	4743	3650	3910
1,60	465	1163	895	959	613	1533	1179	1263	1011	2526	1944	2082	1564	3908	3007	3222
1,70	388	970	746	799	511	1278	983	1053	843	2106	1620	1736	1304	3258	2507	2686
1,80	327	817	629	673	431	1076	828	887	710	1774	1365	1462	1098	2745	2112	2263
1,90	278	695	535	573	366	915	704	754	604	1508	1161	1243	934	2334	1796	1924
2,00	238	596	458	491	314	785	604	647	517	1293	995	1066	801	2001	1540	1649
2,10	206	514	396	424	271	678	522	559	447	1117	860	921	692	1728	1330	1425
2,20	179	447	344	369	236	590	454	486	389	972	748	801	*	1503	1157	1239
2,30	157	392	301	323	206	516	397	425	*	850	654	701		1316	1012	1085
2,40	138	345	265	284	*	454	349	374		748	576	617		*	891	955
2,50	*	305	235	251		402	309	331		*	510	546			788	845
2,60		271	209	223		357	275	294			453	485			*	*
2,70		242	186	200		*	245	263			404	*				
2,80		*	167	179				220			*					
2,90			150	161				198			*					
3,00			136	*				*			*					
			*													

Lámina LUVITEC Sección 36/15. Calibre 20																
Espesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m ²)															
1,00	1654	4134	3181	3408	2195	5486	4222	4523	3662	9150	7042	7543	5719	14292	10999	11782
1,10	1243	3106	2390	2560	1649	4122	3172	3398	2751	6875	5291	5667	4297	10738	8264	8852
1,20	957	2392	1841	1972	1270	3175	2443	2617	2119	5295	4075	4365	3310	8271	6365	6818
1,30	753	1882	1448	1551	999	2497	1922	2059	1667	4165	3205	3433	2603	6505	5006	5363
1,40	603	1506	1159	1242	800	1999	1539	1648	1334	3335	2566	2749	2084	5209	4008	4294
1,50	490	1225	943	1010	650	1626	1251	1340	1085	2711	2086	2235	1695	4235	3259	3491
1,60	404	1009	777	832	536	1339	1031	1104	894	2234	1719	1842	1396	3489	2685	2876
1,70	337	841	648	694	447	1117	859	921	745	1862	1433	1535	1164	2909	2239	2398
1,80	284	709	545	584	376	941	724	776	628	1569	1207	1293	981	2451	1886	2020
1,90	241	603	464	497	320	800	616	659	534	1334	1027	1100	834	2084	1604	1718
2,00	207	517	398	426	274	686	528	565	458	1144	880	943	*	*	1375	1473
2,10	179	446	344	368	237	592	456	488	*	*	760	815			1188	*
2,20	155	388	299	320	*	515	397	425			661	708			*	
2,30	*	340	261	280		*	347	372			*	*				
2,40		*	230	247			305	*								
2,50			204	218			*									
			*	*												

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.
* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.26 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina LUVITEC Sección 36/15 (1,5”cm). Calibre 22 y Calibre 24

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LUVITEC Sección 36/15. Calibre 22																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m ²)															
1,00	1527	3817	2937	3147	2037	5090	3917	4196	3421	8550	6580	7048	5371	13423	10330	11066
1,10	1148	2868	2207	2364	1530	3825	2943	3153	2570	6424	4944	5295	4036	10085	7761	8314
1,20	884	2209	1700	1821	1179	2946	2267	2428	1980	4948	3808	4079	3108	7768	5978	6404
1,30	695	1737	1337	1432	927	2317	1783	1910	1557	3892	2995	3208	2445	6110	4702	5037
1,40	557	1391	1071	1147	742	1855	1428	1529	1247	3116	2398	2569	1958	4892	3765	4033
1,50	453	1131	870	932	604	1508	1161	1243	1014	2533	1950	2088	1592	3977	3061	3279
1,60	373	932	717	768	497	1243	956	1025	835	2087	1606	1721	1311	3277	2522	2702
1,70	311	777	598	640	415	1036	797	854	696	1740	1339	1435	1093	2732	2103	2252
1,80	262	655	504	540	349	873	672	720	587	1466	1128	1209	*	*	1771	1897
1,90	223	557	428	459	297	742	571	612	*	*	959	1028			1506	1613
2,00	191	477	367	393	255	636	490	525			822	881			*	*
2,10	165	412	317	340	*	*	423	453			710	*				
2,20	*	*	276	296			368	394			*					
2,30			241	*			*	*								
			*													

Lámina LUVITEC Sección 36/15. Calibre 24																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m ²)															
1,00	1342	3354	2581	2765	1805	4510	3471	3718	3069	7668	5901	6322	4861	12148	9349	10015
1,10	1008	2520	1939	2077	1356	3389	2608	2793	2305	5761	4434	4749	3652	9127	7024	7524
1,20	777	1941	1494	1600	1044	2610	2009	2152	1776	4438	3415	3658	2813	7030	5410	5795
1,30	611	1527	1175	1259	821	2053	1580	1692	1397	3490	2686	2877	2213	5529	4255	4558
1,40	489	1222	941	1008	658	1644	1265	1355	1118	2795	2151	2304	1772	4427	3407	3650
1,50	398	994	765	819	535	1336	1028	1102	909	2272	1749	1873	1440	3599	2770	2967
1,60	328	819	630	675	441	1101	847	908	749	1872	1441	1543	*	*	2282	2445
1,70	273	683	525	563	367	918	706	757	*	*	1201	1287			*	*
1,80	230	575	443	474	*	*	595	638			1012	*				
1,90	*	*	376	403			506	*			*					
2,00			323	*			*									
2,10			*													
2,20																
2,30																

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.27 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina LUVITEC Sección 4 (2,5''cm). Calibre 18 y Calibre 20

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LUVITEC Sección 4. Calibre 18								
Esesor de losa(cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	4542	11350	8735	9357	6736	16834	12955	13877
1,10	3412	8528	6563	7030	5061	12647	9733	10426
1,20	2628	6568	5055	5415	3898	9742	7497	8031
1,30	2067	5166	3976	4259	3066	7662	5897	6316
1,40	1655	4136	3183	3410	2455	6135	4721	5057
1,50	1346	3363	2588	2772	1996	4988	3838	4112
1,60	1109	2771	2133	2284	1645	4110	3163	3388
1,70	924	2310	1778	1905	1371	3426	2637	2825
1,80	779	1946	1498	1604	1155	2886	2221	2379
1,90	662	1655	1273	1364	982	2454	1889	2023
2,00	568	1419	1092	1170	842	2104	1619	1735
2,10	490	1226	943	1010	727	1818	1399	1498
2,20	427	1066	820	879	633	1581	1217	1303
2,30	373	933	718	769	554	1384	1065	1141
2,40	329	821	632	677	487	1218	937	1004
2,50	291	726	559	599	431	1077	829	888
2,60	258	646	497	532	383	958	737	790
2,70	231	577	444	475	342	855	658	705
2,80	207	517	398	426	307	767	590	632
2,90	186	465	358	384	276	690	531	569
3,00	168	420	324	347	249	623	480	514
3,10	152	381	293	314	226	565	435	466
3,20	139	346	267	286		514	395	423
3,30		316	243	260		468	360	386
3,40		289	222	238			330	353
3,50		265	204	218			302	324
3,60		243	187	201			278	297
3,70			172	185				256
3,80			159	171				
3,90			147	158				

Lámina LUVITEC Sección 4. Calibre 20								
Esesor de losa(cm)	12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	4101	10250	7888	8449	6141	15346	11810	12651
1,10	3081	7701	5926	6348	4614	11530	8873	9505
1,20	2374	5932	4565	4890	3554	8881	6834	7321
1,30	1867	4665	3590	3846	2795	6985	5375	5758
1,40	1495	3735	2875	3079	2238	5593	4304	4610
1,50	1215	3037	2337	2504	1819	4547	3499	3748
1,60	1001	2502	1926	2063	1499	3747	2883	3089
1,70	835	2086	1606	1720	1250	3124	2404	2575
1,80	703	1757	1353	1449	1053	2631	2025	2169
1,90	598	1494	1150	1232	895	2237	1722	1844
2,00	513	1281	986	1056	768	1918	1476	1581
2,10	443	1107	852	912	663	1657	1275	1366
2,20	385	963	741	794	577	1441	1109	1188
2,30	337	842	648	694	505	1261	971	1040
2,40	297	741	571	611	444	1110	854	915
2,50	262	656	505	541	393	982	756	810
2,60	233	583	449	481	349	873	672	720
2,70	208	521	401	429	312	780	600	643
2,80	187	467	359	385	280	699	538	576
2,90	168	420	323	346	*	629	484	519
3,00	152	380	292	313		*	437	469
3,10	*	344	265	284			396	425
3,20		313	241	258			360	386
3,30		*	219	235			329	*
3,40			201	215			*	
3,50			184	*				

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.28 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina LUVITEC Sección 4 (2,5''cm). Calibre 22 y Calibre 24

Fuente: Elaboración propia.

Lámina LUVITEC Sección 4. Calibre 22								
Espesor de losa(cm)	12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	3829	9568	7363	7887	5770	14420	11097	11888
1,10	2876	7188	5532	5926	4335	10834	8338	8931
1,20	2216	5537	4261	4564	3339	8345	6422	6879
1,30	1743	4355	3351	3590	2626	6564	5051	5411
1,40	1395	3487	2683	2874	2103	5255	4044	4332
1,50	1134	2835	2182	2337	1710	4273	3288	3522
1,60	935	2336	1798	1926	1409	3521	2709	2902
1,70	779	1947	1499	1605	1175	2935	2259	2420
1,80	656	1641	1263	1352	989	2473	1903	2038
1,90	558	1395	1073	1150	841	2102	1618	1733
2,00	479	1196	920	986	721	1803	1387	1486
2,10	413	1033	795	852	623	1557	1198	1284
2,20	360	899	691	741	542	1354	1042	1116
2,30	315	786	605	648	474	1185	912	977
2,40	277	692	533	571	417	1043	803	860
2,50	245	612	471	505	369	923	710	761
2,60	218	544	419	449	328	820	631	676
2,70	195	486	374	401	293	733	564	604
2,80	174	436	335	359	*	*	506	542
2,90	*	392	302	323			455	487
3,00		*	273	292			411	*
3,10			247	265			*	
3,20			225	*				

Lámina LUVITEC Sección 4. Calibre 24								
Espesor de losa(cm)	12				14			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)							
1,00	3444	8607	6624	7096	5246	13111	10090	10808
1,10	2588	6467	4977	5331	3942	9851	7581	8120
1,20	1993	4981	3833	4106	3036	7587	5839	6255
1,30	1568	3918	3015	3230	2388	5968	4593	4920
1,40	1255	3137	2414	2586	1912	4778	3677	3939
1,50	1021	2550	1963	2102	1554	3885	2990	3202
1,60	841	2101	1617	1732	1281	3201	2463	2639
1,70	701	1752	1348	1444	1068	2669	2054	2200
1,80	591	1476	1136	1217	900	2248	1730	1853
1,90	502	1255	966	1034	765	1912	1471	1576
2,00	431	1076	828	887	656	1639	1261	1351
2,10	372	929	715	766	567	1416	1090	1167
2,20	323	808	622	666	493	1231	948	1015
2,30	283	707	544	583	431	1078	829	888
2,40	249	623	479	513	*	*	730	782
2,50	*	*	424	454			646	*
2,60			377	404			*	
2,70			337	*				

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.29 Cargas máximas de servicio en Kgf/m² para la lámina CORPALOSA (1,5”cm). Calibre 18 y Calibre 20

Fuente: Elaboración propia.

Lámina CORPALOSA. Calibre 18																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m²)															
1,00	1921	4800	3694	3957	2529	6321	4865	5211	4166	10412	8013	8583	6445	16107	12395	13278
1,10	1443	3606	2775	2973	1900	4749	3655	3915	3130	7823	6020	6449	4842	12101	9313	9976
1,20	1111	2778	2138	2290	1464	3658	2815	3016	2411	6026	4637	4967	3730	9321	7173	7684
1,30	874	2185	1681	1801	1151	2877	2214	2372	1896	4739	3647	3907	2934	7331	5642	6044
1,40	700	1749	1346	1442	922	2304	1773	1899	1518	3794	2920	3128	2349	5870	4517	4839
1,50	569	1422	1094	1172	749	1873	1441	1544	1234	3085	2374	2543	1910	4772	3673	3934
1,60	469	1172	902	966	618	1543	1188	1272	1017	2542	1956	2096	1574	3932	3026	3242
1,70	391	977	752	805	515	1287	990	1061	848	2119	1631	1747	1312	3278	2523	2703
1,80	329	823	633	678	434	1084	834	893	714	1785	1374	1472	1105	2762	2125	2277
1,90	280	700	539	577	369	922	709	760	607	1518	1168	1251	940	2348	1807	1936
2,00	240	600	462	495	316	790	608	651	521	1302	1002	1073	806	2013	1549	1660
2,10	207	518	399	427	273	683	525	563	450	1124	865	927	696	1739	1338	1434
2,20	180	451	347	372	238	594	457	489	391	978	753	806	*	1513	1164	1247
2,30	158	394	304	325	208	520	400	428	*	856	659	705		*	1019	1091
2,40	139	347	267	286	*	457	352	377		753	580	621			897	960
2,50	*	307	236	253		405	311	333		*	513	549			793	*
2,60		273	210	225		360	277	296			456	488			*	
2,70		244	188	201		*	247	265			407	*				
2,80		*	168	180			222	237			*					
2,90			151	162			199	*								
3,00			137	*			*									
			*													

Lámina CORPALOSA. Calibre 20																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kgf/m²)															
1,00	1696	4238	3261	3493	2249	5620	4325	4633	3743	9354	7198	7711	5833	14578	11218	12017
1,10	1274	3184	2450	2625	1690	4223	3250	3481	2812	7028	5408	5793	4383	10952	8429	9029
1,20	981	2452	1887	2022	1302	3253	2503	2681	2166	5413	4166	4462	3376	8436	6492	6954
1,30	772	1929	1484	1590	1024	2558	1969	2109	1704	4258	3276	3510	2655	6635	5106	5470
1,40	618	1544	1188	1273	820	2048	1576	1689	1364	3409	2623	2810	2126	5313	4088	4379
1,50	502	1256	966	1035	666	1665	1282	1373	1109	2771	2133	2285	1728	4319	3324	3561
1,60	414	1035	796	853	549	1372	1056	1131	914	2284	1757	1883	1424	3559	2739	2934
1,70	345	863	664	711	458	1144	880	943	762	1904	1465	1569	1187	2967	2283	2446
1,80	291	727	559	599	386	964	742	794	642	1604	1234	1322	1000	2500	1924	2061
1,90	247	618	475	509	328	819	631	676	546	1364	1049	1124	850	2125	1636	1752
2,00	212	530	408	437	281	703	541	579	468	1169	900	964	729	1822	1402	1502
2,10	183	458	352	377	243	607	467	500		1010	777	833			1211	1298
2,20	159	398	306	328		528	406	435			676	724			1054	
2,30		348	268	287		462	356	381			592	634				
2,40		307	236	253			313	335			521					
2,50			209	224			277	297								
2,60			186	199												
2,70			166													

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

Tabla 3.30 Cargas máximas de servicio en Kg/m² para la lámina CORPALOSA (1,5”cm). Calibre 22

Fuente: Elaboración propia.

Lámina CORPALOSA. Calibre 22																
Esesor de losa(cm)	9				10				12				14			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga máxima de servicio (Kg/m ²)															
1,00	1575	3936	3029	3245	2098	5243	4035	4322	3514	8782	6758	7240	5503	13751	10583	11336
1,10	1183	2957	2276	2438	1576	3939	3032	3247	2640	6598	5078	5439	4134	10332	7951	8517
1,20	911	2278	1753	1878	1214	3034	2335	2501	2034	5082	3911	4190	3184	7958	6124	6560
1,30	717	1792	1379	1477	955	2387	1837	1967	1600	3997	3076	3295	2505	6259	4817	5160
1,40	574	1434	1104	1182	765	1911	1470	1575	1281	3200	2463	2638	2005	5011	3857	4131
1,50	467	1166	897	961	622	1554	1196	1281	1041	2602	2002	2145	1630	4074	3136	3359
1,60	385	961	740	792	512	1280	985	1055	858	2144	1650	1767	1343	3357	2584	2768
1,70	321	801	617	660	427	1067	821	880	715	1788	1376	1474	1120	2799	2154	2307
1,80	270	675	519	556	360	899	692	741	603	1506	1159	1241	944	2358	1815	1944
1,90	230	574	442	473	306	764	588	630	512	1280	985	1055	*	*	1543	1653
2,00	197	492	379	406	262	655	504	540	*	*	845	905			1323	1417
2,10	170	425	327	350	*	566	436	467			730	782			*	*
2,20	*	370	284	305		*	379	406			635	*				
2,30		*	249	267			332	355			*					
2,40			219	235			*	*								
			*	*												

Nota: Estas cargas no incluyen la carga de construcción de la losa.

* Máxima longitud permitida entre apoyos en el montaje de la lámina

3.3 CONDICIÓN DE RESISTENCIA.

El diseño de las losas mixtas de acero-concreto reforzadas está basado en la capacidad de carga de acuerdo al modo de falla que gobierna.

Los siguientes modos son los de principal importancia en el diseño: la falla por adherencia al corte y la falla por flexión tanto en las losas subreforzadas como sobreforzadas.

Un estudio exhaustivo tanto teórico como experimental fue realizado en Iowa State University, bajo la tutela del American Iron and Steel Institute para investigar las recomendaciones del diseño y comportamiento característico en los modos de falla. Un total de 353 muestras fueron probadas para determinar las propiedades de la resistencia. Estas pruebas indicaron que la falla por adherencia es el modo más probable a ocurrir.

3.3.1 Resistencia al corte por adherencia.

Este modo de falla por adherencia es caracterizado por la formación de una grieta diagonal por tensión en el concreto, en o cerca de los puntos de aplicación de la carga, seguido por la

pérdida de unión entre el concreto y el sofito. Esto da como resultado un observable deslizamiento al final de la luz de la losa. Este deslizamiento causa la pérdida de acción conjunta entre el acero y el concreto en la parte de la luz considerada como una zona de corte (L'). Físicamente la zona de corte es la región entre la reacción de los soportes y la carga concentrada.

El deslizamiento usualmente ocurre al instante en que se alcanza la carga última de falla, V_e , y está seguido por una disminución significativa de la carga (si se utiliza un sistema de carga hidráulico). La Figura 3.3 indica un modelo con modo de falla por adherencia donde se observan la grieta y el deslizamiento mencionado. Este deslizamiento normalmente ocurre en un lado de la losa y es acompañado por un incremento en la deflexión. Algunos prototipos muestran pequeños desplazamientos incluso antes de la falla, aunque el deslizamiento total usual es menos que 1,5 mm.

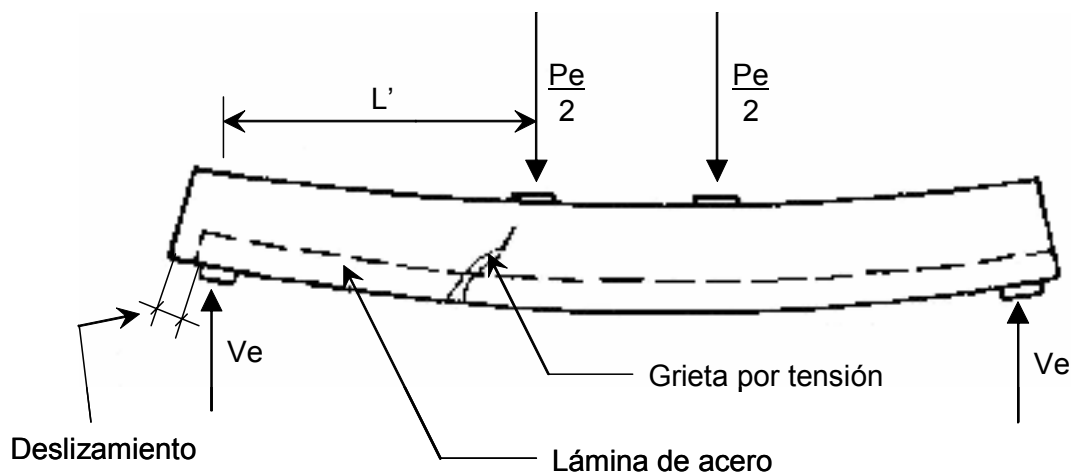


Figura 3.3 Modelo con modo de falla por adherencia

Fuente: Modificado del Artículo “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”

Es necesaria la realización de pruebas ya que cada sofito tiene su forma propia de mecanismo de transferencia de corte. El propósito de estas pruebas es el de suministrar datos para desarrollar las ecuaciones de resistencia última. Particularmente, son requeridos una serie de pruebas para, por medio de un análisis por regresión lineal, determinar los parámetros que afectan la capacidad de adherencia de corte. Para el caso del modo de falla por flexión, se debe realizar un análisis particular.

Como desde el diseño original este tipo de losas mixtas han sido principalmente cargadas en una dirección (paralela a las corrugaciones del sofito), la ejecución de las pruebas se ha

realizado siguiendo el tipo de carga en esta dirección. (Ver Figura 3.4). El sistema de cargas correspondiente se trata de dos líneas de carga ubicadas simétricamente como lo indica la Figura 3.4.

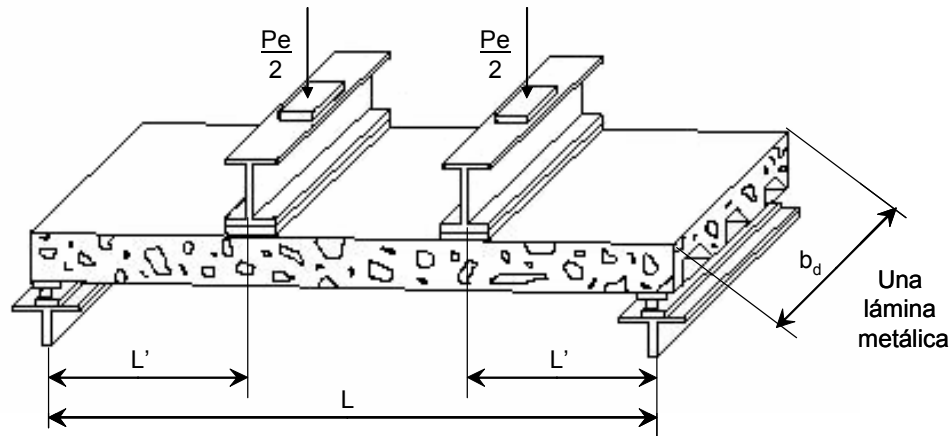


Figura 3.4 Modelo típico de prueba de lámina metálica

Fuente: Modificado del Artículo “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”

La ejecución de las muestras requiere la documentación de los parámetros que afectan la capacidad del sofito metálico. Las variables que deben ser documentadas son: el fabricante y tipo de sofito, longitud de corte (L'), las propiedades del concreto, incluyendo la edad, f'_c , tipo de mezcla, tipo de concreto (normal o liviano), y tipo de tamaño máximo de los agregados; las propiedades de las láminas así como la sección transversal de acero (A_s), localización del centroide de la lámina (y_{sb}) desde el punto inferior de ésta, el calibre de la lámina (t_d), la profundidad del sofito (h_r), el momento de inercia de la lámina (I_s), el esfuerzo de cedencia (F_y); el módulo de elasticidad (E_s) y las condiciones de superficie del sofito; el peso por carga muerta, la última carga aplicada (P_e), el último corte resultante en la prueba (V_e) y el tipo de aplicación de la carga; el tipo de falla y su descripción; las dimensiones de la lámina, incluyendo longitud (L), altura total incluido el concreto (h) (el promedio a lo largo de la sección y en el sitio de falla), espaciamiento de los mecanismos de transferencia de corte (S) el cual puede variar de una lámina a otra y finalmente la deflexión y el comportamiento del deslizamiento.

Para aquellas muestras que hayan fallado por adherencia por corte, se ha hecho un gráfico con

los parámetros $\frac{V_e S}{bd\sqrt{f'_c}}$ en las ordenadas y $\frac{\rho d}{L'\sqrt{f'_c}}$ en el eje de las abscisas. (Ver Figura 3.5).

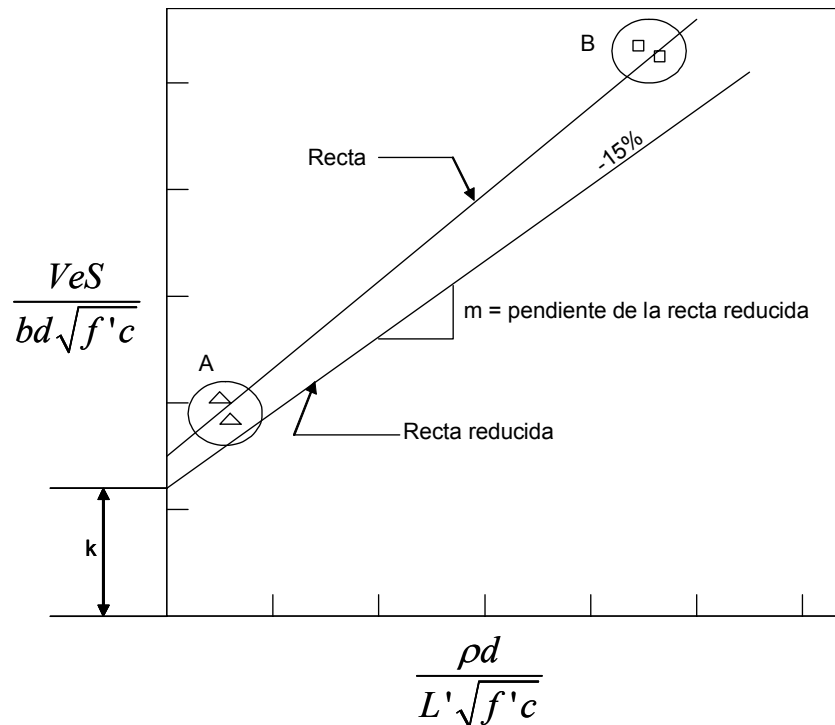


Figura 3.5 Gráfico típico que relaciona los parámetros que intervienen en una falla por adherencia en una lámina metálica

Fuente: Modificado del Artículo “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”

En dicho gráfico se muestra una regresión lineal realizada para determinar la pendiente (m) y la intersección (k) para poder prever una ecuación que pueda determinar la capacidad última de corte. (Ecuación 22)

$$\frac{V_u S}{bd\sqrt{f'_c}} = \frac{m\rho d}{L'\sqrt{f'_c}} + k \quad (22)$$

en la cual la última capacidad de corte es definido como V_u ; ρ representa la relación A_s/bd ; d es la profundidad efectiva desde la fibra más comprimida hasta el centroide del sofito.

El desarrollo de la Ecuación 22 está basado en los resultados de 151 pruebas realizadas por diferentes fabricantes y 304 pruebas realizadas en Iowa State University. Esta ecuación es similar en forma a la ecuación 11-A del American Concrete Institute (ACI) Building Code.

En la misma Figura 3.5 se muestra una recta reducida, la cual es obtenida reduciendo la pendiente y el sitio de intersección con el eje en un 15%. El propósito de esta reducción es considerar el insuficiente número de pruebas y las variaciones que podrían ocurrir en los resultados de las pruebas debido a los cambios en el perfil del sofito, en el espaciamiento de

los mecanismos de transferencia de corte y el tamaño de las muestras. Para el diseño, los valores de m y k deben ser los valores ya reducidos en el 15%.

El término S en la Ecuación 22 corresponde al espaciamiento de los mecanismos de transferencia de corte y es tomado como un valor constante igual a 1 en aquellos casos donde estos mecanismos estén espaciados uniformemente a lo largo del perfil (como los embosados) o cuando la acción compuesta es garantizada por las corrugaciones de la superficie de la lámina. Un espaciamiento de S distinto sería para aquellos sofitos que utilicen alambres de transferencia, arandelas, planchas perforadas donde su espaciamiento pueda variar de una lámina a otra. Por ejemplo, si en un sofito metálico que posee alambres de transferencia espaciados a 80 mm centro a centro, y en otra lámina se espacian a 150 mm, el valor de S en la ecuación será 80 mm y 150 mm, respectivamente. La Ecuación 22 no ha sido probada para láminas que posean conectores de corte espaciados irregularmente a lo largo del perfil. En la Figura 1.5 se muestran varios ejemplos de mecanismos de corte con sus distancias S correspondientes.

Para establecer la línea mostrada en la Figura 3.5 más representativa es necesario establecer un rango de valores prácticos para los valores de las ordenadas y las abscisas. Por esto es necesario un número de pruebas suficiente para asegurar una buena representación de los valores k y m . Estos pueden ser suministrados por un mínimo de dos muestras en cada una de las regiones opuestas de la recta, es decir **A** y **B** en la Figura 3.5. Como las principales variables son la profundidad d y la longitud de corte L' , una combinación de cambios que afecten a estas dos variables usualmente da una representación adecuada de la recta graficada. Para la región **A**, se debe disponer de una luz de corte tan larga como sea posible, siempre que se produzca una falla por adherencia. En el otro extremo en la región **B** debe disponerse de la menor luz de corte posible, aproximadamente 18 plg (457 mm). Una distancia inferior a ésta no es recomendada debido a los efectos que se generan al tener el punto de aplicación de la carga tan cerca de los apoyos.

La proyección de la recta de la Figura 3.5 es necesaria para cada perfil del sofito, asimismo como para: cada calibre nominal de la lámina, cada superficie distinta, cada tipo de concreto (normal o liviano).

Para el cálculo de la resistencia última al corte, según lo indican Porter y Ekberd en sus trabajos, por conveniencia se puede acomodar la Ecuación 22 de la siguiente forma.

$$V_u = \frac{bd}{S} \left(\frac{m\rho d}{L'} + k\sqrt{f'_c} \right) \quad (23)$$

Como ha sido explicado anteriormente, la distancia L' es la distancia desde la reacción hasta el punto de aplicación de la carga concentrada. Para sistemas con cargas uniformemente distribuidas, L' es tomada como $L/4$, un cuarto de la longitud de la luz. La distancia $L/4$ es hallada igualando las áreas de corte de los diagramas de corte de sistemas con cargas puntuales y cargas uniformemente distribuidas, como se muestra en la Figura 3.6.

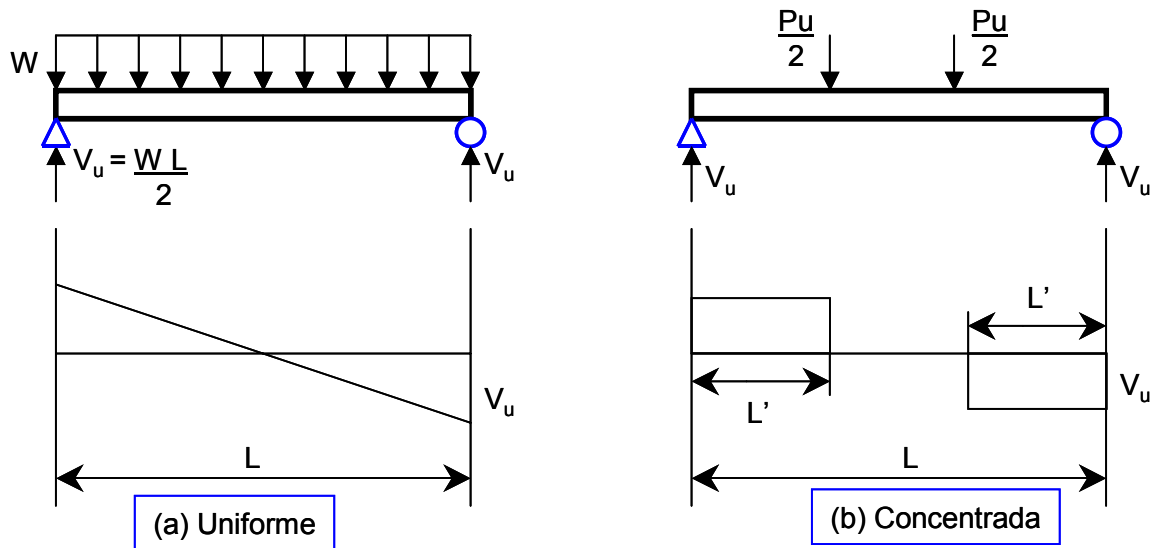


Figura 3.6 Diagramas de corte de carga uniforme y carga concentrada.

Fuente: Modificado del Artículo Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs

Esta Figura 3.6 muestra los diagramas de corte para cargas concentradas y para cargas distribuidas. El área de la parte izquierda del diagrama de corte en el caso (a) es $(1/2) * (V_u L/2)$ y el área del diagrama para el caso (b) de la misma Figura 3.6 es $V_u * L'$. Igualando estas áreas para los casos (a) y (b) se obtiene que $L' = L/4$.

Esta comparación de la Figura 3.6 (a) y Figura 3.6 (b) es para la carga aplicada, que provee igual corte final e igual momento en el centro de la losa. Las correspondientes deflexiones son sólo 10% mayor en el centro de la luz para el caso de carga concentrada. Tres pares de pruebas de losas mixtas con cargas concentradas versus distribuidas indican que el uso de un cuarto de la luz para casos de carga distribuida es razonablemente válido. Si se trata de muchas cargas puntuales, el calculista puede elegir tratar el sistema como una carga uniformemente distribuida equivalente a las cargas concentradas.

Combinaciones de cargas distribuidas y concentradas deben requerir una atención especial para la selección de L' . En algunos casos estas combinaciones de tipos de cargas pudieran requerir de pruebas para determinar L' . En lugar de pruebas, también pudiera hallarse la longitud L' igualando las áreas de corte de los diagramas. El procedimiento para obtener un valor de L' para las combinaciones de carga concentrada y uniforme se muestran en la Figura 3.7.

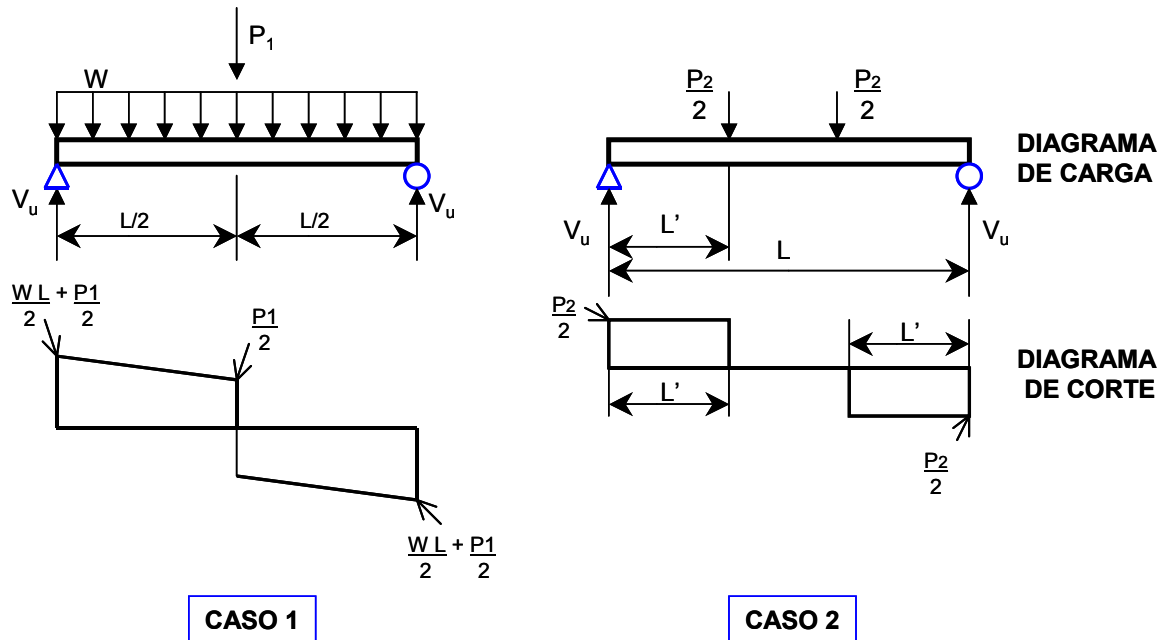


Figura 3.7 Comparación de Sistema con carga uniforme + carga concentrada y Sistema con dos cargas concentradas.

Fuente: Modificado del Artículo Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs

El área de corte para el CASO 1 se expresa

$$AREA_{CASO1} = \left(\frac{P_1}{2}\right)\left(\frac{L}{2}\right) + \left(\frac{WL}{2}\right)\left(\frac{L}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)$$

mientras que para el CASO 2 es

$$AREA_{CASO2} = \frac{P_2}{2}L'$$

Reemplazando el término P_2 con $P_1 + WL$, e igualando las expresiones de áreas, se obtiene la Ecuación 24.

$$L' = \frac{\left(\frac{P_1 L}{4} + \frac{W L^2}{8} \right)}{\left(\frac{P_1}{2} + \frac{W L}{2} \right)} \quad (24)$$

La Ecuación 24 es aplicada para el siguiente rango de valores $L/4 \leq L' \leq L/2$ para varias combinaciones de P_1 y W .

La mayoría de los diseños de las losas mixtas están basados en cargas uniformes.

De esta manera sustituyendo L' por $L/4$, incluyendo un factor de reducción de capacidad ϕ y agregando un factor de corrección por posible apuntalamiento γ , la Ecuación 23 puede ser rescrita como sigue

$$V_u = \phi \left[\frac{d}{S} \left(\frac{4m\rho d}{L} + 12k\sqrt{f'_c} \right) + \frac{\gamma W_1 L}{2} \right]$$

ó

$$V_u = \phi \left[\frac{d}{S} \left(\frac{m A_s}{3L} + 12k\sqrt{f'_c} \right) + \frac{\gamma W_1 L}{2} \right]$$

El término $\frac{\gamma W_1 L}{2}$ representa la carga muerta correspondiente al sistema de piso mixto, donde

W_1 el peso de la losa (peso del soffito y el concreto fresco). La Tabla 3.31 indica los valores de γ que representa la porción de carga muerta agregada una vez removidos los apuntalamientos.

Tabla 3.31 Valores de γ para varias condiciones de soporte

Fuente: Modificado del Artículo “Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs”

Condición de soporte	γ
Soporte completo	1,0
Sin apuntalamiento	0
Apuntalamiento en el centro	0,625

La condición de “soporte completo” indica que la lámina de acero ha estado uniformemente soportada durante la prueba a lo largo de toda su longitud y por esto no ha cargado su peso

propio durante la construcción. Por esto, al remover su soporte completo todo el peso propio de la losa es cargado. Esta condición se presenta únicamente en las muestras de laboratorio.

El caso opuesto es el caso de apuntalamiento nulo o soporte nulo. Para este caso, el soffito metálico carga el peso de la carga muerta durante la prueba. El caso en que la losa es sólo apuntalada en el centro de su luz, durante la prueba parte de la carga muerta es soportada por el puntal central. Cuando este puntal es removido el máximo corte agregado a la sección

compuesta es $\frac{5}{8} \frac{W_1 L}{2}$ ó $\gamma = 5/8 = 0,625$ como se indica en la Tabla 3.31. Para los casos en que

interfieran dos o más soportes el factor γ debe ser determinado de manera similar que para el caso de un solo puntal. Los tres valores de γ dados en la Tabla 3.31 son para sistemas simplemente apoyados únicamente.

Todas estas ecuaciones mencionadas anteriormente, calculadas por los ensayos experimentales, son las que han regido el diseño de las losas por falla de adherencia al corte, y son las mismas ecuaciones a que hace referencia la Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” para el cálculo de las resistencias, con algunas diferencias de nomenclatura.

Esta misma norma establece en el comentario de su Capítulo 29 que es absolutamente esencial establecer de manera experimental las características de adherencia en cualquier sistema de losas mixtas de acero-concreto. Los ensayos se deben realizar de acuerdo con los detalles dados por la American Society of Civil Engineers o por el Canadian Sheet Building Institute. Estos ensayos de laboratorio deben simular lo más posible las condiciones que se dan en la práctica constructiva. Asimismo, el factor de minoración de resistencia por corte por adherencia es $\phi_v = 0,60$.

3.3.2 Resistencia a flexión.

Porter y Ekberg (1976) indican que los modos de falla por flexión en las losas subreforzadas y sobreforzadas son similares a aquellos que ocurren en el concreto reforzado. La falla de una losa mixta subreforzada esta principalmente caracterizada por la cedencia del acero de la totalidad del soffito metálico en la sección de máximo momento positivo. Contrariamente, la falla de una losa mixta sobreforzada está caracterizada principalmente por el agrietamiento

del concreto en la sección de máximo momento positivo. Pueden ocurrir pequeños deslizamientos antes de la falla por flexión.

Las capacidades por flexión están separadas en secciones subreforzadas y sobreforzadas de acuerdo a la relación de compresión altura.

Las losas cuya relación compresión/altura, (c/d) (Ecuación 25), sea menor que la condición balanceada $(c/d)_b$ definida en la Ecuación 26, se considerarán subreforzadas, en caso contrario se clasificará como sobreforzadas.

$$(c/d) = \frac{A_s F_y}{0,85 f'_c b d \beta_1} \quad (25)$$

$$(c/d)_b = \frac{6300(h-d)}{(6300 + F_y)d} \quad (26)$$

donde b es el ancho unitario de la losa ($b = 1000$ mm), d la altura del sofito metálico, h la altura nominal de la losa, medida externamente desde el sofito hasta el tope del concreto, y β_1 tiene un valor de 0,85 para concretos de una resistencia menor a $f'_c \leq 300$ Kg/cm², y para concretos con $f'_c > 300$ Kg/cm², $\beta_1 = 0,85 - 7,85 \cdot 10^{-4} (f'_c - 300) \geq 0,65$.

Ambas losas, subreforzadas y sobreforzadas tienen su modo de estudio.

a) Losas subreforzadas.

La resistencia minorada a momentos positivos en la losa mixta acero concreto será $\phi_s M_{ru}$, donde el valor de M_{ru} se calcula con la Ecuación 27.

$$M_{ru} = A_s F_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (27)$$

donde

$$a = \frac{\phi_s A_s F_y}{0,85 \phi_c f'_c b}$$

La Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”, indica que los valores de ϕ_s y ϕ_c como factores de minoración de las resistencias, tendrán un valor de 0,9 y 0,6 respectivamente, al tratarse de losas mixtas con sofitos de acero galvanizado y de concreto en flexión.

Esta Norma también indica que la Ecuación 27 sólo será válida para losas mixtas que sean capaces de desarrollar la tensión cedente en la totalidad de la sección del sofito. Esta ecuación

no toma en cuenta el acero de refuerzo que pueda existir adicionalmente al del sofito ni tampoco el caso de que una porción del sofito esté en la zona de compresión dentro de la sección a flexión. En estos casos, la resistencia minorada a flexión se calculará de un análisis de compatibilidad de deformaciones.

b) Losas sobrerreforzadas

La resistencia minorada a flexión para momentos positivos en la losa será $\phi_c M_{ro}$.

$$M_{ro} = k_1 f'_c b c (d - k_2 c) \quad (28)$$

donde

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

con

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$m = \frac{\phi_s E_s \varepsilon_{cu}}{k_1 \phi_c f'_c}$$

$$k_1 = 0,723 \text{ para concretos con resistencia } f'_c \leq 300 \text{ Kgf/cm}^2;$$

$$\text{para } f'_c > 300 \text{ Kgf/cm}^2, k_1 = 0,723 - 6,69 * 10^{-4} (f'_c - 300) \geq 0,553$$

$$k_2 = 0,425 \text{ para concretos con resistencia } f'_c \leq 300 \text{ Kgf/cm}^2;$$

$$\text{para } f'_c > 300 \text{ Kgf/cm}^2, k_2 = 0,425 - 3,92 * 10^{-4} (f'_c - 300) \geq 0,325$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,003$$

La Ecuación 28 es válida solamente para losas mixtas acero-concreto en la cual ninguna parte del sofito esta cediendo. Si ocurre cedencia en el sofito, la resistencia minorada a flexión se determinará de un análisis de compatibilidad de deformaciones o mediante ensayos.

3.3.3 Determinación de resistencia de las losas mixtas

En este trabajo de investigación los cálculos realizados fueron con concretos de $f'_c=200$ y 250 Kgf/cm^2 , por lo tanto β_1 siempre tuvo un valor de 0,85. Igualmente el F_y especificado para todas las láminas de acero es 2320 Kgf/cm^2 .

Los valores obtenidos de la relación compresión/altura (c/d) calculados con la Ecuación 25, se muestran a continuación para valores de $f'c=200$ y 250 Kg/cm^2 en la Tabla 3.32 y Tabla 3.33 respectivamente.

Tabla 3.32 Relación compresión/altura (c/d) para cada tipo de lámina para un concreto de $f'c= 200\text{Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

$f'c=200 \text{ Kgf/cm}^2$				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14
Calibre	Relación c/d			
LOSACERO				
18	0,6650	0,6650	0,6650	0,6650
20	0,5002	0,5002	0,5002	0,5002
22	0,3898	0,3898	0,3898	0,3898
SIGALDECK 1,5"				
20	0,5025	0,5025	0,5025	0,5025
22	0,3898	0,3898	0,3898	0,3898
24	0,3337	0,3337	0,3337	0,3337
SIGALDECK 3"				
18				0,3544
20				0,2652
22				0,2060
PLACACERO				
18			0,4146	0,4146
20			0,3113	0,3113
22			0,2423	0,2423
24			0,2078	0,2078
LUVITEC Sección 36/15				
18	0,6886	0,6886	0,6886	0,6886
20	0,5126	0,5126	0,5126	0,5126
22	0,4209	0,4209	0,4209	0,4209
24	0,2959	0,2959	0,2959	0,2959
LUVITEC Sección 4				
18			0,3913	0,3913
20			0,2981	0,2981
22			0,2438	0,2438
24			0,1720	0,1720
CORPALOSA				
18	0,6964	0,6964	0,6964	0,6964
20	0,5238	0,5238	0,5238	0,5238
22	0,4371	0,4371	0,4371	0,4371

Tabla 3.33 Relación compresión/altura (c/d) para cada tipo de lámina para un concreto de $f'c= 250\text{Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

$f'c=250 \text{ Kgf/cm}^2$				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14
Calibre	Relación c/d			
LOSACERO				
18	0,5320	0,5320	0,5320	0,5320
20	0,4002	0,4002	0,4002	0,4002
22	0,3118	0,3118	0,3118	0,3118
SIGALDECK 1,5"				
20	0,4020	0,4020	0,4020	0,4020
22	0,3118	0,3118	0,3118	0,3118
24	0,2669	0,2669	0,2669	0,2669
SIGALDECK 3"				
18				0,2835
20				0,2122
22				0,1648
PLACACERO				
18			0,3317	0,3317
20			0,2491	0,2491
22			0,1939	0,1939
24			0,1662	0,1662
LUVITEC Sección 36/15				
18	0,5509	0,5509	0,5509	0,5509
20	0,4101	0,4101	0,4101	0,4101
22	0,3367	0,3367	0,3367	0,3367
24	0,2367	0,2367	0,2367	0,2367
LUVITEC Sección 4				
18			0,3131	0,3131
20			0,2385	0,2385
22			0,1950	0,1950
24			0,1376	0,1376
CORPALOSA				
18	0,5572	0,5572	0,5572	0,5572
20	0,4191	0,4191	0,4191	0,4191
22	0,3497	0,3497	0,3497	0,3497

Del mismo modo se calcularon las condiciones de compresión/altura balanceada, $(c/d)_b$, con la Ecuación 26 y sus resultados se muestran en la Tabla 3.34 para ambos tipos de concreto, ya que este valor no interviene en estos resultados.

Tabla 3.34 Relación compresión/altura balanceada $(c/d)_b$ para cada tipo de lámina.

Fuente: Elaboración propia.

espesor de losa (cm)	9	10	12	14
Calibre	Relación $(c/d)_b$			
LOSACERO				
18	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
20	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
22	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
SIGALDECK 1,5"				
20	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
22	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
24	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
SIGALDECK 3"				
18				0,6119
20				0,6119
22				0,6119
PLACACERO				
18			0,7309	0,9745
20			0,7309	0,9745
22			0,7309	0,9745
24			0,7309	0,9745
LUVITEC Sección 36/15				
18	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
20	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
22	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
24	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
LUVITEC Sección 4				
18			0,6503	0,8805
20			0,6503	0,8805
22			0,6503	0,8805
24			0,6503	0,8805
CORPALOSA				
18	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
20	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547
22	0,9956	1,1874	1,5711	1,9547

Realizando la comparación de la Tabla 3.32 y la Tabla 3.34, así como la Tabla 3.33 y la Tabla 3.34, se demuestra que todas las losas actúan en una condición subreforzada.

De este modo las ecuaciones utilizadas son las ecuaciones correspondientes al cálculo de los momentos minorados positivos para losas subreforzadas. A continuación se presentan los momentos minorados para cada tipo de lámina para concretos de $f'c = 200$ y 250 Kg/cm^2 , en la Tabla 3.35 y Tabla 3.36 respectivamente.

Tabla 3.35 Valores de a y Momentos Minorados positivos para cada lámina de acerocon concreto de $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$. ($\phi_s=0,9$ y $\phi_c=0,6$)

Fuente: Elaboración propia.

$f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$		
Calibre	a (cm)	$\phi_s M_{ru}$ (Kgf*m)
LOSACERO		
18	3,23	723
20	2,43	643
22	1,89	553
SIGALDECK 1,5"		
20	2,44	645
22	1,89	553
24	1,62	496
SIGALDECK 3"		
18	3,44	2071
20	2,58	1664
22	2,00	1351
PLACACERO		
18	3,17	1428
20	2,38	1168
22	1,85	959
24	1,59	844
LUVITEC Sección 36/15		
18	3,34	729
20	2,49	651
22	2,04	581
24	1,44	453
LUVITEC Sección 4		
18	3,17	1540
20	2,41	1266
22	1,97	1080
24	1,39	803
CORPALOSA		
18	3,38	731
20	2,54	659
22	2,12	595

Tabla 3.36 Valores de a y Momentos Minorados positivos para cada lámina de acerocon concreto de $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$. ($\phi_s=0,9$ y $\phi_c=0,6$)

Fuente: Elaboración propia

$f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$		
Calibre	a (cm)	$\phi_s M_{ru}$ (Kgf*m)
LOSACERO		
18	2,58	830
20	1,94	703
22	1,51	590
SIGALDECK 1,5"		
20	1,95	705
22	1,51	590
24	1,30	523
SIGALDECK 3"		
18	2,75	2192
20	2,06	1732
22	1,60	1392
PLACACERO		
18	2,54	1531
20	1,91	1226
22	1,48	994
24	1,27	870
LUVITEC Sección 36/15		
18	2,68	843
20	1,99	715
22	1,64	624
24	1,15	474
LUVITEC Sección 4		
18	2,53	1643
20	1,93	1326
22	1,58	1119
24	1,11	823
CORPALOSA		
18	2,71	848
20	2,04	725
22	1,70	641

De este modo, igualando los momentos minorados positivos a las expresiones de momentos positivos de la Tabla 3.1, para cargas uniformemente distribuidas, y despejando la carga obtenemos una expresión como la siguiente: (Ecuación 29)

$$q = \frac{\phi_s M_{ru}}{\#L^2} \quad (29)$$

donde # son los menores valores de la Tabla 3.1 para momentos positivos y cargas distribuidas.

Así se calcularon las cargas mayoradas para cada tipo de lámina, según su calibre y resistencia del concreto. A continuación se presentan la Tabla 3.37, Tabla 3.38, Tabla 3.39, Tabla 3.40, Tabla 3.41, Tabla 3.42 y Tabla 3.43 que muestran las cargas mayoradas para cada lámina con una resistencia del concreto de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

Estas cargas sí incluyen las cargas del peso propio y las cargas vivas ya mayoradas.

Tabla 3.37 Cargas últimas mayoradas para la lámina LOSACERO con resistenciadel concreto de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

Fuente: Elaboración propia

		$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$											
		LOSACERO											
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)		Carga última mayorada (Kg/m^2)											
1,00		5786	10287	9040	9368	5145	9149	8040	8331	4424	7866	6913	7163
1,10		4781	8502	7471	7742	4252	7561	6644	6885	3656	6501	5713	5920
1,20		4018	7144	6278	6505	3573	6353	5583	5786	3072	5463	4800	4975
1,30		3423	6087	5349	5543	3045	5414	4757	4930	2618	4655	4090	4239
1,40		2952	5249	4612	4779	2625	4668	4102	4251	2257	4013	3527	3655
1,50		2571	4572	4018	4163	2287	4066	3573	3703	1966	3496	3072	3184
1,60		2260	4018	3531	3659	2010	3574	3141	3254	1728	3073	2700	2798
1,70		2002	3560	3128	3241	1780	3166	2782	2883	1531	2722	2392	2479
1,80		1786	3175	2790	2891	1588	2824	2481	2571	1365	2428	2134	2211
1,90		1603	2850	2504	2595	1425	2534	2227	2308	1225	2179	1915	1984
2,00		1446	2572	2260	2342	1286	2287	2010	2083	1106	1967	1728	1791
2,10		1312	2333	2050	2124	1167	2075	1823	1889			1567	1624
2,20		1195	2125	1868	1935	1063	1890	1661	1721			1428	1480
2,30		1094	1945	1709	1771		1729	1520	1575			1307	
2,40		1004	1786	1569	1626			1396	1446				
2,50			1646	1446	1499			1286	1333				
2,60			1522	1337	1386			1189					
2,70				1240	1285								
2,80				1153	1195								
2,90				1075									

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

(1,2CP + 1,6CV)

Tabla 3.38 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 1,5" con resistencia del concreto de $f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

$f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$												
SIGALDECK 1,5"												
Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24				
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kgf/m^2)											
1,00	5158	9171	8059	8351	4424	7866	6912	7163	3967	7054	6199	6424
1,10	4263	7579	6660	6902	3656	6501	5712	5920	3279	5830	5123	5309
1,20	3582	6369	5597	5800	3072	5462	4800	4974	2755	4899	4305	4461
1,30	3052	5427	4769	4942	2618	4654	4090	4238	2348	4174	3668	3801
1,40	2632	4679	4112	4261	2257	4013	3527	3654	2024	3599	3163	3277
1,50	2292	4076	3582	3712	1966	3496	3072	3183	1763	3135	2755	2855
1,60	2015	3582	3148	3262	1728	3073	2700	2798	1550	2756	2421	2509
1,70	1785	3173	2789	2890	1531	2722	2392	2478	1373	2441	2145	2223
1,80	1592	2831	2487	2578	1365	2428	2133	2211	1224	2177	1913	1983
1,90	1429	2540	2232	2313	1225	2179	1915	1984			1717	1779
2,00	1289	2293	2015	2088			1728	1791			1550	
2,10	1170	2080	1827	1894			1567	1624				
2,20		1895	1665	1725			1428					
2,30			1523	1579								
2,40			1399									

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

(1,2CP + 1,6CV)

Tabla 3.39 Cargas últimas mayoradas para la lámina SIGALDECK 3” con resistencia del concreto de $f'c= 200 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

SIGALDECK 3"												
	Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22			
Condiciones de apoyos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kg/m^2)											
1,00	16571	29465	25892	26831	13313	23672	20802	21557	10810	19222	16891	17504
1,10	13695	24351	21398	22174	11003	19564	17192	17815	8934	15886	13960	14466
1,20	11508	20462	17981	18633	9245	16439	14446	14970	7507	13348	11730	12155
1,30	9805	17435	15321	15876	7878	14007	12309	12755	6397	11374	9995	10357
1,40	8455	15033	13210	13689	6793	12078	10613	10998	5515	9807	8618	8930
1,50	7365	13095	11508	11925	5917	10521	9245	9581	4805	8543	7507	7779
1,60	6473	11510	10114	10481	5201	9247	8126	8421	4223	7508	6598	6837
1,70	5734	10195	8959	9284	4607	8191	7198	7459	3741	6651	5845	6057
1,80	5114	9094	7991	8281	4109	7306	6420	6653	3337	5933	5213	5402
1,90	4590	8162	7172	7432	3688	6557	5762	5971	2995	5325	4679	4849
2,00	4143	7366	6473	6708	3328	5918	5201	5389	2703	4805	4223	4376
2,10	3758	6681	5871	6084	3019	5368	4717	4888	2451	4359	3830	3969
2,20	3424	6088	5350	5544	2751	4891	4298	4454	2234	3971	3490	3616
2,30	3132	5570	4895	5072	2517	4475	3932	4075	2044	3634	3193	3309
2,40	2877	5115	4495	4658	2311	4110	3611	3742	1877	3337	2932	3039
2,50	2651	4714	4143	4293	2130	3788	3328	3449			2703	2801
2,60	2451	4359	3830	3969	1969	3502	3077	3189			2499	2589
2,70	2273	4042	3552	3681	1826	3247	2854	2957			2317	
2,80	2114	3758	3303	3422			2653	2750				
2,90	1970	3504	3079	3190			2474	2563				
3,00	1841	3274	2877	2981			2311					
3,10	1724	3066	2694	2792								
3,20			2529	2620								
3,30			2378	2464								
3,40			2240									
3,50			2114									

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

Tabla 3.40 Cargas últimas mayoradas para la lámina PLACACERO con resistencia del concreto de $f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

		$f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$															
		PLACACERO															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)		Carga última mayorada (Kgf/m^2)															
1,00		11424	20314	17851	18498	9346	16618	14603	15133	7674	13645	11991	12426	6752	12005	10549	10932
1,10		9442	16788	14752	15288	7724	13734	12069	12506	6342	11277	9910	10269	5580	9921	8718	9035
1,20		7934	14107	12396	12846	6490	11540	10141	10509	5329	9476	8327	8629	4689	8337	7326	7592
1,30		6760	12020	10562	10946	5530	9833	8641	8954	4541	8074	7095	7353	3995	7103	6242	6469
1,40		5829	10364	9107	9438	4768	8479	7451	7721	3915	6962	6118	6340	3445	6125	5382	5577
1,50		5077	9028	7934	8221	4154	7386	6490	6726	3411	6065	5329	5523	3001	5335	4689	4859
1,60		4463	7935	6973	7226	3651	6491	5704	5911	2998	5330	4684	4854	2637	4689	4121	4270
1,70		3953	7029	6177	6401	3234	5750	5053	5236	2655	4722	4149	4300	2336	4154	3650	3783
1,80		3526	6270	5509	5709	2885	5129	4507	4671	2369	4212	3701	3835	2084	3705	3256	3374
1,90		3165	5627	4945	5124	2589	4603	4045	4192	2126	3780	3322	3442	1870	3325	2922	3028
2,00		2856	5078	4463	4624	2336	4155	3651	3783	1919	3411	2998	3106	1688	3001	2637	2733
2,10		2591	4606	4048	4195	2119	3768	3311	3431	1740	3094	2719	2818			2392	2479
2,20		2360	4197	3688	3822	1931	3433	3017	3127	1586	2819	2477	2567			2180	2259
2,30		2160	3840	3374	3497	1767	3141	2761	2861			2267	2349				
2,40		1983	3527	3099	3211	1623	2885	2535	2627			2082					
2,50		1828	3250	2856	2960			2336	2421								
2,60		1690	3005	2641	2736			2160	2239								
2,70		1567	2786	2449	2537			2003									
2,80		1457	2591	2277	2359												
2,90				2123	2200												
3,00				1983	2055												
3,10				1857													

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

(1,2CP + 1,6CV)

Tabla 3.41 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 36/15con resistencia del concreto de $f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

		$f'c = 200 \text{ Kgf/cm}^2$															
		LUVITEC Sección 36/15															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kgf/m^2)																
1,00	5834	10374	9116	9447	5212	9267	8144	8439	4651	8270	7267	7531	3626	6447	5665	5870	
1,10	4822	8574	7534	7807	4307	7659	6730	6974	3844	6835	6006	6224	2996	5328	4682	4852	
1,20	4052	7204	6331	6560	3619	6436	5655	5860	3230	5743	5047	5230	2518	4477	3934	4077	
1,30	3452	6138	5394	5590	3084	5484	4819	4994	2752	4893	4300	4456	2145	3815	3352	3474	
1,40	2977	5293	4651	4820	2659	4728	4155	4306	2373	4219	3708	3842	1850	3289	2890	2995	
1,50	2593	4611	4052	4199	2316	4119	3619	3751	2067	3676	3230	3347	1611	2865	2518	2609	
1,60	2279	4052	3561	3690	2036	3620	3181	3296	1817	3230	2839	2942	1416	2518	2213	2293	
1,70	2019	3590	3154	3269	1803	3207	2818	2920	1609	2862	2515	2606	1255	2231	1960	2031	
1,80	1801	3202	2814	2916	1609	2860	2513	2605	1435	2552	2243	2324	1119	1990	1748	1812	
1,90	1616	2874	2525	2617	1444	2567	2256	2338	1288	2291	2013	2086			1569	1626	
2,00	1459	2593	2279	2362	1303	2317	2036	2110	1163	2067	1817	1883			1416		
2,10	1323	2352	2067	2142	1182	2101	1847	1914	1055	1875	1648	1708					
2,20	1205	2143	1883	1952	1077	1915	1683	1744			1501	1556					
2,30	1103	1961	1723	1786		1752	1539	1595			1374						
2,40	1013	1801	1583	1640			1414	1465									
2,50		1660	1459	1511			1303	1350									
2,60		1535	1349	1397													
2,70		1423	1250	1296													
2,80			1163	1205													
2,90			1084	1123													
3,00			1013														

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

(1,2CP + 1,6CV)

Tabla 3.42 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 4 con resistencia del concreto de $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

		$f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$															
		LUVITEC Sección 4															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)		Carga última mayorada (Kg/m^2)															
1,00		12321	21908	19252	19950	10130	18012	15828	16402	8637	15358	13495	13985	6423	11421	10036	10400
1,10		10183	18106	15911	16488	8372	14886	13081	13555	7138	12692	11153	11558	5308	9439	8294	8595
1,20		8556	15214	13369	13854	7035	12508	10992	11390	5998	10665	9372	9712	4460	7931	6969	7222
1,30		7291	12963	11392	11805	5994	10658	9366	9705	5111	9087	7985	8275	3801	6758	5938	6154
1,40		6286	11178	9822	10179	5168	9190	8075	8368	4407	7835	6885	7135	3277	5827	5120	5306
1,50		5476	9737	8556	8867	4502	8005	7035	7290	3839	6826	5998	6216	2855	5076	4460	4622
1,60		4813	8558	7520	7793	3957	7036	6183	6407	3374	5999	5272	5463	2509	4461	3920	4063
1,70		4263	7581	6662	6903	3505	6232	5477	5675	2989	5314	4670	4839	2223	3952	3473	3599
1,80		3803	6762	5942	6157	3126	5559	4885	5062	2666	4740	4165	4316	1982	3525	3098	3210
1,90		3413	6069	5333	5526	2806	4989	4384	4543	2393	4254	3738	3874	1779	3164	2780	2881
2,00		3080	5477	4813	4988	2532	4503	3957	4100	2159	3839	3374	3496	1606	2855	2509	2600
2,10		2794	4968	4365	4524	2297	4084	3589	3719	1959	3482	3060	3171	1456	2590	2276	2358
2,20		2546	4526	3978	4122	2093	3721	3270	3389	1785	3173	2788	2889	1327	2360	2074	2149
2,30		2329	4141	3639	3771	1915	3405	2992	3101	1633	2903	2551	2644	1214	2159	1897	1966
2,40		2139	3803	3342	3464	1759	3127	2748	2848	1499	2666	2343	2428	1115	1983	1742	1806
2,50		1971	3505	3080	3192	1621	2882	2532	2624	1382	2457	2159	2238			1606	1664
2,60		1823	3241	2848	2951	1498	2664	2341	2426	1278	2272	1996	2069			1485	1538
2,70		1690	3005	2641	2737	1390	2471	2171	2250	1185	2107	1851	1918			1377	
2,80		1572	2794	2456	2545	1292	2297	2019	2092	1102	1959	1721	1784				
2,90		1465	2605	2289	2372	1204	2142	1882	1950		1826	1605	1663				
3,00		1369	2434	2139	2217	1126	2001	1759	1822			1499	1554				
3,10		1282	2280	2003	2076		1874	1647	1707			1404	1455				
3,20		1203	2139	1880	1948		1759	1546	1602			1318					
3,30			2012	1768	1832			1453	1506								
3,40			1895	1665	1726			1369	1419								
3,50			1788	1572	1629			1292									
3,60			1690	1485	1539												
3,70				1406	1457												
3,80				1333	1382												
3,90				1266	1312												

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

Tabla 3.44 Cargas últimas mayoradas para la lámina LOSACERO con resistencia del concreto de $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

$f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$													
LOSACERO													
Condiciones de apoyos	Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kgf/m^2)												
1,00	6637	11801	10370	10747	5627	10006	8792	9111	4717	8387	7370	7637	
1,10	5485	9753	8571	8881	4651	8269	7267	7530	3898	6931	6091	6312	
1,20	4609	8195	7202	7463	3908	6948	6106	6327	3275	5824	5118	5303	
1,30	3927	6983	6136	6359	3330	5921	5203	5391	2791	4962	4361	4519	
1,40	3386	6021	5291	5483	2871	5105	4486	4649	2406	4279	3760	3896	
1,50	2950	5245	4609	4776	2501	4447	3908	4050	2096	3727	3275	3394	
1,60	2593	4610	4051	4198	2198	3908	3435	3559	1842	3276	2879	2983	
1,70	2297	4084	3588	3719	1947	3462	3042	3153	1632	2902	2550	2643	
1,80	2048	3642	3201	3317	1737	3088	2714	2812	1456	2588	2275	2357	
1,90	1839	3269	2873	2977	1559	2772	2436	2524	1307	2323	2041	2116	
2,00	1659	2950	2593	2687	1407	2501	2198	2278	1179	2097	1842	1909	
2,10	1505	2676	2352	2437	1276	2269	1994	2066			1671	1732	
2,20	1371	2438	2143	2220	1163	2067	1817	1883			1523	1578	
2,30	1255	2231	1960	2031		1891	1662	1722			1393		
2,40	1152	2049	1800	1866			1526	1582					
2,50		1888	1659	1719			1407	1458					
2,60		1746	1534	1590			1301						
2,70			1423	1474									
2,80			1323	1371									
2,90			1233										

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

(1,2CP + 1,6CV)

Tabla 3.47 Cargas últimas mayoradas para la lámina PLACACERO con resistencia del concreto de $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

		$f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$															
		PLACACERO															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos (m)	Carga última mayorada (Kgf/m^2)																
1,00	12245	21773	19133	19827	9809	17441	15326	15882	7955	14144	12429	12880	6958	12371	10871	11266	
1,10	10120	17994	15812	16386	8106	14414	12666	13126	6574	11689	10272	10644	5750	10224	8985	9310	
1,20	8504	15120	13287	13769	6812	12112	10643	11029	5524	9822	8631	8944	4832	8591	7550	7823	
1,30	7246	12884	11321	11732	5804	10320	9069	9398	4707	8369	7354	7621	4117	7320	6433	6666	
1,40	6248	11109	9762	10116	5004	8898	7820	8103	4058	7216	6341	6571	3550	6312	5547	5748	
1,50	5442	9677	8504	8812	4359	7752	6812	7059	3535	6286	5524	5724	3092	5498	4832	5007	
1,60	4783	8505	7474	7745	3832	6813	5987	6204	3107	5525	4855	5031	2718	4833	4247	4401	
1,70	4237	7534	6620	6861	3394	6035	5303	5496	2752	4894	4301	4457	2408	4281	3762	3898	
1,80	3779	6720	5905	6119	3027	5383	4730	4902	2455	4365	3836	3975	2147	3818	3355	3477	
1,90	3392	6031	5300	5492	2717	4831	4245	4399	2203	3918	3443	3568	1927	3427	3011	3121	
2,00	3061	5443	4783	4957	2452	4360	3832	3971	1989	3536	3107	3220	1739	3093	2718	2816	
2,10	2777	4937	4339	4496	2224	3955	3475	3601	1804	3207	2818	2921			2465	2555	
2,20	2530	4499	3953	4097	2027	3604	3167	3281	1644	2922	2568	2661			2246	2328	
2,30	2315	4116	3617	3748	1854	3297	2897	3002			2350	2435					
2,40	2126	3780	3322	3442	1703	3028	2661	2757			2158						
2,50	1959	3484	3061	3172			2452	2541									
2,60	1811	3221	2830	2933			2267	2349									
2,70	1680	2987	2625	2720			2102										
2,80	1562	2777	2440	2529													
2,90			2275	2358													
3,00			2126	2203													
3,10			1991														

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

Tabla 3.48 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 36/15 con resistencia del concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

		$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$															
		LUVITEC Sección 36/15															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kg/m^2)																
1,00	6747	11997	10543	10925	5718	10167	8934	9258	4992	8876	7800	8083	3794	6746	5928	6143	
1,10	5576	9915	8713	9029	4726	8403	7384	7652	4126	7336	6446	6680	3136	5575	4899	5077	
1,20	4686	8331	7321	7587	3971	7060	6204	6429	3467	6164	5417	5613	2635	4685	4117	4266	
1,30	3992	7099	6238	6464	3383	6016	5287	5478	2954	5252	4615	4783	2245	3992	3508	3635	
1,40	3442	6121	5379	5574	2917	5187	4558	4724	2547	4529	3980	4124	1936	3442	3025	3134	
1,50	2999	5332	4686	4856	2541	4519	3971	4115	2219	3945	3467	3592	1686	2998	2635	2730	
1,60	2636	4686	4118	4268	2234	3972	3490	3617	1950	3467	3047	3157	1482	2635	2316	2400	
1,70	2335	4151	3648	3780	1979	3518	3091	3204	1727	3071	2699	2797	1313	2334	2051	2126	
1,80	2082	3703	3254	3372	1765	3138	2758	2858	1541	2740	2407	2495	1171	2082	1830	1896	
1,90	1869	3323	2920	3026	1584	2816	2475	2565	1383	2459	2161	2239			1642	1702	
2,00	1687	2999	2636	2731	1429	2542	2234	2315	1248	2219	1950	2021			1482		
2,10	1530	2720	2391	2477	1297	2305	2026	2099	1132	2013	1769	1833					
2,20	1394	2479	2178	2257	1181	2101	1846	1913			1612	1670					
2,30	1275	2268	1993	2065		1922	1689	1750			1475						
2,40	1171	2083	1830	1897			1551	1607									
2,50		1920	1687	1748			1429	1481									
2,60		1775	1560	1616													
2,70		1646	1446	1499													
2,80			1345	1393													
2,90			1254	1299													
3,00			1171														

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

Tabla 3.49 Cargas últimas mayoradas para la lámina LUVITEC Sección 4 con resistencia del concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia.

		$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$															
		LUVITEC Sección 4															
		Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22				Calibre 24			
Condiciones de apoyos		Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kg/m^2)																
1,00	13140	23365	20532	21276	10605	18857	16571	17172	8955	15923	13992	14500	6581	11702	10283	10656	
1,10	10860	19310	16968	17584	8765	15584	13695	14191	7401	13159	11564	11983	5439	9671	8498	8807	
1,20	9125	16225	14258	14775	7365	13095	11507	11925	6219	11057	9717	10069	4570	8126	7141	7400	
1,30	7775	13825	12149	12589	6275	11158	9805	10161	5299	9422	8279	8580	3894	6924	6085	6305	
1,40	6704	11921	10475	10855	5411	9621	8454	8761	4569	8124	7139	7398	3358	5970	5246	5437	
1,50	5840	10384	9125	9456	4713	8381	7365	7632	3980	7077	6219	6444	2925	5201	4570	4736	
1,60	5133	9127	8020	8311	4143	7366	6473	6708	3498	6220	5466	5664	2571	4571	4017	4163	
1,70	4547	8085	7104	7362	3670	6525	5734	5942	3099	5510	4842	5017	2277	4049	3558	3687	
1,80	4056	7211	6337	6567	3273	5820	5114	5300	2764	4914	4319	4475	2031	3612	3174	3289	
1,90	3640	6472	5687	5894	2938	5224	4590	4757	2481	4411	3876	4016	1823	3242	2849	2952	
2,00	3285	5841	5133	5319	2651	4714	4143	4293	2239	3981	3498	3625	1645	2926	2571	2664	
2,10	2980	5298	4656	4825	2405	4276	3758	3894	2031	3611	3173	3288	1492	2654	2332	2416	
2,20	2715	4827	4242	4396	2191	3896	3424	3548	1850	3290	2891	2996	1360	2418	2125	2202	
2,30	2484	4417	3881	4022	2005	3565	3132	3246	1693	3010	2645	2741	1244	2212	1944	2014	
2,40	2281	4056	3565	3694	1841	3274	2877	2981	1555	2764	2429	2517	1143	2032	1785	1850	
2,50	2102	3738	3285	3404	1697	3017	2651	2747	1433	2548	2239	2320			1645	1705	
2,60	1944	3456	3037	3147	1569	2790	2451	2540	1325	2355	2070	2145			1521	1576	
2,70	1802	3205	2816	2919	1455	2587	2273	2356	1228	2184	1919	1989			1411		
2,80	1676	2980	2619	2714	1353	2405	2114	2190	1142	2031	1785	1849					
2,90	1562	2778	2441	2530	1261	2242	1970	2042		1893	1664	1724					
3,00	1460	2596	2281	2364	1178	2095	1841	1908			1555	1611					
3,10	1367	2431	2136	2214		1962	1724	1787			1456	1509					
3,20	1283	2282	2005	2078		1842	1618	1677			1366						
3,30		2146	1885	1954			1522	1577									
3,40		2021	1776	1841			1433	1485									
3,50		1907	1676	1737			1353										
3,60		1803	1584	1642													
3,70			1500	1554													
3,80			1422	1473													
3,90			1350	1399													

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

Tabla 3.50 Cargas últimas mayoradas para la lámina CORPALOSA con resistencia del concreto de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración propia

$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$												
CORPALOSA												
Condiciones de apoyos	Calibre 18				Calibre 20				Calibre 22			
	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos	Un tramo	Dos tramos	Tres tramos	Cuatro tramos
Longitud entre apoyos(m)	Carga última mayorada (Kg/m^2)											
1,00	6782	12059	10597	10982	5798	10309	9059	9388	5130	9121	8015	8306
1,10	5605	9966	8758	9076	4792	8520	7487	7758	4240	7538	6624	6865
1,20	4710	8375	7359	7626	4026	7159	6291	6519	3562	6334	5566	5768
1,30	4013	7136	6271	6498	3431	6100	5360	5555	3035	5397	4743	4915
1,40	3460	6153	5407	5603	2958	5260	4622	4790	2617	4654	4090	4238
1,50	3014	5360	4710	4881	2577	4582	4026	4172	2280	4054	3562	3692
1,60	2649	4711	4140	4290	2265	4027	3539	3667	2004	3563	3131	3245
1,70	2347	4173	3667	3800	2006	3567	3135	3248	1775	3156	2774	2874
1,80	2093	3722	3271	3389	1789	3182	2796	2897	1583	2815	2474	2564
1,90	1879	3341	2936	3042	1606	2856	2509	2600	1421	2527	2220	2301
2,00	1696	3015	2649	2745	1449	2577	2265	2347	1282	2280	2004	2077
2,10	1538	2735	2403	2490	1315	2338	2054	2129	1163	2068	1818	1883
2,20	1401	2492	2190	2269	1198	2130	1872	1940		1885	1656	1716
2,30	1282	2280	2003	2076		1949	1712	1775			1515	1570
2,40	1177	2094	1840	1907		1790	1573	1630			1392	1442
2,50		1930	1696	1757			1449	1502				
2,60		1784	1568	1624			1340	1389				
2,70		1654	1454	1506			1243					
2,80			1352	1401								
2,90			1260	1306								
3,00			1177									

Nota: en estos valores de carga están incluidos los valores de peso propio y carga viva mayorados.

$$(1,2CP + 1,6CV)$$

4 VIGAS MIXTAS ACERO-CONCRETO

La idea de la acción conjunta entre las láminas de acero y el concreto normalmente lleva a la posibilidad de igualmente procurar la interacción entre la losa mixta de acero-concreto y las vigas de soporte, sean las vigas regulares o las vigas de alma abierta (Steel Joist), creando así una serie de secciones compuestas en forma de T_e, incrementando la capacidad de carga de la estructura. Para obtener una adecuada interacción entre ambos miembros, es necesaria la utilización de conectores de corte soldados a la lámina y propiamente embebidos en el concreto. La función principal de estos conectores es la de transferir el corte horizontal en la interfase de la losa y la viga, produciendo una sección compuesta que actúa como una sola unidad. (Shuster, 1974)

Este tipo de construcción tiene las siguientes ventajas:

- 1) Reduce el costo de los miembros principales de acero de la estructura.
- 2) La rigidez y resistencia son mayores a las de un miembro del mismo tamaño que no utiliza una sección compuesta, resultando así menores deflexiones.
- 3) Las luces de los miembros estructurales pueden ser aumentados, aportando así mayor espaciamiento interno en la estructura.

4.1 CONECTORES DE CORTE.

Se han experimentado con diversos tipos de conectores de corte, incluyendo barras, espirales, canales, ángulos y espárragos. En la Figura 4.1 se muestran algunos de ellos.

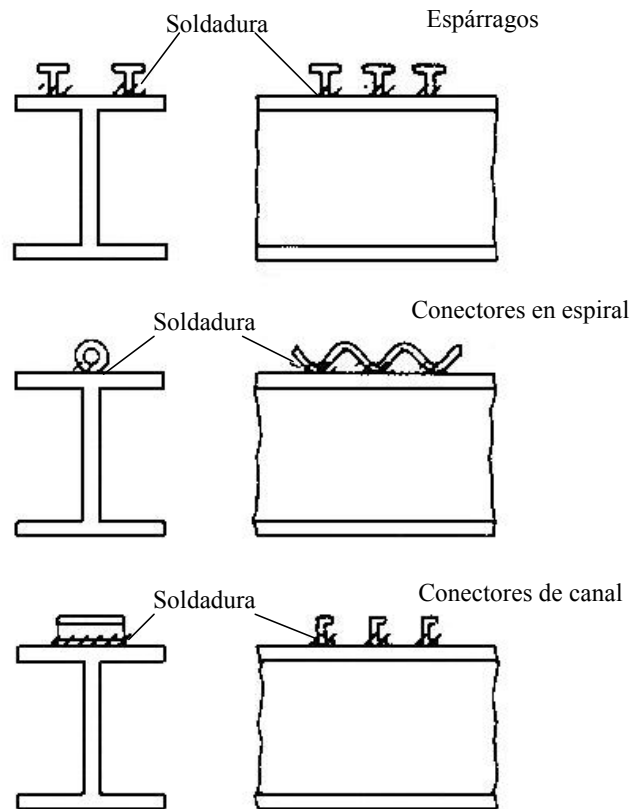


Figura 4.1 Conectores de corte

Fuente: “Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD”

Los conectores tipo espárrago (Stud) son los más conocidos. Estos consisten en una barra de acero de sección circular soldada por uno de los extremos a las vigas y en el otro extremo tienen una cabeza para impedir la separación vertical de la losa y de la viga. Son los más populares porque estos pueden ser instalados relativamente rápido con el uso de una pistola especial de soldar. Anteriormente, los conectores debían ser conectados directamente al miembro de acero, por esto las láminas de acero debían tener hoyos que permitieran su conexión con la viga. Hoy en día los conectores se sueldan directamente a través de las láminas de acero. Ejemplo de esto se ilustra en la Figura 4.2

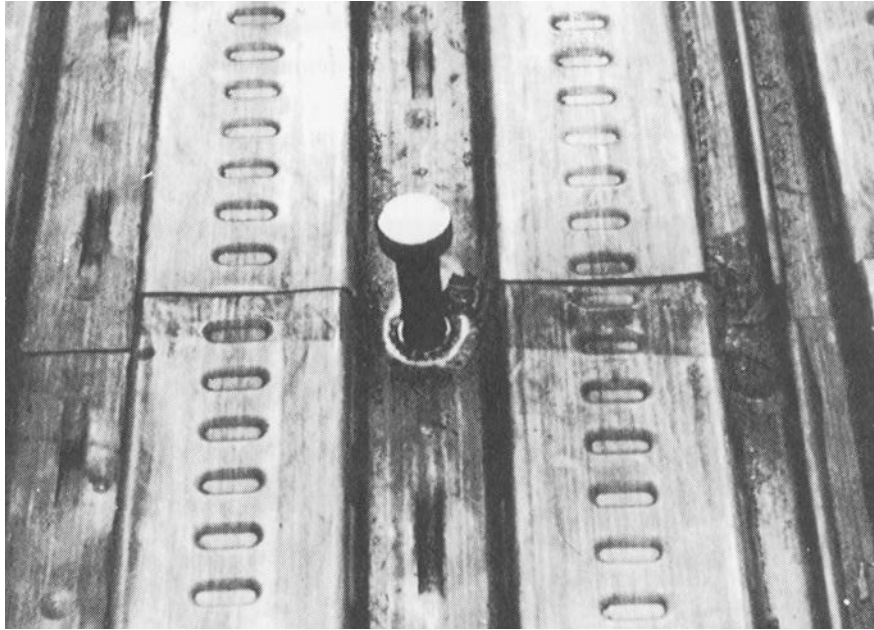


Figura 4.2 Vista de un conector Espárrago (Stud)

Fuente: “Design in Cold Formed Steel”

La Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica que estos conectores tipo espárrago soldados de acuerdo a los requisitos de la Norma AWS D1.1, serán de 19 mm de diámetro o menos. Una vez soldados tendrán que sobresalir por lo menos 40 mm (1,5 plg) por encima de la parte superior del sofito de acero.

También indica que en el cálculo de la resistencia minorada se supondrá acción colaborante parcial cuando la resistencia del conector V_{ac} sea menor de 0,5 veces el menor valor entre $0,85bt_f^c$ y $\phi A_s F_y$. En el estado límite de servicio no se considera la acción colaborante total cuando V_{ac} sea menor de 0,25 veces el menor valor entre $0,85bt_f^c$ y $\phi A_s F_y$.

En los sistemas resistentes a sismos, independientemente de su Nivel de Diseño, la acción colaborante parcial no será menor del cincuenta por ciento (50%).

Para una acción conjunta completa en vigas, se suministrarán conectores de corte en cantidad suficiente para desarrollar la máxima resistencia a flexión de la viga mixta.

Los fabricantes de acero han ido desarrollando otros tipos de conectores de corte para el uso especial con sus láminas de acero. Generalmente estos otros conectores son soldados manualmente bajo soldadura de arco y esto pudiera ser más costoso. (ver Figura 4.3)

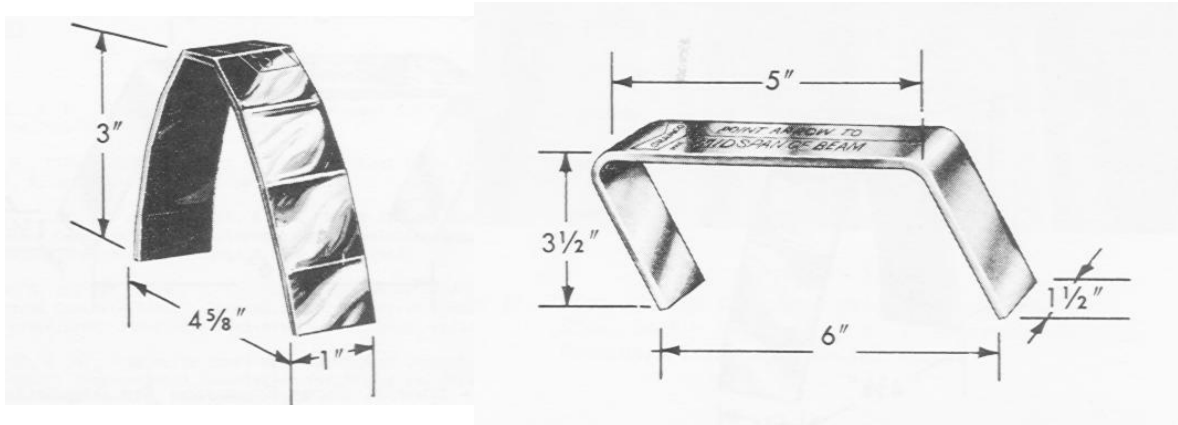


Figura 4.3 Otros tipos de conectores de corte

Fuente: "Design in Cold Formed Steel"

Como se ha mencionado anteriormente estas losas mixtas pueden estar apoyadas sobre las vigas convencionales o sobre las vigas de alma abierta, también conocidas como Steel Joist. A continuación se hace referencia a este último tipo de vigas.

4.2 VIGAS DE ALMA ABIERTA. STEEL JOIST

Probablemente el tipo de piso mixto de acero-concreto apoyado sobre las vigas de alma abierta es el tipo de piso de concreto más ligero y uno de los más económicos. Este tipo de piso se recomienda para edificios con cargas relativamente ligeras y para estructuras donde no hay demasiada vibración.

Tradicionalmente estos tipos de perfiles eran fabricados por los herreros en la misma obra o encargados a los talleres metalmecánicos, con las consecuentes pérdidas de tiempo e insumos.

Actualmente en Venezuela SIDETUR ofrece estas vigas de alma abierta, fabricadas con perfiles angulares unidos con diagonales, constituida por una barra redonda lisa continua. Ver ejemplo en Figura 4.4.

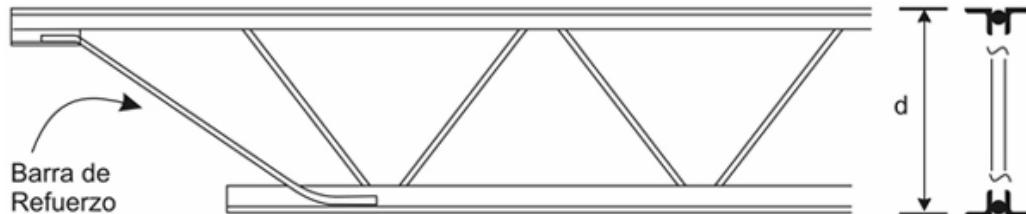


Figura 4.4 Viga de alma abierta (Steel Joist)

Fuente: Manual de SIDETUR

4.2.1 Ventajas de las Steel Joist.

Según SIDETUR estas vigas ofrecen las siguientes ventajas:

- Aligeran el peso de la estructura, proporcionando máxima capacidad con menor peso y mayor inercia.
- Son ideales para el soporte de techos y pisos de edificaciones comerciales, galpones, viviendas, estaciones de servicio, entre otras.
- Permiten el paso de instalaciones y ductos a través de su sección de alma abierta.
- Suministran una plataforma de trabajo durante su montaje.
- Facilidad de montaje por su menor peso.
- Cubren grandes luces.

La notación de la serie estándar SIDETUR es la siguiente: **SJ d x e x P**, y su significado se muestra en la siguiente Tabla 2.1.

Tabla 4.1 Significado de la notación de las Vigas de alma abierta según SIDETUR

Fuente: Manual de SIDETUR.

SJ	Acrónimo de SIDETUR JOIST, para identificar que se trata de una viga de alma abierta fabricada por SIDETUR
d	Altura total de la viga, expresada en centímetros
e	Espesor de los perfiles angulares que constituyen los cordones, expresada en milímetros
P	Peso teórico unitario de la viga de alma abierta, expresado en Kgf/m (no incluye el peso de soldaduras, asiento, ni arriostramientos laterales)

Este tipo de viga de celosía cumple con el ideal de la estandarización del proyecto estructural. La configuración de estas vigas no cambia ni con las luces ni con las cargas. Las variaciones de estos valores se resuelven con un mínimo de ajustes en sus dimensiones y las de sus componentes, lo que se traduce en sencillez en el proyecto, detallado y fabricación.

El proyecto con vigas de alma abierta demanda una mayor atención durante la etapa de montaje de la estructura, por lo que es obligatoria la colocación de arriostramientos entre vigas, según las disposiciones de Occupational Safety and Health Administration (OSHA) vigentes desde julio del 2001 y plenamente acatadas por el Instituto Americano de Vigas de Alma Abierta. El arriostramiento puede hacerse tanto por soldaduras como con pernos. Este detalle obliga al uso de montadores calificados.

SIDETUR Joists se fabrica conforme a las normas del Steel Joist Institute de EE.UU., donde el proyecto de vigas de alma abierta se ha usado desde 1929.

4.2.2 Steel Joist Institute

A continuación se hace una reseña del Steel Joist Institute (SJI): su historia, sus diseños y su normativa.

Este instituto fue formado en 1929, después de 5 años de ser creada la primera viga de alma abierta. Desde entonces ha trabajado con agencias particulares y gubernamentales para establecer normas estándares para este tipo de viga. En un principio cada productor de estas

vigas tenía su propia forma de diseño y fabricación. A los arquitectos, ingenieros y constructores se les hacía difícil comparar los rangos de capacidad de las vigas en búsqueda de la solución más económica. Es por esto, que el instituto se crea y en 1929 se constituye la primera tabla de cargas estándares y primeras especificaciones.

A partir de este momento a través de los años diversos modelos y tipos han venido surgiendo. Entre ellos están:

- La serie **SJ** fue la primera definición de viga.
- La serie **L** que constituyen vigas que cubren grandes luces de 96 pies (29,3 m).
- La serie **S** que reemplazó la serie **SJ**. El esfuerzo de tensión permitido fue aumentado de 18.000 psi (1266 Kgf/cm²) a 20.000 psi (1406 Kgf/cm²), aumentando la luz permitida a 48 pies (14,6 m).
- La serie **J** que reemplazó la serie **S**. El esfuerzo de tensión permitido fue de 20.000 psi (1406 Kgf/cm²) a 22.000 psi (1547 Kgf/cm²) basada en el uso de un acero con un esfuerzo mínimo de cedencia de 36.000 psi (2531 Kgf/cm²).
- La serie **LA** que sustituye a la serie **L**. Esta serie permitía un esfuerzo de 20.000 psi (1406 Kgf/cm²) ó 22.000 psi (1547 Kgf/cm²) según el esfuerzo de cedencia del acero.
- La serie **H** cuyo diseño está basado en un acero con un esfuerzo mínimo de cedencia de 50.000 psi (3516 Kgf/cm²), con un esfuerzo permitido de 30.000 psi (2109 Kgf/cm²).
- La serie **LH** que utiliza un acero con un esfuerzo mínimo de cedencia entre 36.000 psi (2531 Kgf/cm²) y 50.000 psi (3516 Kgf/cm²).
- La serie **LJ** la cual sustituyó a la serie **LA**.
- La serie **DLH** que permite una luz de 144 pies (43,9 m)
- La serie denominada como **JOIST GIRDERS**, por la necesidad de miembros estructurales principales de luces largas con el más eficiente uso del acero.
- La serie **K** que reemplazó la serie **H**. Las razones del desarrollo de estos miembros son: ofrecer vigas cuyas longitudes sean las más requeridas en el mercado, la necesidad del uso de vigas sometidas a cargas menores (caso de techos), buscar mayores ventajas económicas.

- La serie **KCS** dentro de la serie **K** la cual se desarrolla en repuesta a la necesidad de obtener vigas con capacidad de momento y corte constante.

Las serie **J**, **LJ** y **DLJ** fueron eliminadas, quedando únicamente en el mercado actual las series **LH**, **DLH**, **K** y las llamadas **JOIST GIRDERS**.

Propiedades de la serie estándar, la serie **K**.

Esta serie fue originalmente desarrollada para proveer soporte estructural de pisos y techos de edificios. Las vigas distribuidas por **SIDETUR** representan esta serie **K**. Estas poseen las siguientes ventajas y características que las han colocado como las más usadas en los Estados Unidos de Norteamérica y en otros países.

Principalmente son económicas. Para muchos tipos de edificios, no existe otro producto o método de soporte que pueda superar estas vigas de alma abierta.

Las series **K** son livianas. Poseen una extraordinaria alta relación resistencia/peso en comparación con otros materiales de construcción. Por esta misma razón de su bajo peso, los otros miembros estructurales del edificio como columnas, vigas y las mismas fundaciones pueden ser más livianas también, aligerando en gran porcentaje la edificación.

Por el hecho de estar constituidas las vigas desde el momento de su adquisición el tiempo de construcción es menor.

Este tipo de vigas permite el paso de tuberías y conductos a través de ellos.

En combinación con otros materiales, estas vigas pueden tener resistencia al fuego tanto como para el piso como para el techo de los edificios. Constituye un sistema permanente de soporte que no presentará severos daños en ambientes corrosivos. No hay restricciones de altura, tipo o tamaño de edificios para que puedan ser usadas este tipo de vigas. Pueden encontrarse tanto en edificios convencionales como en grandes centros comerciales.

Terminaciones y extensiones de la serie **K**.

El SJI establece en su manual que la terminación del cordón de soporte de las vigas en las vigas principales puede ser distinta. Existe la llamada “extensión del cordón superior” o “tipo **S**” en la cual se extiende sólo el ángulo superior a lo largo del soporte. La segunda es el “final extendido” o “tipo **R**” en la cual el total del largo estándar de 2 ½ pulg. (64 mm) es mantenido

a lo largo de la longitud de extensión. Ambas formas se muestran en la Figura 4.5. El más utilizado es el “tipo S” porque es naturalmente más Simple mientras que el segundo Refuerza el cordón superior. Indiscutiblemente los profesionales deben reconocer que el “tipo S” es el más económico y por lo tanto debe ser el seleccionado siempre que sea posible. Cualquiera que sea la elección debe ser especificado en los planos de detalles de construcción.

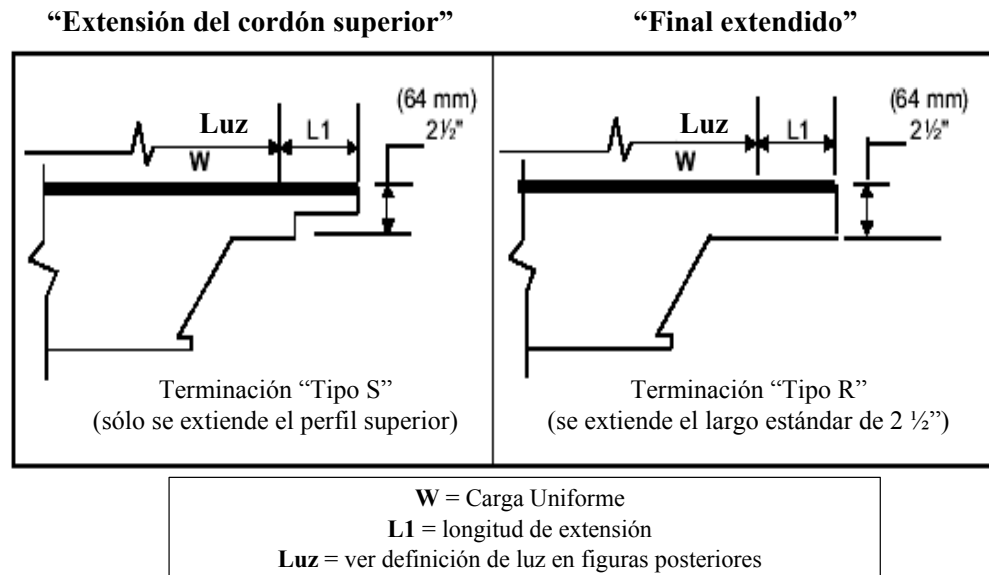


Figura 4.5 Extensiones típicas del cordón superior de las vigas de serie K.

Fuente: Modificado de Manual del SJI.

Especificaciones técnicas para la serie **K** de vigas de alma abierta.

Según el SJI el diseño de los cordones de las vigas de la serie **K** debe ser basado en un esfuerzo de cedencia de 50.000 psi (3516 Kgf/cm²). El diseño de las barras en diagonales para un esfuerzo de cedencia de 36.000 psi (2531 Kgf/cm²) ó 50.000 psi (3516 Kgf/cm²).

Los perfiles pueden ser pintados, aunque las pinturas corrientes sólo protegerán el acero por muy poco tiempo de exposición en un ambiente atmosférico ordinario, y será considerada como una protección provisional.

El cordón inferior debe ser diseñado como un miembro traccionado axialmente. El cordón superior debe ser diseñado como axialmente comprimido cuando la longitud l no exceda 24 plg (60,9 cm.). En dado caso el cordón superior será diseñado como un miembro continuo

sujeto a una combinación de fuerza axial y esfuerzo flexionante. La distancia l es tomada como el paso de la barra lisa diagonal en los cordones.

Por su parte, la barra lisa continua del alma será diseñada de modo que el corte vertical a ser usado debe ser determinado por la carga total uniformemente distribuida, pero a su vez no debe ser menor que el 25% de la reacción del extremo. Deben ser considerados los efectos de excentricidad.

Las terminaciones de las vigas y de los extremos que queden en voladizo requieren especial atención de los profesionales a cargo. La magnitud y posición de las cargas de diseño a ser soportadas por esos extremos, así como los requerimientos de flexión y refuerzo deben ser claramente identificados en los dibujos estructurales.

Las conexiones de las vigas deben hacerse con soldadura de arco o de resistencia u otro método aprobado. Las conexiones soldadas deben ser inspeccionadas visualmente por el fabricante. Antes de esto, la escoria de la soldadura debe ser removida. Las grietas no son aceptadas y deben repararse. Debe existir una fusión total entre la soldadura y el metal base a lo largo de toda la soldadura, la cual debe ser inspeccionada. No deben existir espacios sin rellenar por la soldadura.

Como se dijo anteriormente la inspección debe ser visual, ya que las pruebas de rayos X, ultrasónicas o magnéticas son inapropiadas para este tipo de viga debido a su configuración.

Las conexiones deben ser capaces de resistir una carga última igual a dos veces la carga estándar aplicable a ese tipo de viga.

Las compañías que fabrican vigas de alma abierta de la serie **K** deben suministrar los datos de diseño al Steel Joist Institute o a alguna agencia independiente aprobada por este instituto, para así verificar la conformidad con el SDI. Estos datos de diseño deben ser suministrados en detalle y bajo formato especificado por el instituto. Asimismo, los fabricantes deben, en el momento del diseño, justificar con pruebas en el laboratorio que se cumplen las especificaciones de SJI. Deben probar un factor mínimo de seguridad de 1,65 respecto a los valores teóricos de la capacidad de los miembros. Igualmente una muestra representativa de vigas típicas y sus conexiones se someterá a pruebas de corte.

Para garantizar que los fabricantes de vigas de alma abierta de la serie **K**, puedan producir éstas periódicamente, una agencia contratada por el SJI será la encargada de realizar cada cierto tiempo inspecciones a la propia planta. La frecuencia de estas inspecciones y el modo de

reporte serán determinados por el SJI. Estas inspecciones en planta no son garantía de la calidad de los productos. La responsabilidad recae únicamente en los productores independientes.

En cuanto a la luz de la viga el SJI especifica que ésta no debe ser mayor que 24 veces su propia altura.

Estas vigas están diseñadas para ser usadas simplemente apoyadas, y en caso de no ser así, se debe investigar y modificar su capacidad de resistencia limitando su esfuerzo permitido bajo esta distinta configuración. Si se desea colocar una conexión rígida en el cordón inferior de la viga con una columna u otro elemento de soporte, ésta debe realizarse una vez aplicada la carga muerta distribuida. A partir de entonces, la viga deja de ser simplemente apoyada, y el sistema debe ser estudiado como un sistema continuo como lo especifican los profesionales. El diseño completo y detallado de una conexión rígida debe mostrarse en los dibujos estructurales.

En cuanto a los soportes de las vigas, estos pueden hacerse en dos formas: en bloques de albañilería o concreto, o sobre acero. (Ver Figura 4.6)

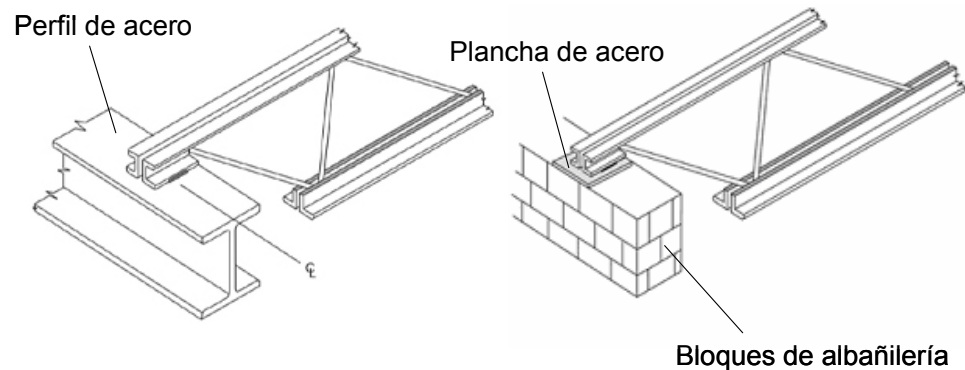


Figura 4.6 Apoyos típicos de Steel Joist

Fuente: Modificado del Manual de SIDETUR

Las series **K** que son soportadas por placas de concreto o bloques de albañilería, deben apoyarse a su vez en placas de acero. Deben considerarse todas las reacciones en los apoyos y otras fuerzas laterales o verticales que deban ser tomadas en cuenta para diseñar la placa de apoyo y el armazón de concreto o albañilería.

Las terminaciones de las vigas deben extenderse una distancia no menor a 4 plg (102 mm) en los soportes de concreto o albañilería y ser sujetadas a la placa de acero. La placa debe ser

colocada a un máximo de $\frac{1}{2}$ plg (13 mm) desde la cara de la pared y no debe ser menor de 6 plg (152 mm) de ancho perpendicularmente a la longitud de la viga. Cuando sea extremadamente necesario que la terminación se apoye una distancia menor a 4 plg (102 mm) en el concreto o la albañilería, se deben tomar consideraciones necesarias en el diseño de la placa de acero de soporte por el profesional encargado. La viga debe apoyarse un mínimo de $2\frac{1}{2}$ plg (64 mm) en la placa del acero.

Cuando por otro lado la viga se apoya en un soporte de acero, igualmente deben considerarse todas las reacciones de los extremos, así como las fuerzas verticales y laterales que puedan presentarse para el diseño del soporte de acero. La terminación debe apoyarse un mínimo de $2\frac{1}{2}$ plg (64 mm) en el soporte del acero.

Asimismo, el SJI indica que el arriostramiento es necesario en este tipo de vigas y consiste en uno de los siguientes tipos:

- a) Horizontal: el arriostramiento horizontal consiste en dos miembros de acero continuos horizontales, uno amarrado al cordón superior y otro al cordón inferior. Cada amarre a las vigas debe ser con soldadura o con pernos y deben ser capaces de resistir una fuerza horizontal de no menos de 700 libras (318 Kgf.).

La máxima separación entre arriostramientos está determinada por la relación l/r la cual no debe exceder 300, donde l es la distancia entre conexiones del miembro con la viga y r es el mínimo radio de giro del miembro usado de arriostramiento.

- b) Diagonal: consiste en miembros cruzados cuya máxima separación no debe exceder la relación l/r que no debe ser mayor a 200, donde l es la distancia entre las conexiones y r es el menor radio de giro del arriostramiento. Cuando los miembros diagonales se conectan en su punto de intersección, la distancia l es tomada desde el punto de conexión entre diagonales hasta la conexión con la viga. Las conexiones a los cordones de las vigas pueden hacerse con pernos o con soldadura.

En la Figura 4.7 se muestra un tipo de arriostramiento.

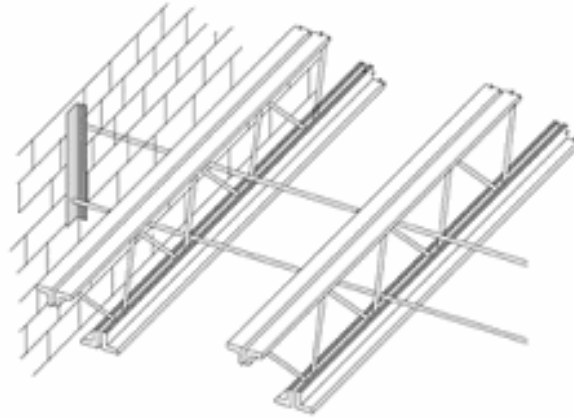


Figura 4.7 Arriostamiento horizontal

Fuente: Modificado del Manual de SIDETUR.

En ningún caso, los arriostamientos podrán colocarse a una distancia mayor a la correspondiente. Los espacios entre las filas deben ser aproximadamente uniforme. Todos los arriostamientos deben ser instalados completamente antes de que las cargas de construcción sean aplicadas en las vigas.

Los arriostamientos deben soportar los cordones superiores de las vigas de movimientos laterales producidos durante la etapa de construcción y deben mantener la debida posición de la viga. Las líneas de arriostamiento que terminen en paredes o vigas principales deben ser ancladas también.

Anclajes en las terminaciones. El SJI indica que estos anclajes deben tener unas especificaciones y dimensiones mínimas según el miembro que los soporte. Estas especificaciones son las siguientes:

- a) En los bloques de mampostería y concreto:

Las terminaciones de las vigas de la serie **K** que se apoyan en planchas de acero que a su vez se apoyan en mampostería o concreto deben estar sujetadas a ésta con al menos 2 soldaduras de filete de 1/8 plg (3mm) y 1 plg (25 mm) de longitud, o con 2 pernos de ½ plg (13 mm), o con una combinación de 1 perno de ½ plg (13 mm) y una soldadura de filete de 1/8 plg (3 mm) y 1 plg (25 mm) de longitud.

- b) En acero:

Las terminaciones deben ser soldadas al miembro de acero de soporte con al menos 2 soldaduras de filete de 1/8 plg (3 mm) y 1 plg (25 mm) de longitud, o con 2 pernos de 1/2 plg (13 mm), o con la combinación de 1 perno de 1/2 plg (13 mm) y una soldadura de filete de 1/8 plg (3 mm) y 1 plg (25 mm) de longitud. Cuando las columnas donde reposan las vigas no están alineadas con al menos 2 direcciones de los miembros estructurales, se debe colocar una plancha adicional que permita el asiento de las vigas y su adecuado anclaje.

La deflexión debida a la carga viva de diseño no debe exceder:

- Para pisos: $L/360$ de la luz
- Para techos: $L/360$ de la luz cuando un techo de yeso es suspendido o conectado a éste.
 $L/240$ de la luz en cualquier otro caso.

La definición de la luz de la viga se considera como las mostradas a continuación según los elementos de apoyo. (Ver Figura 4.8)

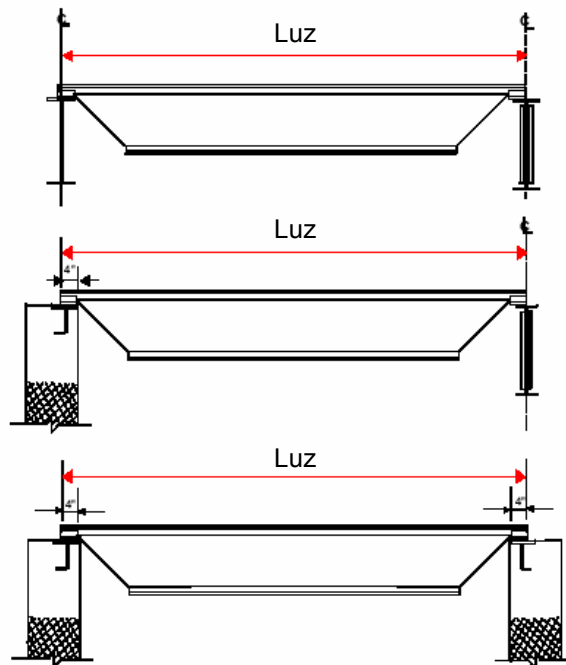


Figura 4.8 Definición de la luz de la viga.

Fuente: Modificación del Manual del SJI.

Propiedades estándares de la serie **KCS**.

Dentro de las vigas de alma abierta de la serie **K**, encontramos la serie **KCS** diseñada con las mismas especificaciones de la serie **K**, pero con las dos siguientes características principales:

- 1.- Pueden ser fácilmente utilizadas para soportar cargas uniformemente distribuidas más cargas concentradas y cargas no uniformes.
- 2.- Permiten mayor flexibilidad en la colocación de las cargas, eliminando así los repetitivos diagramas de carga en los documentos de contrato.

La serie **K** de los Steel Joist es diseñada como vigas simplemente apoyadas bajo una carga uniforme distribuida, lo que resulta un diagrama parabólico de momentos y una línea inclinada como diagrama de corte. Cuando no se trata de una carga distribuida, los diagramas de corte y momento pueden tener distinta forma por lo que los valores de corte y de momento de diseño pudieran ser mayores que los que verdaderamente soporta una viga estándar de la serie **K**.

Los cordones de las vigas de la serie **KCS** están diseñados para soportar diagramas de momentos representados como una línea positiva y constante. La capacidad de momento es constante para toda la longitud de la viga. El final del cordón superior está diseñado para soportar una carga axial basada en el principal esfuerzo central, el cual es referido al corte específico de la viga. Para chequear que no flecten en exceso los miembros centrales de las vigas es colocada una carga uniforme de 550 plf (818 Kgf/m).

Las fuerzas de diseño de las diagonales centrales están determinadas basadas en un diagrama de corte constante. Estos diagramas de corte y momento se muestran en la Figura 4.9. La barra en diagonales de la viga es diseñada en su totalidad para soportar un corte constante, el corte de diseño. Igualmente todo este miembro central es diseñado para soportar una reversión de esfuerzos en un 100%.

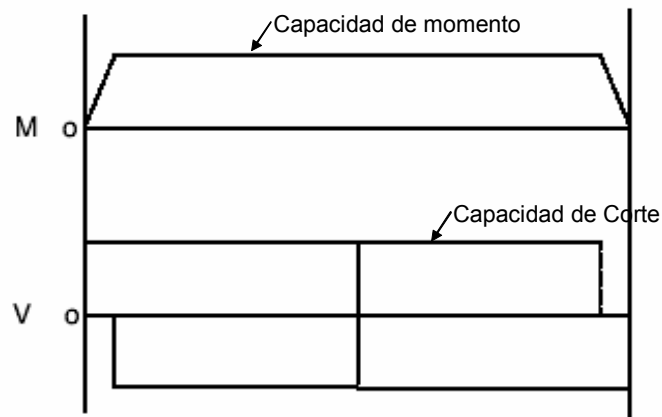


Figura 4.9 Diagrama de capacidad de corte y momento para la viga de serie KCS

Fuente: Modificación del Manual del SJI

Serie económica de la serie **K**.

El Steel Deck Institute ha realizado una tabla denominada “Tabla Económica” para las vigas de alma abierta de la serie **K**. Esta tabla ayuda al proyectista a seleccionar la viga más económica para la luz y carga determinada. Esta tabla ha sido elaborada con mucho cuidado, pero se debe considerar al momento de su uso, que cada fabricante tiene sus propios precios, así que el SJI no garantiza la completa efectividad de la tabla.

Las vigas de la serie **K** están dispuestas de acuerdo a su peso por unidad de longitud, y cuando dos vigas tienen el mismo peso están dispuestas de acuerdo a su altura.

Para utilizar esta tabla se debe determinar la luz y la carga requerida. La tabla posee valores en negro y valores en azul. Los valores en negro representan la carga total capaz de soportar la viga y los valores en azul la carga variable capaz de producir una flecha de $L/360$. Ambos valores en Kg/m. Cuando se deseen valores de flechas de $L/240$, los valores dados se deben multiplicar por 1,5. En ningún caso se debe exceder los valores de capacidad de cargas de las vigas.

Los valores de los pesos de las vigas, no incluyen los accesorios.

Las columnas sombreadas de las tablas, indican que la fila de arriostramiento más cercana al medio del tramo, debe ser arriostrada con diagonales fijadas mediante conexiones emperradas a los cordones durante su montaje.

Al usar la tabla, se debe comenzar entrando a ésta con el valor de la luz requerida (la columna de la izquierda). Así, atravesar transversalmente la tabla hasta alcanzar un valor de carga igual

o mayor al requerido. La primera viga que satisfaga esta condición, es la más económica. Si la viga es muy alta o no satisface las condiciones de deflexión, continuar horizontalmente hacia el lado derecho hasta encontrar la viga que satisfaga todos los requerimientos. Esta Tabla económica se muestra en los anexos como **Tabla B**.

4.3 ETAPA DE MONTAJE PARA LAS CORREAS.

Del mismo modo que para las losas mixtas, la etapa constructiva de los perfiles está regida por dos criterios de diseño: por flecha y por tensión admisible.

La Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estado Límites” establece que las vigas mixtas acero-concreto se dimensionarán para tener la suficiente resistencia, rigidez y estabilidad lateral para soportar por sí mismas todas las cargas permanentes aplicadas antes que el concreto alcance el setenta y cinco por ciento (75%) de su resistencia especificada $f'c$, excepto cuando estas cargas se soportan temporalmente sobre puntales. Las tensiones del ala traccionada de las vigas sin apuntalamiento no será mayor de $0,90 F_y$. Para efectos de controlar la flecha durante esta etapa se podrán aplicar los requisitos del Artículo 29.5.1. Este artículo establece que la flecha está limitada al menor valor de $L/180$ y 2 cm.

4.3.1 Flecha

En esta sección se utilizaron los perfiles típicos de uso en Venezuela. Estos son los perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180. Sus propiedades características fueron tomadas de su propio manual.

Para la etapa de construcción se calculó la separación máxima a la que puede estar distanciada cada correa para que no exceda los límites de flecha, considerando sólo las cargas constructivas.

Para esto se calculó previamente la carga de construcción en Kgf/m^2 que debe soportar cada viga en su montaje. La carga de construcción para cada correa la constituye el peso propio de la misma correa, el peso del concreto y la carga constructiva. Estas cargas constructivas por Norma son las mismas utilizadas en la etapa de montaje de las láminas, es decir el mayor valor

entre 100 Kgf/m^2 ó 80 Kgf en la posición más desfavorable. En esta etapa no se toma en cuenta el peso de la lámina de acero ya que es irrelevante en relación al resto de las cargas.

Para calcular el peso de las correas en unidades razonables, se ha asumido una separación previa entre correas de $1,5 \text{ m}$, para poder trasladar las unidades de Kgf/ml a Kgf/m^2 .

El peso del concreto será nuevamente calculado tomando los valores de la Tabla 2.2 y asumiendo el $\gamma_{\text{concreto}} = 2400 \text{ Kgf/m}^3$.

Los resultados de las cargas totales de construcción a que son sometidas las correas se presentan en la Tabla 4.2 . Para la más efectiva presentación de estos valores, se ha asumido un peso promedio de concreto para cada tipo de altura de la lámina, ya que los valores totales de cargas no varían en más de un 1%. Se ha tomado el peso de concreto que soporta la lámina CORPALOSA, por ser la más desfavorable.

Tabla 4.2 Cargas constructivas que soportan las correas en Kg/m².

Fuente: Elaboración propia

Cargas de construcción (kg/m ²)				
altura perfil	espesor del concreto (cm)			
	9	10	12	14
Lámina de 1,5"				
100	261	285	333	381
120	262	286	334	382
140	264	288	336	384
160	266	290	338	386
180	268	292	340	388
Lámina de 3"				
100				308
120				309
140				311
160				313
180				315
Lámina 6 cm				
100			287	335
120			289	337
140			290	338
160			292	340
180			294	342
Lámina 2,5"				
100			317	365
120			319	367
140			321	369
160			322	370
180			324	372

Se puede observar como los valores en una misma lámina de acero, para distintas correas, se conservan casi constantes a pesar que varía el alto del perfil. Esto es porque el peso del perfil es un valor que no influye en gran cantidad en la carga de construcción en relación a la carga constructiva y el peso del concreto.

Posteriormente a este cálculo, se debe computar la carga uniformemente distribuida que soporta la correa flectando lo máximo permisible. Para esto se despeja el valor de q en la ecuación referida anteriormente en la Tabla 3.1, considerando que la disposición de estas correas siempre será en un solo tramo simplemente apoyado. Por lo tanto la ecuación utilizada es

$$q = \frac{y_{\max} 384EsI}{5L^4}$$

donde y_{max} es $L/180$ para $L < 3,6$ m y 2 cm para $L \geq 3,6$ m; E_s es el módulo de elasticidad del acero, I es la inercia del perfil y L la longitud.

Estos resultados se presentan en la Tabla 4.3, tabulados para las distancias de correas más comunes, entre 3 y 7 m.

Tabla 4.3 Cargas permisibles de cada perfil para la condición de flecha máxima (Kgf/ml)

Fuente: Elaboración propia.

Carga que soporta cada perfil según su flecha (Kgf/ml)					
Luz de la correa (m)	IPE				
	100	120	140	160	180
3,0	567	1055	1795	2884	4380
3,2	468	870	1479	2376	3609
3,4	390	725	1233	1981	3009
3,6	328	611	1039	1669	2535
3,8	265	492	837	1344	2042
4,0	215	401	682	1095	1663
4,2	177	330	561	901	1368
4,4	147	274	466	748	1136
4,6	123	229	390	626	951
4,8	104	193	329	528	802
5,0	88	164	279	448	681
5,2	75	140	239	383	582
5,4	65	121	205	330	501
5,6	56	104	177	285	433
5,8	49	91	154	248	376
6,0	43	79	135	216	329
6,2	37	69	118	190	288
6,4	33	61	104	167	254
6,6	29	54	92	148	224
6,8	26	48	82	131	199
7,0	23	43	73	117	177

Finalmente para el cálculo de la separación máxima entre correas según su flecha se dividen los valores de cargas permisibles según su flecha en unidades de Kgf/ml (Tabla 4.3) y las cargas de construcción en unidades de Kgf/m² (Tabla 4.2), obteniendo así la separación máxima entre correas. La Tabla 4.4, Tabla 4.5, Tabla 4.6 y Tabla 4.7 muestran estos resultados para las láminas de 1,5"; 3"; 6 cm y 2,5" respectivamente.

Tabla 4.4 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 1,5" de altura según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 1,5"									
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)				Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)			
	9	10	12	14		9	10	12	14
Perfil IPE 100					Perfil IPE 160				
3,0	2,17	1,99	1,70	1,49	3,0	10,84	9,94	8,53	7,47
3,2	1,79	1,64	1,40	1,23	3,2	8,93	8,19	7,03	6,16
3,4	1,49	1,37	1,17	1,02	3,4	7,45	6,83	5,86	5,13
3,6	1,26	1,15	0,99		3,6	6,27	5,75	4,94	4,32
3,8	1,01				3,8	5,05	4,63	3,98	3,48
Perfil IPE 120					Perfil IPE 180				
3,0	4,02	3,68	3,16	2,76	4,0	4,12	3,77	3,24	2,84
3,2	3,31	3,04	2,60	2,27	4,2	3,39	3,11	2,66	2,33
3,4	2,76	2,53	2,17	1,90	4,4	2,81	2,58	2,21	1,94
3,6	2,33	2,13	1,83	1,60	4,6	2,35	2,16	1,85	1,62
3,8	1,87	1,72	1,47	1,29	4,8	1,98	1,82	1,56	1,37
4,0	1,53	1,40	1,20	1,05	5,0	1,69	1,55	1,33	1,16
4,2	1,26	1,15	0,99		5,2	1,44	1,32	1,13	0,99
4,4	1,04				5,4	1,24	1,14	0,98	
Perfil IPE 140					Perfil IPE 180				
3,0	6,80	6,23	5,34	4,67	3,0	16,34	15,00	12,88	11,29
3,2	5,60	5,13	4,40	3,85	3,2	13,47	12,36	10,61	9,30
3,4	4,67	4,28	3,67	3,21	3,4	11,23	10,30	8,85	7,75
3,6	3,93	3,61	3,09	2,70	3,6	9,46	8,68	7,45	6,53
3,8	3,17	2,90	2,49	2,18	3,8	7,62	6,99	6,00	5,26
4,0	2,58	2,37	2,03	1,77	4,0	6,20	5,69	4,89	4,29
4,2	2,12	1,95	1,67	1,46	4,2	5,10	4,69	4,02	3,53
4,4	1,76	1,62	1,39	1,21	4,4	4,24	3,89	3,34	2,93
4,6	1,48	1,35	1,16	1,01	4,6	3,55	3,26	2,80	2,45
4,8	1,24	1,14	0,98		4,8	2,99	2,75	2,36	2,07
5,0	1,06				5,0	2,54	2,33	2,00	1,76
					5,2	2,17	1,99	1,71	1,50
					5,4	1,87	1,71	1,47	1,29
					5,6	1,62	1,48	1,27	1,12
					5,8	1,40	1,29	1,11	
					6,0	1,23	1,12		
					6,2	1,07	0,99		

Tabla 4.5 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" de altura según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 3"			
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)
	14		14
	Perfil IPE 100		Perfil IPE 160
3,0	1,84	3,0	9,21
3,2	1,52	3,2	7,59
3,4	1,27	3,4	6,33
3,6	1,07	3,6	5,33
	Perfil IPE 120	3,8	4,29
3,0	3,41	4,0	3,50
3,2	2,81	4,2	2,88
3,4	2,34	4,4	2,39
3,6	1,97	4,6	2,00
3,8	1,59	4,8	1,69
4,0	1,29	5,0	1,43
4,2	1,07	5,2	1,22
	Perfil IPE 140	5,4	1,05
3,0	5,77		Perfil IPE 180
3,2	4,75	3,0	13,90
3,4	3,96	3,2	11,45
3,6	3,34	3,4	9,55
3,8	2,69	3,6	8,05
4,0	2,19	3,8	6,48
4,2	1,80	4,0	5,28
4,4	1,50	4,2	4,34
4,6	1,25	4,4	3,61
4,8	1,06	4,6	3,02
		4,8	2,55
		5,0	2,16
		5,2	1,85
		5,4	1,59
		5,6	1,37
		5,8	1,19
		6,0	1,04

Tabla 4.6 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm de altura según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 6 cm					
Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)		Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14		12	14
Perfil IPE 100			Perfil IPE 160		
3,0	1,98	1,69	3,0	9,87	8,48
3,2	1,63	1,40	3,2	8,13	6,98
3,4	1,36	1,16	3,4	6,78	5,82
3,6	1,14	0,98	3,6	5,71	4,91
Perfil IPE 120			3,8	4,60	3,95
3,0	3,66	3,14	4,0	3,75	3,22
3,2	3,01	2,58	4,2	3,08	2,65
3,4	2,51	2,15	4,4	2,56	2,20
3,6	2,12	1,81	4,6	2,14	1,84
3,8	1,70	1,46	4,8	1,81	1,55
4,0	1,39	1,19	5,0	1,53	1,32
4,2	1,14	0,98	5,2	1,31	1,13
Perfil IPE 140			5,4	1,13	
3,0	6,18	5,31	5,6	0,98	
3,2	5,10	4,37	Perfil IPE 180		
3,4	4,25	3,65	3,0	14,89	12,80
3,6	3,58	3,07	3,2	12,27	10,55
3,8	2,88	2,47	3,4	10,23	8,79
4,0	2,35	2,02	3,6	8,62	7,41
4,2	1,93	1,66	3,8	6,94	5,97
4,4	1,60	1,38	4,0	5,65	4,86
4,6	1,34	1,15	4,2	4,65	4,00
4,8	1,13		4,4	3,86	3,32
			4,6	3,23	2,78
			4,8	2,73	2,34
			5,0	2,32	1,99
			5,2	1,98	1,70
			5,4	1,70	1,46
			5,6	1,47	1,27
			5,8	1,28	1,10
			6,0	1,12	
			6,2	0,98	

Tabla 4.7 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5" de altura según su flecha.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 2,5 cm					
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)		Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14		12	14
Perfil IPE 100			Perfil IPE 160		
3,0	1,79	1,55	3,0	8,94	7,78
3,2	1,47	1,28	3,2	7,37	6,41
3,4	1,23	1,07	3,4	6,14	5,35
3,6	1,03		3,6	5,18	4,50
Perfil IPE 120			3,8	4,17	3,63
3,0	3,31	2,88	4,0	3,40	2,96
3,2	2,73	2,37	4,2	2,79	2,43
3,4	2,27	1,98	4,4	2,32	2,02
3,6	1,92	1,66	4,6	1,94	1,69
3,8	1,54	1,34	4,8	1,64	1,43
4,0	1,26	1,09	5,0	1,39	1,21
4,2	1,03		5,2	1,19	1,03
Perfil IPE 140			5,4	1,02	
3,0	5,60	4,87	Perfil IPE 180		
3,2	4,62	4,01	3,0	13,50	11,76
3,4	3,85	3,35	3,2	11,12	9,69
3,6	3,24	2,82	3,4	9,27	8,08
3,8	2,61	2,27	3,6	7,81	6,81
4,0	2,13	1,85	3,8	6,29	5,48
4,2	1,75	1,52	4,0	5,13	4,47
4,4	1,45	1,26	4,2	4,22	3,67
4,6	1,22	1,06	4,4	3,50	3,05
4,8	1,03		4,6	2,93	2,55
			4,8	2,47	2,15
			5,0	2,10	1,83
			5,2	1,79	1,56
			5,4	1,54	1,34
			5,6	1,33	1,16
			5,8	1,16	1,01
			6,0	1,01	

4.3.2 Tensión admisible

Como se mencionó anteriormente, los perfiles en su etapa de montaje no pueden exceder una tensión de $0,9 F_y$ en su ala traccionada, donde $F_y = 2500 \text{ Kgf/cm}^2$.

Para calcular la separación máxima entre correas según la tensión admisible, se realizó el mismo procedimiento anterior del cálculo de la carga constructiva total para cada perfil (peso de perfil, peso de concreto y cargas normativas) en Kgf/m^2 . (ver Tabla 4.2).

Luego para el cálculo de la carga admisible por tensión, se recurrió nuevamente a la Ecuación 7, pero igualándola a la nueva tensión admisible, $0,9 F_y$.

$$f = \frac{M_{\max}}{S} = 0,9F_y$$

donde M_{\max} es el máximo momento del perfil y S su módulo de sección.

De este modo, despejando el valor de q de la ecuación de la ecuación de M_{\max} para una viga simplemente apoyada (Ecuación 30), se obtuvieron los valores de cargas que soporta cada perfil, sin sobrepasar su tensión admisible. (ver Tabla 4.8)

$$q = \frac{S(0,9F_y)8}{L^2} \quad (30)$$

Tabla 4.8 Cargas permisibles de cada perfil para la condición de tensión admisible

Fuente: Elaboración propia.

Carga que soporta cada perfil según su tensión admisible (Kgf/ml)					
Luz de la correa (m)	IPE				
	100	120	140	160	180
3,0	684	1060	1546	2180	2920
3,2	601	932	1359	1916	2566
3,4	533	825	1204	1697	2273
3,6	475	736	1074	1514	2028
3,8	426	661	964	1359	1820
4,0	385	596	870	1226	1643
4,2	349	541	789	1112	1490
4,4	318	493	719	1013	1357
4,6	291	451	658	927	1242
4,8	267	414	604	852	1141
5,0	246	382	557	785	1051
5,2	228	353	515	726	972
5,4	211	327	477	673	901
5,6	196	304	444	626	838
5,8	183	284	414	583	781
6,0	171	265	387	545	730
6,2	160	248	362	510	684
6,4	150	233	340	479	642
6,6	141	219	319	450	603
6,8	133	206	301	424	568
7,0	126	195	284	400	536

Siguiendo el mismo procedimiento anterior, dividiendo las carga permisible por tensión (Kgf/m) entre la carga de construcción de cada perfil (kgf/m^2), se hallan la separaciones máximas entre correas según tensión.

La siguientes tablas muestran la separaciones máximas entre correas para la condición de tensión admisible. (Ver Tabla 4.9, Tabla 4.10, Tabla 4.11, Tabla 4.12).

A continuación, se presentan las tablas de las separaciones máximas entre correas en la etapa de montaje según la condición más crítica (entre flecha y tensión admisible). Los valores sombreados son aquellos en que predomina el criterio de flecha. (Ver Tabla 4.13, Tabla 4.14, Tabla 4.15 y Tabla 4.16).

Tabla 4.10 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" para la condición de tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 3"			
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)
	14		14
	Perfil IPE 100		Perfil IPE 160
3,0	2,22	3,0	6,96
3,2	1,95	3,2	6,12
3,4	1,73	3,4	5,42
3,6	1,54	3,6	4,84
3,8	1,38	3,8	4,34
4,0	1,25	4,0	3,92
4,2	1,13	4,2	3,55
4,4	1,03	4,4	3,24
	Perfil IPE 120	4,6	2,96
3,0	3,42	4,8	2,72
3,2	3,01	5,0	2,51
3,4	2,67	5,2	2,32
3,6	2,38	5,4	2,15
3,8	2,13	5,6	2,00
4,0	1,93	5,8	1,86
4,2	1,75	6,0	1,74
4,4	1,59	6,2	1,63
4,6	1,46	6,4	1,53
4,8	1,34	6,6	1,44
5,0	1,23	6,8	1,36
5,2	1,14	7,0	1,28
5,4	1,06		Perfil IPE 180
		3,0	9,27
		3,2	8,14
		3,4	7,21
		3,6	6,44
		3,8	5,78
		4,0	5,21
		4,2	4,73
		4,4	4,31
		4,6	3,94
		4,8	3,62
		5,0	3,34
		5,2	3,08
		5,4	2,86
		5,6	2,66
		5,8	2,48
		6,0	2,32
		6,2	2,17
		6,4	2,04
		6,6	1,91
		6,8	1,80
		7,0	1,70

Tabla 4.11 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm para la condición de tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 6 cm					
Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)		Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14		12	14
Perfil IPE 100			Perfil IPE 160		
3,0	2,38	2,04	3,0	7,46	6,41
3,2	2,09	1,79	3,2	6,56	5,63
3,4	1,85	1,59	3,4	5,81	4,99
3,6	1,65	1,42	3,6	5,18	4,45
3,8	1,49	1,27	3,8	4,65	3,99
4,0	1,34	1,15	4,0	4,20	3,60
4,2	1,22	1,04	4,2	3,81	3,27
4,4	1,11		4,4	3,47	2,98
4,6	1,01		4,6	3,17	2,73
Perfil IPE 120			4,8	2,91	2,50
3,0	3,67	3,15	5,0	2,69	2,31
3,2	3,23	2,77	5,2	2,48	2,13
3,4	2,86	2,45	5,4	2,30	1,98
3,6	2,55	2,19	5,6	2,14	1,84
3,8	2,29	1,96	5,8	2,00	1,71
4,0	2,07	1,77	6,0	1,87	1,60
4,2	1,87	1,61	6,2	1,75	1,50
4,4	1,71	1,46	6,4	1,64	1,41
4,6	1,56	1,34	6,6	1,54	1,32
4,8	1,43	1,23	6,8	1,45	1,25
5,0	1,32	1,13	7,0	1,37	1,18
5,2	1,22	1,05	Perfil IPE 160		
5,4	1,13		3,0	9,92	8,53
5,6	1,05		3,2	8,72	7,50
Perfil IPE 140			3,4	7,73	6,64
3,0	5,33	4,57	3,6	6,89	5,93
3,2	4,68	4,02	3,8	6,19	5,32
3,4	4,15	3,56	4,0	5,58	4,80
3,6	3,70	3,17	4,2	5,06	4,35
3,8	3,32	2,85	4,4	4,61	3,97
4,0	3,00	2,57	4,6	4,22	3,63
4,2	2,72	2,33	4,8	3,88	3,33
4,4	2,48	2,12	5,0	3,57	3,07
4,6	2,27	1,94	5,2	3,30	2,84
4,8	2,08	1,79	5,4	3,06	2,63
5,0	1,92	1,65	5,6	2,85	2,45
5,2	1,77	1,52	5,8	2,66	2,28
5,4	1,64	1,41	6,0	2,48	2,13
5,6	1,53	1,31	6,2	2,32	2,00
5,8	1,42	1,22	6,4	2,18	1,87
6,0	1,33	1,14	6,6	2,05	1,76
6,2	1,25	1,07	6,8	1,93	1,66
6,4	1,17	1,00	7,0	1,82	1,57
6,6	1,10				
6,8	1,04				

Tabla 4.12 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5” para la condición de tensión admisible.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 2,5 cm					
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)		Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14		12	14
Perfil IPE 100			Perfil IPE 160		
3,0	2,16	1,87	3,0	6,76	5,88
3,2	1,89	1,65	3,2	5,94	5,17
3,4	1,68	1,46	3,4	5,26	4,58
3,6	1,50	1,30	3,6	4,69	4,09
3,8	1,34	1,17	3,8	4,21	3,67
4,0	1,21	1,05	4,0	3,80	3,31
4,2	1,10		4,2	3,45	3,00
4,4	1,00		4,4	3,14	2,74
Perfil IPE 120			4,6	2,88	2,50
3,0	3,32	2,89	4,8	2,64	2,30
3,2	2,92	2,54	5,0	2,43	2,12
3,4	2,59	2,25	5,2	2,25	1,96
3,6	2,31	2,01	5,4	2,09	1,82
3,8	2,07	1,80	5,6	1,94	1,69
4,0	1,87	1,63	5,8	1,81	1,57
4,2	1,70	1,47	6,0	1,69	1,47
4,4	1,55	1,34	6,2	1,58	1,38
4,6	1,41	1,23	6,4	1,49	1,29
4,8	1,30	1,13	6,6	1,40	1,22
5,0	1,20	1,04	6,8	1,32	1,15
5,2	1,11		7,0	1,24	1,08
5,4	1,03		Perfil IPE 180		
Perfil IPE 140			3,0	9,00	7,84
3,0	4,82	4,20	3,2	7,91	6,89
3,2	4,24	3,69	3,4	7,01	6,10
3,4	3,76	3,27	3,6	6,25	5,44
3,6	3,35	2,91	3,8	5,61	4,89
3,8	3,01	2,61	4,0	5,06	4,41
4,0	2,71	2,36	4,2	4,59	4,00
4,2	2,46	2,14	4,4	4,18	3,64
4,4	2,24	1,95	4,6	3,83	3,33
4,6	2,05	1,78	4,8	3,52	3,06
4,8	1,88	1,64	5,0	3,24	2,82
5,0	1,74	1,51	5,2	3,00	2,61
5,2	1,61	1,40	5,4	2,78	2,42
5,4	1,49	1,29	5,6	2,58	2,25
5,6	1,38	1,20	5,8	2,41	2,10
5,8	1,29	1,12	6,0	2,25	1,96
6,0	1,21	1,05	6,2	2,11	1,84
6,2	1,13		6,4	1,98	1,72
6,4	1,06		6,6	1,86	1,62
6,6	1,00		6,8	1,75	1,53
			7,0	1,65	1,44

Tabla 4.13 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 1,5" para la condición más crítica en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 1,5"									
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)				Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)			
	9	10	12	14		9	10	12	14
Perfil IPE 100					Perfil IPE 160				
3,0	2,17	1,99	1,70	1,49	3,0	8,19	7,52	6,45	5,65
3,2	1,79	1,64	1,40	1,23	3,2	7,20	6,61	5,67	4,96
3,4	1,49	1,37	1,17	1,02	3,4	6,38	5,85	5,02	4,40
3,6	1,26	1,15	0,99		3,6	5,69	5,22	4,48	3,92
3,8	1,01				3,8	5,05	4,63	3,98	3,48
Perfil IPE 120					Perfil IPE 180				
3,0	4,02	3,68	3,16	2,76	4,0	4,12	3,77	3,24	2,84
3,2	3,31	3,04	2,60	2,27	4,2	3,39	3,11	2,66	2,33
3,4	2,76	2,53	2,17	1,90	4,4	2,81	2,58	2,21	1,94
3,6	2,33	2,13	1,83	1,60	4,6	2,35	2,16	1,85	1,62
3,8	1,87	1,72	1,47	1,29	4,8	1,98	1,82	1,56	1,37
4,0	1,53	1,40	1,20	1,05	5,0	1,69	1,55	1,33	1,16
4,2	1,26	1,15	0,99		5,2	1,44	1,32	1,13	0,99
4,4	1,04				5,4	1,24	1,14		
					5,6	1,07			
Perfil IPE 140					Perfil IPE 180				
3,0	5,85	5,37	4,60	4,02	3,0	10,89	10,00	8,59	7,52
3,2	5,14	4,72	4,04	3,54	3,2	9,57	8,79	7,55	6,61
3,4	4,56	4,18	3,58	3,13	3,4	8,48	7,78	6,69	5,86
3,6	3,93	3,61	3,09	2,70	3,6	7,56	6,94	5,96	5,23
3,8	3,17	2,90	2,49	2,18	3,8	6,79	6,23	5,35	4,69
4,0	2,58	2,37	2,03	1,77	4,0	6,13	5,62	4,83	4,23
4,2	2,12	1,95	1,67	1,46	4,2	5,10	4,69	4,02	3,53
4,4	1,76	1,62	1,39	1,21	4,4	4,24	3,89	3,34	2,93
4,6	1,48	1,35	1,16	1,01	4,6	3,55	3,26	2,80	2,45
4,8	1,24	1,14			4,8	2,99	2,75	2,36	2,07
5,0	1,06				5,0	2,54	2,33	2,00	1,76
					5,2	2,17	1,99	1,71	1,50
					5,4	1,87	1,71	1,47	1,29
					5,6	1,62	1,48	1,27	1,12
					5,8	1,40	1,29	1,11	
					6,0	1,23	1,12		
					6,2	1,07	0,99		

Nota: los valores sombreados indican que predomina el criterio de flecha.

Tabla 4.14 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 3" para la condición más crítica en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 3"			
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)
	14		14
	Perfil IPE 100		Perfil IPE 160
3,0	1,84	3,0	6,96
3,2	1,52	3,2	6,12
3,4	1,27	3,4	5,42
3,6	1,07	3,6	4,84
	Perfil IPE 120	3,8	4,29
3,0	3,41	4,0	3,50
3,2	2,81	4,2	2,88
3,4	2,34	4,4	2,39
3,6	1,97	4,6	2,00
3,8	1,59	4,8	1,69
4,0	1,29	5,0	1,43
4,2	1,07	5,2	1,22
	Perfil IPE 140	5,4	1,05
3,0	4,97		Perfil IPE 180
3,2	4,37	3,0	9,27
3,4	3,87	3,2	8,14
3,6	3,34	3,4	7,21
3,8	2,69	3,6	6,44
4,0	2,19	3,8	5,78
4,2	1,80	4,0	5,21
4,4	1,50	4,2	4,34
4,6	1,25	4,4	3,61
4,8	1,06	4,6	3,02
		4,8	2,55
		5,0	2,16
		5,2	1,85
		5,4	1,59
		5,6	1,37
		5,8	1,19
		6,0	1,04

Nota: los valores sombreados indican que predomina el criterio de flecha.

Tabla 4.15 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 6 cm para la condición más crítica en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 6 cm					
Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)		Luz de la correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14		12	14
	Perfil IPE 100			Perfil IPE 160	
3,0	1,98	1,69	3,0	7,46	6,41
3,2	1,63	1,40	3,2	6,56	5,63
3,4	1,36	1,16	3,4	5,81	4,99
3,6	1,14		3,6	5,18	4,45
	Perfil IPE 120		3,8	4,60	3,95
3,0	3,66	3,14	4,0	3,75	3,22
3,2	3,01	2,58	4,2	3,08	2,65
3,4	2,51	2,15	4,4	2,56	2,20
3,6	2,12	1,81	4,6	2,14	1,84
3,8	1,70	1,46	4,8	1,81	1,55
4,0	1,39	1,19	5,0	1,53	1,32
4,2	1,14		5,2	1,31	1,13
	Perfil IPE 140		5,4	1,13	
3,0	5,33	4,57		Perfil IPE 180	
3,2	4,68	4,02	3,0	9,92	8,53
3,4	4,15	3,56	3,2	8,72	7,50
3,6	3,58	3,07	3,4	7,73	6,64
3,8	2,88	2,47	3,6	6,89	5,93
4,0	2,35	2,02	3,8	6,19	5,32
4,2	1,93	1,66	4,0	5,58	4,80
4,4	1,60	1,38	4,2	4,65	4,00
4,6	1,34	1,15	4,4	3,86	3,32
4,8	1,13		4,6	3,23	2,78
			4,8	2,73	2,34
			5,0	2,32	1,99
			5,2	1,98	1,70
			5,4	1,70	1,46
			5,6	1,47	1,27
			5,8	1,28	1,10
			6,0	1,12	

Nota: los valores sombreados indican que predomina el criterio de flecha.

Tabla 4.16 Separación máxima (m) entre correas para perfiles IPE 100, 120, 140, 160 y 180 usando láminas de 2,5” para la condición más crítica en su montaje.

Fuente: Elaboración propia.

Lámina 2,5 cm						
Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)			Luz correa (m)	espesor del concreto (cm)	
	12	14			12	14
		Perfil IPE 100				Perfil IPE 160
3,0	1,79	1,55		3,0	6,76	5,88
3,2	1,47	1,28		3,2	5,94	5,17
3,4	1,23	1,07		3,4	5,26	4,58
3,6	1,03			3,6	4,69	4,09
	Perfil IPE 120			3,8	4,17	3,63
3,0	3,31	2,88		4,0	3,40	2,96
3,2	2,73	2,37		4,2	2,79	2,43
3,4	2,27	1,98		4,4	2,32	2,02
3,6	1,92	1,66		4,6	1,94	1,69
3,8	1,54	1,34		4,8	1,64	1,43
4,0	1,26	1,09		5,0	1,39	1,21
4,2	1,03			5,2	1,19	1,03
	Perfil IPE 140			5,4	1,02	
3,0	4,82	4,20			Perfil IPE 180	
3,2	4,24	3,69		3,0	9,00	7,84
3,4	3,76	3,27		3,2	7,91	6,89
3,6	3,24	2,82		3,4	7,01	6,10
3,8	2,61	2,27		3,6	6,25	5,44
4,0	2,13	1,85		3,8	5,61	4,89
4,2	1,75	1,52		4,0	5,06	4,41
4,4	1,45	1,26		4,2	4,22	3,67
4,6	1,22	1,06		4,4	3,50	3,05
4,8	1,03			4,6	2,93	2,55
				4,8	2,47	2,15
				5,0	2,10	1,83
				5,2	1,79	1,56
				5,4	1,54	1,34
				5,6	1,33	1,16
				5,8	1,16	1,01
				6,0	1,01	

Nota: los valores sombreados indican que predomina el criterio de flecha.

4.4 ETAPA DE SERVICIO DE LAS VIGAS MIXTAS DE ACERO Y CONCRETO

William T. Segui (1999) indica en su libro que aunque la resistencia de las vigas compuesta se basa por lo regular, en las condiciones de falla, es importante entender el comportamiento bajo las cargas de servicio por varias razones. Las deflexiones siempre son investigadas bajo cargas de servicio y las características de vibración pueden ser determinantes en el diseño.

4.4.1 Condiciones de flecha.

Una viga compuesta no es homogénea. Para poder utilizar las ecuaciones convencionales de esfuerzo y deflexión es necesario utilizar la sección transformada que “convierte” el concreto en una cantidad de acero, el cual tienen el mismo efecto que el concreto. Este procedimiento requiere que las deformaciones unitarias en el acero ficticio sean las mismas que en las el concreto que reemplaza. La Figura 4.10 presenta un segmento de una viga compuesta con los diagramas de esfuerzo y deformación unitaria superpuestos. Si la losa esta apropiadamente unida al perfil de acero, las deformaciones unitarias deben ser las mostradas.

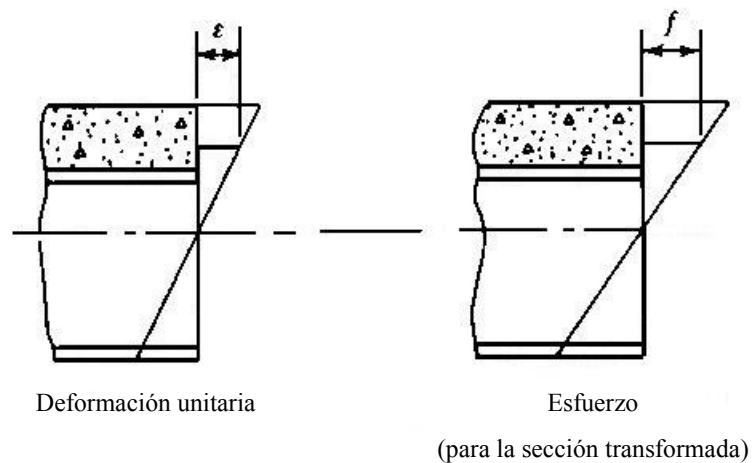


Figura 4.10 Viga compuesta. Diagramas de esfuerzo y deformación superpuestos.

Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con LRFD.

Para que se cumpla la deformación mostrada que se muestra en la Figura 4.10, se requiere que la deformación unitaria en el concreto, en cualquier punto, sea igual a la deformación unitaria de cualquier acero reemplazado en ese punto. Es decir

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s$$

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s}$$

y despejando f_s se obtiene

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad (31)$$

donde E_s es el módulo de elasticidad del acero, E_c el módulo de elasticidad del concreto y n la razón modular.

Willian Segui indica que esta Ecuación 31 puede expresarse como sigue: n centímetros cuadrados de concreto se requieren para resistir la misma fuerza que un centímetro cuadrado de acero. Es decir, se reemplaza A_c por A_c/n . El resultado es el *área transformada*. Es por esto, que para transformar el área de concreto sobre el perfil en área de acero, hay que dividirla entre la relación modular. El modo más práctico de hacerlo, es dividir sólo una de las dimensiones de la losa, en este caso, el ancho efectivo de ésta.

La definición de ancho efectivo del ala de concreto a cada lado del eje baricéntrico de la viga (b_s), será el menor valor que resulte de la siguientes disposiciones:

- a) Un octavo de la luz de la viga, medida centro a centro de los apoyos
- b) La mitad de la distancia del eje baricéntrico de la viga adyacente
- c) La distancia desde el eje baricéntrico de la viga al borde de la losa.

La Norma COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructura de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica que para sofitos metálicos cuyas nervaduras estén orientadas perpendicularmente a las vigas, el concreto por debajo de la parte superior de las nervaduras no se tendrá en cuenta para determinar las propiedades de la sección y en el cálculo de A_c .

Con estas consideraciones se calcularon los momentos de inercia transformada (I_T) para cada perfil dependiendo de el ancho efectivo de la losa y del espesor del concreto. La Figura 4.11 ilustra el procedimiento realizado.

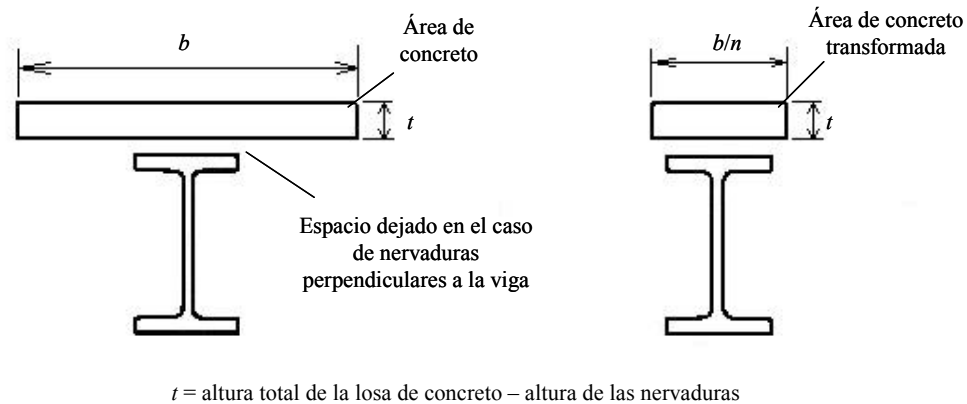


Figura 4.11 Cálculo del área transformada

Fuente: Modificado de “Diseño de Estructuras de Acero con LRDF”

Para el cálculo de las inercias transformadas (I_T) se utilizaron las siguientes ecuaciones de cálculo del centroide y cálculo de inercia aplicando el teorema de los ejes paralelos.

$$y = \frac{\sum Ay}{\sum A}$$

$$I_T = I + Ad^2$$

donde I es la inercia de cada sección, A el área y d la distancia entre el centroide de la sección y el centroide del conjunto.

De este modo se obtuvieron los siguientes resultados de inercias transformadas (I_T) variando los anchos efectivos (b_e) de las losas ente 70 y 200 cm. Los resultados de las inercias se muestran en la Tabla 4.17, la Tabla 4.18, la Tabla 4.19 y la Tabla 4.20.

Con estos valores de momentos de inercia, limitando las flechas a sus valores máximos permitidos, se puede calcular la carga máxima de servicio con las ecuaciones de deflexiones para correas simplemente apoyadas.

Tabla 4.17 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 1,5''

Fuente: Elaboración

Perfil IPE 100.					Perfil IPE 120.					Perfil IPE 140.				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4)			
70	1296	1489	1946	2528	70	1889	2141	2713	3410	70	2653	2980	3694	4531
80	1338	1538	2020	2644	80	1952	2212	2808	3547	80	2747	3081	3821	4700
90	1374	1581	2088	2755	90	2007	2273	2895	3675	90	2827	3169	3933	4854
100	1405	1620	2153	2861	100	2054	2328	2974	3796	100	2897	3245	4034	4996
110	1434	1656	2214	2965	110	2096	2377	3048	3911	110	2958	3314	4127	5130
120	1460	1690	2273	3066	120	2134	2422	3117	4023	120	3014	3376	4213	5257
130	1485	1722	2330	3165	130	2168	2463	3184	4131	130	3063	3432	4293	5379
140	1508	1752	2386	3263	140	2200	2502	3248	4237	140	3108	3484	4369	5496
150	1529	1782	2440	3359	150	2230	2539	3309	4340	150	3150	3532	4442	5610
160	1549	1810	2494	3455	160	2257	2574	3369	4442	160	3188	3578	4512	5721
170	1569	1837	2546	3550	170	2283	2607	3427	4542	170	3224	3620	4579	5830
180	1587	1863	2598	3644	180	2307	2639	3484	4641	180	3258	3661	4644	5936
190	1605	1889	2650	3737	190	2331	2670	3540	4739	190	3289	3699	4707	6041
200	1623	1914	2700	3830	200	2353	2700	3595	4836	200	3319	3736	4768	6144
Perfil IPE 160.					Perfil IPE 180.					<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Momento de Inercia de la sección transformada (I_T) en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 1,5''</p> </div>				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14					
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4)								
70	3636	4058	4954	5968	70	4823	5355	6461	7676					
80	3773	4203	5126	6182	80	5013	5556	6691	7950					
90	3890	4328	5276	6374	90	5177	5729	6890	8192					
100	3992	4437	5409	6549	100	5320	5879	7065	8408					
110	4082	4534	5530	6710	110	5446	6013	7222	8605					
120	4162	4621	5640	6860	120	5559	6131	7363	8787					
130	4234	4699	5741	7003	130	5660	6238	7493	8957					
140	4299	4770	5836	7138	140	5751	6336	7613	9117					
150	4359	4836	5925	7268	150	5834	6425	7724	9269					
160	4413	4897	6010	7394	160	5911	6507	7829	9413					
170	4464	4954	6090	7515	170	5981	6583	7928	9552					
180	4511	5008	6168	7633	180	6046	6654	8021	9686					
190	4555	5058	6242	7748	190	6107	6720	8111	9815					
200	4596	5106	6314	7861	200	6163	6783	8196	9941					

Tabla 4.18 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 3''

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.		Perfil IPE 120.		Perfil IPE 140.	
espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14
b (cm)	Inercia transformada (cm^4)	b (cm)	Inercia transformada (cm^4)	b (cm)	Inercia transformada (cm^4)
70	2415	70	3349	70	4497
80	2486	80	3455	80	4651
90	2549	90	3546	90	4782
100	2604	100	3625	100	4896
110	2654	110	3696	110	4996
120	2700	120	3759	120	5085
130	2742	130	3817	130	5166
140	2782	140	3871	140	5239
150	2820	150	3921	150	5307
160	2856	160	3967	160	5369
170	2890	170	4011	170	5428
180	2923	180	4053	180	5483
190	2955	190	4093	190	5534
200	2986	200	4131	200	5583
Perfil IPE 160.		Perfil IPE 180.			
espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14		
b (cm)	Inercia transformada (cm^4)	b (cm)	Inercia transformada (cm^4)		
70	5925	70	7581		
80	6144	80	7881		
90	6331	90	8137		
100	6493	100	8360		
110	6635	110	8555		
120	6762	120	8728		
130	6875	130	8882		
140	6977	140	9022		
150	7071	150	9150		
160	7157	160	9266		
170	7237	170	9374		
180	7311	180	9473		
190	7380	190	9566		
200	7446	200	9652		

Momento de Inercia de la sección transformada (I_T) en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 3''

Tabla 4.19 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 6 cm

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.			Perfil IPE 120.			Perfil IPE 140.		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)	
70	1918	2427	70	2704	3351	70	3686	4506
80	1977	2509	80	2791	3461	80	3814	4655
90	2028	2582	90	2867	3558	90	3923	4785
100	2074	2651	100	2932	3645	100	4018	4901
110	2115	2715	110	2991	3726	110	4102	5005
120	2153	2776	120	3044	3801	120	4177	5101
130	2188	2834	130	3092	3871	130	4244	5190
140	2221	2891	140	3137	3938	140	4306	5273
150	2252	2945	150	3178	4002	150	4362	5351
160	2282	2999	160	3217	4064	160	4415	5425
170	2311	3051	170	3254	4124	170	4464	5496
180	2338	3102	180	3289	4181	180	4510	5564
190	2365	3152	190	3322	4238	190	4553	5630
200	2390	3202	200	3354	4293	200	4595	5693
Perfil IPE 160.			Perfil IPE 180.			<p>Momento de Inercia de la sección transformada (I_T) en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 6cm</p>		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14			
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)				
70	4924	5960	70	6381	7666			
80	5107	6166	80	6634	7943			
90	5264	6344	90	6850	8182			
100	5400	6500	100	7038	8390			
110	5520	6640	110	7203	8574			
120	5626	6766	120	7350	8740			
130	5722	6881	130	7481	8890			
140	5808	6988	140	7600	9028			
150	5887	7087	150	7709	9155			
160	5960	7180	160	7808	9273			
170	6028	7268	170	7900	9384			
180	6090	7352	180	7984	9488			
190	6149	7431	190	8064	9586			
200	6205	7508	200	8137	9680			

Tabla 4.20 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada de los perfiles con láminas acanaladas de 2,5''

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.			Perfil IPE 120.			Perfil IPE 140.		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)	
70	1918	2421	70	2702	3350	70	3679	4506
80	1977	2500	80	2791	3457	80	3810	4655
90	2027	2570	90	2867	3552	90	3921	4784
100	2072	2635	100	2932	3636	100	4017	4898
110	2112	2695	110	2991	3714	110	4101	5000
120	2148	2751	120	3043	3785	120	4176	5093
130	2181	2805	130	3090	3852	130	4244	5179
140	2213	2857	140	3133	3915	140	4305	5259
150	2242	2907	150	3174	3975	150	4362	5333
160	2269	2956	160	3211	4032	160	4413	5404
170	2296	3003	170	3246	4088	170	4461	5471
180	2321	3049	180	3279	4141	180	4506	5535
190	2345	3095	190	3310	4193	190	4549	5597
200	2368	3139	200	3340	4243	200	4589	5656
Perfil IPE 160.			Perfil IPE 180.			<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Momento de Inercia de la sección transformada (I_T) en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 2,5''</p> </div>		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14			
be (cm)	Inercia transformada (cm^4)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4)				
70	4905	5958	70	6346	7657			
80	5093	6166	80	6604	7938			
90	5254	6344	90	6826	8179			
100	5393	6500	100	7018	8389			
110	5515	6639	110	7187	8574			
120	5623	6764	120	7338	8740			
130	5720	6877	130	7472	8890			
140	5807	6982	140	7593	9027			
150	5887	7079	150	7704	9152			
160	5960	7169	160	7805	9269			
170	6028	7254	170	7897	9378			
180	6090	7334	180	7983	9479			
190	6149	7411	190	8063	9576			
200	6203	7484	200	8137	9666			

4.4.2 Vibración

La Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98. “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica en su Capítulo 29 que cuando las cargas variables pueden inducir impacto o vibración, o ambas, que afecten el confort de los usuarios o la ocupación de la edificación, se hará un análisis de las vibraciones con el fin de acotarlas a niveles aceptables con el uso previsto para la edificación. Sin hacer más referencia en el tema, queda por parte del ingeniero calculista estudiar métodos de análisis que sirvan en el diseño para evitar futuros problemas de vibración.

Thomas Murray, David Allen y Eric Ungar, autores de la literatura “Floor Vibrations Due to Human Activity” (1997) señalan en ésta que a pesar de que la vibración de los pisos ha sido una molestia conocida desde muchos años atrás, es recientemente cuando se han empleado los criterios de vibración en el diseño de los pisos en estructuras. La razón a esto, es que es un problema complejo, ya que la carga es compleja y envuelven diversos modos de vibración. La experiencia y las investigaciones demuestran que el problema puede ser simplificado suficientemente como para obtener prácticos consejos de diseño. La mayoría de los problemas de pisos que vibran envuelven repetidas fuerzas causadas por maquinarias o por actividades humanas como bailar, aeróbicos o inclusive el caminar.

Como los ocupantes de la estructura son tanto la fuente como el censor de la vibración, no se puede aislar con un sistema mecánico y debe ser controlada por el mismo sistema estructural. Si la vibración del edificio es tal que los habitantes se sienten perturbados, el uso destinado de la estructura puede ser radicalmente afectado. Murray explica que ha sido testigo de la necesidad de cerrar tiendas por departamento debido a la incomodidad de los movimientos y así como también de la pérdida de eficiencia de algunos trabajadores debido al movimiento constante de un edificio de oficinas. Corregir esta situación generalmente es difícil y costosa, y su completa corrección es limitada. Igualmente grave era la enorme cantidad de desperdicios al tratar de prevenir el problema ya que por falta de experiencia y conocimiento, la tendencia fue de sobredimensionar las estructuras, resultando los sistemas de piso increíblemente pesados.

El problema de vibración en los sistemas de piso se ha venido incrementando con los años, ya que éstos son cada vez más livianos. La sensación de vibración ha sido aumentada inclusive por la tendencia de los usuarios de crear espacios libres separados por paredes que no se

conectan con el techo. Es por esto, que este tipo amortiguamiento, que ha sido reconocido por muchos autores como el elemento principal en el control de la vibración, ha sido reducido significativamente.

Se pudiese pensar, que un incremento en la resistencia de diseño resuelve el problema por completo, mas no es cierto del todo, ya que la flexibilidad, masa y amortiguamiento son las claves para el control de la vibración. Adversamente a esto, el grado de amortiguamiento no es controlado fácilmente por el calculista, sino el seleccionar un apropiado piso con suficiente peso y rigidez, es lo adecuado.

La vibración de los sistemas de pisos se ha categorizado de acuerdo a la respuesta de los humanos como: a) la vibración, se considera presente, pero no es percibida por los ocupantes; b) la vibración es percibida pero no molesta; c) la vibración es molesta y disturba a los ocupantes; d) la vibración es tan severa que sus ocupantes pueden llegar a enfermar.

Un sistema de piso que sea aceptable, debe llegar a clasificar en las primeras dos categorías y el ingeniero calculista debe procurar que sea así. Para esto es necesario establecer los criterios que establezcan los límites antes mencionados. Murray afirma que existen distintas escalas de aceptación y desafortunadamente ha habido alguna inconsistencia entre ellas, ya que un mismo sistema de piso pudiese resultar adecuado por una escala e inaceptable por otra.

Los estudios que más han aportado en este tema, son los de Thomas Murray. Éste estableció límites de sensibilidad a la vibración, basado en entrevistas con los ocupantes. Igualmente estos estudios han sido realizados en laboratorios, donde los ocupantes han estado concientes del experimento.

Acerca de este estudio, Murray asegura que la respuesta humana al movimiento del piso es un fenómeno muy complejo, ya que envuelve la magnitud del movimiento, el ambiente que rodea al sensor, y al mismo sensor como tal. Un movimiento continuo puede ser mucho más molesto que un impacto causado infrecuentemente. El límite de sensibilidad debe ser mayor en un lugar de trabajo con constante movimiento, que en un apartamento tranquilo. Asimismo, la reacción de una persona adulta viviendo en un piso 50 es considerablemente diferente a la reacción de un joven en el segundo piso de su casa sujetos al mismo movimiento.

Igualmente la reacción ante un movimiento vibratorio depende de la actividad que estén realizando los ocupantes. Personas en su lugar de trabajo, no aceptarían una vibración “claramente perceptible”, mientras que ocupantes realizando alguna actividad, podrían aceptar aproximadamente 10 veces esa aceleración.

Con el tiempo se han realizado algunas especificaciones estándares establecidas para servir de guía a quienes diseñen edificaciones de sistemas de pisos livianos. En Estados Unidos, el departamento de Housing and Urban Development ha propuesto normativas estándares. Las Normas canadienses Canadian Standard Association (CSA) han igualmente incluido especificaciones estándares de vibraciones en sus normas de diseños por estados límites; además el instituto internacional International Organization for Standardization ha empleado una sección completa sobre vibraciones. Cada una de estas normativas tiene una escala de aceptación distinta.

En este trabajo de investigación se hace referencia a las dos escalas más conocidas:

- Las recomendaciones de Murray combinando los criterios de aceptación de la escala modificada de Reiher-Meister
- Las recomendaciones de la CSA (Canadian Standard Association)

A) Recomendaciones de Murray con la escala modificada de Reiher-Meister

Este estudio ha sido principalmente realizado en vigas de longitud corta 13,7 m (45 pies) máximo y para vigas compuestas, con losas de concreto y láminas metálicas.

El procedimiento de evaluación del movimiento vibratorio realizado por Murray utiliza relaciones empíricas de las variables más comúnmente usadas en problemas dinámicos, como lo son: frecuencia, amplitud y amortiguamiento. En 1977 Murray sugirió que en una estructura con un amortiguamiento estimado menor a 8-10%, su método podía ser utilizado, agregando que si el amortiguamiento fuera mayor, no habría una razón lógica para estudiar el caso de estos movimientos en la estructura.

Murray propuso una ecuación de amortiguamiento (D), estableciendo el límite menor que una estructura debe tener (Ecuación 32)

$$D \geq 1,38 A_0 f + 2,5 \quad (32)$$

siendo A_0 la amplitud inicial del movimiento en mm y f la frecuencia del sistema en Hz.

Este amortiguamiento es el valor mínimo recomendado por Murray y basándose en observaciones, dispone que este efecto de amortiguamiento es proporcionado en conjunto por los siguientes sistemas.

- A los pisos desnudos, los clasifica con un amortiguamiento entre 1-3%. El límite inferior para pisos de concreto liviano y el límite superior para pisos de concreto normal.
- A los cielos rasos les otorga una clasificación de entre 1% y 3% dependiendo del sistema de fijación a las vigas que los soportan.
- Los ductos e instalaciones mecánicas, dependiendo de su cantidad, proporcionan entre un 1% y 10%.
- Las tabiquerías proveen de un 10% a 20% siempre que estén conectadas al piso y no más separadas entre sí que 5 vigas de reparto.

La experiencia indica que para edificaciones con un amortiguamiento entre 4% y 5%, el problema de vibración puede ser controlado.

Este método de cálculo aportado por Murray es el mismo propuesto por PROPERCA en su “Manual de Estructuras de Acero”.

Murray establece la siguiente ecuación para el cálculo de la frecuencia natural de la viga. (Ecuación 33)

$$f = k \sqrt{\frac{gE_s I_r}{WL^3}} \quad (33)$$

donde

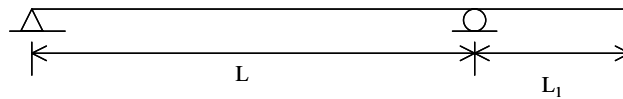
$k = 1,57$ para vigas simplemente apoyadas

0,56 para vigas con un extremo empotrado y otro en voladizo.

Por otro lado para vigas apoyadas y con un tramo en voladizo como lo indica la Figura 4.12, el valor de k se tomará de la Tabla 4.21. Los valores de L_1 y L se muestran en la figura antes mencionada.

Tabla 4.21 Valores del coeficiente k en función de L_1/L **Fuente:** Manual de Estructuras de Acero. PROPERCA.

L_1/L	k	L_1/L	k
0	1,57	0,8	0,513
0,1	1,55	0,9	0,425
0,2	1,54	1,0	0,360
0,3	1,43	1,1	0,300
0,4	1,25	1,2	0,256
0,5	1,03	1,3	0,225
0,6	0,775	1,4	0,200
0,7	0,640	1,5	0,175

**Figura 4.12** Valores de L_1 y L para el cálculo de k **Fuente:** Manual de Estructuras de Acero. PROPERCA

Además g es el valor de la aceleración de la gravedad expresada en 980 cm/s^2 ; E_s módulo de elasticidad del acero igual a $2,1 \cdot 10^6 \text{ Kgf/cm}^2$; I_{tr} es la inercia de la sección transformada en cm^4 , considerando el espesor efectivo de la losa como d_e y el ancho efectivo b_e ; W es el peso de la losa incluyendo toda la carga muerta de la viga y un estimado de la carga viva que pudiera estar presente en el momento en que la vibración del piso se presente incomodo, expresada en Kgf ; L la longitud de la viga en cm .

El manual de PROPERCA propone algunos valores de cargas para incluir en el valor de W como lo son: las instalaciones mecánicas se pueden estimar en 20 Kgf/m^2 ; los cielos rasos aproximadamente 10 Kgf/m^2 y la carga variable la asume como un 20%, con sus respectivos cambios de unidades para ser utilizados correctamente en la ecuación.

Para el cálculo de la inercia transformada (I_{tr}) se asumen las siguientes consideraciones:

- Acción compuesta de la viga, independientemente del método de construcción utilizado.
- El ancho efectivo de la losa b_e , igual a la suma de mitad de las distancias a cada lado de las vigas adyacentes.

Es importante destacar, la diferencia que hay entre la inercia transformada para el cálculo de la flecha (I_T), para cuyo cálculo no se toma en cuenta ninguna porción del concreto entre las nervaduras, y la inercia transformada (I_{tr}) para el cálculo de la vibración, donde el peso de estas nervaduras y del sofito metálico sí interviene.

En este Trabajo de Investigación se calcularon las inercias transformadas (I_{tr}) para el cómputo de la frecuencia natural del sistema, dependiendo estas del ancho efectivo b_e para cada tipo de perfil, cada espesor de losa de concreto y un promedio del peso de cada tipo de lámina metálica.

El espesor efectivo de la losa de concreto d_e , fue calculado de modo tal que la porción de la losa rectangular usada para computar la inercia sea igual al peso de la losa real incluyendo el concreto en los canales de las láminas y el peso de la lámina. Para el cálculo del volumen de concreto de los canales de las láminas de acero de 1,5", se realizó un promedio entre las láminas existentes de dicha altura.

Estos resultados de las inercias transformadas para el cálculo de la vibración se muestran a continuación. (Ver Tabla 4.22, Tabla 4.23, Tabla 4.24 y Tabla 4.25)

Tabla 4.22 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanaladas de 1,5"

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.					Perfil IPE 120.					Perfil IPE 140.				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)			
70	1306	1516	2032	2703	70	1892	2151	2767	3540	70	2661	2982	3722	4620
80	1354	1577	2132	2862	80	1957	2230	2885	3717	80	2751	3086	3865	4823
90	1398	1634	2229	3017	90	2015	2301	2995	3886	90	2830	3179	3997	5014
100	1439	1688	2322	3169	100	2068	2367	3100	4050	100	2901	3262	4119	5195
110	1477	1740	2412	3318	110	2116	2429	3200	4209	110	2965	3339	4235	5369
120	1514	1790	2501	3465	120	2162	2487	3298	4365	120	3024	3411	4345	5538
130	1549	1838	2588	3611	130	2205	2543	3392	4518	130	3078	3478	4451	5702
140	1583	1886	2674	3756	140	2245	2597	3485	4669	140	3129	3542	4553	5863
150	1616	1932	2760	3900	150	2284	2649	3576	4818	150	3178	3603	4653	6021
160	1649	1978	2844	4043	160	2322	2700	3665	4966	160	3223	3662	4750	6176
170	1680	2023	2928	4185	170	2359	2749	3753	5113	170	3267	3719	4845	6330
180	1711	2067	3011	4327	180	2394	2798	3841	5259	180	3309	3774	4939	6482
190	1742	2111	3094	4469	190	2429	2846	3927	5404	190	3350	3828	5031	6632
200	1772	2155	3177	4610	200	2462	2893	4013	5548	200	3389	3880	5122	6781
Perfil IPE 160.					Perfil IPE 180.									
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14					
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)				be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)								
70	3666	4067	4963	6018	70	4895	5387	6464	7699					
80	3793	4208	5145	6261	80	5069	5577	6695	7993					
90	3903	4332	5308	6483	90	5220	5741	6900	8258					
100	4001	4442	5457	6691	100	5352	5887	7085	8502					
110	4088	4542	5595	6888	110	5469	6017	7254	8729					
120	4166	4633	5725	7077	120	5575	6136	7411	8944					
130	4239	4718	5848	7258	130	5671	6244	7557	9148					
140	4306	4798	5966	7434	140	5759	6345	7695	9344					
150	4368	4873	6079	7605	150	5841	6439	7826	9534					
160	4427	4944	6188	7772	160	5916	6527	7952	9717					
170	4482	5012	6294	7936	170	5987	6610	8073	9895					
180	4534	5077	6397	8097	180	6054	6689	8190	10070					
190	4585	5140	6498	8256	190	6117	6765	8303	10241					
200	4633	5201	6597	8414	200	6177	6837	8413	10409					

Momento de Inercia de la sección transformada (I_{tr}) para el cálculo de la frecuencia de vibración en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 1,5"

Tabla 4.23 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanaladas de 3"

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.		Perfil IPE 120.		Perfil IPE 140.	
espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14
b (cm)	Inercia transformada (cm^4) (I _{tr})	b (cm)	Inercia transformada (cm^4) (I _{tr})	b (cm)	Inercia transformada (cm^4) (I _{tr})
70	2861	70	3669	70	4719
80	3054	80	3878	80	4952
90	3244	90	4081	90	5174
100	3431	100	4278	100	5387
110	3616	110	4472	110	5594
120	3800	120	4663	120	5796
130	3982	130	4851	130	5994
140	4163	140	5038	140	6190
150	4343	150	5223	150	6382
160	4523	160	5407	160	6573
170	4702	170	5590	170	6762
180	4881	180	5772	180	6949
190	5059	190	5953	190	7135
200	5237	200	6134	200	7320
Perfil IPE 160.		Perfil IPE 180.		<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Momento de Inercia de la sección transformada (I_{tr}) para el cálculo de la frecuencia de vibración en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 3"</p> </div>	
espesor losa (cm)	14	espesor losa (cm)	14		
b (cm)	Inercia transformada (cm^4) (I _{tr})	b (cm)	Inercia transformada (cm^4) (I _{tr})		
70	6087	70	7742		
80	6356	80	8058		
90	6606	90	8347		
100	6844	100	8617		
110	7071	110	8872		
120	7291	120	9116		
130	7505	130	9350		
140	7713	140	9577		
150	7918	150	9798		
160	8119	160	10013		
170	8317	170	10224		
180	8513	180	10432		
190	8706	190	10636		
200	8898	200	10838		

Tabla 4.24 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanaladas de 6 cm.

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.			Perfil IPE 120.			Perfil IPE 140.		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)	
70	1945	2527	70	2713	3409	70	3694	4531
80	2019	2643	80	2808	3546	80	3821	4700
90	2087	2753	90	2894	3674	90	3933	4853
100	2151	2859	100	2973	3794	100	4034	4995
110	2213	2962	110	3047	3909	110	4126	5129
120	2272	3063	120	3116	4020	120	4212	5255
130	2328	3162	130	3183	4128	130	4292	5377
140	2384	3259	140	3246	4234	140	4368	5494
150	2438	3355	150	3308	4337	150	4441	5607
160	2491	3451	160	3367	4438	160	4510	5718
170	2544	3545	170	3425	4538	170	4577	5826
180	2596	3639	180	3482	4636	180	4642	5932
190	2647	3732	190	3538	4734	190	4705	6037
200	2697	3824	200	3593	4830	200	4766	6140
Perfil IPE 160.			Perfil IPE 180.			<p>Momento de Inercia de la sección transformada (I_{tr}) para el cálculo de la frecuencia de vibración en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 6 cm</p>		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14			
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)				
70	4954	5967	70	6461	7676			
80	5126	6182	80	6691	7950			
90	5276	6374	90	6890	8191			
100	5409	6548	100	7065	8408			
110	5530	6709	110	7222	8605			
120	5639	6859	120	7363	8787			
130	5741	7001	130	7493	8956			
140	5836	7136	140	7613	9116			
150	5925	7266	150	7724	9267			
160	6009	7391	160	7828	9411			
170	6089	7512	170	7927	9550			
180	6166	7630	180	8021	9683			
190	6240	7745	190	8110	9813			
200	6312	7857	200	8195	9938			

Tabla 4.25 Momentos de Inercia (cm^4) para la sección transformada para el cálculo de la frecuencia, con láminas acanaladas de 2,5”.

Fuente: Elaboración propia

Perfil IPE 100.			Perfil IPE 120.)			Perfil IPE 140.		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)	
70	2010	2663	70	2752	3509	70	3713	4597
80	2105	2813	80	2865	3677	80	3852	4793
90	2195	2958	90	2969	3838	90	3979	4975
100	2281	3100	100	3068	3992	100	4096	5148
110	2366	3240	110	3163	4142	110	4206	5313
120	2448	3378	120	3254	4288	120	4311	5473
130	2529	3514	130	3342	4432	130	4411	5628
140	2608	3649	140	3428	4573	140	4507	5780
150	2687	3783	150	3513	4713	150	4601	5928
160	2764	3916	160	3596	4851	160	4692	6074
170	2842	4048	170	3678	4988	170	4781	6218
180	2918	4180	180	3758	5124	180	4868	6361
190	2994	4311	190	3838	5259	190	4954	6501
200	3070	4442	200	3917	5393	200	5038	6641
Perfil IPE 160.			Perfil IPE 180.			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Momento de Inercia de la sección transformada (I_{tr}) para el cálculo de la frecuencia de vibración en cm^4 de perfiles IPE con láminas acanaladas de 2,5” </div>		
espesor de losa (cm)	12	14	espesor de losa (cm)	12	14			
be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)		be (cm)	Inercia transformada (cm^4) (Itr)				
70	4959	6004	70	6463	7691			
80	5138	6240	80	6693	7980			
90	5297	6455	90	6896	8239			
100	5442	6656	100	7077	8476			
110	5576	6845	110	7243	8697			
120	5701	7025	120	7395	8904			
130	5819	7197	130	7537	9101			
140	5931	7364	140	7671	9289			
150	6039	7527	150	7797	9470			
160	6142	7685	160	7918	9645			
170	6242	7840	170	8033	9814			
180	6340	7992	180	8145	9980			
190	6435	8142	190	8252	10142			
200	6528	8289	200	8357	10301			

Cuando el sistema de vigas posee tanto vigas de reparto como vigas principales, es importante considerar la frecuencia del sistema en general, utilizando para esto la Ecuación 34

$$\frac{1}{f_s^2} = \frac{1}{f_r^2} + \frac{1}{f_p^2} \quad (34)$$

siendo f_s la frecuencia de todo el sistema de piso, f_r la frecuencia de las vigas de reparto y f_p la frecuencia de las vigas principales.

Asimismo se puede calcular la amplitud de todo el sistema con la Ecuación 35

$$A_{0s} = A_{0r} + \left(\frac{A_{0p}}{2} \right) \quad (35)$$

donde A_{0s} es la amplitud inicial de todo el sistema y A_{0r} y A_{0p} las amplitudes iniciales de las vigas de reparto y principales, respectivamente.

Este modo de cálculo está referido a sistemas de pisos cuya frecuencia fundamental no coincida con las primeras tres formas armónicas de la actividad rítmica. Si este fuese el caso otro método de estudio debe ser utilizado.

La amplitud inicial del impacto de las pisadas de los transeúntes debe ser calculada. Mediciones de Ohmart fueron utilizadas para desarrollar el siguiente procedimiento en el cual A_{0i} es calculado del modelo de “impacto de talón” en el cual se considera un impulso de tipo triangular. Para cada tipo de viga en general (A_{0i}) se calcula con la Ecuación 36

$$A_{0i} = FCD * d_s \quad (36)$$

donde FCD es el factor de carga dinámica calculado con la frecuencia natural de la viga y d_s es la flecha estática en cm producida por una carga concentrada de $P=272$ Kgf.

En general se denomina FCD a la relación entre el desplazamiento dinámico y el desplazamiento que ocurriría si la carga fuese aplicada estáticamente. Es un factor adimensional e indispensable de la magnitud de la carga aplicada, éstas características lo hacen especialmente útil. (Prof. J.M. Velásquez).

Para vigas simplemente apoyadas, la flecha estática viene dada por la Ecuación 37. Para vigas en voladizo y para las apoyadas y un tramo en voladizo, las flechas estáticas vienen dadas por las Ecuaciones 38 y 39 respectivamente.

$$d_s = \frac{PL^3}{48 E_s I_{tr}} \quad (37)$$

$$d_s = \frac{PL^3}{3 E_s I_{tr}} \quad (38)$$

$$d_s = \frac{P(L_1)^2(L + L_1)}{3 E_s I_{tr}} \quad (39)$$

en la cual L_1 y L son las mismas distancias para calcular k .

El factor de carga dinámico (FCD) puede ser calculado de varias formas.

El manual de PROPERCA mediante un ajuste por mínimos cuadrados, facilita un polinomio de 4º grado para el cálculo del FCD . (Ecuación 40)

$$FCD = 2,6804 * 10^{-5} f^4 - 7,54183 * 10^{-4} f^3 + 0,00134 f^2 + 0,15313 f - 2,81523 * 10^{-4} \quad (40)$$

siendo f la frecuencia natural del sistema expresada en Hz.

Otra forma de calcular este factor, es utilizando el gráfico que muestra la Figura 4.13, proporcionado por los estudios de Murray. Estas expresiones para el cálculo del FCD son únicamente válidas cuando se trata de un impulso triangular, como el referido al “impacto de talón”.

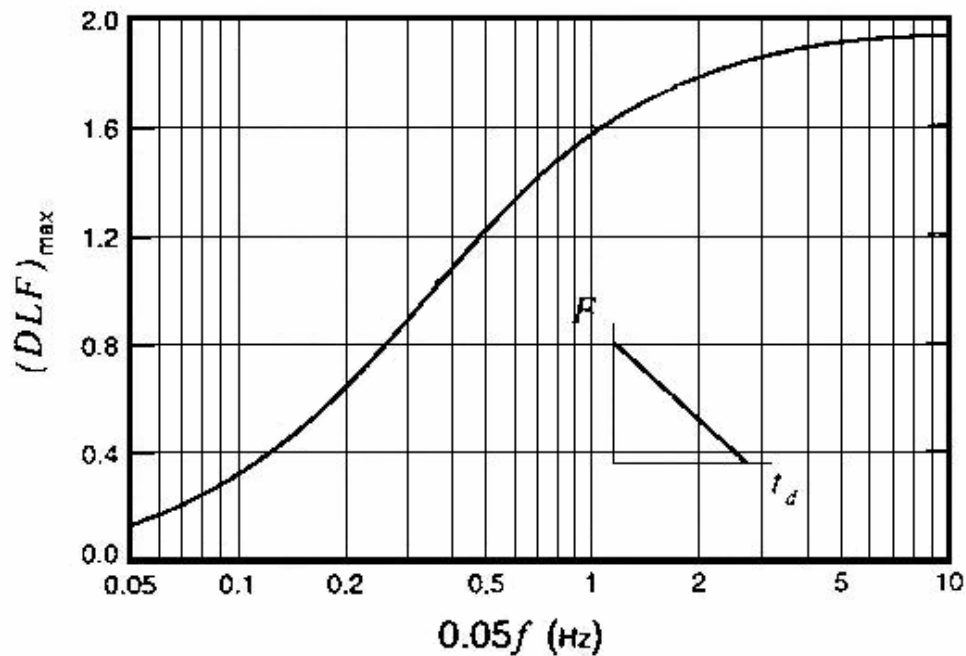


Figura 4.13 Gráfico para calcular FCD con la frecuencia natural del sistema en Hz.

Fuente: Libro “Steel Structures-Controlling Behaviour Through Design”.

Como el comportamiento de una sola viga del piso, depende también de la posición del resto de las vigas, es necesario considerar el efecto de las vigas continuas. Esto se realiza con la Ecuación 41

$$N_{ef} = 2,967 - \frac{1}{17,3} \left(\frac{b_e}{d_e} \right) + \frac{1}{18,6} \left(\frac{L^4}{E_s I_{tr}} \right) \quad (41)$$

donde b_e es el ancho efectivo de la viga, d_e es la altura efectiva de la viga, L la longitud, E_s el módulo de elasticidad e I_{tr} la inercia transformada.

Esta ecuación se utiliza con los siguientes límites:

- $15 < \frac{b_e}{d_e} < 40$
- $1 * 10^6 < \frac{L^4}{I_{tr}} \leq 50 * 10^6$

De este modo se calcula la amplitud para cada tipo de viga separadamente, las de reparto y las principales, con la Ecuación 42

$$A_0 = \frac{A_{0r}}{N_{ef}} \quad (42)$$

Una vez calculados los valores de f y A_0 , se verifica con la Escala Modificada de Reiher-Meister (Ver Figura 4.14) la categoría en que clasifica la vibración de la estructura.

La experiencia de Englekirk indica que el rango denominado “Claramente Perceptible” ha debido ser subdividido para un mejor concepto de la forma de vibración en: Adecuado, Moderado y Malo.

Los autores del Manual de Estructuras de acero PROPERCA, se basan en la utilización de una tabla desarrollada con los conceptos de la escala Modificada de Reiher-Meister, para que con las unidades propias de trabajo, se pueda encontrar la clasificación del movimiento. Esta tabla se muestra en la Tabla 4.26

Tabla 4.26 Determinación del nivel de vibración. A_0f (mm); f (Hz)

Fuente: Manual de Estructuras de Acero. PROPERCA.

A_0f	Nivel de vibración
$A_0f \leq 0,457$	Vibración no perceptible
$0,457 \leq A_0f \leq 1,52$	Vibración levemente perceptible
$1,52 \leq A_0f \leq 4,57$	Vibración claramente perceptible
$4,57 \leq A_0f$	Vibración fuertemente perceptible

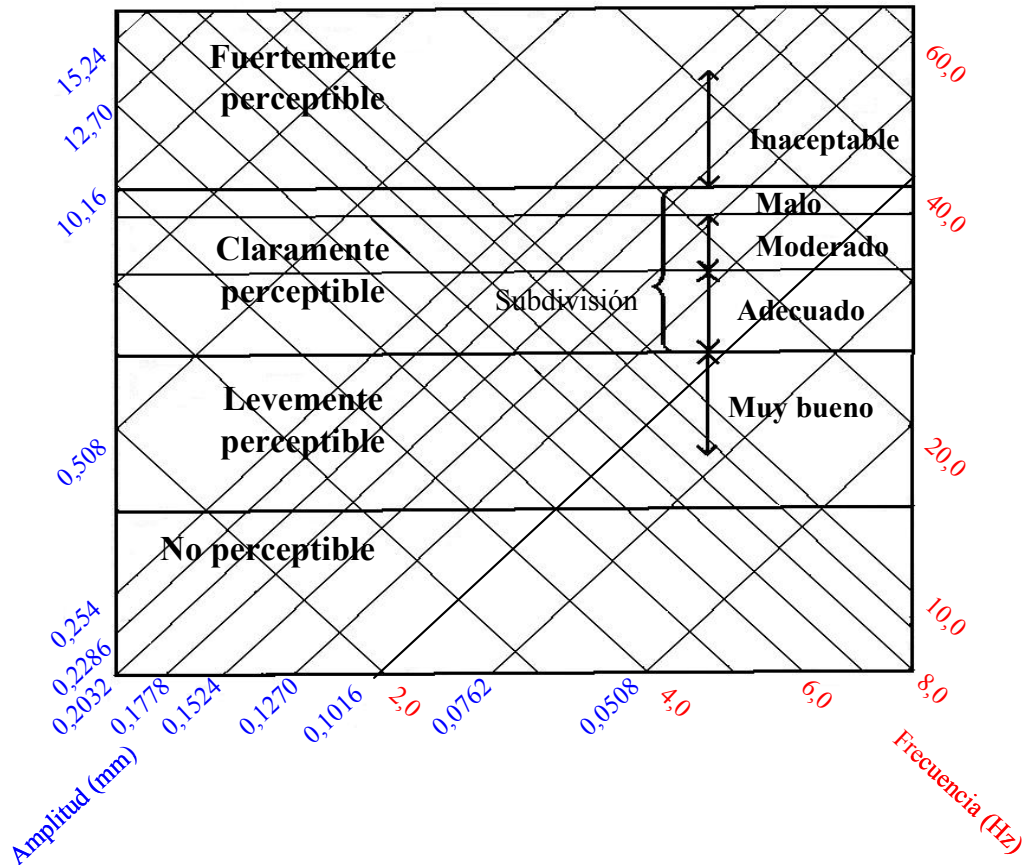


Figura 4.14 Escala Modificada de Reiher-Meister

Fuente: Modificado del Libro “Steel Structures-Controlling Behaviour Through Design”.

Nota: Esta tabla ha sido modificada porque se han cambiado las unidades de la amplitud de pulgadas a mm por conveniencia. En los anexos, **Figura D**, se muestra la escala original de la misma fuente.

En resumen, para la determinación de la vibración de los sistemas de piso, para edificios residenciales y oficinas, sin actividades especiales como bailes, aeróbicos o maquinarias vibratorias, sino sólo vibraciones producidas por el caminar, el cálculo de la vibración de cada viga y del sistema en conjunto, se resume en los siguientes pasos:

1. Cálculo de la frecuencia natural de cada viga utilizando la Ecuación 33.

Para facilitar este cálculo se presentaron los valores de inercias transformadas (I_{tr}) según el tamaño de viga, la altura de la losa, la altura del soffito metálico y dependiendo del ancho efectivo de la viga.

En la guía de diseño “Floor Vibrations Due to Human Activity” de Murray, Allen y Ungar, se establece que para el cálculo de esta inercia transformada, se debe tener en cuenta la mayor rigidez del concreto en la lámina metálica bajo cargas dinámicas, por lo cual recomiendan multiplicar el módulo de elasticidad del concreto por un factor igual a 1,35. También indica que el ancho efectivo de la losa (b_e) debe ser igual a la separación entre vigas mas no mayor a 0,4 veces la luz de la viga. Estas consideraciones no fueron tomadas en cuenta en el cálculo de las inercias tabuladas anteriormente.

2. Cálculo de los valores de FCD (con la Ecuación 40 o el gráfico de la Figura 4.13) y d_s con las Ecuación 37, 38 ó 39 según sea el caso. Con estos valores se calcula la amplitud inicial del impacto de las pisadas A_{0i} con la Ecuación 36.
3. Se determina el número efectivo de vigas N_{ef} con la Ecuación 41.
4. Se determina el valor de la amplitud para cada caso de viga particular A_0 con la Ecuación 42.
5. Con los valores de A_0 y f se verifica el nivel de vibración en que se encuentra la viga por la Tabla 4.26 o con el gráfico de la Figura 4.14.
6. Una vez verificados el grado de aceptación o rechazo de cada tipo de viga, se debe calcular la clasificación del sistema en general, con las Ecuaciones 34 y 35 y verificar nuevamente en la Tabla de PROPERCA o en el gráfico de la Escala Modificada de Rehier-Meister.
7. Adicionalmente es indispensable calcular el porcentaje mínimo de amortiguamiento con la Ecuación 32.

En el **Apéndice A** se muestra la solución de un problema tipo de dinámica estructural, incluyendo el cálculo de la inercia transformada (I_{tr}) y el espesor efectivo de la losa (d_e).

B) Recomendaciones de la Canadian Standard Association

En el Apéndice G de la normativa de la CSA, se publican unas recomendaciones para el análisis de la vibración de los sistemas de pisos, sin ser su uso obligatorio como el resto de la normativa. En esta publicación se clasifican los dos tipos de vibración que se pueden presentar en una estructura. Las vibraciones continuas debido a fuerzas periódicas de maquinarias, vehículos o algunas actividades como el baile. Estos movimientos vibratorios podrían ser considerablemente amplificados si la frecuencia de la fuerza periódica sincronizara con la frecuencia natural del sistema, una condición llamada resonancia. Por otro lado, el otro tipo de vibración son las vibraciones transitorias, como los impactos al caminar, que tienden a disminuir debido a algún amortiguamiento. Esta forma de vibración se muestra en la Figura 4.15

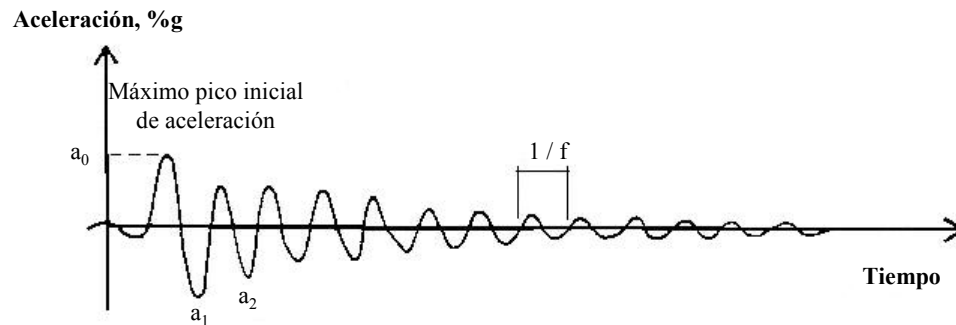


Figura 4.15 Típico gráfico de vibración transitoria del “Impacto de talón”

Fuente: Modificado del Libro “Steel Structures–Controlling Behaviour Through Design”

En este estudio se han utilizado las mismas variables que intervienen en los problemas de vibración como lo son la frecuencia f en Hz (ciclos por segundo), usualmente la correspondiente al modo de vibración más bajo, y el amortiguamiento D , expresado en porcentaje de amortiguamiento crítico.

La escala que se utiliza en estas recomendaciones para medir el nivel de vibración, se muestra en la Figura 4.16.

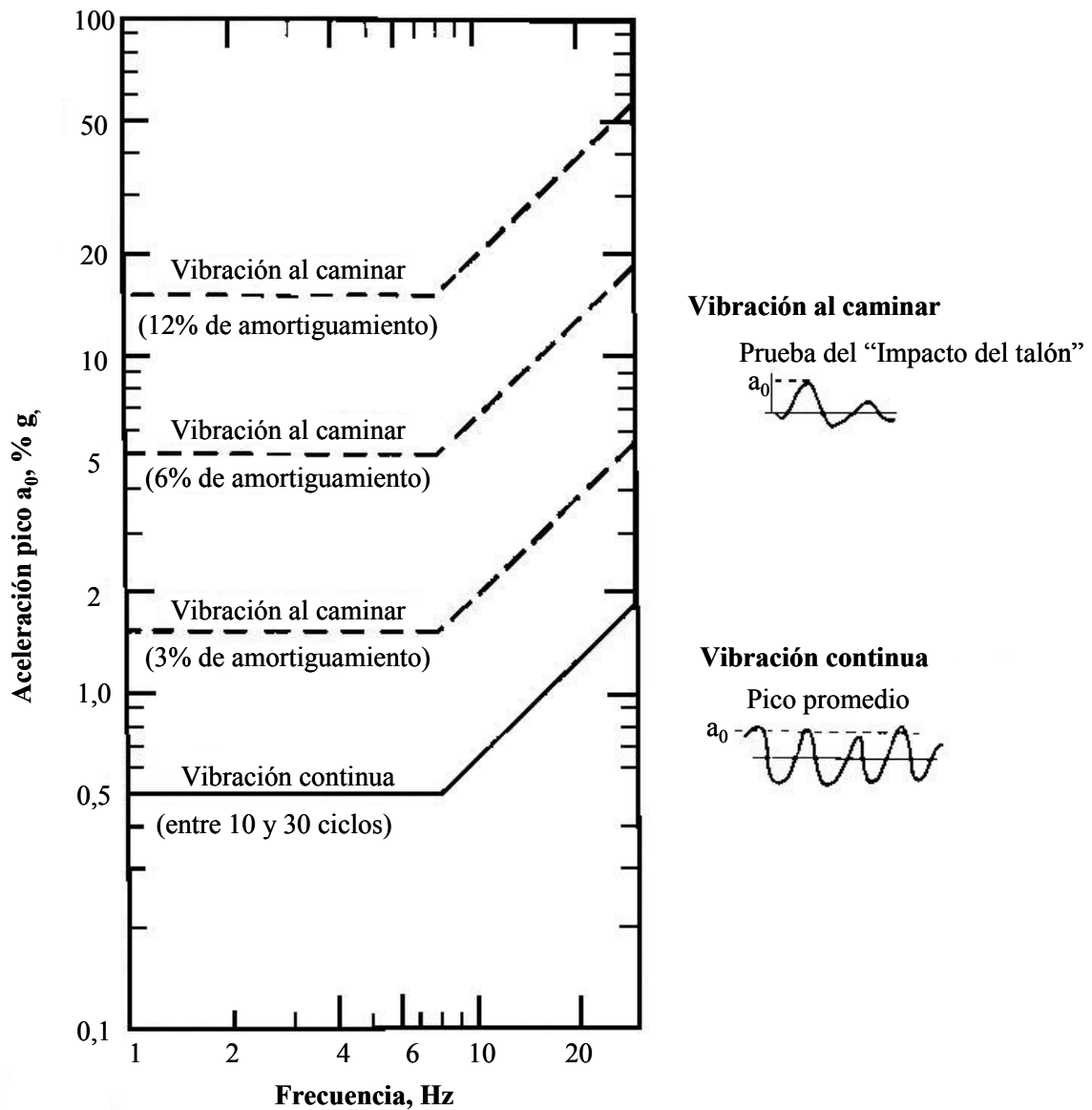


Figura 4.16 Niveles de aceptación para pisos con movimientos vibratorios producidos al caminar, para edificios residenciales, escolares y oficinas.

Fuente: Modificado del Libro "Steel Structures –Controlling Behaviour Through Design"

En esta figura se muestra que para vibraciones continuas sinusoidales que duren más de 10 ciclos, un límite promedio en el cual la vibración se empieza a sentir claramente es 0,5 % de la gravedad, cuando la frecuencia natural se encuentra entre 2 y 8 Hz. Este valor puede variar

según los ocupantes. Estos límites de aceptación pueden ser usados para el diseño de escuelas, oficinas y edificios residenciales, aunque no son definitivos ya que podrían bajar al tratarse de lugares más sensibles como laboratorios especiales y salas de operación.

Para vibraciones transitorias, igualmente se muestran los límites de aceptación que varían según el nivel de amortiguamiento, el porcentaje de aceleración pico aceptable aumenta mientras aumenta el porcentaje de amortiguamiento de la edificación. La razón por la cual los límites de aceptación son mayores para las vibraciones transitorias que para las continuas, es porque los ocupantes encuentran estas últimas más molestas que las transitorias.

Las vibraciones causadas por actividades humanas pueden crear fuerzas periódicas con una frecuencia de entre 1 y 4 Hz. Es por esto que las frecuencias naturales no deben ser menores a 5 Hz.

Como la fuente más común de vibraciones es la causada por el caminar de los ocupantes, estas recomendaciones de la CSA son referidas a este tipo de vibración. Los tipo de construcciones que incluyen vigas de alma abierta o vigas con pisos de concreto con láminas de acero son los que más sufren estas consecuencias.

Para calificar la vibración del piso, deben registrarse las variables de aceleración pico a_0 , frecuencia del sistema f , y porcentaje de amortiguación (D). Si estas variables no pueden medirse por medio de pruebas experimentales, se pueden estimar con ecuaciones empíricas.

Para el cálculo de la frecuencia natural de todo el sistema y de cada tipo de viga, las ecuaciones que recomienda la CSA son las misma utilizadas por Murray. (Ecuaciones 33 y 34).

El calculo del amortiguamiento es más complicado que el de la frecuencia. Generalmente un piso mixto de acero y concreto posee un amortiguamiento de 3-4% bajo una construcción no compuesta y cerca de 2% para una construcción compuesta. La adición de componentes como alfombras, el acabado del piso, utensilios contra incendio, muebles y ductos de instalaciones mecánicas aumentan el porcentaje de amortiguamiento hasta un 3% más. Las paredes, inclusive arriba o abajo del piso, son las que más amortiguamiento proveen, más aún cuando están colocadas en ambas direcciones. Hasta la tabiquería liviana que no se conecta con el techo, aporta amortiguamiento. Los ocupantes de la estructura también proporcionan amortiguamiento, aunque éste no es tan efectivo para las vigas pesadas y de grandes luces.

Los siguientes valores son los propuestos por la CSA:

- Pisos desnudo: 3% del amortiguamiento crítico.
- Pisos con cielos rasos, ductos, muebles, acabado de piso, proporcionan 6%
- Piso acabado con paredes proporcionan un 12% de amortiguamiento.

Por otro lado, estas recomendaciones se ocupan del cálculo del porcentaje de la aceleración pico (a_0) que se produce por el “impacto de talón” para sistemas de pisos cuyo ancho efectivo (b_e) es 60 veces el espesor efectivo (d_e). Este espesor efectivo debe ser calculado tomando en cuenta el peso promedio de la losa de concreto considerando sus canales. Esta aceleración en porcentaje de la gravedad puede ser calculado aproximadamente con la Ecuación 43.

$$a_0 = \frac{350f}{\frac{Ld_e}{0,7742} \left(\frac{d_e}{2,54} + 1 \right)} \quad (43)$$

Los valores de f en la ecuación deben ser colocados en Hz, L la longitud de la viga en m y d_e en cm. Las constantes 0,7742 y 2,54 que se muestran en la ecuación, son debido al cambio de unidades de pulgadas y pies de la ecuación original.

Una vez calculados los valores de frecuencia, aceleración pico y el grado de amortiguamiento del sistema, se ingresa en el gráfico de la Figura 4.16 y se verifica si se encuentra entre los límites establecidos.

En relación a la corrección de las medidas inaceptables de vibración del piso, la CSA hace los siguientes comentarios:

- La corrección del movimiento vibratorio de pisos va a depender del tipo de movimiento a que este sujeta la estructura, sea continua o transitoria.
- Para vibraciones transitorias, lo más aconsejable es aumentar el amortiguamiento. Esto puede realizarse colocando más paredes. Si esto no es posible, se podrían utilizar mecanismos que absorban la energía producida. Para pisos ligeros, la colocación de alfombras ayuda a reducir el impacto de las pisadas al caminar.
- Para corregir el movimiento en vibraciones continuas, dispositivos aislantes de vibración pueden ser utilizados, así como modificar la frecuencia natural del piso, para reducir la resonancia.

4.5 CONDICIÓN DE RESISTENCIA PARA LAS VIGAS MIXTAS

La Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 1618-98 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites” indica que la resistencia teórica a flexión $\phi_b M_t$ se calculará con los siguientes valores de la resistencia teórica M_t y el factor de minoración que sigue:

- Para $h/t_w \leq 3,7 (E/F_{yf})^{0,5}$

M_t será el momento teórico calculado a partir de la distribución de tensiones *plásticas* en la sección mixta.

$$\phi_b = 0,85$$

- Para $h/t_w > 3,7 (E/F_{yf})^{0,5}$

M_t será el momento teórico calculado a partir de la superposición de las tensiones *elásticas*, considerando los efectos de apuntalamiento.

$$\phi_b = 0,90$$

Como los perfiles utilizados en este estudio, califican en la primera categoría, se estudiará en esta sección las capacidades resistentes con la teoría *plástica*. McCormac indica que esta teoría supone que la sección de acero durante la falla está totalmente plastificada y que una parte de la losa de concreto (zona en compresión) tiene esfuerzos iguales a $0,85 f'_c$. Si cualquier zona de la losa está en la zona de tensión esta se considerará agrietada e incapaz de soportar esfuerzos.

El eje neutro plástico (ENP) puede recaer en la losa, en el ala de la viga o en su alma. Se deben estudiar los tres casos por separado.

- Eje neutro en la losa de concreto:

La profundidad del eje neutro (a) puede estimarse con la Ecuación 44, como resultado de igualar los esfuerzos de tensión y compresión en la losa.

$$A_s F_y = 0,85 f'_c a b_e$$

$$a = \frac{A_s F_y}{0,85 f'_c b_e} \quad (44)$$

De este modo, si a es menor que el espesor de la losa, el eje neutro plástico recae en la losa y la capacidad por momento plástico o nominal de la sección compuesta puede expresarse como la tensión total T o la compresión total C , multiplicada por la distancia entre sus centros de gravedad, tal como lo ilustra la Figura 4.17

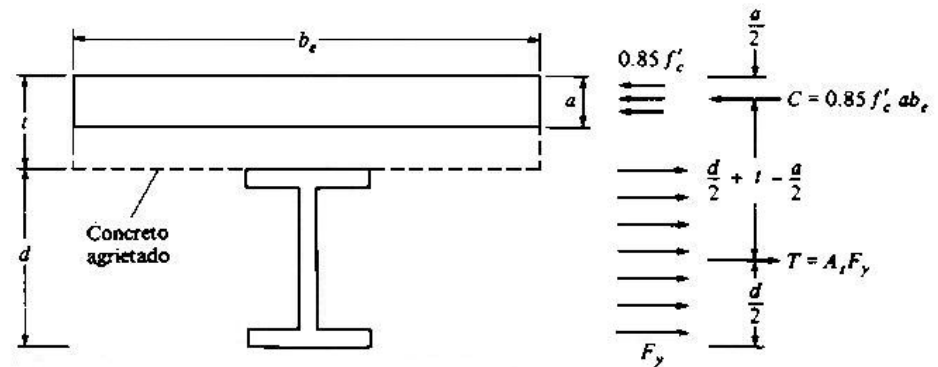


Figura 4.17 Eje neutro plástico en la losa de concreto

Fuente: “Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD”

- Eje neutro en el ala superior de la viga de acero.

Si se calcula a como se describió previamente y es mayor que el espesor t de la losa, el eje neutro plástico quedará en la sección de acero. Si esto ocurre, será necesario determinar si el ENP recae en el ala o debajo de ella. Suponiendo que se encuentra en la base del ala. La fuerza de compresión C es igual a $0,85f'_c b_e t + A_f F_y$ donde A_f es el área del ala y la fuerza total de tensión es $T = F_y (A_s - A_f)$. Si C es mayor que T , el ENP estará en el ala. De lo contrario, el ENP quedará por debajo del ala.

En caso de que el ENP esté en el ala, se encuentra su posición igualando $C=T$, como se indica .

$$0,85f'_c b_e t + F_y b_f \bar{y} = F_y A_s - F_y b_f \bar{y}$$

donde \bar{y} indica la posición del ENP en la parte superior del ala. De esta ecuación se obtiene la expresión:

$$\bar{y} = \frac{F_y A_s - 0,85 f'_c b_e t}{2 F_y b_f}$$

Al tomar momentos respecto al ENP se obtiene la capacidad por momento plástico o nominal de la sección. (Véase Figura 4.18)

$$M_p = 0,85 f'_c b_e t \left(\frac{t}{2} + \bar{y} \right) + 2 F_y b_f \bar{y} \left(\frac{\bar{y}}{2} \right) + F_y A_s \left(\frac{d}{2} - \bar{y} \right) \quad (45)$$

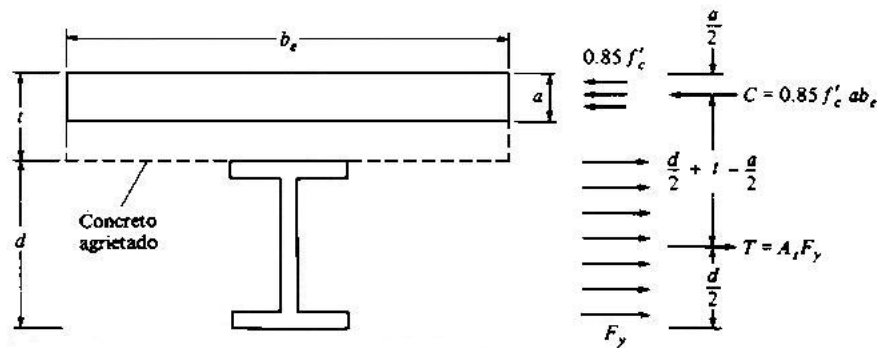


Figura 4.18 Eje neutro en el ala superior de la viga de acero

Fuente: “Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD”

- Eje neutro en el alma de la sección de acero:

Si para una losa compuesta determinada se encuentra que a es mayor que el espesor de la losa, suponemos que el ENP se localiza en la base del patín de acero, se calcula C y T y si resulta que T es mayor que C , entonces el ENP está en el alma de la viga.

Por equilibrio de fuerzas se tiene:

$$0,85 f'_c b_e t + 2 F_y b_f t_f + 2 F_y t_w \left(\bar{y} - t_f \right) = F_y A_s$$

donde

$$\bar{y} = t_f + \frac{A_s}{2 t_w} - \frac{b_f t_f}{t_w} - \frac{0,85 f'_c b_e t}{2 F_y t_w}$$

Realizando equilibrio de momentos respecto al punto A se tiene que la capacidad por momento plástico es (ver Figura 4.19)

$$M_p = 0,85 f'_c b_e t \left(\bar{y} + \frac{t}{2} \right) + 2 F_y b_f t_f \left(\bar{y} - \frac{t_f}{2} \right) + F_y t_w \left(\bar{y} - t_f \right)^2 + F_y A_s \left(\frac{d}{2} - \bar{y} \right) \quad (46)$$

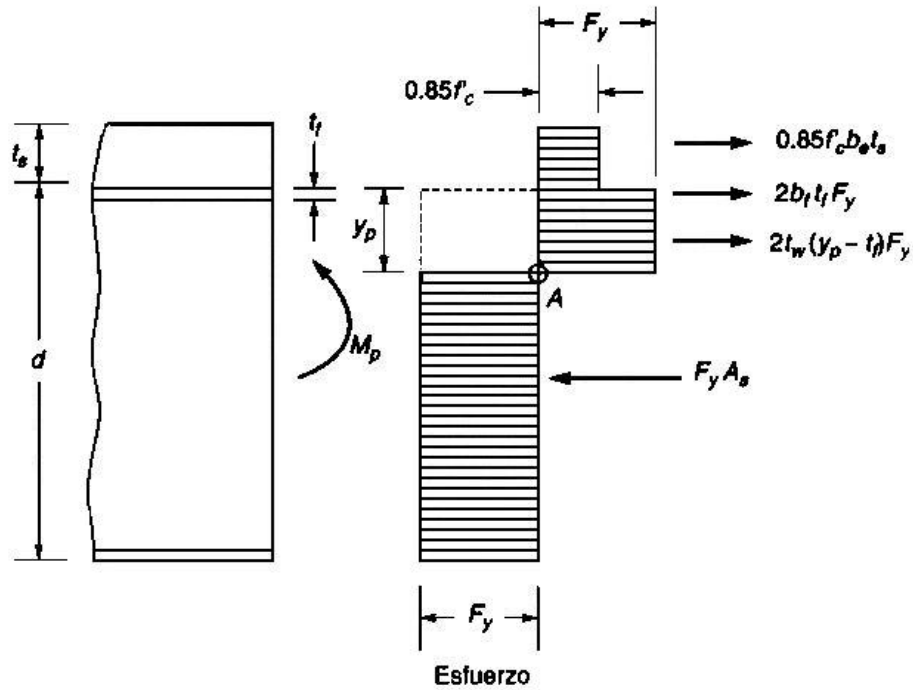


Figura 4.19 Eje neutro en el alma de la viga de acero

Fuente: “Diseño de Estructuras de Acero con LRFD”

En este estudio, todo los perfiles con las láminas trabajadas, corresponden a la primera posición del ENP, es decir, en el concreto.

Para ese cálculo, se utilizó el esfuerzo de cedencia de los perfiles $F_y=2500 \text{ Kgf/cm}^2$. Igualmente que con las láminas, se asumió un concreto de $f'_c= 200$ y 250 Kgf/cm^2 . Se tabularon los valores de la capacidad resistente para momentos positivos correspondiente a los anchos efectivos (b_e) más comunes, entre 70 y 200 cm.

Estos resultados se muestran en la Tabla 4.27 y Tabla 4.28 mostradas a continuación.

Tabla 4.27 Capacidades resistentes minoradas para momentos positivos (ϕM_t) en Kgf m, para $f'c=200$ Kgf/cm².

Fuente: Elaboración propia.

Perfil IPE 100.					Perfil IPE 120.					Perfil IPE 140.				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14
b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)			
70	2827	3046	3484	3922	70	3819	4099	4660	5221	70	4976	5324	6021	6718
80	2857	3076	3514	3951	80	3867	4148	4709	5270	80	5051	5399	6096	6793
90	2880	3099	3537	3974	90	3905	4186	4747	5308	90	5109	5458	6155	6852
100	2898	3117	3555	3993	100	3935	4216	4777	5338	100	5156	5504	6201	6898
110	2914	3132	3570	4008	110	3960	4241	4802	5363	110	5194	5542	6239	6936
120	2926	3145	3583	4020	120	3981	4261	4822	5383	120	5226	5574	6271	6968
130	2937	3156	3593	4031	130	3998	4279	4840	5401	130	5253	5601	6298	6995
140	2946	3165	3602	4040	140	4013	4294	4855	5416	140	5276	5624	6321	7018
150	2954	3173	3610	4048	150	4026	4307	4868	5429	150	5296	5644	6341	7038
160	2961	3180	3617	4055	160	4037	4318	4879	5440	160	5313	5662	6359	7056
170	2967	3186	3623	4061	170	4047	4328	4889	5450	170	5329	5677	6374	7071
180	2972	3191	3629	4067	180	4056	4337	4898	5459	180	5343	5691	6388	7085
190	2977	3196	3634	4071	190	4064	4345	4906	5467	190	5355	5703	6400	7097
200	2981	3200	3638	4076	200	4071	4352	4913	5474	200	5366	5714	6411	7108
Perfil IPE 160.					Perfil IPE 180.									
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14					
b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)								
70	6359	6786	7641	8495	70	7867	8375	9390	10406					
80	6472	6899	7753	8608	80	8026	8534	9550	10565					
90	6560	6987	7841	8695	90	8150	8658	9674	10689					
100	6630	7057	7911	8765	100	8249	8757	9773	10789					
110	6687	7114	7969	8823	110	8330	8838	9854	10870					
120	6735	7162	8016	8871	120	8398	8906	9922	10937					
130	6776	7203	8057	8911	130	8455	8963	9979	10995					
140	6810	7237	8092	8946	140	8504	9012	10028	11044					
150	6840	7267	8122	8976	150	8547	9055	10070	11086					
160	6867	7294	8148	9002	160	8584	9092	10108	11123					
170	6890	7317	8171	9025	170	8617	9125	10140	11156					
180	6910	7338	8192	9046	180	8646	9154	10170	11185					
190	6929	7356	8210	9065	190	8672	9180	10196	11211					
200	6945	7373	8227	9081	200	8695	9203	10219	11235					

Valores de Capacidad Resistente a Flexión (ϕM_t) en Kgf m, de perfiles IPE con láminas acanaladas. $\phi=0,85$. $f'c=200$ Kgf/cm².

Tabla 4.28 Capacidades resistentes minoradas para momentos positivos (ϕM_t) en Kgf m, para $f'c=250$ Kgf/cm².

Fuente: Elaboración propia.

Perfil IPE 100.					Perfil IPE 120.					Perfil IPE 140.				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14
b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)			
70	2875	3094	3531	3969	70	3896	4177	4738	5299	70	5096	5444	6141	6838
80	2898	3117	3555	3993	80	3935	4216	4777	5338	80	5156	5504	6201	6898
90	2917	3136	3574	4011	90	3966	4246	4807	5368	90	5202	5551	6248	6945
100	2932	3151	3588	4026	100	3990	4270	4831	5392	100	5240	5588	6285	6982
110	2944	3163	3600	4038	110	4010	4290	4851	5412	110	5270	5619	6316	7013
120	2954	3173	3610	4048	120	4026	4307	4868	5429	120	5296	5644	6341	7038
130	2962	3181	3619	4057	130	4040	4320	4881	5442	130	5317	5666	6363	7060
140	2970	3188	3626	4064	140	4052	4332	4893	5454	140	5336	5684	6381	7078
150	2976	3195	3632	4070	150	4062	4343	4904	5465	150	5352	5700	6397	7094
160	2981	3200	3638	4076	160	4071	4352	4913	5474	160	5366	5714	6411	7108
170	2986	3205	3643	4081	170	4079	4360	4921	5482	170	5378	5727	6424	7121
180	2991	3209	3647	4085	180	4087	4367	4928	5489	180	5389	5738	6435	7132
190	2994	3213	3651	4089	190	4093	4373	4934	5495	190	5399	5748	6445	7142
200	2998	3217	3655	4092	200	4099	4379	4940	5501	200	5408	5756	6453	7150
Perfil IPE 160.					Perfil IPE 180.					<p style="text-align: center;">Valores de Capacidad Resistente a Flexión (ϕM_t) en Kgf m, de perfiles IPE con láminas acanaladas. $\phi=0,85$. $f'c=250$ Kgf/cm²</p>				
espesor de losa (cm)	9	10	12	14	espesor de losa (cm)	9	10	12	14					
b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)				b (cm)	Momento resistente minorado (ϕM_t)(Kgf m)								
70	6540	6967	7821	8675	70	8122	8630	9645	10661					
80	6630	7057	7911	8765	80	8249	8757	9773	10789					
90	6700	7127	7981	8836	90	8348	8856	9872	10888					
100	6756	7183	8037	8892	100	8428	8936	9951	10967					
110	6802	7229	8083	8938	110	8493	9001	10016	11032					
120	6840	7267	8122	8976	120	8547	9055	10070	11086					
130	6873	7300	8154	9008	130	8593	9100	10116	11132					
140	6900	7328	8182	9036	140	8632	9140	10155	11171					
150	6924	7352	8206	9060	150	8666	9174	10189	11205					
160	6945	7373	8227	9081	160	8695	9203	10219	11235					
170	6964	7391	8245	9100	170	8722	9230	10245	11261					
180	6981	7408	8262	9116	180	8745	9253	10269	11284					
190	6995	7422	8277	9131	190	8766	9274	10290	11305					
200	7009	7436	8290	9144	200	8785	9293	10308	11324					

Para estos cálculos es de observar que la altura del sofito metálico sólo interviene para determinar la posición del eje neutro. Para el cálculo de la resistencia en sí, no interviene ya que resultan los mismos valores de momentos, independientemente de la lámina acanalada utilizada.

Con el uso de estas tablas en una situación definida, teniendo la longitud de la correa y utilizando la ecuación de momento para una correa simplemente apoyada, se puede obtener la carga última resistente en dicho sistema de la siguiente manera:

$$q_u = \frac{M_u * 8}{L^2}$$

De este modo se puede calcular la carga última para cada longitud de correa.

En el **Apéndice B** se muestra un ejercicio resuelto que ilustra el uso de todas estas tablas mostradas en el transcurso del trabajo.

5 CONCLUSIONES

En el desarrollo de la investigación se han presentado diversas tablas que limitan el diseño de las losas mixtas, en su etapa de montaje, de servicio y en su estado límite de resistencia.

Se ha apreciado que a pesar de la versatilidad y economía que representan las losas mixtas de acero y concreto, en su diseño es indispensable considerar la etapa constructiva tanto para las láminas como para las correas. Esta etapa es parte fundamental del diseño y pudiera ser su limitante principal.

Se puede apreciar que las láminas metálicas de distinto fabricante con la misma altura, aún teniendo distintas dimensiones, presentan características geométricas parecidas. Es por esto que en algunos casos se puede generalizar en el uso de láminas de 1,5”.

Al utilizar láminas acanaladas con mayor peralte, el momento de inercia aumenta, y las facilidades en la construcción también lo hacen, ya que las separaciones entre apoyos son mayores. Asimismo, las láminas de mayor altura representan una menor cantidad de concreto utilizado. Es por esto, que es necesario hacer un análisis relacionando el incremento de precios que el uso de láminas de mayor peralte implica, y las ventajas que conllevan.

En cuanto al uso de apuntalamientos temporales en la construcción, se puede afirmar que esto no es un uso frecuente, y de ser así, el diseño de la losa varía considerablemente.

Para el diseño de las losas y las vigas mixtas, es necesario el uso de ecuaciones más exactas en el cálculo de flecha y tensión admisible que las utilizadas por los fabricantes de las láminas de acero y las utilizadas en la Norma Venezolana. No es el mismo cálculo para losas apoyadas en un solo tramo, que en dos tramos o más. Es por esto, que los resultados expresados en este Trabajo de Investigación son mucho más precisos que los antes mencionados. Igualmente, hay que estudiar cada una de las disposiciones de las láminas para diseñar con la condición más desfavorable.

En la etapa de montaje de las láminas, la condición de tensión admisible es la más crítica en la mayoría de los casos.

Bajo estas condiciones estudiadas en esta investigación, las losas subreforzadas fueron las únicas existentes. Esto es debido a la cantidad de concreto requerido por las Normas sobre las láminas de acero. Si el espesor del concreto fuera menor, habría más posibilidad de losas sobreforzadas.

Para el estudio de vigas mixtas con acción compuesta total, es necesario el uso adecuado de conectores de corte en la superficie de la lámina.

Durante la colocación de correas, la condición de tensión admisible tiende a ser más crítica mientras mayor sea la altura del perfil y menor la longitud de la correa.

Generalmente el diseño de las vigas mixtas se basa en el estudio de sus condiciones de falla, pero también es importante estudiar su estado límite de servicio ya que es en éste que son verificadas sus flechas admisibles.

Para el cálculo de la resistencia minorada a flexión de las vigas mixtas, se estudian las distribuciones plásticas de tensiones para vigas compactas. Para vigas no compactas, el estudio se hace por deformaciones elásticas. Por ser la segunda teoría un sistema más conservador, el factor de minoración es menor que para las distribuciones plásticas.

En cuanto a las vibraciones, se ha discutido que para el cálculo de los momentos de inercia utilizados en el cálculo de la frecuencia se debe tomar en consideración tanto el peso de las nervaduras como el peso de las láminas. El control de vibración de una estructura consiste en controlar el nivel de amortiguamiento y controlar la masa de ésta. El aumento de la resistencia no afectará en gran medida la vibración. Asimismo, evitar los grandes espacios libres en una estructura será de gran ayuda.

Durante el desarrollo de este trabajo, se ha visto la ventaja de estandarizar los materiales constructivos para facilitar así el diseño, como lo establecen los institutos Steel Deck Institute, que regula la fabricación de las láminas acanaladas, y el Steel Joist Institute, que estandariza la fabricación y diseño de las vigas de alma abierta mejor conocidas como Steel Joist.

6 RECOMENDACIONES

Este Trabajo de Investigación trata un tema donde cada una de sus componentes requiere un estudio detallado, específico y que conformaría parte de otra investigación.

Por eso, se recomienda estudiar más a fondo:

- La fabricación, uso y tipos de conectores de corte.
- El estudio de vibraciones en estructuras destinadas a actividades rítmicas como bailes, aeróbicos o cualquier actividad que pueda generar problemas de resonancia. Igualmente es necesario obtener conocimientos introductorios de dinámica de estructuras para el buen entendimiento de este trabajo, ya que no se ha hecho énfasis en el repaso de términos básicos en esta materia.
- Ampliar este estudio de losas y vigas mixtas, con diferentes láminas de acero u otros perfiles de acero.
- Extender el estudio al comportamiento en la interacción entre las correas y las vigas principales.

Asimismo, es importante reconocer los tipos de láminas que las Normas vigentes aceptan según su geometría y espesor, independientemente de las láminas que hayan sido presentadas aquí.

7 APÉNDICES

APÉNDICE A

A continuación se presentará un problema resuelto con todos sus detalles referente al cálculo del nivel de vibración de una viga.

Se estudiará un sistema que consiste en una viga IPE 180 de 4,8 m de longitud, con una losa de espesor total de 10 cm con una lámina acanalada de 1,5" (3,81 cm). La lámina será LUVITEC Sección 36/15, calibre 22, de peso 7,84 Kgf/m². La separación entre las vigas (b_e) es de 2,0 m. La carga viva de diseño es de 250 Kgf/m² considerando que es un edificio de oficinas.

Las características geométricas del perfil son:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 23,9 \text{ cm}^2. \\ I_x = 1320 \text{ cm}^4. \\ d = 180 \text{ mm}. \\ P = 18,8 \text{ Kgf/ml}. \end{array} \right.$$

Dimensión de canales de la lámina de acero utilizada:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{base mayor: } 6,35 \text{ cm} \\ \text{base menor: } 4,45 \text{ cm} \\ \text{separación entre canales: } 15,24 \text{ cm} \end{array} \right.$$

Cálculo del espesor efectivo (d_e):

Volumen de una ranura de concreto:

$$(6,35+4,45) \frac{3,81}{2} * 200 = 4115 \text{ cm}^3 = 0,004115 \text{ m}^3$$

Volumen efectivo incluyendo el concreto de los canales:

$$2,00 \text{ m} * 0,1524 \text{ m} * y_1 = 0,004115 \text{ m}^3$$

$$y_1 = 1,35 \text{ cm}$$

Volumen efectivo incluyendo el peso de la lámina:

$$7,84 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} * 2,00 \text{ m} * 0,1524 \text{ m} = 2,39 \text{ Kgf}$$

$$2400 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} * y_2 * 2,00 \text{ m} * 0,1524 \text{ m} = 2,39 \text{ Kgf}$$

$$y_2 = 0,33 \text{ cm}$$

$$d_e = (10 - 3,81) + 1,35 + 0,33 = 7,87 \text{ cm}$$

Cálculo de la inercia transformada (I_{tr})

$$\bar{y} = \frac{20 * 7,87 * \left(18 + 10 - \frac{7,87}{2}\right) + 23,9 * (9)}{(20 * 7,87) + 23,9} = 22,08 \text{ cm}$$

$$I_w = \frac{20 * 7,87^3}{12} + 20 * 7,87 * (24,06 - 22,08)^2 + 1320 + 23,9 * (22,08 - 9)^2 = 6838 \text{ cm}^4$$

El valor en la tabla general de las inercias transformadas para láminas de 1,5" es de 6837 cm⁴, por lo tanto, esta correcto.

Cálculo del peso de la losa y la lámina de acero

Peso de la losa: $0,0737 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400 \text{ Kgf} * \text{m}^3 = 176,9 \text{ Kgf}/\text{m}^2$.

Peso de la lámina: $7,84 \text{ Kgf}/\text{m}^2$.

Peso de losa + lámina: $184,74 \text{ Kgf}/\text{m}^2$

Cálculo de W.

Para el cálculo del peso que soporta la viga se deben considerar todos los elementos que exclusivamente soporte ésta. Para la solución de este problema se considerarán 30 Kgf/m² consistentes en plafones, tuberías de aire acondicionado e incluye el peso propio de la viga; 60 Kgf/m² considerando el acabado del piso (cerámica, granito) y se asumirá la presencia de un 20% de la carga viva, es decir 50 Kgf/m².

$$W = (184,5 + 30 + 60 + 50) * 2,0 * 4,8 = 3118 \text{ Kgf}$$

Cálculo de la frecuencia natural de la viga (f).

$$f = 1,57 \sqrt{\frac{980 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} * 2,1 * 10^6 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} * 6838 \text{ cm}^4}{3118 \text{ Kgf} (480 \text{ cm})^3}} = 10,0 \text{ Hz}$$

El FCD según la Ecuación 40 es : $FCD = 1,179$

De la Ecuación 37 se tiene:

$$d_s = \frac{272 \text{ Kgf} * (480 \text{ cm})^3}{48 * 2,1 * 10^6 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} * 6838 \text{ cm}^4} = 0,0436 \text{ cm}$$

$$A_{0r} = FCD * d_s = 1,179 * 0,0436 \text{ cm} = 0,0514 \text{ cm}$$

Cálculo del número efectivo de vigas con la Ecuación 41.

$$N_{ef} = 2,97 - \frac{200}{17,3*7,87} + \frac{(480)^4}{18,6*2,1*10^6*6838} = 1,700$$

De este modo se calcula la amplitud en mm.

$$A_0 = \frac{0,514\text{mm}}{1,7} = 0,302 \text{ mm}$$

El producto A_0*f es:

$$A_0*f = 0,302\text{mm} * 10,0 \text{ Hz} = 3,02$$

Con estos valores en la Tabla 4.26, se obtiene una clasificación de “Vibración claramente perceptible”.

En la Escala Modificada de Reiher-Meister (Figura 4.14) se obtiene una clasificación de “Claramente perceptible- Mala”.

A continuación, se resolverá el mismo sistema, con las mismas características, con una losa de altura total 12 cm en lugar de 10 cm.

El valor del momento de inercia de la sección es el de la Tabla 4.22. $I_{tr} = 8413 \text{ cm}^4$.

El peso de la losa de concreto y la lámina de acero es:

$$0,0937 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400 \text{ Kgf/m}^3 + 7,84 \text{ Kgf/m}^2 = 233 \text{ Kgf/m}^2.$$

El cálculo de W, se realiza del mismo modo, obteniendo $W = 3581 \text{ Kgf}$.

La frecuencia da como resultado: $f = 10,4 \text{ Hz}$.

El $FCD = 1,202$

$d_s = 0,0355 \text{ cm}$

$A_{0t} = 0,0427 \text{ cm} = 0,427 \text{ mm}$

$N_{ef} = 1,96$

$A_0 = 0,2179 \text{ mm}$

$A_0*f = 2,26$

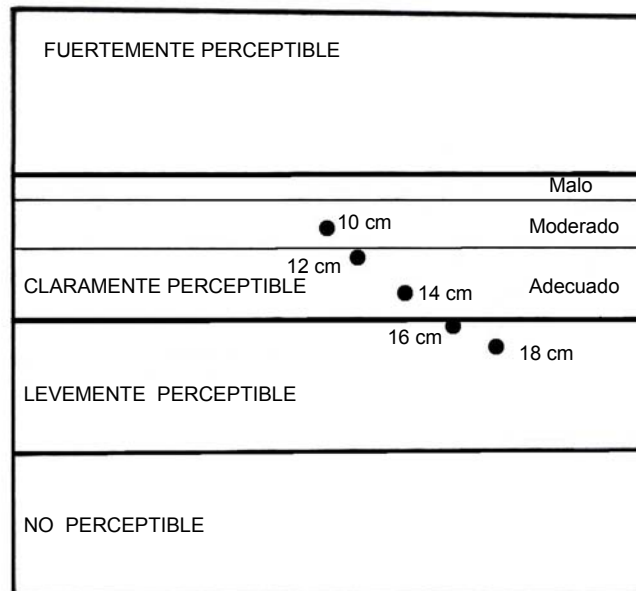
De este modo con la Tabla 4.26, el nivel de vibración ha permanecido en el mismo nivel, a pesar que ha bajado considerablemente. Con la Escala modificada de Reiher-Meister el nivel ha bajado al sub-nivel de “Moderado” aunque aún sigue siendo “Claramente perceptible”.

De este modo se observa como aumentando el espesor de concreto, el nivel de vibración es menor.

Se ha realizado el mismo procedimiento anterior con valores de losas de 14 , 16 y 18 cm. A continuación se muestran sus resultados.

Espesor losa (cm)	10	12	14	16	18
A_0 (mm)	0,3024	0,2179	0,1660	0,1375	0,1032
f (Hz)	10,0	10,4	10,9	11,1	12,2
$A_0 * f$	3,02	2,26	1,81	1,51	1,26
Clasificación Tabla 4.26	Claramente perceptible	Claramente perceptible	Claramente perceptible	Levemente perceptible	Levemente perceptible

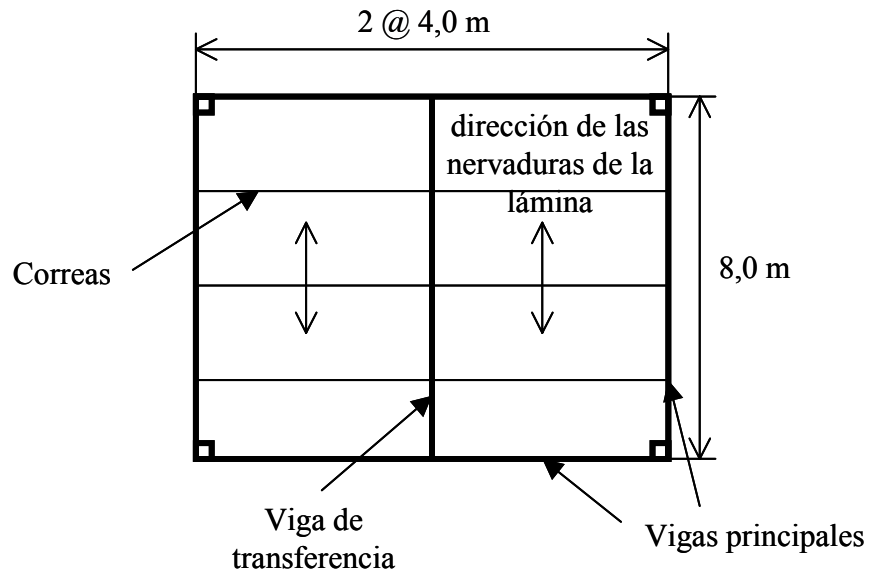
La siguiente figura muestra los valores en la Escala Modificada de Reiher-Meister para todos los espesores de losa.



APÉNDICE B

Un ejemplo de cómo utilizar todas las tablas suministradas en el trabajo de investigación es el siguiente:

Se realiza una edificación con las siguientes dimensiones:



La carga viva por Norma es de 300 Kgf/m² por tratarse de una edificación comercial. Se utilizará un encofrado colaborante LOSACERO de 1,5'' de altura, calibre 20 con un espesor de losa de 10 cm. Las correas utilizadas serán perfiles IPE 140.

- Cálculo de carga permanente.

Lámina de acero: 9,32 Kgf/m². (Tabla 2.1)

Peso del concreto: $0,0740 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400 \text{ Kgf}/\text{m}^3 = 177,6 \text{ Kgf}/\text{m}^2$. (Tabla 2.2)

Acabado de piso (estimado): 60 Kgf/m².

Acero (estimado): 50 Kgf/m².

Cielo raso, tuberías de aire (estimado): 40 Kgf/m²

Tabiquería liviana: 100 Kgf/m².

436,9 Kgf/m² \cong 437 Kgf/m²

- Cálculo de carga máxima mayorada:

$$q_u = 1,2 \text{ CP} + 1,6 \text{ CV} = 1,2 * 437 \text{ Kgf}/\text{m}^2 + 1,6 * 300 \text{ Kgf}/\text{m}^2 = 1004 \text{ Kgf}/\text{m}^2.$$

- Durante el montaje de las láminas.
Se dispondrá de la lámina LOSACERO apoyada en 4 tramos, es decir, con una longitud al menos de 8 m.
Según la Tabla 3.12, la separación máxima entre apoyos para una lámina LOSACERO calibre 20, espesor de losa 10 cm, apoyada en 4 tramos, es de 2,34 m, por lo cual colocarlas a una separación de 2,0 m es posible.

- Etapa de servicio.
La sobrecarga admisible sin las cargas constructivas ya consideradas, es de

$$q = 437 \text{ Kgf/m}^2 + 300 \text{ Kgf/m}^2 - (9,32 + 177,6) \text{ Kgf/m}^2 = 550 \text{ Kgf/m}^2.$$

La Tabla 3.18 indica que la carga máxima de servicio para las condiciones ya mencionadas es de 534 Kgf/m², por lo cual la sobrecarga se considera aceptable. En caso de no ser así, se debe disminuir la separación entre correas.

- Estado límite de resistencia.
Del mismo modo, la Tabla 3.37 indica que la carga última que soporta la losa es de 2083 Kgf/m² para una losa con concreto de resistencia especificada de 200 Kgf/cm². De esta forma se aprecia que la losa supera la carga última existente de 1004 Kgf/m².

A continuación se estudiarán las mismas etapas antes mencionadas para la viga mixta, utilizando perfiles IPE 140 de longitud 4,0 m.

- Etapa de construcción de las correas.
En cuanto a la separación de las correas, la Tabla 4.13 indica que en su montaje la separación crítica entre ellas para una correa IPE 140 de 4,0 m de longitud, es de 2,37 m, por lo cual la longitud de 2 m de separación sigue siendo válida. Un perfil inferior para estas disposiciones dadas, no pudiera ser espaciado a 2,0 m.

- Etapa de servicio.

En esta etapa de servicio, la condición de flecha es la que determina la carga máxima de servicio.

Para esto se tiene que calcular el ancho efectivo a cada lado de la losa, entre el menor valor de:

$$\left. \begin{array}{l} \text{a) } L/8 = 4,0 \text{ m} / 8 = 0,5 \text{ m} \\ \text{b) } 1 \text{ m} \\ \text{c) } \text{No aplica.} \end{array} \right\} \text{ el menor valor es } 0,5 \text{ m.}$$

Por esto, el ancho efectivo total de la losa será: $0,5 \text{ m} * 2 = 1,0 \text{ m}$

La inercia transformada (I_T) para un ancho efectivo de 1,0 m es de 3245 cm^4 , según lo indica la Tabla 4.17.

Así, con la ecuación de deflexión para un tramo simplemente apoyado, la carga máxima de servicio para una deflexión máxima de $L/360$ es

$$\frac{L}{360} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_T}$$

$$q = \frac{384EI_T}{360 * 5 * L^3} = \frac{384 * 2,1 * 10^6 * 3245}{360 * 5 * (400)^3} * 100 = 2271,5 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}}$$

$$q = \frac{2271,5 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}}}{2,0 \text{ m}} = 1136 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

Esta carga de servicio de la losa, es mayor que la calculada anteriormente, por lo que esta correcto. En esta etapa se debe analizar el nivel de vibración de la estructura como lo indica el Apéndice A.

- Estado límite de resistencia

Para el cálculo de la carga máxima mayorada la Tabla 4.27 suministra los valores de momentos minorados positivos (ϕM_t). Para esta configuración y un concreto de resistencia de 200 Kgf/cm^2 , el momento minorado positivo es 5504 Kgf m .

De este modo, despejando de la ecuación de momento para una correa simplemente apoyada, la carga máxima mayorada viene dada por

$$q_u = \frac{M_u * 8}{L^2} = \frac{5504 * 8}{(4,0)^2} = 2752 \frac{Kgf}{m}$$

$$q_u = \frac{2752 \frac{Kgf}{m}}{2,0m} = 1376 \frac{Kgf}{m^2}$$

Por lo tanto, se comprueba que este sistema sí cumple todos los requisitos en su etapa de montaje, servicio y resistencia última.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Galambos, T., Lin, F.J., Johnston, B. (1999). *Diseño de Estructuras de Acero con LRFD*. Prentice Hall. México. (320 Pág.)
- Segui, W. (1999). *Diseño de Estructuras de Acero con LRFD* (2a. ed.). International Thomson Editores. México. (619 Pág.)
- Shuster, R.M. (1974). Composite Steel-Deck-Reinforced Concrete Floor Systems. En *Design in Cold Formed Steel*. R. M. Schuster. School of Architecture. Ontario.
- McCormac, J. (1991). *Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD*. Ediciones Alfaomega. México. (557 Pág.)
- Murray, T., Allen, D., Ungar, E. (1997). *Floor Vibrations Due to Human Activity*. American Institute of Steel Construction, Canadian Institute of Steel Construction. Chicago. (69 Pág.)
- Porter, M., Ekberg, C. (1977). Desing Recommendations for Steel Deck Floor Slabs. En *Journal of the Structural Division*. ASCE. Iowa.
- *Productos Estructurales. Corpalosa. Lámina Colaborante*. [en línea]. Bogotá y Barranquilla, Colombia. Disponible en:
<http://www.corpacero.com/html/estructurales.htm#corpalosa>
- *Steel Deck Institute. Advantages*. [en línea]. Illinois. Disponible en:
<http://www.sdi.org/adv5.htm>
- *IMSA. Lámina acanalada de acero. Entrepisos metálicos*. [en línea]. México. Disponible en: <http://www.imsacero.com/espaniol/productos/acanalada4.htm>
- *SIDETUR Joist. Catálogo digital*. (Octubre, 2002). [en línea]. Venezuela. Disponible en: <http://www.sidetur.com.ve/inicio.htm>
- *Designing with Steel Form Deck*. (2003). [en línea]. Illinois. Disponible en:
<http://www.sdi.org/whites/FORM.pdf>
- *Norma de Diseño del Steel Joist Institute*. (2002). [En línea]. Disponible en:
<http://www.steeljoist.org/sjipdf/>
- *Losas de Tabeles*. (2002). SIDETUR. Caracas.
- *SIGALDECK. Encofrado Colaborante de Acero Estructural Galvanizado*. Caracas, Venezuela: Sigalca. Sidero Galvanica C.A.

- *LOSACERO. Catálogo, Especificaciones Técnicas y Manual de Instalación.* LUMETAL, C.A. Caracas, Venezuela.
- *PLACACERO para pisos y techos.* LOPBARCA Construcciones. Caracas.
- Murray, T. (1981). *Acceptability Criterion for Occupant-Induced Floor Vibrations.* American Institute of Steel Construction.
- *Control de Vibraciones en Vigas de Sección Mixta Concreto-Acero.* En *Manual de Estructuras de Acero.* PROPERCA. Venezuela.
- Canadian Institute of Steel Construction. (1977). *Limit States Design Steel Manual.* C.I.S.C. Ontario.
- Norma COVENIN-MINDUR 1618-98. “*Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites*”.
- Hirschfeld, K. (1975). *Estática en la Construcción.* Editorial Reverté S.A. Barcelona. (1587 Pág.).
- Englekirk, R. (1994). *Steel Structures – Controlling Behaviour Through Design.* John Wiley and Sons. Inc. Nueva York. (807 Pág.)
- Velásquez, J.M. *Introducción a la Dinámica de Estructuras.* Notas no publicadas.

9 ANEXOS**Tabla A****Clasificación de los grados de acero**

Sección 6. Sumario de Alcance y principales propiedades extensibles, Especificaciones ASTM.

Designación ASTM.	PRODUCTO	GRADO	Fy, Ksi (min)	Fu, Ksi (min)	Porcentaje de elongación en 2 plg (min)
A 446-69. Láminas en rollos y cortadas a la medida, recubiertas de zinc (galvanizado) en un proceso de inmersión en caliente. Se usan para procesos estructurales y donde se requieren pruebas mecánicas.	Lámina	A B C D E	33 37 40 50 80	45 52 55 65 82	20 18 16 12
A 570-70. Láminas de acero al carbono moldeadas en caliente de calidad estructural. Este material se usa con propósitos estructurales donde se requieren pruebas mecánicas. Nota: Grado A, B, C y D reemplazan A303 y las provisiones de enrollado en caliente de A245	Lámina y "Strip"	A B C D E	25 30 33 40 42	45 49 52 55 58	23 a 27 21 a 25 18 a 23 15 a 21 13 a 19
A 606-70. Láminas enrolladas en frío y caliente, de alta resistencia y baja aleación, a ser usados con propósitos estructurales y misceláneos donde el bajo peso y la alta durabilidad son importantes. Estos aceros han mejorado la resistencia a la corrosión atmosférica y son suplidos en dos tipo: Tipo 2 que tienen una resistencia a la corrosión de al menos dos veces la del acero al carbono, y tipo 4 que tiene una resistencia a la corrosión de al menos 4 veces la del acero al carbono. La resistencia a la corrosión está basada en datos aceptados por el consumidor. Nota: el Tipo 2 de material enrollado en frío se usa para reemplazar las especificaciones ASTM A374 para láminas de acero enrolladas en frío de alta resistencia y baja aleación; el Tipo 2 de material enrollado en caliente se usa para reemplazar las especificaciones ASTM A375 para láminas de acero enrolladas en caliente de alta resistencia y baja aleación.	Lámina y "Strip"	enrollado en caliente como láminas cortadas	50	70	22
		enrollado en caliente como rollos	45	65	22
		enrollado en caliente normalizado	45	65	22
		enrollado en frío	45	65	22
A 607-70 Láminas de acero en rollos y cortadas en medidas, enrolladas en caliente o en frío, de alta resistencia y de baja aleación de vanadio y/o columbio, para uso con propósitos estructurales y misceláneos donde alta resistencia y bajo peso son importantes. Este material está dispuesto en 6 niveles de resistencia. La resistencia a la corrosión atmosférica de estos acero (sin cobre) es equivalente al acero al carbono. Con contenido de cobre, la resistencia a la corrosión atmosférica es doble de la del acero al carbono.	Lámina y "Strip"	45 50 55 60 65 70	45 50 55 60 65 70	60 65 70 75 80 85	enrollado caliente 25 enrollado frío 22 enrollado caliente 22 enrollado frío 20 enrollado caliente 20 enrollado en frío 18 enrollado caliente 18 enrollado en frío 16 enrollado caliente 16 enrollado caliente 14
A 611-70. Láminas de acero al carbono en rollo o cortadas a la medida, enrollados en frío. Esto incluye 5 niveles de resistencia designados como Grado A con un mínimo esfuerzo de cedencia de 25 Ksi; Grado B con 30 Ksi mínimo; Grado C con 33 Ksi mínimo; Grado D con 40 Ksi mínimo y Grado E con 80 Ksi mínimo. Grados A, B, C y D tienen ductilidad moderada mientras Grado E es un producto muy duro sin especificación de elongación. Nota: Reemplaza las provisiones de enrollado en frío de A 245	Lámina y "Strip"	A B C D E	25 30 33 40 80	42 45 48 52 82	26 24 22 20

Tabla B
Series económicas de la serie K del los Steel Joist.

Designación	10K1	12K1	8K1	14K1	16K2	12K3	14K3	16K3	18K3	14K4	20K3	16K4	12K5	18K4	16K5	20K4
Altura (mm)	254	305	203	356	406	305	356	406	457	356	508	406	305	457	406	508
Peso aprox. (Kg/m)	7,4	7,4	7,6	7,7	8,2	8,5	8,9	9,4	9,8	10,0	10,0	10,4	10,6	10,7	11,2	11,3
Luz (m)																
2,44			818 818													
2,74			818 818													
3,05	818 818		818 714													
3,35	818 806		792 561													
3,66	818 677	818 818	661 429			818 818							818 818			
3,96	713 570	818 759	561 335			818 759							818 759			
4,27	613 430	744 632	482 266	818 818		818 719	818 82			818 818			82 689			
4,57	533 348	646 512	418 216	760 707		808 637	818 754			818 754			818 646			
4,88	466 286	565 420	366 177	667 580	818 818	708 522	818 695	818 818		818 695		818 818	818 589		818 982	
5,18	412 237	500 348		588 482	762 726	625 433	737 601	818 83		818 659		818 783	818 545		818 783	
5,49	366 199	445 293		524 405	679 609	557 365	656 504	756 693	818 818	74 591		818 729	754 472	818 818	818 729	
5,79	329 168	399 248		469 342	607 516	498 308	588 427	677 574	765 735	707 500		814 673	676 400	818 778	818 677	
6,10	296 144	359 211		423 293	548 442	449 263	530 366	610 491	689 629	637 427	769 769	734 574	609 342	818 729	818 634	818 818
6,40		324 183		382 253	496 379	406 228	479 315	552 424	625 542	577 369	696 674	665 496	551 295	753 634	748 555	818 774
6,71		296 158		348 219	451 330	371 196	436 274	501 368	568 470	525 320	634 585	604 430	501 256	684 551	682 481	765 716
7,01		269 138		318 190	412 289	338 173	399 238	458 321	519 411	479 280	579 512	552 375	458 223	625 481	622 420	698 598
7,32		247 121		292 168	378 253	310 150	365 210	421 281	476 360	439 246	531 449	506 329	420 196	573 423	571 369	640 525
7,62				268 149	348 223		336 185	387 248	437 318	405 216	58 396	466 290		528 372	525 326	589 464
7,92				247 131	321 198		311 164	357 220	405 283	373 192	452 351	430 257		488 330	485 289	545 412
8,23				229 118	298 177		287 146	332 196	375 251	347 171	418 31	399 231		451 295	449 257	504 368
8,53				213 104	277 158		268 131	308 176	348 225	321 153	388 281	371 205		420 263	418 231	469 329
8,84					257 141			287 158	324 202		362 253	345 185		391 237	388 207	436 296
9,14					240 126			268 143	302 183		338 228	321 167		365 214	363 187	408 266
9,45					225 116			250 129	283 165		315 205	302 150		341 193	339 170	381 241
9,75					211 106			235 118	265 150		296 187	283 137		320 176	318 153	357 219
10,06									250 137		278 170			301 161		336 199
10,36									235 125		262 156			283 146		315 182
10,67									222 115		247 143			266 134		298 167
10,97									210 104		234 131			251 122		281 153
11,28											220 121					266 141
11,58											210 110					253 129
11,89											198 103					240 121
12,19											189 95					228 112

Fuente: Modificado del Manual del SJI

Designación	14K6	18K5	22K4	16K6	20K5	24K4	18K6	16K7	22K5	20K6	18K7	22K6	20K7	24K5	22K7	24K6
Altura (mm)	356	457	559	406	508	610	457	406	559	508	457	559	508	610	559	610
Peso aprox. (Kg/m)	11,5	11,5	11,9	12,1	12,2	12,5	12,6	12,8	13,1	13,2	13,4	13,7	13,8	13,8	14,4	14,4
Luz (m)																
4,27	818 818															
4,57	818 754															
4,88	818 695			818 818				818 818								
5,18	818 659			818 783				818 783								
5,49	818 607	818 818		818 729			818 818	818 729			818 818					
5,79	818 570	818 778		818 677			818 778	818 677			818 778					
6,10	781 516	818 729		818 634	818 818		818 729	818 634		818 818	818 729		818 818			
6,40	707 445	818 684		815 603	818 774		818 684	818 604		818 774	818 684		818 774			
6,71	643 400	771 616	818 815	741 522	818 729		818 652	818 573	818 815	818 729	818 652	818 815	818 729		818 815	
7,01	588 336	704 568	771 731	677 457	787 671		768 585	754 504	818 771	818 696	818 622	818 771	818 696		818 771	
7,32	539 296	646 473	707 641	622 400	722 589	774	704 513	692 443	798 719	786 640	783 568	818 737	818 667	818 809	818 737	818 809
7,62	497 260	595 418	652 567	571 354	664 521	713 679	647 454	637 391	734 635	723 565	722 501	799 690	805 626	804 760	818 705	818 774
7,92	458 232	549 371	601 503	528 314	613 461	658 604	598 403	588 347	677 564	668 501	667 445	738 612	744 555	743 674	818 676	808 734
8,23	424 207	509 330	557 448	490 280	568 412	610 537	554 359	545 310	628 501	68 448	618 397	683 546	689 496	687 601	762 604	748 653
8,53	394 185	473 296	518 402	455 250	528 366	567 481	515 321	506 277	583 449	574 400	573 356	635 485	640 443	638 539	707 542	695 585
8,84		440 266	482 360	424 225	491 332	527 432	448 289	440 248	507 405	500 360	498 320	552 439	557 399	555 484	615 487	604 527
9,14		411 269	449 326	396 204	458 299	493 390	448 262	440 240	507 365	500 324	498 289	552 396	557 360	555 436	615 440	604 475
9,45		384 217	570 292	371 185	430 271	461 353	418 235	412 204	475 330	467 295	466 260	516 359	521 326	519 396	576 397	565 430
9,75		360 196	394 268	347 167	403 246	432 320	393 214	385 185	445 299	439 266	437 237	485 326	488 296	487 359	540 360	531 420
10,06		339 180	371 244		378 223	406 292	369 195		418 272	412 243	411 216	455 296	460 269	458 327	507 329	498 356
10,36		318 164	350 222		356 204	382 266	347 179		394 248	388 222	387 196	429 196	432 246	432 299	478 301	469 324
10,67		301 150	329 204		336 186	360 244	327 164		371 228	366 204	365 180	405 248	408 240	406 274	451 275	442 298
10,97		284 137	311 190		317 171	341 223	310 150		351 210	345 186	34 165	382 228	385 207	384 251	426 251	418 272
11,28			295 173		301 158	321 205			332 193	327 171		362 210	365 190	363 231	403 232	396 251
11,58			278 159		284 143	305 190			314 177	310 158		342 193	345 176	344 213	381 214	375 232
11,89			265 146		269 134	290 176			298 164	250 146		324 179	327 162	326 196	362 198	356 214
12,19			251 135		256 125	275 162			283 152	280 135		308 165	311 150	310 182	344 183	338 198
12,50			240 126			262 150			269 141			293 153		295 170	327 170	321 185
12,80			228 118			250 140			257 131			280 141		281 156	311 158	307 171
13,11			217 109			238 131			246 122			266 132		268 146	298 147	292 159
13,41			207 101			228 122			234 113			254 124		256 137	284 137	278 149
13,72						217 113								244 128		266 138
14,02						207 106								234 119		254 129
14,33						198 100								223 112		244 122
14,63						190 94								214 104		234 115

Fuente: Modificado del Manual del SJI

Designación	26K5	16K9	24K7	18K9	26K6	20K9	26K7	22K9	28K6	24K8	18K10	28K7	24K9	26K8	20K10	26K9
Altura (mm)	660	406	610	457	660	508	660	559	711	610	457	711	610	660	508	660
Peso aprox. (Kg/m)	14,6	14,9	15,0	15,2	15,8	16,1	16,2	16,8	17,0	17,1	17,4	17,6	17,9	18,0	18,2	18,2
Luz (m)																
4,88		818														
5,18		818														
5,49		729		818							818					
5,79		677		778							778					
6,10		634		729		818					818				818	
6,40		604		684		774					684				774	
6,71		573		649		729		818			652				729	
7,01		540		622		696		82			818				818	
7,32		515	809	589		667		737		809	592		809		667	
7,62		463	774	561		634		705		818	774		818		774	
7,92	806	705	818	801	818	818	818	818		818	818		818	818	818	818
8,23	747	653	818	741	814	818	818	818		818	818		818	818	818	818
8,53	693	607	775	689	756	769	818	818	815	818	815	818	818	818	818	818
8,84	646	565	722	641	704	717	784	792	760	798	760	818	818	818	818	818
9,14	603	528	674	598	656	670	732	740	710	744	710	790	809	809	793	818
9,45	564	494	631	559	615	626	684	692	664	696	664	740	759	757	743	818
9,75	437	463	432	280	460	350	510	427	537	473	329	595	512	558	411	606
10,06	497		555	494	542	552	604	610	585	615	585	652	668	667	655	726
10,36	469		522	464	510	519	568	574	551	577	551	613	629	628	616	683
10,67	442		493	437	481	490	536	542	519	545	519	579	594	592	580	644
10,97	417		466	414	454	463	506	512	491	515	491	546	561	559	549	609
11,28	394		440		430	437	479	484	464	487		518	530	530	519	576
11,58	373		418		408	415	454	458	440	461		490	503	501	493	546
11,89	354		396		387	394	430	434	417	437		466	476	476	467	518
12,19	338		376		368	373	409	414	396	417		442	452	452	443	493
12,50	320		359		350		390	393	376	396		421	432	430		469
12,80	305		341		333		371	375	359	376		400	411	409		446
13,11	292		326		317		354	357	342	360		382	243	391		426
13,41	278		311		304		338	341	327	344		365	373	373		406
13,72	266		296		289		323		312	327		348	357	357		388
14,02	254		284		277		308		299	314		333	342	341		372
14,33	244		272		265		296		286	301		318	327	326		356
14,63	234		260		254		283		274	289		293	314	312		341
14,94	223				244		272		263	272		293		301		327
15,24	214				234		260		253			281		289		314
15,54	207				225		250		243			271		277		302
15,85	198				216		241		234			260		266		290
16,15					106		118		124			137		131		138
16,46									225			250				
16,76									116			129				
17,07									216			241				
									110			122				
									208			232				
									104			115				
									201			225				
									98			109				

Fuente: Modificado del Manual del SJI

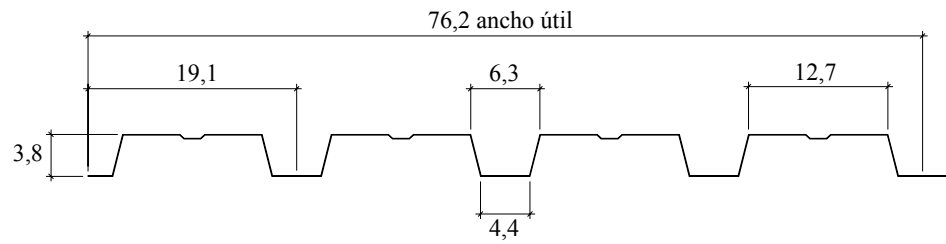
Designación	30K7	22K10	28K8	28K9	24K10	30K8	30K9	22K11	26K10	28K10	30K10	24K12	30K11	26K12	28K12	30K12
Altura (mm)	762	559	711	711	610	762	762	559	660	711	762	610	762	660	711	762
Peso aprox. (Kg/m)	18,3	18,7	18,9	19,3	19,5	19,6	19,9	20,5	20,5	21,3	22,3	23,8	24,4	24,7	25,4	26,2
Luz (m)																
6,71		818 815						818 815								
7,01		818 771						818 771								
7,32		818 737			818 809			818 737				818 809				
7,62		818 705			818 774			818 705				818 774				
7,92		818 676			818 743			818 676	818 805			818 743		818 805		
8,23		818 643			818 713			818 643	818 777			818 713		818 777		
8,53		818 615	818 808	818 808	818 679			818 615	818 745	818 808		818 679		818 745	818 808	
8,84		818 594	818 777	818 777	818 649			818 594	818 713	818 777		818 652		818 713	818 777	
9,14	818 808	818 573	818 744	818 744	818 628	818 808	818 808	818 573	818 683	818 744	818 808	818 628	818 808	818 683	818 744	818 808
9,45	795 756	818 540	818 714	818 714	818 610	818 774	818 774	818 549	818 661	818 714	818 625	818 610	818 774	818 661	818 714	818 774
9,75	745 686	769 501	766 652	817 689	817 585	817 744	817 744	817 528	817 641	817 744	817 689	817 744	817 585	817 744	817 689	817 744
10,06	701 625	723 457	720 594	784 643	792 548	774 684	792 696	792 497	792 601	792 647	792 696	792 548	792 696	792 601	792 647	792 696
10,36	659 571	682 417	679 542	738 588	747 501	729 625	729 656	768 467	768 555	768 610	768 656	768 512	768 656	768 562	768 610	768 656
10,67	622 522	643 382	640 496	696 537	704 458	687 571	745 618	735 434	745 530	745 579	745 618	745 482	745 618	745 530	745 579	745 618
10,97	588 481	607 351	604 455	658 494	665 421	649 525	707 570	695 400	723 497	725 545	725 583	725 455	725 583	725 497	725 545	725 583
11,28	555 442	574 323	571 420	622 454	629 387	615 484	668 524	658 368	684 451	705 512	705 557	705 432	705 557	705 469	705 512	705 557
11,58	527 408	545 298	542 387	589 420	597 357	582 446	634 484	623 339	649 421	686 484	686 525	686 409	686 525	686 445	686 484	686 525
11,89	500 376	516 246	515 357	559 387	565 330	552 412	601 446	591 314	615 390	665 455	668 496	668 388	668 496	668 421	668 458	668 496
12,19	475 348	491 254	488 330	531 359	537 307	525 381	571 414	561 290	585 362	631 571	652 469	652 368	652 469	652 400	652 433	652 469
12,50	451 323	467 228	464 307	506 333	512 284	498 354	543 384	534 269	557 335	601 391	635 446	635 350	635 446	635 381	635 412	635 446
12,80	430 301	445 220	442 286	482 310	487 263	476 329	518 357	509 250	530 312	571 365	615 420	620 333	620 423	620 363	620 393	620 423
13,11	411 280	424 205	423 266	460 289	464 246	454 307	494 332	485 234	504 290	546 339	586 391	604 317	606 402	606 345	606 390	606 402
13,41	391 262	405 190	403 248	439 269	443 229	433 286	472 310	463 217	482 271	521 315	559 365	576 296	592 384	592 330	592 357	592 399
13,72	373 244		88 232	420 251	424 214	414 266	451 290		461 253	497 250	534 341	551 275	579 217	579 315	579 341	579 366
14,02	359 228		369 217	402 235	405 201	396 250	432 271		440 237	476 277	512 318	527 259	565 351	565 302	565 326	565 351
14,33	342 214		353 54	384 220	388 187	379 234	412 254		423 222	455 259	490 299	504 243	554 336	549 286	554 312	554 336
14,63	329 201		338 187	368 207	372 176	363 220	396 238		405 208	437 243	469 280	484 228	539 320	525 268	543 299	543 321
14,94	315 189		324 179	353 193		348 207	379 223		388 195	420 228	451 263		516 301	504 251	531 287	531 308
15,24	302 177		311 19	339 183		335 193	365 210		372 185	402 214	433 247		496 283	484 237	521 275	521 296
15,54	290 167		299 158	326 171		321 183	350 19		359 173	387 202	415 234		476 266	466 223	503 260	510 286
15,85	280 158		287 149	312 162		310 173	336 187		344 164	372 190	399 220		458 251	448 211	484 246	500 274
16,15	269 149		277 141	302 153		298 162	324 177		357 180	384 208			440 237		466 232	491 263
16,46	259 140		266 132	290 144		286 153	311 167		345 170	371 196			424 223		448 219	482 253
16,76	250 132		257 126	280 137		275 146	301 158		332 161	357 186			409 211		432 207	464 240
17,07	241 125		247 119	269 129		266 137	290 149		320 152	344 176			394 201		417 196	448 243
17,37	232 119					257 131	280 141						332 167		381 190	432 216
17,68	225 113					248 124	269 134						320 158		368 180	417 204
17,98	217 107					240 118	260 128						310 150		356 171	403 193
18,29	210 103					232 112	251 121						299 143		344 162	390 185

Fuente: Modificado del Manual del SJI

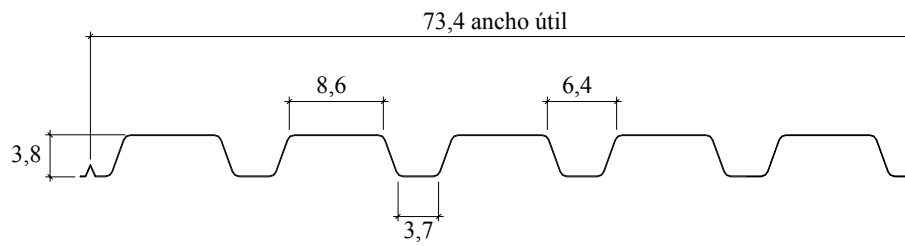
Figura A

Tipo de láminas

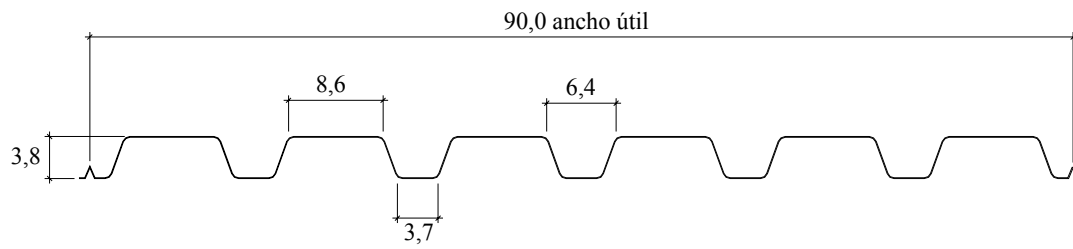
LOSACERO 1,5"



SIGALDECK 734 1,5"



SIGALDECK 900 1,5"



SIGALDECK 900 1,5"

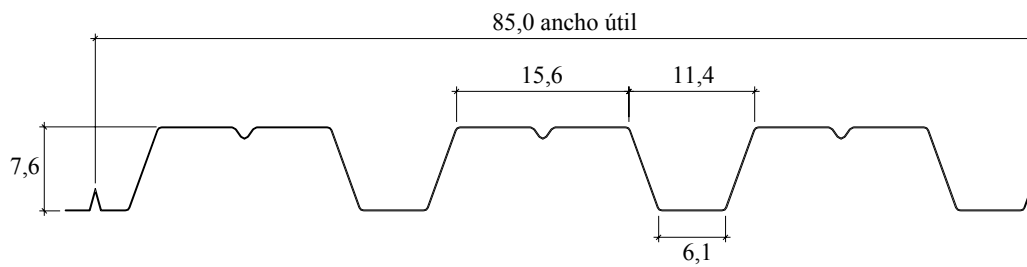


Figura B

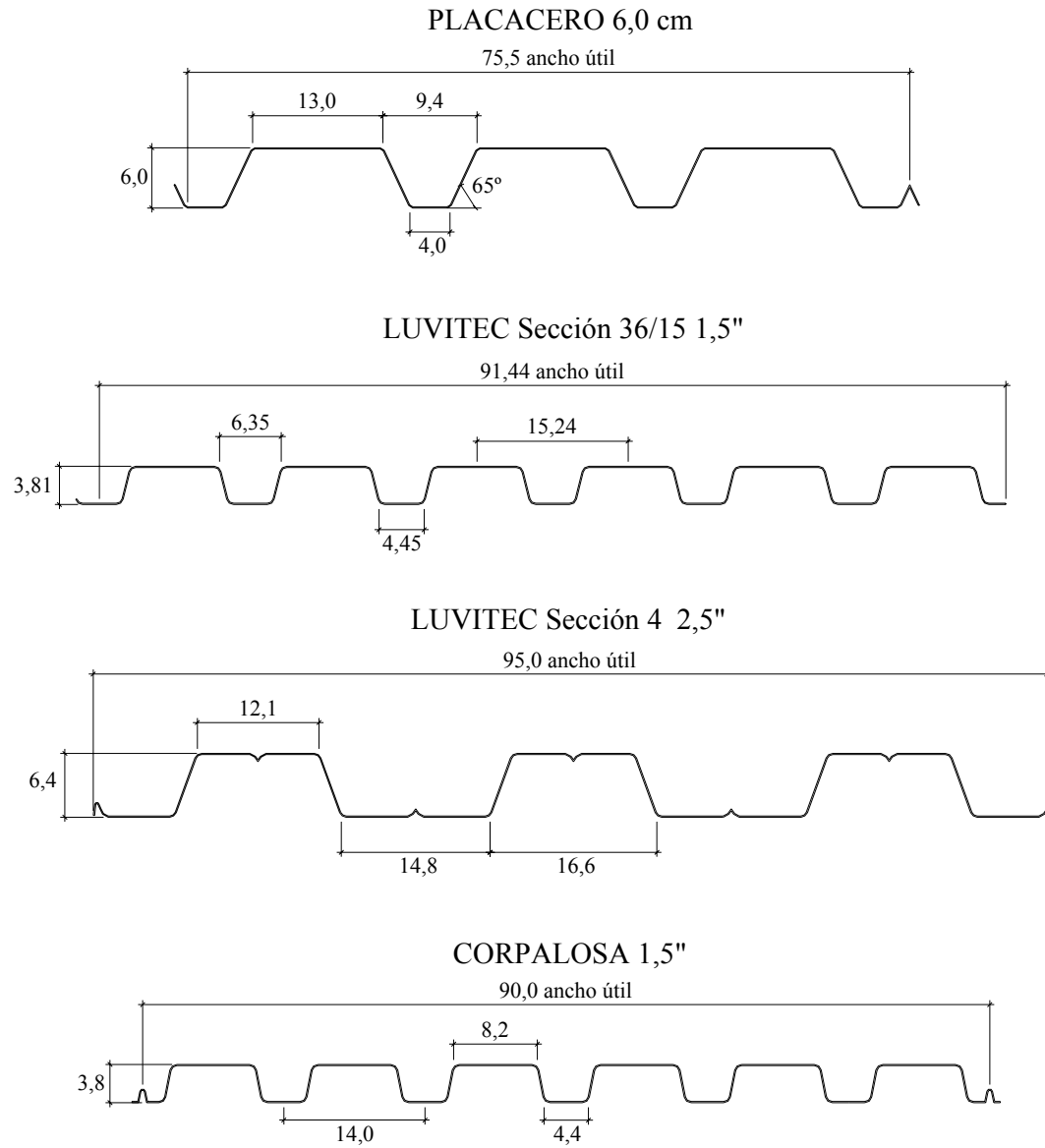


Figura C

Valores aportados por el Programa AutoCAD 2004

----- REGIONS -----
SIGALDECK 3" Calibre 22
 Area: 1.545
 Perimeter: 110.527
 Bounding box: X: -3409.809 -- -3370.439
 Y: -23.791 -- -20.791
 Centroid: X: -3390.124
 Y: -21.753
 Moments of inertia: X: 733.066
 Y: 17757750.537
 Product of inertia: XY: 113940.422
 Radii of gyration: X: 21.782
 Y: 3390.142
 Principal moments and X-Y directions about centroid:
 I: 1.973 along [1.000 0.000]
 J: 197.172 along [0.000 1.000]

----- REGIONS -----
SIGALDECK 3" Calibre 20
 Area: 1.936
 Perimeter: 110.851
 Bounding box: X: -3419.535 -- -3380.165
 Y: -31.219 -- -28.219
 Centroid: X: -3399.850
 Y: -29.193
 Moments of inertia: X: 1652.605
 Y: 22382052.445
 Product of inertia: XY: 192179.732
 Radii of gyration: X: 29.214
 Y: 3399.869
 Principal moments and X-Y directions about centroid:
 I: 2.468 along [1.000 0.000]
 J: 248.536 along [0.000 1.000]

----- REGIONS -----
SIGALDECK 3" Calibre 18
 Area: 2.608
 Perimeter: 111.263
 Bounding box: X: -3409.158 -- -3369.788
 Y: -36.971 -- -33.971
 Centroid: X: -3389.473
 Y: -34.950
 Moments of inertia: X: 3189.207
 Y: 29964896.593
 Product of inertia: XY: 308973.922
 Radii of gyration: X: 34.968
 Y: 3389.492
 Principal moments and X-Y directions about centroid:
 I: 3.281 along [1.000 0.000]
 J: 336.915 along [0.000 1.000]

Figura D

Escala modificada Reiher-Meister (Original)

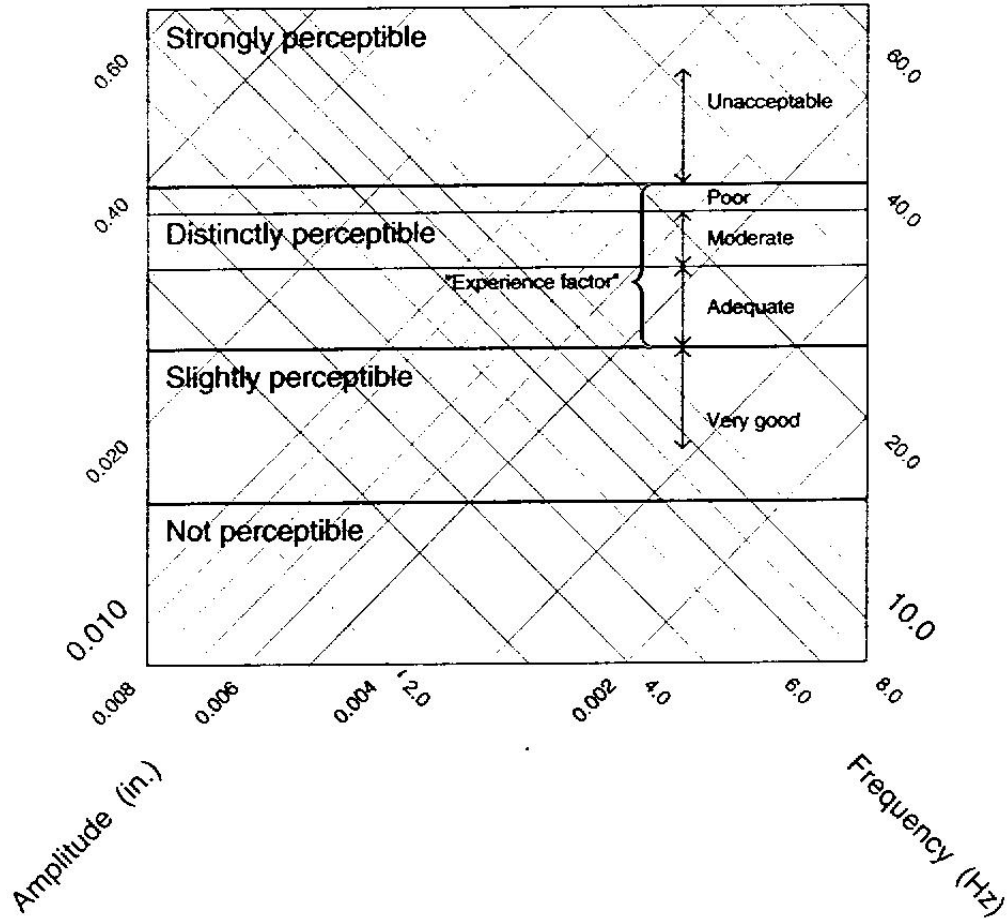


Figure 2.5.1 Modified Reiher-Meister Scale.