



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ESTUDIO DEL SISTEMA DE VIGUETAS
METÁLICAS DE ALMA ABIERTA CON ACCIÓN
COMPUESTA PARA SISTEMAS DE LOSAS DE
ENTREPISO EN COLOMBIA.**

Autor
Miguel Mariano Pereira Osten

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil
(Escuela Ambiental)
Medellín, Colombia
2020.



Estudio del sistema de viguetas metálicas de alma abierta con acción compuesta para sistemas de losas de entrepiso en Colombia.

Miguel Mariano Pereira Osten

Informe de práctica
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores

John Faber Dávila Illesca, Master of Science
Juan Carlos Martínez Roldan, Especialista en Ingeniería Estructural

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020.

ÍNDICE

1	IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE.....	6
2	IDENTIFICACIÓN DEL ASESOR INTERNO (U. DE A.).....	6
3	IDENTIFICACIÓN DEL ASESOR EXTERNO (EMPRESA)	6
4	IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	6
5	TÍTULO	7
6	RESUMEN	7
7	INTRODUCCIÓN	7
7.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS, DEFINICIONES Y CONTEXTO NACIONAL. 8	
8	OBJETIVO GENERAL.....	11
9	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
10	MARCO TEÓRICO.....	12
11	METODOLOGÍA	15
12	RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
12.1	INFORME CONCEPTUAL DE PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LAS JOIST SERIE CJ	16
12.1.1	DISEÑO Y FABRICACIÓN	16
12.1.1.1	MÉTODO	16
12.1.1.2	COMBINACIONES DE CARGA.....	17
12.1.1.3	ESFUERZOS NOMINALES	18
12.1.1.4	MIEMBROS	19
12.1.1.4.1	CUERDAS	19
12.1.1.4.2	ALMA	23
12.1.1.5	CONEXIONES.....	24
12.1.1.5.1	MÉTODOS.....	24
12.1.1.5.2	ESFUERZO.....	25
12.1.1.5.3	EMPALMES DE CAMPO.....	26
12.1.1.5.4	CONECTORES DE CORTANTE	26
12.1.1.6	VERIFICACIÓN DE DISEÑO Y FABRICACIÓN	27
12.1.2	SOLICITUD.....	28
12.1.2.1	USO	28
12.1.2.2	LUZ	28
12.1.2.3	PROFUNDIDAD.....	29
12.1.2.4	SOPORTES FINALES.....	29
12.1.2.5	ARRIOSTRAMIENTOS.....	31
12.1.2.6	INSTALACIÓN DE ARRIOSTRAMIENTOS.....	34
12.1.2.7	DEFLEXIÓN.....	34

12.2	HOJA DE CÁLCULO: DISEÑO DE VIGUETAS METÁLICAS DE ALMA ABIERTA CJ - SERIES.....	35
12.2.1	ESPECIFICACIONES	35
	PASO 1	35
	PASO 2	35
12.3	CONTEXTO NACIONAL.....	39
12.3.1	NORMATIVIDAD	39
12.3.2	CASO DE ESTUDIO.....	39
12.4	RESUMEN DE ACTIVIDADES LABORALES COMO PRACTICANTE.....	47
12.4.1	ASESORÍAS INGENIERILES.....	47
12.4.2	DISEÑOS CON METAL 3D DEL PROGRAMA CYPE.....	47
12.4.3	DESPIECE DE PROYECTOS	53
12.4.4	ELABORACIÓN DE CARTILLAS DE FIGURADO.....	53
13	CONCLUSIONES	54
14	ANEXOS	55
14.1	ANEXO A.	55
14.1.1	FABRICANTES Y PROVEEDORES EN ESTADOS UNIDOS	55
14.1.2	FABRICANTES Y PROVEEDORES DE VIGUETAS DE ALMA ABIERTA EN COLOMBIA.....	56
14.1.3	NORMATIVIDAD	56
14.1.4	POLÍTICA.....	56
14.2	ANEXO B.....	57
14.3	ANEXO C.....	58
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1.</i>	Elementos de una viga Joist.....	8
<i>Ilustración 2.</i>	Vigueta de alma abierta para cubiertas.....	9
<i>Ilustración 3.</i>	Vigueta de alma abierta acción compuesta.....	10
<i>Ilustración 4.</i>	Sección transversal y longitudinal de la vigueta metálica compuesta.....	22
<i>Ilustración 5.</i>	Detalle de soportes finales vigueta de alma abierta en viga de concreto.....	30
<i>Ilustración 6.</i>	Detalle de soportes finales vigueta de alma abierta en viga metálica.....	31
<i>Ilustración 7.</i>	Formaleteo y armado de para el vaciado de vigas principales.....	42
<i>Ilustración 8.</i>	Encamillada para el vaciado de la losa en sección compuesta con <i>Steel Joist</i> ..	43
<i>Ilustración 9.</i>	Configuración primera losa M-Treinta.....	43
<i>Ilustración 10.</i>	Avance M – TREINTA	44
<i>Ilustración 11.</i>	Losa – Joist.....	44
<i>Ilustración 12.</i>	Avance M-TREINTA.....	45
<i>Ilustración 13:</i>	Ventajas de las <i>Steel Joist</i>	46
<i>Ilustración 14.</i>	Bodega con Mezanine	47

<i>Ilustración 15.</i> Pérgola para parqueadero	48
<i>Ilustración 16.</i> Mezanine Bodegas PISENDE	48
<i>Ilustración 17.</i> Casa residencial en Belén.....	49
<i>Ilustración 18.</i> Estructura para Porcicultura	49
<i>Ilustración 19.</i> Cubierta para frente de edificio existente.....	50
<i>Ilustración 20.</i> Restaurante en Ciudad del Rio	50
<i>Ilustración 21.</i> Bodega 1er piso, el resto vivienda residencial	51
<i>Ilustración 22.</i> Casa cabaña	51
<i>Ilustración 23.</i> Casa residencial con 5to piso trasero	52
<i>Ilustración 24.</i> Hotel Ituango.....	52
<i>Ilustración 25.</i> Oficinas Envigado	53



1 IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE

Nombres y apellidos.	Miguel Mariano Pereira Osten
Semestre académico.	X

2 IDENTIFICACIÓN DEL ASESOR INTERNO (U. DE A.)

Nombres y apellidos.	John Faber Dávila Illesca
----------------------	---------------------------

3 IDENTIFICACIÓN DEL ASESOR EXTERNO (EMPRESA)

Nombres y apellidos.	Juan Carlos Martínez Roldán
----------------------	-----------------------------

4 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre de la empresa.	CYRGO S.A.S
Dirección.	Carrera 55A # 62ª - 80
Ciudad.	Medellín
Teléfono.	2635932
Actividad económica.	Comercial

5 TÍTULO

ESTUDIO DEL SISTEMA DE VIGUETAS METÁLICAS DE ALMA ABIERTA CON ACCIÓN COMPUESTA PARA SISTEMAS DE LOSAS DE ENTREPISO EN COLOMBIA.

6 RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio sobre los procedimientos de diseño estructural y fabricación para viguetas de alma abierta – Open Web Steel Joists, como se les conoce internacionalmente – reglamentados por el instituto Steel Joist Institute (en adelante SJI). La motivación para esta tarea parte del interés que actualmente tiene la empresa CYRGO S.A.S en adelantar proyectos con este tipo de sistemas, lo cual permitió patrocinar y adelantar una práctica profesional orientada a la revisión de esta interesante alternativa tecnológica que puede generar oportunidades de innovación en las prácticas de construcción a nivel nacional. Como resultado de esta práctica, en el presente informe se realiza la presentación de la aplicabilidad de este tipo de viguetas, específicamente la denominada Serie CJ, para la construcción de losas de entrepiso o cubiertas en Colombia. La metodología implementada para la realización de esta tarea incluye la revisión de la documentación técnica publicada por el SJI, su compatibilidad con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (en adelante NSR-10) y el estudio de la fabricación y diseño de viguetas de alma abierta para un caso específico en Colombia. Adicionalmente, al final del reporte se incluye una descripción de otras actividades laborales realizadas durante la práctica empresarial que consistieron principalmente en el apoyo de las labores de análisis y diseño estructural para distintos proyectos de infraestructura civil.

7 INTRODUCCIÓN

En la actualidad Colombia ha venido tomando iniciativas para el uso de nuevos métodos y técnicas aplicables en la industria de la construcción. Sin embargo, la adopción de estas iniciativas ha sido escasa y lenta en relación con la masiva y frecuente utilización de técnicas comunes empleadas tradicionalmente. Esto se debe, principalmente, a la tendencia típica del medio de la construcción, donde la introducción de nuevos desarrollos requiere pruebas extensas, tiempos importantes de validación y un impulso comercial que permita la innovación

efectiva en esta industria. Uno de los casos relacionados con estos procesos de innovación, es la técnica de construcción de losas de entrepisos y cubiertas, mediante el uso de viguetas metálicas de alma abierta.

7.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS, DEFINICIONES Y CONTEXTO NACIONAL.

El uso de las viguetas de alma abierta, tal como lo refieren los ingenieros Ben Cook y Jerry Maly (1996), en su artículo *An Overview of Open Web Steel Joists*, se remonta a la década de 1920, en los Estados Unidos de América. Este tipo de elementos, según estos autores, permiten abarcar grandes luces y una mayor armonía en el trazado y la construcción de entrepisos, puesto que se pueden conjugar con ductos y tuberías. Así, estos elementos permiten una mejora para la instalación de los diferentes tipos de redes sanitarias, eléctricas, etc., que se suspenden en losas y cubiertas de edificaciones en general. Para introducir el tema de los sistemas de viguetas de alma abierta, es necesario realizar primero una definición básica, clara y sencilla, de los elementos que componen este tipo de sistemas. En un folleto titulado *Steel Joist. Aspectos básicos*, la empresa mexicana ESJ, fabricante reconocido del sistema de viguetas de alma abierta, se describe un *joist* como: “miembro estructural con un sistema de alma abierta, el cual soporta directamente las cargas de la lámina de cubierta o entrepiso utilizando elementos de acero rolado en caliente o formados en frío y es diseñado como un miembro simplemente apoyado” (ESJ, 2019). Los *joist*, según este mismo folleto, están compuestos por tres elementos generales que son: *a*) cuerdas; *b*) celosías; y *c*) silletas. (Véase *Ilustración 1*).

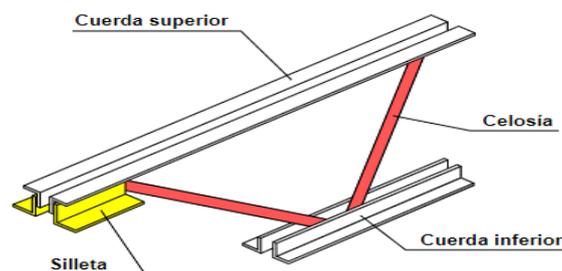


Ilustración 1. Elementos de una viga Joist.
(MIPSA, 2019).

Como se puede observar en la *Ilustración 1*, las cuerdas se conforman por dos ángulos, los cuales están unidos por las celosías. Estas celosías son varillas lisas figuradas a lo largo de la vigueta, y sirven para unir la cuerda superior e inferior, que se encuentran paralelas. Finalmente, las silletas, son los puntos de apoyo donde reposa la vigueta. Al igual que las cuerdas, son ángulos y se unen a las cuerdas en la disposición que ejemplifica la *Ilustración 1*.

Las viguetas de alma abierta son elementos estructurales consistentes que sirven, principalmente, para soportar cargas transversales a su eje longitudinal. Estas pueden reemplazar las viguetas convencionales de madera, concreto o acero de alma llena, utilizadas para la conformación de losas de entrepiso y cubierta en edificaciones civiles o industriales. Las viguetas de alma abierta pueden clasificarse, según su uso, en dos grupos principalmente:

- a) Viguetas de alma abierta que soportan un entrepiso o cubierta metálica. (Véase *Ilustración 2*).



Ilustración 2. Vigueta de alma abierta para cubiertas.
(Pfenniger y González, 2019).

- b) Viguetas de alma abierta que soportan un entrepiso o cubierta consistente en una placa maciza de concreto. Esta puede descansar simplemente apoyada sobre las mismas o se puede conectar a las viguetas para generar una acción compuesta Acero-Concreto que permita resistir de forma más eficiente los efectos de las cargas de diseño. (Véase *Ilustración 3*).



**Ilustración 3. Vigüeta de alma abierta acción compuesta.
(EspacioLeve Ingeniería, 2019a).**

Este tipo de sistemas trae ventajas como: *a)* un rápido y económico proceso de montaje; y *b)* un buen comportamiento mecánico como elementos de soporte para sistemas de entresijos. Los diferentes tipos de vigüetas de alma abierta que se han desarrollado a lo largo de su historia han creado la necesidad de su estandarización. En el año de 1928, tras la creación del SJI, se dio lugar a las primeras especificaciones de diseño y fabricación. En la actualidad, estas especificaciones representan el estándar básico que muchos países utilizan como referencia para la realización de normas locales de diseño y construcción, tomando en cuenta las particularidades de cada localización específica.

La implementación de esta tecnología no se ha desarrollado de forma masiva en el país debido al poco conocimiento sobre los métodos requeridos para su fabricación y diseño: esto incluye la falta de normas y estándares nacionales, catálogos de sistemas de vigüetas prefabricadas disponibles y la documentación sobre metodologías aprobadas para su fabricación y montaje. Partiendo de este vacío, este trabajo se enfoca en el estudio de la documentación técnica existente publicada por el SJI – la cual es una de las principales instituciones que lideran el desarrollo de esta tecnología a nivel mundial – para los sistemas particulares de vigüetas de alma abierta tipo CJ, las cuales permiten la construcción de sistemas de entresijo Acero-Concreto con acción independiente y compuesta entre ambos materiales, respectivamente. Tomando como punto de partida las disposiciones internacionales sobre las vigüetas de alma abierta, se podrá analizar la viabilidad de este elemento estructural para la implementación de esta tecnología a nivel local. A su vez, la recolección de la citada información permitirá, primero, destacar las posibles ventajas y desventajas relacionadas al

sistema. Segundo, podrá ampliar la discusión sobre la posibilidad de promover su uso a nivel nacional como una alternativa viable para la industria de la construcción.

Teniendo en cuenta la importancia de las practicas constructivas a nivel local, también se estudia, a manera de referente empírico y con la intención de constatar la teoría con la realidad, un caso de aplicación local que permite describir el detalle del uso de estos sistemas en proyectos de edificación convencional en Colombia. Finalmente, se detallará las actividades realizadas en la empresa colombiana CYRGO S.A.S, dedicada principalmente a la distribución de materiales metálicos usados en la industria de la construcción, y que cuenta con un departamento de ingeniería¹. Este departamento se ha interesado en este tipo de elementos para la realización de algunos proyectos. Desde allí que se generó el interés por profundizar en este tema, pues es poco lo que se ha dicho y escrito al respecto a nivel nacional.

8 OBJETIVO GENERAL

Realizar una recopilación sobre el tema de las viguetas metálicas de alma abierta (*Open-Web-Steel-Joist*) usadas en losas de entre piso y cubiertas.

9 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los diferentes tipos de las *steel joist* que se han implementado para mejorar el sistema constructivo de losas de entrepiso.
- Detallar el proceso de diseño y aplicabilidad de las viguetas de alma abierta con acción compuesta Acero - Concreto, serie CJ del SJI, y entregar un caso de estudio nacional de las mismas.
- Dar a conocer el desarrollo de las actividades al interior de la empresa como practicante.

¹ El fin de este departamento es realizar un acompañamiento a sus clientes en cuanto a proyectos estructurales. Dicho departamento es fundamental, ya que brinda una asesoría para proveer los materiales adecuados. Además del acompañamiento a los clientes, este departamento estudia la viabilidad de comercializar nuevos productos, que estén a la vanguardia de la industria a nivel internacional.

10 MARCO TEÓRICO

Tal como se comentó en la introducción, debido a la generalización de este tipo de sistemas para la construcción de losas de entrepisos y cubiertas, fue necesario que se reglamentara su diseño y fabricación. Dichas reglamentaciones, realizadas por el SJI, son los parámetros que se utilizan a nivel internacional para la fabricación de los sistemas de viguetas de alma abierta. Dado que este instituto es el referente teórico sobre el tema, aquí se siguen sus disposiciones, ya que las mismas enmarcan los puntos que se deben tener en cuenta a la hora de realizar cualquier estudio.

El SJI, según las necesidades constructivas, como las longitudes o resistencia, designo tipologías con miras a mejorar las practicas constructivas relacionadas con las construcciones que incluyen sistemas de viguetas de alma abierta. Estas tipologías están divididas en series según su aplicación. En la publicación *Standard Specifications for Composite Steel Joists. Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice* (SJI, 2007), se detallan las diferentes series que componen las tipologías de sistemas de viguetas de alma abierta. Se exponen en la Tabla 1 algunas especificaciones:

Tabla 1

Series, especificaciones y desarrollo histórico.

SERIE	ESPECIFICACIONES	HISTORIA
Serie SJ		El desarrollo de las viguetas de alma abierta estandarizadas a lo largo de la historia comienza por la serie SJ que se introduce en 1929, siendo esta la primera que se acoge a la estandarización con base en cargas, realizada por el instituto en ese año.
Serie L	Medidas de hasta 96 pies de longitud y profundidades de hasta 48 pulgadas.	Aparecen en el año 1953 las viguetas de acero de gran luz (Longspan) como la serie L, adaptándose a las especificaciones y tabla de cargas estandarizada.

SERIE	ESPECIFICACIONES	HISTORIA
Serie S	Esfuerzo de tracción permisible con un incremento de medidas en MPA 8000 psi a 20000 psi. Profundidades de viguetas de hasta 24 pulgadas. Tramos de hasta 38 pies.	En 1959 aparece la serie S en reemplazo de la serie SJ.
Serie J	Se incrementa el esfuerzo de tensión permitido en 2000 psi, con un límite elástico o una resistencia a la fluencia de 36000 psi.	En 1961, debido al gran crecimiento de la siderurgia en los estados unidos, se introdujeron tres tipos de series nuevas: La serie J en reemplazo de la serie S. La serie LA reemplaza la serie L. Junto con las series J y LA, se introduce en 1961 la serie H.
Serie LA	Esfuerzo de tracción máximo de 20000 o 22000 psi.	
Serie H	Diseño basado en el uso de un acero de limite elástico o resistencia a la fluencia de 50000 psi. Tracción permitida de 30000 psi.	
Serie LH	Acero de deformación mínima de 36000 a 50000 psi. Resistencia a la tracción permitida de 22000 psi a 30000 psi.	En 1962 se introduce la serie LH.
Serie LJ	Fluencia en el acero de 36000 psi.	En 1966 se introducen por medio del SJI y el AISC la serie LJ para reemplazar la serie LA.

SERIE	ESPECIFICACIONES	HISTORIA
Series DLH y DLJ ²	Profundidades de hasta 72 pulgadas. Tramos de hasta 144 pies.	En 1970 se crearon las viguetas de las series DLJ y DLH.
Serie K ³	Diseño para techos con cargas más livianas. Elimina las viguetas pesadas de profundidades intermedias.	En 1986 se crean las viguetas de la serie K, en reemplazo de las viguetas de la serie H, esto con la finalidad de lograr mayores economías con el método de diseño Load Span.
Serie KCS	Permiten resistir un momento flexionante constante y sus cortantes asociadas.	En 1994 se introducen las viguetas KCS las cuales son un subgrupo de las viguetas serie K.
Serie CJ ⁴	Permiten la acción compuesta entre la vigueta metálica y la losas de concreto que puede soportarse sobre esta.	En 2007 se crean las viguetas compuestas de la serie CJ. Para este tipo de viguetas se generaron especificaciones completas, con tablas de cargas e inclusive tablas especializadas para su utilización en arriostramientos, permitiendo unificar una técnica de diseño estándar para todas las empresas miembros que producen viguetas de acero compuesto.

Fuente: (SJI, 2007). Adaptación propia de la información

² En 1978 se eliminan las series J, LJ y DLJ debido a que ya se habían generalizado las viguetas de alta resistencia y además se introducen las viguetas con especificaciones y tablas de peso en vista de que se necesitaban miembros estructurales primarios de mayor alcance.

³ En el 2005 se hizo un ajuste a las series K, LH y DLH con el objetivo de que estas se ajustaran al diseño usando la metodología (LRFD) o al diseño de por Resistencia Admisible ASD (de sus siglas en ingles Admissible Stress Desing).

⁴ En la primera sección de los Resultados y Análisis se ahondará en esta serie.

11 METODOLOGÍA

El presente informe está pensado de manera analítica y descriptiva. Partiendo de la iniciativa sugerida por la empresa CYRGO S.A.S, relacionada con la necesidad de un mayor conocimiento del diseño, fabricación y aplicación de las viguetas de alma abierta, serie CJ, en su práctica industrial, este informe presenta el desarrollo de un trabajo descriptivo de estos sistemas y un análisis general de las necesidades presentes en el medio actual de la construcción para su adecuado uso a nivel de diseño, fabricación y montaje. Para tal fin fue necesario hacer una recolección de documentación y su análisis para identificar las ventajas que este sistema puede ofrecer para la industria de la construcción. Como resultado se presenta una descripción de los sistemas de viguetas de alma abierta, principalmente basada en la referencia mas amplia encontrada que corresponde a la documentación publicada por el SJI.

Como parte de esta revisión también se investigó sobre el nivel de estandarización de este tipo de viguetas, las metodologías de diseño existentes, y las técnicas de su producción en Colombia. Esta tarea se desarrolló en dos etapas, una primera etapa de documentación sobre la reglamentación colombiana para el diseño y fabricación de viguetas de alma abierta y de búsqueda de referentes nacionales investigativos sobre su funcionalidad. Posteriormente, en una segunda etapa, se realizó un mapeo de los productores de viguetas de alma abierta en el país. Como complemento de este trabajo también se realizó un contacto directo con una de las empresas que fabrica viguetas de alma abierta en Colombia, a saber, EspacioLeve Ingeniería. Para ello se realizaron comunicaciones con el encargado de este tema en la empresa.

Finalmente, en este reporte se indican las especificaciones sobre los parámetros más importantes que se tienen en cuenta a la hora de implementar este elemento constructivo y se realiza también una descripción de la experiencia como practicante en la empresa CYRGO S.A.S.

12 RESULTADOS Y ANÁLISIS

12.1 INFORME CONCEPTUAL DE PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LAS JOIST SERIE CJ

Se presenta un informe técnico y conceptual para la comprensión de los conceptos sobre las viguetas de alma abierta, serie CJ. La descripción general presenta los conceptos relacionados con el diseño y la fabricación de las viguetas de alma abierta. La generación de esta sección, basada en las prescripciones del SJI, permite contar con una referencia útil para la rápida implementación del diseño y proyección de este tipo de elementos para proyectos de edificación convencional. A continuación, se reproduce la información contenida en el informe *Standard Specifications for Composite Steel Joists. Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice* (SJI, 2007), resumiendo, traduciendo y adaptando la información a manera de insumo básico para cualquier ingeniero que necesite un punto de partida para la comprensión y utilización de las viguetas de alma abierta, serie CJ, en un proyecto constructivo.

12.1.1 DISEÑO Y FABRICACIÓN

Para la fabricación de las viguetas metálicas compuestas de alma abierta de la serie CJ el SJI las describe en sus especificaciones de estandarización como sigue:

12.1.1.1 MÉTODO

El diseño de las viguetas compuestas busca poder alcanzar la resistencia a la flexión nominal del elemento compuesto, este se limitará a que el diseño cumpla los siguientes criterios:

- a) Al igual que cualquier vigueta en un sistema de losa de entrepiso, no se considerarán en el sistema de resistencia sísmica.
- b) La conexión de las viguetas de alma abierta se logra mediante el apoyo directo que se le hace dentro de la losa de concreto.

12.1.1.2 COMBINACIONES DE CARGA

Cuando las combinaciones de carga no se especifican al fabricante de la vigueta, la tensión requerida se calculará para las cargas mayoradas en función de los factores y las combinaciones de carga de la siguiente manera:

No compuesto:

$$1.4D_c \quad \text{[Ec. 01]}$$

$$1.2D_c + 1.6L_c \quad \text{[Ec. 02]}$$

Donde:

D_c = carga muerta de construcción debido al peso de la vigueta, el entablado y el concreto fresco, lb / ft² (kPa).

L_c = carga viva de construcción debido a las cuadrillas de trabajo y el equipo de construcción, lb / ft² (kPa).

Compuesto

$$1.4D \quad \text{[Ec. 03]}$$

$$1.2D + 1.6 (L, \text{ o } L_r, \text{ o } S, \text{ o } R) \quad \text{[Ec. 04]}$$

Donde:

D = carga muerta debido al peso de los elementos estructurales y las características permanentes de la estructura, lb / ft², (kPa).

L = carga viva debido a la ocupación y equipo móvil, lb / ft² (kPa).

L_r = carga viva del techo, cuando las vigas compuestas se utilizan en techos, lb / ft² (kPa).

S = carga de nieve, cuando se utilizan viguetas compuestas en techos, lb / ft² (kPa).

R = carga debida al agua de lluvia inicial o al hielo, exclusiva de la contribución de estanqueidad, cuando se utilizan viguetas compuestas en techos, lb / ft² (kPa).

12.1.1.3 ESFUERZOS NOMINALES

Las vigas deberán tener sus componentes proporcionados de manera que las tensiones requeridas, f_u , no excedan de ϕF_n donde:

F_u = esfuerzo requerido calculado para las cargas factorizadas en función de los factores y las combinaciones de carga, ksi (MPa).

ϕ = factor de resistencia.

F_n = tensión nominal, ksi (MPa).

ϕF_n = estrés de diseño, ksi (MPa).

F_y = esfuerzo de rendimiento mínimo especificado, ksi (MPa).

E = módulo de elasticidad del acero, ksi (MPa).

Tensión: $\Phi_t = 0.90$

Para cuerdas: $F_y = 50$ Ksi (345 MPa).

Para el alma: $F_y = 50$ ksi (345 MPa), or $F_y = 36$ Ksi (250 MPa).

$$F_n = F_y$$

$$\phi F_n = \Phi_t F_y$$

Compresión: $\Phi_c = 0.90$

Para miembros con:

$$K\ell/r \leq 4.71 \sqrt{E/QF_y} \quad [\text{Ec. 05}]$$

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \left(\frac{QF_y}{F_e} \right) \right] F_y \quad [\text{Ec. 06}]$$

Para miembros con:

$$K\ell/r > 4.71 \sqrt{E/QF_y} \quad [\text{Ec. 07}]$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad [\text{Ec. 08}]$$

Donde, F_e = es el esfuerzo de pandeo elástico determinado como sigue:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(K\ell/r)^2}$$

[Ec. 09]

En las ecuaciones anteriores, ℓ se toma como la distancia en pulgadas (milímetros) entre los puntos del panel para los miembros de la cuerda y los miembros del alma, y r es el radio mínimo de giro correspondiente del miembro o cualquier componente de este. E es igual a 29,000 ksi (200,000 MPa).

Para secciones laminadas en caliente, "Q" es el factor de reducción total para elementos de compresión esbeltos.

12.1.1.4 MIEMBROS

12.1.1.4.1 CUERDAS

Diseño no compuesto: la cuerda inferior se diseñará como un miembro de tracción cargado axialmente. El cordón superior debe resistir las cargas de construcción, momento en el cual la vigueta se comporta de forma no compuesta. Se realizará un análisis utilizando una profundidad efectiva de la vigueta para determinar las fuerzas de los miembros debido a las cargas de construcción.

La profundidad efectiva para una vigueta no compuesta se considerará tomando la distancia vertical entre los centroides de los miembros de la cuerda superior e inferior.

Para la instalación de los conectores embebidos en el concreto se debe disponer de un ancho mínimo horizontal del lado plano y un espesor mínimo en la cuerda superior, los cuales deben ser los especificados así:

Tabla 2

Medidas mínimas de la cuerda superior para la instalación de los conectores a cortante soldado.

Diámetro del conector a cortante plg. (mm)	Anchura mínima horizontal del lado plano plg. (mm)	Espesor mínimo plg. (mm)
0.375 (10)	1.50 (3.2)	0.125 (3.2)
0.500 (13)	1.75 (44)	0.167 (4.2)
0.625 (16)	2.00 (51)	0.209 (5.3)
0.750 (19)	2.50 (64)	0.250 (6.3)

La cuerda superior se diseñará como un miembro continuo sujeto a esfuerzos axiales y de flexión combinados y se proporcionará de manera que en el punto del panel

$$f_{au} + f_{bu} \leq 0.9F_y \quad [\text{Ec. 10}]$$

Para el panel central:

$$\text{para } \frac{f_{au}}{\phi_c F_{cr}} \geq 0.2, \frac{f_{au}}{\phi_c F_{cr}} + \frac{8}{9} \left[\frac{C_m f_{bu}}{\left[1 - \left(\frac{f_{au}}{\phi_c F'_e}\right)\right] Q \phi_b F_y} \right] \leq 1.0 \quad [\text{Ec. 11}]$$

$$\text{para } \frac{f_{au}}{\phi_c F_{cr}} < 0.2, \left(\frac{f_{au}}{2\phi_c F_{cr}} \right) + \left[\frac{C_m f_{bu}}{\left[1 - \left(\frac{f_{au}}{\phi_c F'_e}\right)\right] Q \phi_b F_y} \right] \leq 1.0 \quad [\text{Ec. 12}]$$

Donde:

$f_{au} = P_u / A_t$ = esfuerzo de compresión requerido, ksi (MPa).

P_u = fuerza axial requerida usando combinaciones de carga LRFD, kips (N).

$f_{bu} = M_u / S$ = esfuerzo de flexión requerido en la ubicación considerada, ksi (MPa).

M_u = resistencia a la flexión requerida usando combinaciones de carga LRFD, kip-plg. (N-mm).

S = módulo de sección elástica, plg³, (mm³).

F_{cr} = esfuerzo de compresión axial nominal en ksi (MPa) basado en ℓ/r

$C_m = 1 - 0.3 f_{au} / \phi_c F'_e$ para paneles de extremo.

$C_m = 1 - 0.4 f_{au} / \phi_c F'_e$ para paneles interiores.

F_y = límite de fluencia mínimo especificado, ksi (MPa).

$$F'_e = \frac{\pi^2 E}{(K\ell/r_x)^2} \text{ ksi (MPa)} \quad [\text{Ec. 13}]$$

ℓ = longitud del panel de acordes, plg. (mm).

r_x = radio de giro sobre el eje de flexión, plg. (mm).

Q = factor de forma definido en la Sección 12.1.1.3.

A_t = área del cordón superior, plg², (mm²).

Diseño compuesto: la distancia entre el centroide de la cuerda del fondo de tensión y el centroide del bloque de compresión de concreto, d_e , se calculará utilizando una tensión de concreto de $0.85f'_c$ y una anchura de concreto efectiva, b_e , tomada como la suma de las anchuras efectivas para cada lado de la línea central de la vigueta, cada uno de los cuales será el valor más bajo de los siguientes:

- 1/8 de la viga, centro a centro de los soportes;
- la mitad de la distancia a la línea central de la línea adyacente;
- la distancia al borde de la losa

$$a = \frac{M_n}{(0.85f'_c b_e d_e)} \leq t_c, \text{ in. (mm)} \quad [\text{Ec. 14}]$$

$$d_e = d_j - y_{bc} + h_{deck} + t_c - \frac{a}{2}, \text{ in. (mm)} \quad [\text{Ec. 15}]$$

Donde:

a = profundidad del bloque de compresión del concreto, plg. (mm).

b_e = ancho efectivo de la losa de concreto sobre la vigueta, plg. (mm).

d_j = profundidad de la viga de acero, plg. (mm).

f'_c = resistencia a la compresión del concreto mínimo de 28 días, ksi (MPa).

h_{deck} = altura del Steel Deck, plg. (mm).

M_n = capacidad nominal de momento de la vigueta compuesta, kip-plg. (N-mm).

t_c = espesor de la losa de concreto sobre el Steel Deck, plg. (mm).

y_{bc} = distancia vertical al eje centroidal de la sección compuesta medida desde la parte inferior de la cuerda inferior, plg. (mm).

Véase *Ilustración 4*.

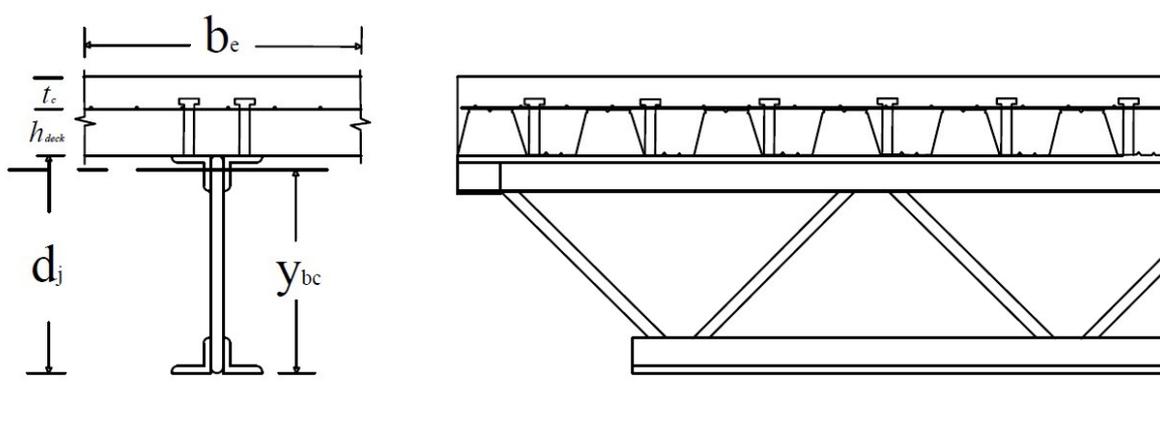


Ilustración 4. Sección transversal y longitudinal de la vigueta metálica compuesta.

Fuente: Elaboración Propia

Cuando las nervaduras de la plataforma de metal son perpendiculares a las viguetas de acero, el concreto debajo de la parte superior del Steel deck se ignorará al determinar las propiedades de la sección y al calcular el bloque de compresión del concreto. Se debe ignorar la contribución de la cuerda superior de la vigueta de acero al momento de la capacidad del sistema compuesto.

El primer miembro del panel de extremo de la cuerda superior debe estar diseñado para cumplir con los requisitos de carga completa como un miembro no compuesto según lo referido en el diseño no compuesto de las cuerdas, así:

$$M_u \leq \phi M_n \quad [\text{Ec. 16}]$$

ϕM_n = resistencia mínima a la flexión del diseño de la sección compuesta, según lo determinado en las ecuaciones [Ec. 17], [Ec. 18], [Ec. 19] y [Ec. 20] de kip-plg. (N-mm).

M_u = resistencia a la flexión requerida determinada a partir de cargas mayoradas aplicadas, kip-plg. (N-mm).

El diseño de resistencia a la flexión de la sección compuesta, ϕM_n , se calculará como el valor más bajo de los siguientes estados límite: Fluencia en tracción de la cuerda inferior, Ruptura de tracción de la cuerda inferior, Trituración de concreto y Fuerza del conector de corte.

a) Fluencia de tracción de la cuerda inferior: $\phi_t = 0.90$

$$\phi M_n = \phi_t A_b F_y d_e \quad [\text{Ec. 17}]$$

b) Ruptura por tracción del cordón inferior: $\phi_{tr} = 0.75$

$$\phi M_n = \phi_{tr} A_n F_u d_e \quad [\text{Ec. 18}]$$

c) Trituración de hormigón: $\phi_{cc} = 0.85$

$$\phi M_n = \phi_{cc} 0.85 f'_c b_e t_c d_e \quad [\text{Ec. 19}]$$

d) Fuerza del conector de corte: $\phi_{stud} = 0.90$

$$\phi M_n = \phi_{stud} N Q_n d_e \geq 0.50 \phi_t A_b F_y d_e \quad [\text{Ec. 20}]$$

Donde:

A_b = área de la sección transversal de la cuerda inferior de la viga de acero, plg^2 (mm^2).

A_n = área de sección transversal neta de la cuerda inferior de la viga de acero, plg^2 (mm^2).

b_e = ancho efectivo de la losa de concreto sobre la viga, plg . (mm).

d_e = distancia vertical desde el centroide de la cuerda inferior de la viga de acero hasta el centroide de resistencia del concreto en compresión, plg . (mm).

F_u = resistencia a la tracción de la cuerda inferior de la viga de acero, ksi (MPa).

F_y = esfuerzo de rendimiento mínimo especificado de la cuerda inferior de la viga de acero, ksi (MPa).

N = número de espárragos de corte entre el punto del momento máximo y el momento cero.

t_c = espesor mínimo de la losa de concreto sobre la parte superior de la plataforma de metal, plg . (mm).

12.1.1.4.2 ALMA

Las cortantes verticales que se usarán en el diseño de los miembros del alma se determinarán a partir de la combinación de carga compuesta, pero dichos cortantes verticales no serán menores que las siguientes:

- a) 25% de la reacción final mayorada.
- b) Los miembros del alma en tracción controlados por (a) deben diseñarse para una fuerza de compresión que resulte de un valor de corte mayorado de:

$$V_{c \min} = \frac{(1.6 W_L)L}{8} \quad [\text{Ec. 21}]$$

Donde:

W_L = carga viva no mayorada debido a la ocupación y equipo móvil, plf (kN / m).

L = longitud de diseño para la vigueta compuesta.

$V_{c \min}$ = cortante mínimo de diseño mayorado en miembros del alma en tensión, lb (kN).

Los miembros de alma tipo Warren modificado deben diseñarse para resistir las cargas de gravedad soportadas por el miembro, más un 2 % de la fuerza axial compuesta de la cuerda inferior.

12.1.1.5 CONEXIONES

12.1.1.5.1 MÉTODOS

Las uniones y los empalmes se realizarán uniendo los miembros entre sí mediante soldadura por arco u otros métodos acreditados.

Conexiones soldadas:

- a) Las soldaduras seleccionadas deben ser inspeccionadas visualmente por el fabricante. Antes de esta inspección, se eliminará la escoria de soldadura.
- b) Las grietas no son aceptables y deben ser reparadas.
- c) Debe existir una fusión completa entre las capas de metal de soldadura y el metal base para la longitud de diseño requerida de la soldadura; dicha fusión se verificará mediante inspección visual.

- d) Los cráteres de soldadura sin rellenar no se incluirán en la longitud de diseño de la soldadura.
- e) El recorte no debe exceder 1/16 de pulgada (2 milímetros) para soldaduras orientadas en paralelo al esfuerzo principal.
- f) La suma de los diámetros de porosidad de la superficie (tubería) no debe exceder 1/16 de pulgada (2 milímetros) en cualquier pulgada (25 milímetros) de longitud de la soldadura de diseño.
- g) La salpicadura de soldadura es aceptable.

Programa de soldadura: los fabricantes deben tener un programa para establecer los procedimientos de soldadura y la calificación del operador, y para el muestreo y prueba de soldadura.

Inspección de soldadura por parte de agencias externas: la agencia debe organizar una inspección visual para determinar si las soldaduras cumplen con los estándares de aceptación de las conexiones de soldaduras anteriores. Las pruebas de ultrasonidos, rayos X y partículas magnéticas no son adecuadas para las viguetas debido a las configuraciones de los componentes y las soldaduras.

12.1.1.5.2 ESFUERZO

Conexiones conjuntas: las conexiones conjuntas deben desarrollar el esfuerzo máximo debido a cualquiera de las cargas de diseño, pero no menos del 50 % de la resistencia nominal del miembro en tracción o compresión, cualquiera que sea el esfuerzo que tenga el factor de control en la selección de miembro.

Empalmes de taller: los empalmes de taller pueden ocurrir en cualquier punto de los cordones o miembros del alma. Los empalmes deben diseñarse para el esfuerzo del miembro, pero no menos del 50 % de la fuerza nominal del miembro. Los miembros que contengan un empalme de soldadura a tope desarrollarán un esfuerzo de tracción máximo de al menos 57 ksi (390 MPa) por el área de diseño completo de la cuerda o alma. El término "miembro" se definirá como todas las partes componentes, que comprenden el cordón o del alma, en el punto de empalme.

12.1.1.5.3 EMPALMES DE CAMPO

Los empalmes de campo deben ser diseñados por el fabricante y pueden ser atornillados o soldados. Los empalmes deben diseñarse para el esfuerzo del miembro, pero no menos del 50% del esfuerzo nominal del miembro.

12.1.1.5.4 CONECTORES DE CORTANTE

Los pernos de corte, después de la instalación, deben extenderse no menos de 1 1/2 plg. (38 mm) por encima de la parte superior de la plataforma de acero y debe haber al menos 1/2 plg. (13 mm) de cubierta de concreto sobre la parte superior de los pernos instalados.

Para conectores en 1.5 pulg (38mm), 2 pulg (51mm), o 3 pulgada (76 mm) de profundidad del Deck con $\frac{d_{stud}}{t_{top\ chord}} \leq 2.7$

$$Q_n = Min \left[0.5A_{stud} \sqrt{f'_c E_c}, (R_p R_g A_{stud} F_{u\ stud}) \right] \quad (\text{kips}) \quad [\text{Ec. 22}]$$

Para conectores en 1.5 pulg (38mm), 2 pulg (51mm), o 3 pulgada (76 mm) de profundidad del Deck con $2.7 < \frac{d_{stud}}{t_{top\ chord}} \leq 3.0$:

$$Q_n = Min \left[\begin{array}{l} 0.5A_{stud} \sqrt{f'_c E_c} \\ R_p R_g A_{stud} F_{u\ stud} - 1.5 \left(\frac{d_{stud}}{t_{top\ chord}} - 2.7 \right) \end{array} \right] \quad [\text{Ec. 23}]$$

Donde:

A_{stud} = área de la sección transversal del perno de corte, plg² (mm²).

d_{stud} = diámetro del perno de corte, plg. (mm).

E_c = módulo de elasticidad del hormigón, ksi (MPa).

f'_c = resistencia a la compresión del concreto mínimo de 28 días, ksi (MPa).

$F_{u\ stud}$ = resistencia a la tracción mínima del perno, 65 ksi (450 MPa).

Q_n = capacidad de corte de un solo perno de corte, kips (N).

R_p = coeficiente de perno de corte de la Tabla 3

$R_g = 1.00$ para un perno por costilla o pernos de posición escalonada.
 $= 0.85$ para dos pernos por costilla lado a lado.
 $= 0.70$ para tres pernos por costilla lado a lado.

$t_{top\ chord}$ = grosor de la pata o brida horizontal del acorde superior, plg. (mm).

Tabla 3

Valores para R_p ⁵

Altura del Deck	Wr	3/8 plg. (10 mm) Φ de perno	1/2 plg. (13 mm) Φ de perno	5/8 plg. (16 mm) Φ de perno	3/4 plg. (19 mm) Φ de perno
1 plg. (25 mm)	1.9 plg. (48 mm)	0.55	0.55	0.50	0.45
1.5 plg. (38 mm)	2.1 plg. (53 mm)	0.55	0.50	0.45	0.40
1.5 plg. (38 mm)	3.9 plg. (99 mm)	0.85	0.60	0.60	0.60
2 plg. (51 mm)	6 plg. (152 mm)	-	0.55	0.50	0.45
3 plg. (76 mm)	6 plg. (152 mm)	-	0.50	0.50	0.50

Donde:

Wr = ancho promedio del nervio de la plataforma que contiene el perno de corte.

12.1.1.6 VERIFICACIÓN DE DISEÑO Y FABRICACIÓN

Cálculos de diseño: las compañías que fabrican cualquier tipo de vigueta de la serie CJ, deben enviar los datos de diseño al SJI (o a una agencia independiente aprobada por el SJI) para verificar el cumplimiento de las especificaciones de SJI.

⁵ Se asume que el deck está orientado con sus nervios perpendiculares a las viguetas.

Inspecciones en la planta: cada fabricante deberá verificar su capacidad para fabricar viguetas de la serie CJ a través de inspecciones periódicas en la planta. Las inspecciones deben ser realizadas por una agencia independiente aprobada por el SJI. La frecuencia, la forma de inspección y la forma de informar serán determinadas por el SJI. Las inspecciones de la planta no son una garantía de la calidad de las viguetas específicas; esta responsabilidad es total y exclusivamente del fabricante individual.

12.1.2 SOLICITUD

12.1.2.1 USO

Las especificaciones se aplicarán a cualquier tipo de estructura en la que las cubiertas de pisos y techos deban ser soportadas directamente por viguetas metálicas de alma abierta, serie CJ, instaladas como se especifica a continuación. El profesional que lo especifique investigará y modificará las viguetas utilizadas para otros intervalos simples, según lo prescrito en la Sección 12.1.1.1, para limitar las tensiones de la unidad a las enumeradas en la Sección 12.1.1.3. El diseño para aberturas grandes que interrumpen la acción del entramado, está fuera del alcance de esta especificación.

Si se debe hacer una conexión rígida de la cuerda inferior a la columna u otro soporte, debe hacerse solo después de la aplicación de las cargas muertas no compuestas. La viga ya no está soportada simplemente y el profesional que especifica debe investigar el sistema para determinar la acción continua del marco. El detalle del diseño de una conexión de tipo rígido y placas de momento se mostrarán en los planos estructurales por el profesional que especifique.

12.1.2.2 LUZ

El tramo de una viga compuesta SJI estándar debe ser de 12 a 30 veces la profundidad de la viga de acero.

12.1.2.3 PROFUNDIDAD

La profundidad de la vigueta compuesta será la distancia vertical desde la cuerda superior hasta la cuerda inferior.

12.1.2.4 SOPORTES FINALES

Soporte en hormigón: las vigas de la serie CJ soportadas por mampostería u hormigón deben apoyarse en placas o cojinetes de acero y deben diseñarse como tal. La debida consideración de las reacciones finales y todas las demás fuerzas verticales y laterales las tomará el profesional que especifique el diseño de la placa de soporte de acero y la mampostería o el concreto. Los extremos de las vigas de la serie CJ se extenderán sobre el soporte de mampostería o concreto como se muestra a continuación y se anclarán a una placa de acero. Esta placa de soporte de acero debe ubicarse a no más de 1/2 pulgada (13 milímetros) de la cara de la pared. La distancia sobre la pared que debe soportar la viga compuesta, el ancho de la placa de soporte de acero y el anclaje de las vigas de la serie CJ será como se define a continuación:

- a) Para $2 \frac{1}{2} \leq \text{Profundidad del asiento} < 5$ ":
 - a. Los extremos de las viguetas de la serie CJ deben extenderse una distancia de no menos de 4 pulgadas (102 milímetros) sobre el soporte de mampostería o concreto y deben estar anclados a la placa de soporte de acero.
 - b. El ancho de la placa perpendicular al tramo de la vigueta de acero compuesto no debe ser inferior a 6 pulgadas (152 milímetros).
 - c. Las viguetas de acero compuesto deben soportar un mínimo de $2 \frac{1}{2}$ pulgadas (64 milímetros) en la placa de soporte de acero.

- b) Para la Profundidad del Asiento ≥ 5 ":
 - a. Los extremos de las viguetas de la serie CJ deben extenderse una distancia de no menos de 6 pulgadas (152 milímetros) sobre la mampostería o el soporte de concreto y deben anclarse a la placa de soporte de acero.
 - b. El ancho de la placa perpendicular al tramo de la vigueta de acero compuesto no debe ser inferior a 9 pulgadas (229 milímetros).

- c. Las viguetas de acero compuesto deben soportar un mínimo de 4 pulgadas (102 milímetros) en la placa de soporte de acero. Véase *Ilustración 5*.

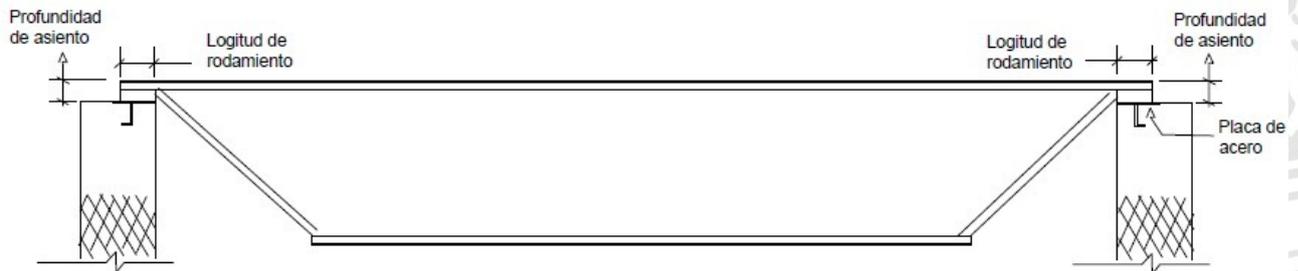


Ilustración 5. Detalle de soportes finales vigueta de alma abierta en viga de concreto.

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se considere necesario soportar menos de las dimensiones indicadas anteriormente sobre el soporte de mampostería o concreto, el profesional que lo especifique debe tener en cuenta el diseño de la placa de soporte de acero y la mampostería o el concreto. La vigueta debe cumplir con el requisito mínimo de rodamiento en la placa de soporte de acero.

Soporte en viga de acero: el profesional que especifique en el diseño del soporte de acero deberá tomar la debida consideración de las reacciones finales y todas las demás fuerzas verticales y laterales.

- a) Para $2\frac{1}{2}'' \leq$ Profundidad del asiento $< 5''$:

Los extremos de las vigas de la serie CJ deben extenderse una distancia de no menos de $2\frac{1}{2}$ pulgadas (64 milímetros) sobre los soportes de acero.

- b) Para la Profundidad del Asiento $\geq 5''$:

Los extremos de las vigas de la serie CJ deben extenderse una distancia de no menos de 4 pulgadas (102 milímetros) sobre los soportes de acero. Véase *Ilustración 6*.

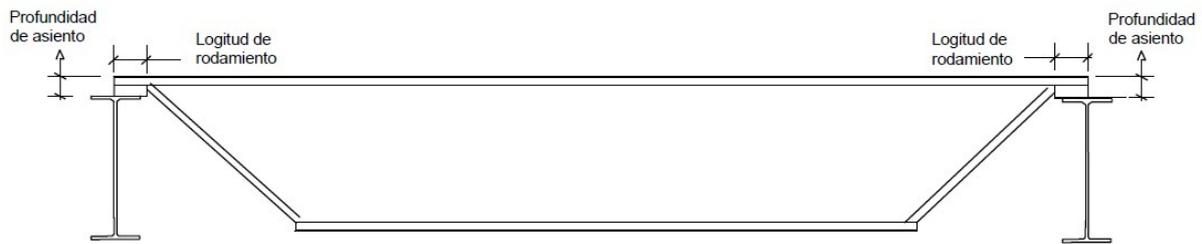


Ilustración 6. Detalle de soportes finales vigueta de alma abierta en viga metálica.

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se considere necesario topa las vigas opuestas sobre un soporte de acero estrecho con una distancia inferior a lo indicado anteriormente, se deben especificar extremos especiales, y dichos extremos deberán tener una fijación adecuada al soporte, ya sea mediante empernado o soldadura.

12.1.2.5 ARRIOSTRAMIENTOS

Si se requiere un arriostramiento del cordón superior e inferior, este debe consistir en uno o ambos de los siguientes tipos:

Horizontal: las líneas de los arriostramientos horizontales consistirán en miembros de acero horizontales continuos. La relación ℓ/r del miembro de arriostramiento no debe exceder de 300, donde ℓ es la distancia en pulgadas (milímetros) entre los accesorios y r es el radio de giro mínimo del miembro de puente.

Diagonal: las líneas de los arriostramientos diagonales deben consistir en arriostramiento cruzado con una relación ℓ/r de no más de 200, donde ℓ es la distancia en pulgadas (milímetros) entre las conexiones y r es el radio de giro mínimo del elemento de arriostramiento. Cuando los miembros de cruces cruzados estén conectados en su punto de intersección, la distancia ℓ se tomará como la distancia en pulgadas (milímetros) entre las

conexiones en el punto de intersección de los miembros de arriostramiento y las conexiones a los cordones de las vigas.

Líneas de arriostramiento: para los tramos de hasta 60 pies (18,3 metros), se pueden usar arriostramientos horizontales soldados, excepto en los casos en que la fila de arriostramientos más cercana al centro debe ser un puente diagonal empernado. Cuando el tramo de la vigueta de acero compuesto supera los 60 pies (18,3 metros), pero no supera los 100 pies (30,5 metros), los cables de izaje no se soltarán hasta que las dos filas de arriostramiento más cercanas a los terceros puntos están completamente instaladas. Cuando el tramo supere los 100 pies (30,5 metros), los cables de izaje no se soltarán hasta que todas las filas de arriostramiento estén completamente instaladas. Para tramos de más de 60 pies (18,3 metros), todas las filas de arriostramiento deberán ser puentes diagonales con conexiones atornilladas en los cordones e intersecciones.

Espaciado: los arriostramientos deben estar bien espaciados y anclados para apoyar la plataforma, los elementos de construcción y los empleados antes de la fijación en acción compuesta de la plataforma de concreto al cordón superior.

El espaciado máximo de las líneas de arriostramiento libre será el menor de,

$$\ell_{br} = \left(100 + 0.67d_j + 40 \frac{d_j}{L}\right) ry, plg. \quad [\text{Ec. 24}]$$

$$\ell_{br} = \left(100 + 0.67d_j + 40 \frac{d_j}{L}\right) ry, mm \quad [\text{Ec. 25}]$$

$$0 \quad \ell_{br} = 170 ry \quad [\text{Ec. 26}]$$

Donde:

d_j =es la profundidad de la vigueta de acero, plg. (mm).

ℓ =es la longitud de diseño para la vigueta compuesta, pies (m).

r_y =es el radio de giro del plano de la cuerda superior, plg. (mm).

El número de filas de arriostamiento del cordón inferior no será menor que el número de filas del cordón superior. Se permite que las filas del arriostamiento de la cuerda inferior estén separadas independientemente de las filas del arriostamiento de la cuerda superior.

Conexiones: la conexión de los arriostamientos a las cuerdas de las viguetas compuestas de acero, se realizarán por medios mecánicos positivos o por soldadura. Los extremos de todas las líneas de arriostamiento que terminan en paredes, vigas o viguetas dobles encuadradas por arriostamiento diagonales deben estar anclados.

La conexión del arriostamiento horizontal y diagonal al cordón de la vigueta o al punto terminal del arriostamiento debe ser capaz de resistir la fuerza horizontal nominal del cordón superior, P_{br} dada en la Ecuación [Ec. 27]

$$P_{br} = 0.0025 n A_t F_{construcción}, \text{ lbs (N)} \quad [\text{Ec. 27}]$$

Donde:

$n = 8$ para arriostamientos horizontales.

$n = 2$ para arriostamiento diagonal.

A_t = sección transversal del cordón superior de la vigueta, plg^2 (mm^2).

$F_{construcción}$ = Esfuerzo nominal asumida en la cuerda superior debido a las cargas de construcción.

$$F_{construcción} = \left[\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{0.9 \ell_{br}}{ry} \right)^2} \right] \geq 12.2 \text{ ksi} \quad [\text{Ec. 28}]$$

$$F_{construcción} = \left[\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{0.9 \ell_{br}}{ry} \right)^2} \right] \geq 84.1 \text{ ksi} \quad [\text{Ec. 29}]$$

Donde:

E = módulo de elasticidad del acero = 29000 ksi (200000 MPa)

Y $\frac{\ell_{br}}{ry}$ es determinado de las ecuaciones [Ec. 24] [Ec. 25] [Ec. 26]

Tamaño de arriostramiento: El arriostramiento horizontal de la vigueta debe estar diseñado para resistir la fuerza de compresión nominal que se muestra en la Ecuación [Ec. 27]. El arriostramiento diagonal debe ser capaz de resistir en tracción el esfuerzo horizontal nominal que se muestra en la Ecuación [Ec. 27].

Acoplamiento en la zona de apoyo del cordón inferior: Donde se utilizan las vigas de apoyo de la cuerda inferior, se debe proporcionar una fila de arriostramientos diagonales cerca del soporte (s). Este arriostramiento debe instalarse y anclarse antes de que se suelte el (los) cable (s) de izaje.

12.1.2.6 INSTALACIÓN DE ARRIOSTRAMIENTOS

Se debe proporcionar un arriostramiento para soportar el cordón superior durante la instalación de la plataforma antes de la fijación de la plataforma de concreto al cordón superior. Todos los anclajes de arriostramiento deben instalarse completamente antes de colocar cargas de construcción en las viguetas. El arriostramiento sostendrá las cuerdas superior e inferior contra el movimiento lateral durante el período de construcción y mantendrá las viguetas de acero.

12.1.2.7 DEFLEXIÓN

La desviación debida a la carga viva de diseño no debe exceder lo siguiente:

- a) Pisos: 1/360 de tramo.
- b) Techos: 1/360 de envergadura donde se coloca o suspende un techo de yeso.
1/240 de luz para todos los demás casos.

El profesional que especifique prestará la debida atención a los efectos de la deflexión, tanto a corto como a largo plazo, y la vibración en la selección de viguetas compuestas. Todos

los cálculos de deflexión deben tener en cuenta la flexibilidad inherente de la configuración de alma abierta.

12.2 HOJA DE CÁLCULO: DISEÑO DE VIGUETAS METÁLICAS DE ALMA ABIERTA CJ - SERIES.

Con base en el anterior informe, y como parte de las actividades realizadas como practicante en la empresa CYRGO S.A.S, se realizó una hoja de cálculo para contar con una herramienta precisa a la hora de diseñar viguetas de alma abierta. Esta corresponde a una hoja de cálculo para el diseño de viguetas metálicas de alma abierta de la serie CJ, la cual se presenta como una alternativa para la construcción de losas de entresijos en edificaciones civiles. Esta hoja de cálculo se realizó para diseñar viguetas de alma abierta para luces mayores a 6m, y peraltes mayores a 25cm. Así, esta herramienta puede usarse para llevar a cabo proyectos constructivos de dimensiones considerables.

12.2.1 ESPECIFICACIONES

PASO 1

El primer paso consta de introducir en la tabla los valores geométricos con los cuales se va a trabajar, a saber: longitud que va a tomar la vigueta de alma abierta, la altura de la misma y la distancia de separación entre las viguetas. Ejemplo:

GEOMETRÍA	
Luz (m)	6
Altura de Vigueta (m)	0.25
Distancia a la proxima Vig (m)	2

Nota: por el momento solo se contemplan luces mayores a 6 metros y alturas mayores a 25cm.

PASO 2

Para realizar los cálculos, es necesario especificar las características de la losa en MetalDeck, como el tipo de lámina colaborante entre: 1,5 plg, 2plg, y 3plg; el espesor de a losa entre: 100mm, 110mm, 120mm, 130mm, 140mm, y 150mm; el calibre de la lámina entre: 22, 20, 18

y 16; y la resistencia del concreto (este se tomó fijo, para un concreto común de 3000 psi (21MPa)). Ejemplo:

CONCRETO	
Tipo de Lamina Colaborante	Lamina Colaborante 1,5" ▾
Espesor total de losa " t_c " (mm)	100
Calibre	22
F'c (Mpa)	21

PASO 3

En el diseño de las viguetas es sumamente importante tener presente las cargas del tipo de uso de la estructura según la cual se va a trabajar. La hoja de cálculo contempla las medidas de las cargas según la NSR-10, y realiza el cálculo automático según el tipo de uso escogido, entre los cuales se puede elegir: residencial en particiones de mampostería, residencial en particiones livianas, educativos, almacenamiento liviano, almacenamiento pesado, comercio minorista, comercio mayorista, reunión. Ejemplo:

CARGAS	
Tipo de uso	Residencial Particiones de Mamposteria ▾
Muerta de Metaldeck (KN/m ²)	1.95
Muertas (KN/m ²)	3
Vivas (KN/m ²)	1.6
Muerta Lineal (KN/m)	9.9
Viva Lineal (KN/m)	3.2
Cargas Mayoradas (KN/m)	17
Deflexion Max por Carga Viva (m)	0.017
Deflexion Max (m)	0.025
Carga Distribuida "Wf" (KN/m)	34
Reaccion en Apoyos "Ra" (KN)	102
Momento Maximo "Mf" (KN.m)	76.5
Carga Equivalente "We" (KN/m)	34

PASO 4

La hoja de cálculo arroja automáticamente los resultados del peso de la vigueta, la carga compuesta, la cantidad y tipo de puente, el número y diámetro de pernos, la fuerza nominal a compresión de cuerda superior “pbr”, el ángulo del puente y la inercia efectiva del elemento no compuesto. Este cálculo se realiza con base en las tablas **DESIGN GUIDE LRFD WEIGHT TABLE FOR COMPOSITE STEEL JOISTS, CJ-SERIES (ANEXO B1)** y **DESIGN GUIDE LRFD BRIDGING TABLE FOR COMPOSITE STEEL JOISTS, CJ-SERIES (ANEXO B2)**, que se encuentra en el documento *Standard Specifications for Composite Steel Joists Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice*. Con este paso se completa el cálculo para el diseño de la vigueta. Ejemplo:

RESULTADOS	KN	Kg
Peso de la Vigueta "Wt" x metro	0.25	25.40
Carga compuesta $\Delta=L/360$ "W360" x metro	18.09	1808.60
(Cantidad) y Tipo de Puente	(1)H	
Numero - Diam de Perno "N-ds"	28-5/8"	
Fuerza Nominal a Compresión de Cuerda Sup "Pbr"	3.35	334.82
Ang del Puente "Ang" (In)	L1.75x0.155H	
Inercia efectiva del elemento no compuesto (mm ⁴)	30593009.78	

Donde:

Wt = Peso de la vigueta por metro lineal

W360 = Carga compuesta que se aplicará después de fraguado del concreto que produce una deflexión de 1/360 en el tramo.

N-ds = Número de conectores – Diámetro del conector

Pbr = Fuerza nominal a compresión de la cuerda superior

Ixx = Inercia de la sección transversal

PASO 5

Con base en la tabla anterior se diseña manualmente la vigueta que cumpla las dos verificaciones, las cuales son: peso de la vigueta por metro lineal e inercia de la vigueta. Para ello se elige el tipo de ángulo que se va a usar como cuerdas superior e inferior y la barra lisa que se figurará de manera continua a lo largo de la vigueta. De esta manera se tiene ya la vigueta conformada según los elementos seleccionados, es de aclarar que esto se debe hacer con un poco de criterio del ingeniero estructural. Ejemplo:

16/12/2019		DISEÑO DE VIGUETAS METÁLICAS DE ALMA ABIERTA POR EL METODO LRFD								
SPAN =	600	Wt =	25.40	Kg/m	# de Puentes =	(1)H				
DEPH =	250	W360 =	18.09	KN/m	N-ds =	28-5/8"				
		Ix =	30593009.78	mm ⁴	Tipo de Puentes =	L1.75x0.155H				
6.3497997										
5.83										
SELECCIONE L'S PARA CUERDAS:	2-1/2" x 3/8"	SO (Kg/m)	8.78	Ix (mm ⁴)	407900	A(mm ²)	1116	Yt (mm)	19.35	
SELECCIONE VLLA LISA PARA CELOSÍA:	1/2"	PESO (Kg/m)	0.99	Ix (mm ⁴)	16536458	PESO T (Kg/m)	2.8			
PESO TOTAL DE LA VIGUETA:	37.9	Kg/m								
INERCIA TOTAL DE LA VIGUETA:	51459772.5	mm ⁴								
VERIFICACIÓN POR PESO:	Cumple									
VERIFICACIÓN POR INERCIA:	Cumple									



RESULTADO

Según las indicaciones de la hoja de cálculo, el ingeniero puede diseñar los planos de la vigueta en AUTOCAD.

Se debe tener en cuenta que esta herramienta no permite el cálculo del apoyo de la vigueta. Para este cálculo se recomienda ver el apartado 12.1.2.4 del presente informe.

Se anexa al presente informe la hoja de cálculo en archivo xlsx (Anexo C).

12.3 CONTEXTO NACIONAL

12.3.1 NORMATIVIDAD

Se revisó a disponibilidad de información técnica para el análisis, diseño, fabricación y montaje de viguetas metálicas de alama abierta en Colombia. Según la norma de diseño sismo resistente NSR-10, en su título F, donde se describe todo lo referente a estructuras metálicas, y en el apartado F.2.9 donde se aclara todo sobre el diseño de miembros de sección compuesta, se especifica de manera muy clara y concisa el uso de las vigas compuestas con conectores tipo espigo con cabeza, tipo perno o tipo canal, y además vigas compuestas con losa sobre tablero metálico. En esta sección se señala cada uno de los parámetros a tener en cuenta para su diseño y construcción, pero la sección mencionada de la norma alude solo la inclusión de viguetas compuestas apoyadas o continuas con conectores. Más adelante, en el apartado F.2.9.3, titulada “FLEXIÓN”, se describen las generalidades y demás especificaciones de este sistema. Pero en ningún apartado de este título, o de los demás que componen la norma, se hace alguna referencia sobre las viguetas metálicas de alma abierta en sección compuesta.

Dicha falencia en la regulación nacional de este elemento constructivo representa una seria problemática, dado que actualmente ya se vienen desarrollando proyectos que contemplan la utilización de viguetas de alma abierta. Además, existen empresas nacionales que diseñan y fabrican estas viguetas a pesar de que la norma colombiana de construcción sismo resistente NSR-10 en ninguno de sus apartados las menciona. Una de estas empresas es la constructora EspacioLeve Ingeniería. Para el presente informe se quiso averiguar sobre la manera en que dicha empresa desarrollaba el diseño y la fabricación del elemento constructivo para un proyecto específico.

12.3.2 CASO DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, en Colombia no existe una regulación sobre el diseño y la instalación de este tipo de viguetas. A nivel nacional se dató solo dos empresas que fabrican viguetas de alma abierta. El uso de las Steel Joist, o viguetas metálicas de alma abierta, en Colombia, según la empresa EspacioLeve Ingenierías –fabricante de este tipo de viguetas en Colombia–, ha conseguido reducir en gran manera, las medidas significativas en una

edificación, gracias a que con estas viguetas se pueden alcanzar grandes luces con un bajo peso, lo que se traduce en estructura más liviana y, por supuesto, más económica. Así, se podría decir que es un elemento estructural de gran capacidad y funcionalidad.

Presentar la experiencia de una empresa que utiliza este sistema permite considerar las particularidades de la implementación de esta tecnología en un proyecto de construcción desarrollado en Colombia. La experiencia recogida a partir de la información suministrada por la empresa constructora permite identificar la metodología para la instalación de estos productos en una obra usando métodos conocidos en el medio de la construcción local. De esta manera se busca dar una referencia real sobre la utilidad y la viabilidad de la aplicabilidad de este tipo de elementos en los proyectos que se realizan en el país.

Para conocer más sobre la experiencia en la fabricación y utilización de las viguetas de alma abierta se contactó al Coordinador de Ingeniería de la empresa EspacioLeve Ingenierías, Jerson Alejandro Villaizán. El Ingeniero Villaizán informó sobre uno de los proyectos que la empresa desarrolla actualmente. El contenido de la entrevista es la siguiente (J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019):

1. Proyecto donde se haya usado un tipo de joist:

“Uno de los proyectos más representativos a nivel nacional con nuestro sistema Steel Joist es M- treinta en la ciudad de Ibagué, cuenta con 34 niveles, con un área total de 58000 m². Se logró disminuir cerca de 3080 Toneladas de carga muerta usando diferentes tipos de Steel Joist dentro de la serie CJ (Composite Joists)”.

2. ¿Cuál fue la metodología de diseño del Joist?:

“Inicialmente se determinan las cargas vivas y muertas de cada una de las placas que componen el proyecto (algunas placas pueden ser de uso mixto), a partir de la distribución en las plantas estructurales y según el tipo de formaleta, en este caso con camilla de madera, se obtiene un listado de longitudes, aferencias y cantidades. Posteriormente se diseña cada uno de los elementos Steel Joist mediante el programa empleado para el cálculo de Steel Joist que nos proporciona un análisis de cada elemento y su comportamiento estructural teórico ante las solicitudes de carga como flexión, cortante, chequeo de esbeltez entre otros aspectos. Finalmente obtenemos un informe y memoria de cálculo de Steel Joist con el resultado del análisis realizado con su respectiva composición de diseño”.

3. ¿Cuál fue la metodología de construcción de la losa con joist?

“La formaleta de placas del proyecto consistió en LosaLeve W: Steel Joist + camilla de madera.

“Se inició con el armado del acero de las vigas principales, el constructor determino que la fundida de las vigas consistiría en dos fases; a partir de esto se verificó y alineo la posición de cada uno de los Steel Joist para determinar si era pertinente realizar negativos en la viga para los apoyos del elementos, posteriormente se instalaron las grapas y tubería que actúan de soporte de la camilla de madera entre cada Steel Joist ya ubicado en su sitio, además de la instalación del apuntalamiento temporal a L/2 o L/3 según la longitud del elemento, finalmente se termina de fundir la placa. Se realizó el mismo procedimiento con cada una de las placas del proyecto”.

4. ¿Cuál es la ubicación del proyecto donde se utilizó joist?

“Ibagué – Tolima”.

5. ¿Qué tipo de problemas surgieron en el proyecto con respecto a los joist?

“Los tiempos de rendimiento de armado de placa de 500m² no se cumplieron la primera semana, sin embargo, para la segunda semana se logró, superando los tiempos de rendimiento con otros sistemas”.

6. ¿Cómo se resolvieron los problemas surgidos de los mismos?

“Los tiempos de rendimientos se deben a la inexperiencia del personal de obra en la instalación del sistema, por tal razón EspacioLeve siempre asigna un técnico instalador que visita las obras constantemente; en este caso se intensificaron las visitas de dicho técnico para capacitar al personal, logrando avances importantes en la obra”.

7. ¿Cuándo es factible usar o no los sistemas joist para losas de entrepiso?

“Se recomienda usar nuestro sistema de placas de entrepiso con viguetas metálicas Steel Joist cuando se tienen proyectos con sistema tradicional aporticado, en cualquier zona sísmica del país. No es viable en proyectos diseñados con muros industrializados”.

8. ¿Cómo ha sido la experiencia en la utilización de los joist?

“El mercado colombiano ha tenido buena aceptación a nuestro sistema a pesar de su cultura tradicional en la forma de construir. Gracias al soporte técnico que se brinda al cliente se ha logrado disipar muchas dudas respecto al sistema. Y la mayoría de clientes que construyen una vez con Steel Joist vuelven a hacerlo en sus futuros proyectos”.

9. ¿Qué tipos de Joist diseñan y/o producen?

“Rigiéndonos por la clasificación del Steel Joist Institute, en Colombia solo se diseñan y producen los Steel Joist dentro de la serie CJ (Composite Joists) para entresijos y la serie K para cubiertas”.

10. ¿En promedio cuanto se logra reducir en un proyecto la carga muerta y los costos directos?

“Al cambiar un proyecto diseñado con sistema tradicional a nuestro sistema de Steel Joist la carga muerta se reduce entre un 25% y 30% logrando disminución en costos directos de los mismos porcentajes”.

Adicional a la información antes expuesta, el ingeniero Villaizán facilitó para el presente informe fotografía que datan el desarrollo y avance del proyecto.



***Ilustración 7. Formateo y armado de para el vaciado de vigas principales.
(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).***



Ilustración 8. Encamillada para el vaciado de la losa en sección compuesta con Steel Joist

(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).



Ilustración 9. Configuración primera losa M-Treinta
(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).



Ilustración 10. Avance M – TREINTA
(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).



Ilustración 11. Losa – Joist
(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).



Ilustración 12. Avance M-TREINTA

(J. A. Villaizán, comunicación personal, 08 de octubre de 2019).

Para complementar la información que puede suministrar la empresa EspacioLeve Ingeniería sobre las viguetas de alma abierta, retomamos algunos puntos expuestos en su página web:

“Economía: se puede cubrir luces más extensas con un mínimo de peso, lo que conlleva disminución de sección en columnas y vigas, traducándose en menor peso para la edificación, ahorro en estructura y cimentación.

“Facilidad de instalación: gracias a su bajo peso es fácil de manipular, evitando en la mayoría de los casos el uso de la torre grúa en obra.

“Paso de redes: permite instalación de líneas de servicio posterior a la fundida de la losa, aprovechando los espacios entre la celosía de los Joist obteniendo ventaja en la altura.

“**Entrepisos funcionales:** se acomodan a diversas situaciones de carga como zonas de almacenamiento, zonas de recreación, zonas sociales y zonas comerciales de grandes superficies.

“**Conexiones sencillas:** los Steel Joist se instalan de acuerdo a las especificaciones de diseño, entrando de 7-10 cm en cada viga utilizada como apoyo.

“**Optimización de diseños:** los Steel Joist se pueden diseñar en peraltes que van desde los 250 mm hasta 600mm lo que nos permite variar dimensiones de las cuerdas superiores e inferiores al igual que las dimensiones de la celosía, optimizando de esta manera la combinación entre materiales (ángulos y barras) con la geometría de la sección de la vigueta (Peralte o altura) hallando siempre el diseño más resistente y a la vez lo más liviana.

“**Peso propio:** el alma abierta de las vigas tipo Joist es más ligera que el núcleo solido de las viguetas de alma llena tipo IPE, HEA y Wf incluso más ligera que las secciones roladas en frío o perlines.

“**Más liviano:** en relación con las viguetas convencionales de concreto, los joist pueden presentar una reducción en peso entre un 20 a 30%”. (EspacioLeve Ingeniería, 2019b).

Ventajas de Steel Joist:



Ilustración 13: Ventajas de las Steel Joist
(EspacioLeve Ingeniería, 2019b).

12.4 RESUMEN DE ACTIVIDADES LABORALES COMO PRACTICANTE

A continuación, se presenta de manera resumida las actividades laborales realizadas durante la practica laboral y la manera de desempeñarlas como practicante. Se destaca entre otros logros, el aprendizaje sobre diseño estructural gráfico mediante Software (Metal 3D incorporado por CYPE en su versión 2013) y el acompañamiento a las tareas de diseño requeridas en la empresa bajo la dirección del ingeniero de soporte a cargo, cuyo acompañamiento fue clave para el logro del desarrollo de todo este proceso.

12.4.1 ASESORÍAS INGENIERILES

Como parte de los servicios prestados por la empresa CYRGO S.A.S, se debía asesorar a los clientes en sus proyectos, los cuales requieren un acompañamiento técnico respecto a los materiales necesarios para dichos proyectos.

12.4.2 DISEÑOS CON METAL 3D DEL PROGRAMA CYPE

Muchas asesorías conllevan la elaboración de diseños en estructuras metálica. A partir de los requerimientos fundamentales de cada proyecto, se elabora un modelo en el software Metal 3D de CYPE

A continuación, se muestra algunos de los proyectos más destacados de los que se pudieron realizar en el tiempo de práctica:

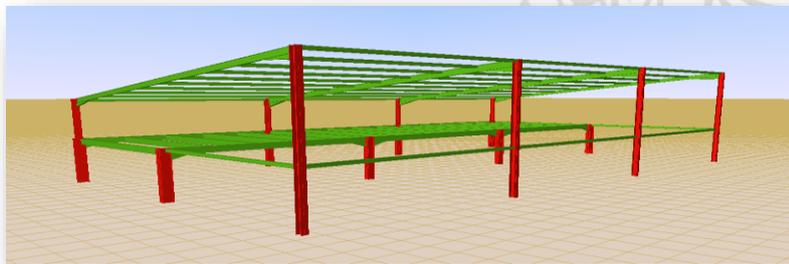


Ilustración 14. Bodega con Mezanine

Fuente: Elaboración Propia

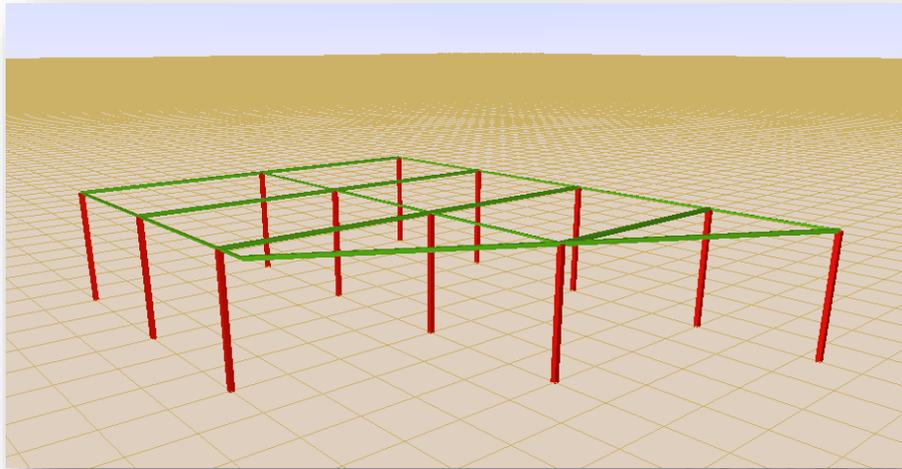


Ilustración 15. Pérgola para parqueadero
Fuente: Elaboración Propia

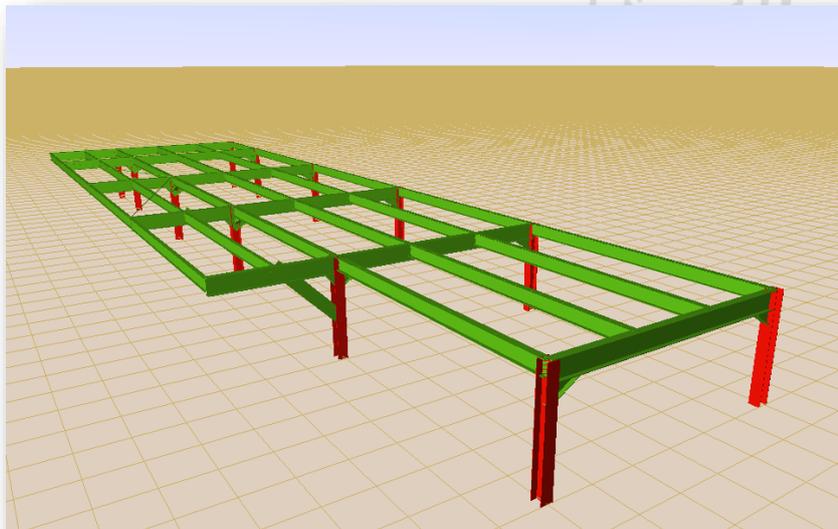


Ilustración 16. Mezanine Bodegas PISENDE
Fuente: Elaboración Propia

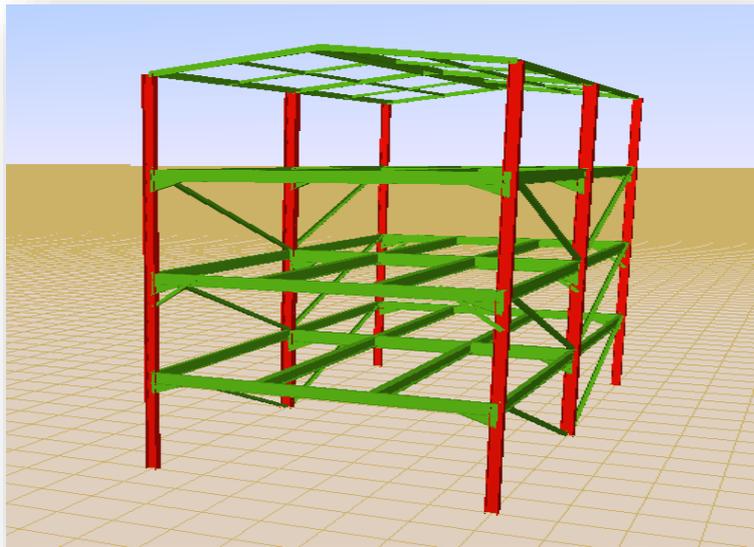


Ilustración 17. Casa residencial en Belén

Fuente: Elaboración Propia

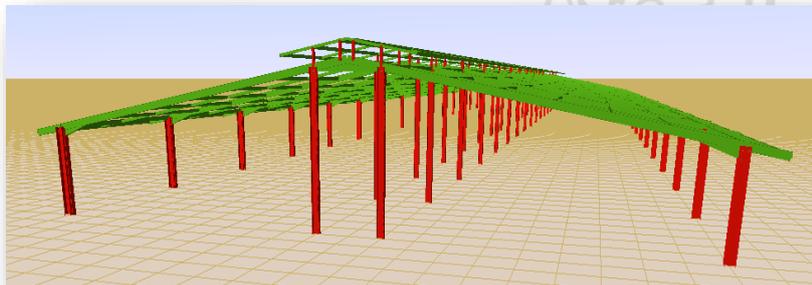


Ilustración 18. Estructura para Porcicultura

Fuente: Elaboración Propia

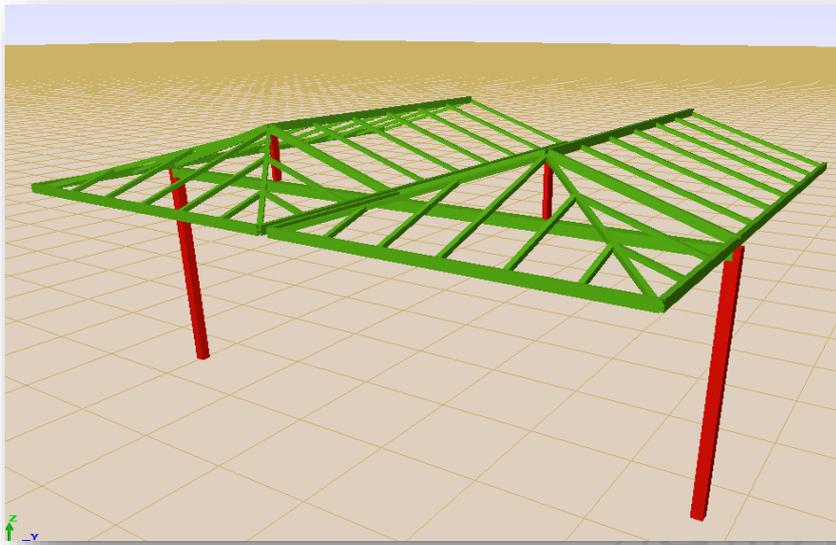


Ilustración 19. Cubierta para frente de edificio existente

Fuente: Elaboración Propia

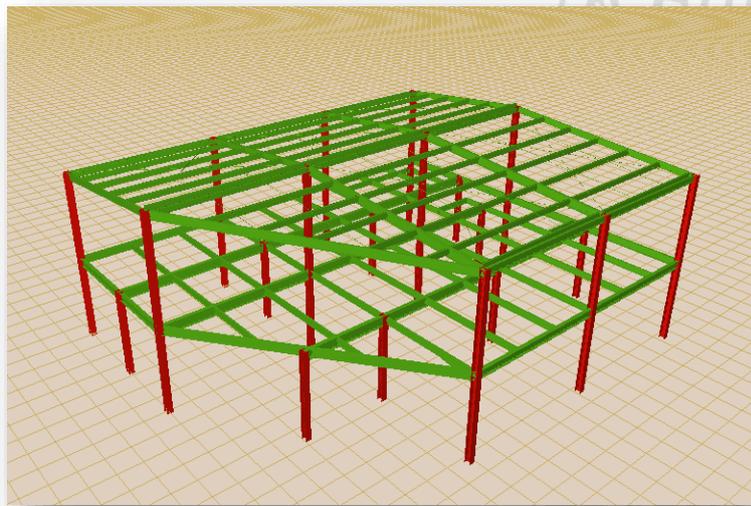


Ilustración 20. Restaurante en Ciudad del Río

Fuente: Elaboración Propia

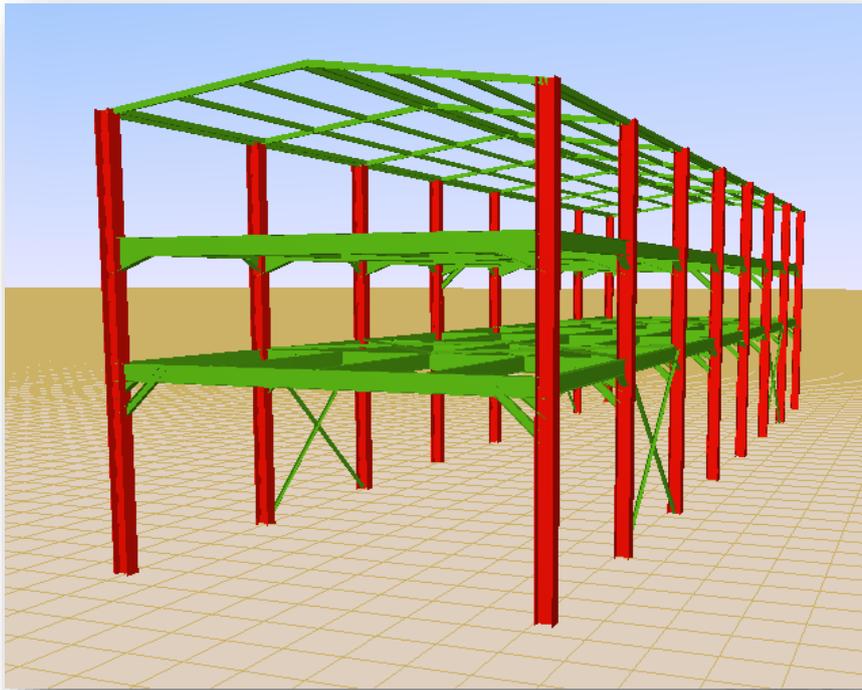


Ilustración 21. Bodega 1er piso, el resto vivienda residencial
Fuente: Elaboración Propia

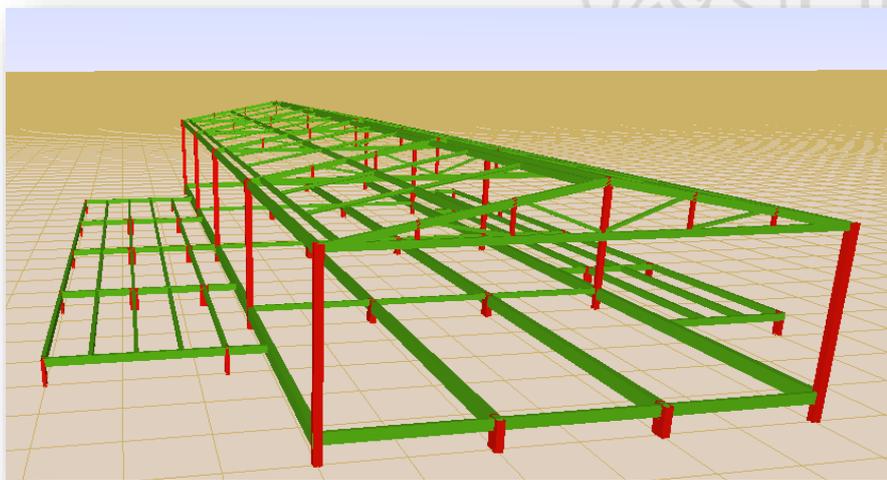


Ilustración 22. Casa cabaña
Fuente: Elaboración Propia

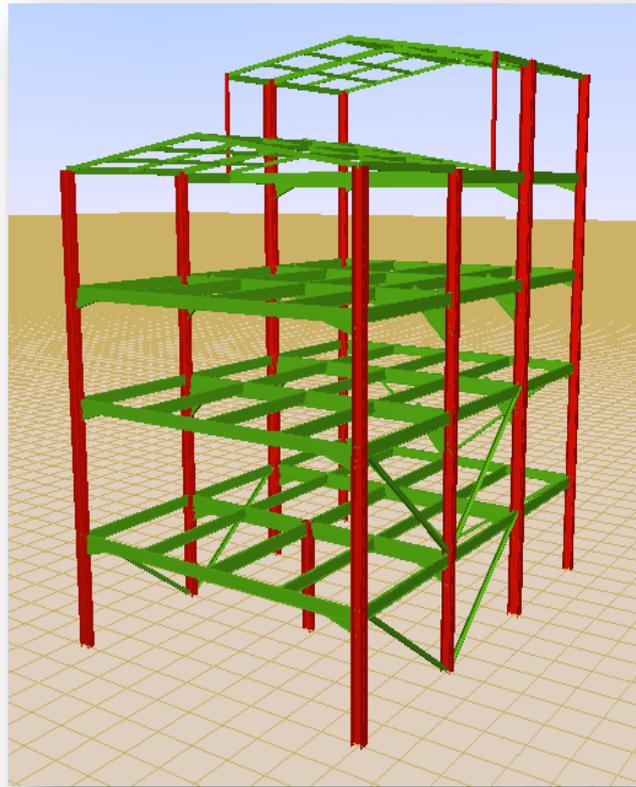


Ilustración 23. Casa residencial con 5to piso trasero
Fuente: Elaboración Propia

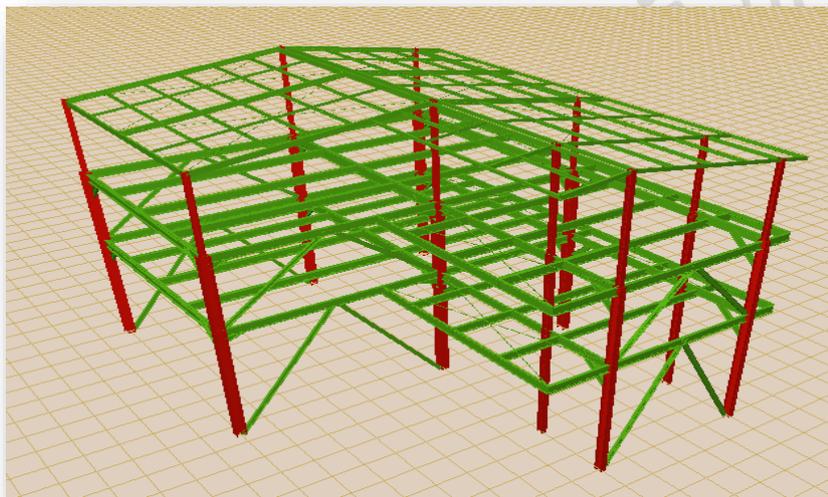


Ilustración 24. Hotel Ituango
Fuente: Elaboración Propia

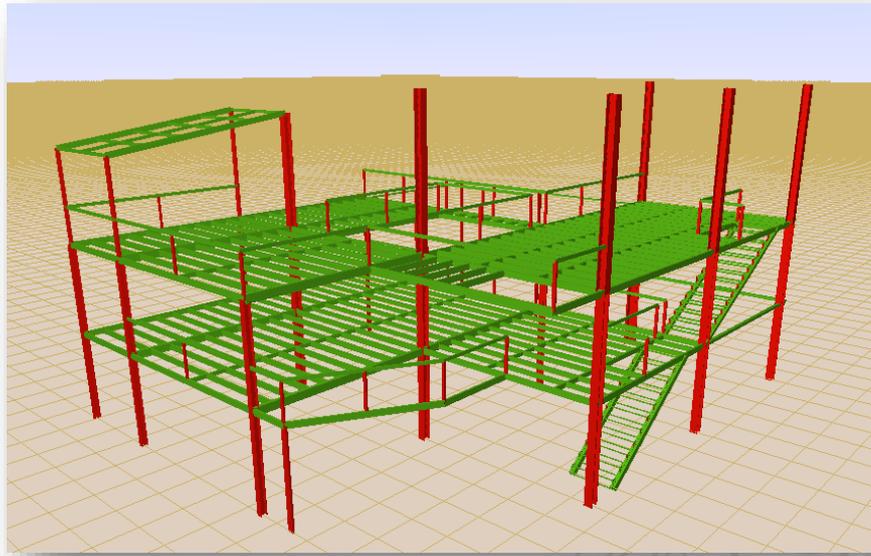


Ilustración 25. Oficinas Envigado

Fuente: Elaboración Propia

12.4.3 DESPIECE DE PROYECTOS

Partiendo de los proyectos o modelos realizados, se hacía necesario realizar un despiece adecuado para especificar las cantidades del material. Además, estos despieces también eran necesarios para clientes con pequeños proyectos.

12.4.4 ELABORACIÓN DE CARTILLAS DE FIGURADO

Además de las actividades anteriores, era necesario la elaboración de cartillas de figurado, ya que en el stock de la empresa no hay existencia de todas las clases de figurados. Dependiendo de la necesidad específica de los clientes, se realizaba la cartilla para hacer los pedidos correspondientes a Gerda Diaco, lugar donde se figuran y entregan al cliente. Esta cartilla se hace mediante un software de Gerda Diaco, el cual cuenta con las especificaciones normativas de construcción colombiana sísmo resistente.

13 CONCLUSIONES

En este informe se presentó la revisión de información técnica sobre el diseño y fabricación de viguetas metálicas de alma abierta que se encuentra disponible en las publicaciones del SJI. A partir de esto se generó una hoja de cálculo que serviría de herramienta para el análisis y diseño para viguetas típicas de la serie CJ, las cuales son aplicables en la construcción de entresijos y cubiertas para muchos proyectos comunes de edificación civil.

Es importante resaltar la necesidad que existe sobre la especialización de ingenieros en el uso de esta tecnología, lo cual requiere del estudio de información especializada como la que se ha presentado en este reporte. Algunas de las necesidades y dificultades con el uso de la información que se relacionan en la construcción usando este tipo de viguetas se han reportado en el caso de estudio incluido en este trabajo.

Además, se observa que Colombia puede apostar a la introducción de este tipo de elementos estructurales para la construcción de proyectos de gran envergadura y también para el uso común. Con la utilización de viguetas de alma abierta se puede obtener una mayor economía, generando más rentabilidad en las grandes inversiones que se presentan en la industria de la construcción. Por otra parte, las viguetas metálicas de alma abierta utilizadas en entresijos y cubiertas garantizan una mejor funcionalidad en cuanto a la instalación de ductos y todo tipo de redes domésticas, gracias a la posibilidad de mayores espacios intermedios entre sus elementos y su gran capacidad de soporte. Con este tipo de elementos se pueden obtener luces más extensas con un menor peso, lo que conlleva la disminución en las secciones, tanto de columnas como de vigas. Lo que se traduce en edificaciones más livianas y menos costosas.

Para que este elemento tenga gran impacto en la industria colombiana, es necesario que exista una debida reglamentación, ya que como se observó no hay una normativa que reglamente su diseño y fabricación. Parte importante de la información relacionada en este estudio consiste en la descripción de los requisitos normativos de diseño y de manufactura para su elaboración y montaje adaptados de una norma internacional que se ha tomado como referencia. A partir de la misma se destaca que para poder lograr la masificación del uso de esta tecnología en el medio nacional se requiere el desarrollo de una normatividad local especializada en la materia, y una importante difusión de las metodologías requeridas para su diseño y uso a nivel de los gremios locales de construcción, y, sobre todo, en los espacios de formación académica de ingeniería civil.

14 ANEXOS

14.1 ANEXO A.

El Anexo A expone los miembros del SJI y los principales fabricantes en U.S.A y Colombia. Además, se muestra la normatividad y política que rige el diseño y fabricación de viguetas de alma abierta.

14.1.1 FABRICANTES Y PROVEEDORES EN ESTADOS UNIDOS

Miembros del SIJ

- a) Acero Tecnologia SA de CV www.atecno.com.mx
- b) Canam Buildings www.canam-construction.com
- c) ESJ www.esj.mx
- d) Gooder-Henrichsen Co. www.gooderjoist.com
- e) Joist Structural Systems www.jssjuarez.com
- f) New Millennium Building Systems www.newmill.com
- g) Seyco Joist Company www.seycojoist.com.mx/
- h) Valley Joist, Inc. www.valleyjoist.com
- i) Vulcraft Div., Nucor Corp. www.vulcraft.com

Asociados al SJI

- a) Bayou Steel Group www.bayousteelgroup.com
- b) Axalta Coatings Systems www.axalta.com
- c) Chemcoat www.chemcoat.com
- d) Chicago Clamp Company www.chicagoclampcompany.com
- e) Commercial Metals Company www.cmc.com
- f) GERDAU www.gerdau.com/longsteel
- g) John L. Armitage www.johnlarmitage.com
- h) Lincoln Electric www.lincolnelectric.com

- i) Nucor Steel www.nucor.com
- j) Steel Dynamics - Roanoke Bar Division www.roanokesteel.com
- a) Steel Erectors Association of America www.seaa.net

14.1.2 FABRICANTES Y PROVEEDORES DE VIGUETAS DE ALMA ABIERTA EN COLOMBIA

- b) EspacioLeve ingeniería www.espacioleve.com
- c) Almasa S.A www.almasa.com.co

14.1.3 NORMATIVIDAD

- a) ANSI SJI 100 – 2015. Especificaciones estándar para las steel joist de las series K, LH y DLH
- b) ANSI/SJI – CJ-1.0. Especificaciones estándar para las steel joist de la serie CJ, Composite Steel Joist
- c) ANSI/SJI COSP – 1.0 (2015). Code of Standard Practice for Steel Joist and Joist Girders
- d) ANSI/SJI – CJ COSP – 1.0 (2018). Code of Standard Practice for Composite Steel Joist

14.1.4 POLÍTICA

Para la adaptación de este método constructivo a las regulaciones dadas por el SJI existen actualmente ciertas políticas y protocolos que rigen su licencia de certificación y la afiliación al instituto de las empresas fabricantes. A continuación, se describen algunos de estos requerimientos y procesos:

Los fabricantes de cualquier producto estándar SJI deberán enviar datos de diseño para verificar el cumplimiento de las especificaciones del Instituto Steel Joist, someterse a pruebas de verificación de diseño físico (solo en la serie K) y someterse a una inspección inicial de la planta y a las inspecciones bienales subsiguientes. Para todos los productos que desean certificarse.

Las compañías miembros de SJI que cumplan con las condiciones anteriores tendrán licencia para publicar las especificaciones, tablas de carga, tablas de peso y tablas de arriostramiento de SJI con derechos de autor.

14.2 ANEXO B.

El Anexo B presenta las tablas guías de diseño LRFD del SJI. Estas son el insumo base para calcular las medidas de diseño y fabricación de viguetas de alama abierta serie CJ.

1. DESIGN GUIDE LRFD WEIGHT TABLE FOR COMPOSITE STEEL JOISTS, CJ-SERIES

Based on a 50 ksi Maximum Yield Strength											
BEARING HEIGHT		2 1/2"	5"	7 1/2"							
Joist Span (ft.)	Joist Depth (in.)	Concrete Slab Parameters									
		Normal Weight Concrete (145 pcf) f _c = 4.0 ksi									
		hr (in.)	1	1	1	1	1	1	1	1	
		tc (in.)	2	2	2	2	2	2	2	2	
		Js (ft.)	3	3	3	3	3	3	3.5	4	
Total Safe Factored Uniformly Distributed Joist Load in Pounds Per Linear Foot											
		TL	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200
20	10	Wt(plf)	5.0	5.2	5.6	6.2	6.7	7.2	7.6	8.1	10.4
		W360(plf)	248	248	296	340	404	439	468	530	639
		N-ds	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	18-3/8"	22-3/8"	24-3/8"	26-3/8"	30-3/8"	22-1/2"
		leff(in4)	46	46	55	63	75	82	87	99	119
		Bridging	(2)H	(1)H							
	12	Wt(plf)	5.1	5.3	5.7	6.2	6.4	7.1	7.5	7.8	9.9
		W360(plf)	316	316	379	420	436	519	563	608	730
		N-ds	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	16-3/8"	18-3/8"	22-3/8"	24-3/8"	26-3/8"	18-1/2"
		leff(in4)	59	59	71	78	81	97	105	113	136
		Bridging	(2)H	(1)H							
	14	Wt(plf)	5.1	5.3	5.4	5.9	6.3	6.4	7.0	8.4	9.5
		W360(plf)	396	396	396	477	529	550	602	696	820
		N-ds	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	16-3/8"	18-3/8"	20-3/8"	12-1/2"	16-1/2"
		leff(in4)	74	74	74	89	98	102	112	130	153
		Bridging	(2)H	(1)H	(1)H						
	16	Wt(plf)	5.2	5.3	5.5	5.9	6.2	6.8	7.9	8.1	9.9
		W360(plf)	488	488	488	589	589	663	711	790	970
		N-ds	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	14-3/8"	16-3/8"	10-1/2"	12-1/2"	14-1/2"
		leff(in4)	91	91	91	110	110	123	132	147	181
		Bridging	(1)H								
	18	Wt(plf)	5.2	5.2	5.3	5.3	5.7	5.8	6.1	6.5	6.9
		W360(plf)	620	620	620	620	751	751	835	964	1058
		N-ds	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	14-3/8"	16-3/8"	20-3/8"	22-3/8"
		leff(in4)	116	116	116	116	140	140	155	179	197
Bridging		(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	
20	Wt(plf)	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.7	6.1	7.5	
	W360(plf)	717	717	717	717	867	867	963	1028	1284	
	N-ds	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	12-3/8"	14-3/8"	14-3/8"	16-3/8"	16-3/8"	12-1/2"	
	leff(in4)	133	133	133	133	161	161	179	191	239	
	Bridging	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	(1)H	

Fuente: *Standard Specifications for Composite Steel Joists Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice.*

2. DESIGN GUIDE LRFD BRIDGING TABLE FOR COMPOSITE STEEL JOISTS, CJ-SERIES

Based on a 50 ksi Maximum Yield Strength											
Joist Span (ft.)	Joist Depth (in.)	Concrete Slab Parameters									
		Normal Weight Concrete (145 pcf) $f_c = 4.0$ ksi									
		hr (in.)	1	1	1	1	1	1	1	1	
		tc (in.)	2	2	2	2	2	2	2	2	
Js (ft.)	3	3	3	3	3	3	3	3.5	4		
Joist Span (ft.)	Joist Depth (in.)	Total Safe Factored Uniformly Distributed Joist Load in Pounds Per Linear Foot									
		TL	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200
20	10	Pbr(lbs)	350	350	350	350	350	350	350	350	500
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	21	21	24	27	30	31	33	35	45
	12	Pbr(lbs)	300	300	300	300	300	300	300	300	450
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	30	30	34	37	38	43	45	47	60
	14	Pbr(lbs)	300	300	300	300	300	300	300	300	400
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	41	41	41	47	50	52	55	68	75
	16	Pbr(lbs)	250	250	250	250	250	300	400	400	450
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	53	53	53	61	61	68	77	83	100
	18	Pbr(lbs)	250	250	250	250	250	250	250	250	250
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	68	68	68	68	79	79	85	93	98
	20	Pbr(lbs)	250	250	250	250	250	250	250	250	350
		X mat'l size									
		H mat'l size	L1x0.109H								
		I non-comp eff	82	82	82	82	95	95	102	110	138
24	Pbr(lbs)	200	200	200	200	200	200	200	250	300	
	X mat'l size										
	H mat'l size	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	
	I non-comp eff	111	111	111	111	128	128	138	149	187	
28	Pbr(lbs)	200	200	200	200	200	200	200	200	300	
	X mat'l size										
	H mat'l size	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	
	I non-comp eff	139	139	139	139	161	161	173	187	236	
32	Pbr(lbs)	200	200	200	200	200	200	250	300	300	
	X mat'l size										
	H mat'l size	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	L1x0.109H	
	I non-comp eff	166	166	166	166	166	200	223	236	281	

Fuente: *Standard Specifications for Composite Steel Joists Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice.*

14.3 ANEXO C.

Junto con el documento de este informe, se anexa el archivo en Excel de la hoja de cálculo.

15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Congreso de la República de Colombia (1997). *Ley 400 de 1997 por el cual se adoptan normas sobre construcciones Sismo Resistentes*.
- Cook, B. (1996). *An Overview of Open Web Steel Joists*. Primer. London.: Academy Editions.
- ESJ. (2007). *Steel Joist. Aspectos básicos*. Chihuahua, México. Recuperado de <https://studylib.es/doc/2840533/vigas-joist>
- EspacioLeve Ingeniería. (2019a). [Viguetas compuesta Acero-Concreto] [Foto]. Recuperado de <http://EspacioLeve.com/entrepisos-con-viguetas-metalicas-steel-joist/>
- EspacioLeve Ingeniería. (2019b). *Viguetas metálicas Steel Joist*. Bogotá D.C. Recuperado de <http://espacioleve.com/entrepisos-con-viguetas-metalicas-steel-joist/>
- MIPSA. (2019). [Elementos de una viga Joist] [Foto]. Recuperado de <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Vigas-Joist>
- Pfenniger, F. González, L. (2019). [Arquitectura en acero] [Foto]. Recuperado de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/steel-i-joist>
- SJI. (2007). *Standard Specifications for Composite Steel Joists. Weight Tables and Bridging Tables Code of Standard Practice*. SJI Publications: Florence, SC.