



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL JOIST FILIGRAN Y COSTANERA EVG, EN
FUNCION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS**

Eduardo Albino Oliva Torres
Asesorado por Ing. Civil. José Gabriel Ordóñez Morales

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL JOIST FILIGRAN Y COSTANERA
EVG, EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
UTILIZADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

**EDUARDO ALBINO OLIVA TORRES
ASESORADO POR Ing. Civil. JOSÉ GABRIEL ORDÓÑEZ MORALES**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Guatemala, octubre de 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL JOIST FILIGRAN Y COSTANERA EVG, EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.

Tema que me fuera asignado por la dirección de la escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de julio de 2004.

Eduardo Albino Oliva Torres

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Keneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Eliza Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Armando Ola
EXAMINADOR:	Ing. Jorge Lam
EXAMINADOR:	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS

Por medio de este documento expreso mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización del presente trabajo de graduación, en especial a:

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales, por su dedicación y esfuerzo en el asesoramiento y elaboración del presente trabajo.

Ing. Industrial Julio Roberto Fanjul Bianchi, Gerente General de Monolit, S.A., por facilitar los medios para la realización del presente trabajo.

Sergio Morales Monzón, Gerente de Ventas MONOLIT, S.A., por su gran ayuda y colaboración.

Al personal de laboratorio de Monolit, S.A, en especial a Manuel Martínez.

Ana Waleska Dubois Ascoli, René Dubois y Marta Gilda de Dubois, por su apoyo incondicional ¡Gracias!

DEDICATORIA

- A DIOS** Por haberme permitido culminar mi carrera
- A mis padres** Lázaro Albino Oliva Toledo (†)
Amparo Orbelina Torres
- A mis hermanos** Lic. Luis Felipe Oliva Torres
Dr. Samuel Oliva (†)
- A mi novia** Ana Waleska Dubois Ascoli
- A mis tíos** Leovegildo, Carlos, Fidel (†), Guadalupe, Carmen (†),
Betzabé, Sandra, Angelina, Castaluz
- A mis amigos** Jacobo, Julio, Mauricio, Cristian, Sergio, Elder,
Ricardo, Carlos

A la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala

A MONOLIT, S.A.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	III
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	X
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL JOIST FILIGRAN.....	1
1.1 Maquinaria y equipo empleado en la fabricación del joist Filigran.....	4
1.2 Proceso de fabricación del joist Filigran.....	4
2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA COSTANERA EVG.....	13
2.1 Maquinaria y equipo empleado para la fabricación de la costanera EVG.....	17
2.2 Proceso de fabricación de la costanera EVG.....	18
3. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA EN LA MATERIA PRIMA.....	27
3.1 Materia prima y sus componentes.....	27
3.1.1 Composición del alambón utilizado para la fabricación de la costanera EVG y el joist Filigran.....	29
3.2 Ensayos a tensión en alambón para la fabricación del Joist Filigran.....	31
3.3 Ensayos a tensión en alambón para la fabricación de la costanera EVG.....	37
4. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL	

JOIST FILIGRAN.....	45
4.1 Ensayo a tensión.....	45
4.2 Ensayo de resistencia en la soldadura.....	48
4.3 Ensayo a compresión.....	49
4.4 Ensayo a flexión.....	54
4.5 Análisis y tabulación de resultados.....	57
5. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA COSTANERA EVG.....	65
5.1 Ensayo a tensión.....	65
5.2 Ensayo de resistencia en la soldadura.....	67
5.3 Ensayo a compresión.....	69
5.4 Ensayo a flexión.....	75
5.5 Análisis y tabulación de resultados.....	78
6. APLICACIONES DEL JOIST FILIGRAN Y COSTANERA EVG.....	85
6.1 Cargas actuantes.....	85
6.1.1 Cargas debidas al peso de la estructura.....	86
6.1.2 Cargas de viento o sobrecarga útil.....	88
6.2 Análisis estructural en elemento simplemente apoyado	89
6.3 Diseño de elemento con la utilización de joist Filigran y costanera EVG.....	90
6.4 Ejemplos de aplicación.....	95
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Nomenclatura joist tipo SPN.....	2
2	Diferentes configuraciones del joist Filigran.....	3
3	Materia prima para la fabricación del joist Filigran.....	5
4	Materia prima para la fabricación del joist Filigran.....	6
5	Máquina Filigran.....	6
6	Máquina Filigran.....	7
7	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	7
8	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	8
9	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	8
10	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	9
11	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	9
12	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	10
13	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	10
14	Proceso de fabricación del joist Filigran.....	11
15	Joist Filigran terminado.....	11
16	Joist Filigran terminado.....	12
17	Reducción del área durante el proceso de trefilado.....	14
18	Micrografía del alambón no trefilado.....	14
19	Micrografía del alambón trefilado.....	14
20	Descripción de diámetros utilizados en la costanera EVG.....	17
21	Alambón de diámetros utilizados en la costanera EVG.....	19
22	Enhebrado del alambón previo a ser trefilado.....	20

23	Proceso de trefilado.....	20
24	Proceso de trefilado.....	21
25	Alambrón trefilado previo a ser insertado en la máquina EVG..	21
26	Máquina EVG.....	22
27	Proceso de fabricación de la costanera EVG.....	22
28	Máquina EVG electrosoldando los diferentes elementos de la costanera.....	23
29	Máquina EVG cortando la costanera a la longitud predeterminada.....	24
30	Costanera EVG terminada.....	24
31	Costanera EVG terminada.....	25
32	Materia prima para la fabricación del alambrón.....	28
33	Proceso de producción del alambrón.....	29
34	Propiedades físicas en la materia prima del joist Filigran.....	32
35	Cargas actuantes y elongaciones en la materia prima del joist Filigran.....	32
36	Esfuerzos debidos a cargas en la materia prima del joist Filigran.....	32
37	Propiedades físicas del cordón inferior del joist Filigran antes de soldar.....	33
38	Cargas actuantes y elongaciones en el cordón simple del joist Filigran antes de soldar.....	33
39	Esfuerzos debidos a cargas en cordón simple del joist Filigran antes de soldar.....	33
40	Propiedades físicas de los cordones dobles del joist Filigran antes de soldar.....	34
41	Cargas actuantes y elongaciones en cordones dobles del joist Filigran antes de soldar.....	34

42	Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles del joist Filigran antes de soldar.....	35
43	Ensayo a tensión en materia prima.....	35
44	Medidor de deformaciones.....	36
45	Materia prima ensayada.....	36
46	Materia prima ensayada.....	37
47	Propiedades físicas en la materia prima para costanera EVG...	37
48	Cargas actuantes y elongaciones en materia prima para costanera EVG.....	38
49	Esfuerzos debidos a cargas en materia prima para costanera EVG.....	38
50	Propiedades físicas del alambión trefilado para costanera EVG	38
51	Cargas actuantes y elongaciones en alambión trefilado para costanera EVG.....	39
52	Esfuerzos debidos a cargas en alambión trefilado para costanera EVG.....	39
53	Propiedades físicas del alambión trefilado antes de soldar para costanera EVG.....	40
54	Cargas actuantes y elongaciones en alambión trefilado antes de soldar para costanera EVG.....	40
55	Esfuerzos debidos a cargas en alambión trefilado antes de soldar en costanera EVG.....	40
56	Ensayo a tensión en materia prima para costanera EVG.....	41
57	Máquina utilizada para los ensayos a tensión.....	42
58	Medidor de deformaciones.....	42
59	Materia prima de costanera EVG.....	43
60	Propiedades físicas en cordón simple del joist completo....	46
61	Cargas actuantes en cordón simple del joist completo.....	46
62	Esfuerzos debidos a cargas en cordón simple del joist	

	completo.....	46
63	Propiedades físicas en cordones dobles del joist completo.	47
64	Cargas actuantes en cordones dobles del joist completo....	47
65	Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles del joist completo.....	48
66	Resistencia a corte de la soldadura del joist completo.....	48
67	Ensayo a compresión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L=0.70m	49
68	Ensayo a compresión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L=0.70m	50
69	Ensayo a compresión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L=1.55m	50
70	Ensayo a compresión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L=1.55m	51
71	Testigos utilizados para el ensayo a compresión.....	51
72	Ensayo a compresión en joist Filigran.....	52
73	Ensayo a compresión en joist Filigran.....	52
74	Joist Filigran después de ser ensayado.....	53
75	Ensayo a flexión del joist tipo SPN 10-8-8-10 L=2.04m.....	54
76	Ensayo a flexión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L=2.04m.....	55
77	Ensayo a flexión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L=2.04m.....	55
78	Ensayo a flexión del joist Filigran.....	56
79	Medición de deflexiones durante el ensayo.....	56
80	Características físicas del joist Filigran.....	57
81	Diagramas del ensayo a flexión.....	61
82	Propiedades físicas en cordón simple de costanera EVG completa.....	65
83	Cargas actuantes en cordón simple de costanera EVG completa.....	66
84	Esfuerzos debidos a cargas en cordón simple de costanera EVG completa.....	66
85	Características físicas en cordones dobles de costanera EVG	

	completa.....	66
86	Cargas actuantes en cordones dobles de costanera EVG completa.....	67
87	Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles de costanera EVG completa.....	67
88	Ensayo a tensión en cordones dobles de costanera EVG.....	68
89	Ensayo a tensión en cordón simple de costanera EVG.....	68
90	Cordón de costanera EVG después de ser ensayado.....	69
91	Ensayo a compresión en costanera EVG4 L=0.70m.....	70
92	Ensayo a compresión en costanera EVG6 L=0.70m.....	71
93	Ensayo a compresión en costanera EVG4 L=1.55m.....	72
94	Ensayo a compresión en costanera EVG6 L=1.55m.....	73
95	Testigos de costanera EVG antes de ser ensayados.....	74
96	Ensayo a compresión en costanera EVG6.....	74
97	Costaneras EVG4 y EVG6 después de ser ensayadas.....	75
98	Ensayo a flexión en costanera EVG4 L=2.04m.....	76
99	Ensayo a flexión en costanera EVG6 L=2.04m.....	76
100	Ensayo a flexión en costanera EVG4.....	77
101	Ensayo a flexión en costanera EVG6.....	77
102	Propiedades físicas y mecánicas de la costanera EVG.....	78
103	Diagramas de momento y corte para un elemento simplemente apoyado aplicándole una carga distribuida.....	90
104	Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG	115
105	Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG	116
106	Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG	117

TABLAS

I	Porcentajes de reducción de área en el proceso de trefilado...	15
---	--	----

II	Porcentajes de los componentes químicos del alambcón.....	30
III	Pesos en cubiertas por metro cuadrado.....	86
IV	Pesos de diferentes tipos de joist Filigran.....	87
V	Pesos de costaneras EVG.....	88
VI	Velocidades de viento.....	89
VII	Esfuerzos en cordones a compresión del joist Filigran.....	92
VIII	Esfuerzos en cordones a compresión de la costanera EVG....	92
IX	Esfuerzos en cordones a compresión en el cordón diagonal y ángulo formado por la diagonal y las varillas del joist Filigran	94
X	Esfuerzos en cordones a compresión en el cordón diagonal y ángulo formado por la diagonal y las varillas longitudinales de la costanera EVG.....	94
XI	Tabla del AISC para el diseño de elementos a compresión.....	111
XII	Tabla del AISC para el diseño de elementos a compresión.....	112
XIII	Longitudes efectivas de columnas.....	113

GLOSARIO

A.I.S.C.	Instituto Americano de Construcción en Acero.
CA	Código que se le da a un joist encajuelado.
Chatarra	Hierro viejo.
Compresión	Deformación plástica que sufre el material al ser sometido bajo dos cargas axiales.
Dado	Parte de la máquina trefiladora encargada de graduar el diámetro a trefilar.

Deflexión	Medida de la deformación que sufre una viga con respecto a su posición horizontal original.
Diagonal	Varilla transversal encargada de unir las varillas longitudinales superiores e inferiores.
Ductilidad	Es la capacidad de un material de deformarse plásticamente.
Elongación	Alargamiento que sufre el material al ser trabajado o ensayado.
Embozador	Parte de la máquina Filigran y EVG, encargada de doblar ciertas partes de la estructura.
Esfuerzo	Es la intensidad de las fuerzas o componentes de las fuerzas en un punto de un cuerpo, que actúan en un plano dado a través del punto.
Joist	Viga de alma abierta construida en acero.
Lup	Nombre con que se denomina al gancho que une el cordón doble con el diagonal.
Tensión	Estado de una estructura bajo efecto de estiramiento.
SPN	Código que se le da a un joist Filigran simple.

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación trata de determinar las capacidades mecánicas y físicas del joist Filigran y la costanera EVG, mediante ensayos de laboratorio.

En nuestro país se denomina costanera EVG y joist Filigran, a la estructura metálica de alma abierta, diseñada para soportar diferentes tipos de

cargas. Estas estructuras son conocidas en otros países bajo otras denominaciones, tales como: polín, correa, sercha, etc.

En la actualidad, estos elementos son utilizados como estructuras para techo, en combinación con diferentes tipos de cubierta que se pueden encontrar en el mercado. Estas estructuras substituyen el artesanado de madera tradicional, logrando con ellas cubrir longitudes mayores, debido a la mayor resistencia de la materia prima.

El trabajo de graduación está estructurado en seis capítulos, de los cuales el uno y dos tratan sobre la maquinaria, equipo y materia prima utilizada para la fabricación del joist Filigran y la costanera EVG. Los capítulos tres, cuatro y cinco, se desarrollaron en base a ensayos sobre la materia prima de cada estructura, así como ensayos en soldadura, tensión, flexión y compresión sobre cada elemento. El capítulo seis describe las diferentes aplicaciones que puede tener el joist Filigran y la costanera EVG, además de incluir el proceso de cálculo y ejemplos de aplicación en base a los resultados obtenidos en los capítulos anteriores.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar un estudio a base de ensayos de laboratorio y conceptos teóricos, para poder determinar con exactitud la resistencia y el comportamiento mecánico del joist Filigran y la costanera EVG.

ESPECÍFICOS

- 1 Realizar en base a los resultados obtenidos en los ensayos, un análisis y diseño de bases para techo, para presentar una nueva alternativa en el medio de la construcción.
- 2 Determinar la influencia que tiene la geometría y la materia prima, sobre la capacidad de carga de la costanera EVG y el joist Filigran.
- 3 Realizar una investigación sobre el proceso de fabricación de la costanera EVG y el joist Filigran.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país se denomina costanera EVG y joist Filigran, a la estructura metálica de alma abierta, diseñada para soportar diferentes tipos de cargas. Estas estructuras son conocidas en otros países bajo otras denominaciones, tales como polín, correa, sercha, costanera, etc.

En la actualidad, estos elementos son utilizados como estructuras para techo, en combinación con diferentes tipos de cubierta que se pueden encontrar en el mercado.

Estas estructuras substituyen el artesonado de madera tradicional, logrando con ellas longitudes mayores, debido a la mayor resistencia de la materia prima con que se fabrican.

Tanto el joist Filigran y la costanera EVG, se fabrican con materiales laminados en caliente, como:

- Varillas de acero grado 40
- Varillas de acero grado 60
- Varillas de acero grado 70
- Angulares de diferentes medidas

El procedimiento que se utiliza para la fabricación de los mismos es manual y hasta cierto punto artesanal, ya que se necesita estimar el factor tiempo y contar con la mano de obra especializada, para minimizar cualquier tipo de error.

Existe además en el mercado otro tipo de joist y costanera, cuya fabricación es a máquina, los cuales se denominan joist Filigran y costanera EVG, los cuales reciben su nombre de las máquinas que los procesan y son de procedencia Alemana.

El presente trabajo es un estudio que se realizó a la costanera EVG y al joist Filigran, donde se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de cada elemento, así como las propiedades de la materia prima y su proceso de fabricación; para esto se realizaron ensayos a tensión sobre la materia prima y el elemento ya conformado. Esto se hizo para poder determinar si el joist Filigran y la costanera EVG sufren algún tipo de cambio en sus propiedades mecánicas al estar ya conformados.

También se realizaron ensayos a compresión sobre elementos de 0.70m y 1.55m, a los cuales se les aplicaron cargas paulatinamente hasta obtener la carga última a compresión; así mismo, se realizaron ensayos a flexión sobre elementos de 2.04m aplicando cargas paulatinamente hasta alcanzar la deflexión máxima sobre el elemento.

1. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL JOIST FILIGRAN

El proceso de fabricación del joist es altamente tecnificado, utilizando como materia prima el alambrón; con el cual se alimenta directamente a la máquina Filigran sin pasar por un proceso previo de trefilado, ya que la misma se encarga de enderezar, estirar, doblar, soldar y cortar, hasta obtener como resultado la estructura terminada. El tipo de soldadura que se utiliza en el proceso es por inducción eléctrica o de contacto; por medio de la cual, a través de corriente eléctrica inducida en las partes por unir, se fusionan por contacto, debido a las altas temperaturas en la superficie de las partes. Este proceso garantiza mayor precisión, limpieza y acabado final controlado, asegurando de esta manera una soldadura resistente en todos los puntos.

En la actualidad, Guatemala produce únicamente el joist tipo SPN, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

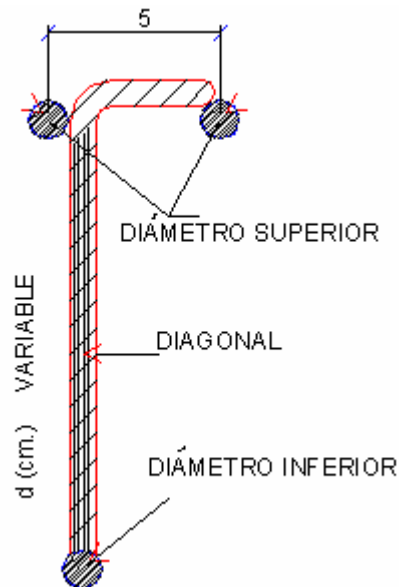
- a) Cordón doble
- b) Cordón simple
- c) Cordón diagonal

Se utiliza para su producción, tanto en el cordón doble como en el simple, diferentes tipos de combinaciones en diámetros de alambrón, como lo son: 6, 8, 10 y 12 mm, y en el cordón de la diagonal, únicamente alambrón de 8 mm; ya que estos diámetros dependen de los requerimientos del diseño.

Los peraltes en los que se fabrica son: 10, 15, 20, 25 y 30 cm, pudiendo llegar a producirse en peraltes mayores.

La nomenclatura que se emplea para la identificación de los joist SPN, es la mostrada en la figura 1.

Figura 1 Nomenclatura joist tipo SPN



SPN – h (peralte) - diámetro superior - diámetro diagonal - diámetro inferior

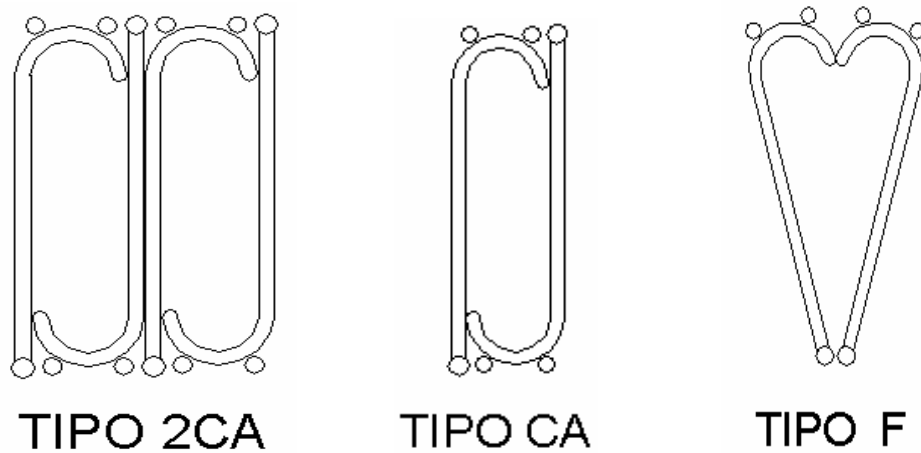
Para poder comprender mejor la nomenclatura del joist SPN, pondremos como ejemplo un joist SPN 20-10-8-12, el cual nos indica lo siguiente:

20 = joist de peralte 20 cm

- 10 = diámetro del cordón doble superior
- 8 = diámetro del cordón de la diagonal
- 12 = diámetro del cordón simple inferior

El joist SPN es un elemento estructural bastante versátil, ya que dependiendo de los requerimientos del diseño pueden soldarse dos o cuatro joist SPN y pueden obtenerse varias formas, tales como: el joist tipo “F”, tipo “CA” y tipo “2CA”, que se pueden utilizar tanto como vigas, así como costaneras, según los casos en donde se requiera cubrir luces mayores o soportar cargas que un joist simple no pueda resistir.

Figura 2 Diferentes configuraciones del joist Filigran



1.1 Maquinaria y equipo empleado en la fabricación del joist Filigran

Para la fabricación del *joist* se necesita únicamente una máquina hidráulica marca Filigran, de aproximadamente 26 mts de longitud, alimentada con una corriente de 440 voltios, así como equipo adicional. Se utiliza únicamente soldadoras manuales, las cuales se emplean para darle continuidad de un rollo de alambión a otro, sin detener el proceso de fabricación.

Esta máquina está compuesta por estiradoras, dobladoras, tijeras espaciadoras, tijera ajustadora, soldadoras, enderezadoras, mecanismos de transporte, sierra cortadora y el tablero de operaciones; con el que se determina el peralte del material que se desee, así como su longitud.

1.1 Proceso de fabricación del *joist* Filigran

En el proceso de fabricación del *joist*, únicamente se involucra el uso de la máquina Filigran, así como la mano de obra de un supervisor con dos operarios, obteniéndose un rendimiento de 4,000 metros lineales por turno de 8 horas.

El primer paso consiste en colocar el alambión en cuatro conos giratorios, los cuales alimentarán a la máquina Filigran de la siguiente manera: los primeros dos conos que forman el cordón doble, pasan por un proceso de enderezado y estirado, considerándose una elongación no mayor de un 10%, razón por la cual en las varillas de dicho cordón se obtiene una resistencia mayor que en las del cordón simple y de la diagonal.

El alambión del tercer cono es enderezado y pasado por dos tipos de embozadores: el embozador menor, que le proporciona la forma al *lup* y el embozador mayor, que le proporciona la forma a la diagonal, ya que para mantener la separación de las diagonales a una misma medida, este alambión

es chequeado por tijeras espaciadoras antes del proceso de soldadura. El cuarto cono, al igual que el tercero, solamente es enderezado por medio de rodillos y luego transportado para soldarlo con la cresta de la diagonal. Los cordones dobles también son soldados al lup de la diagonal, formando los cuatro alambrones un sólo elemento de alma abierta en diferentes medidas y diámetros.

Figura 3 Materia prima para fabricación del joist Filigran



Figura 4 Materia prima para fabricación del joist Filigran



Figura 5 **Máquina Filigran**



Figura 6 **Máquina Filigran**



Figura 7 **Proceso de fabricación del joist Filigran**

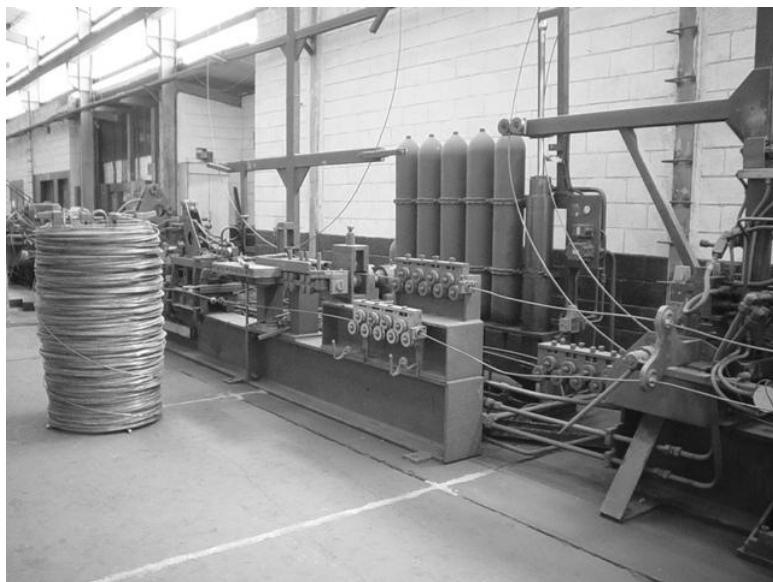


Figura 8 **Proceso de fabricación del joist Filigran**

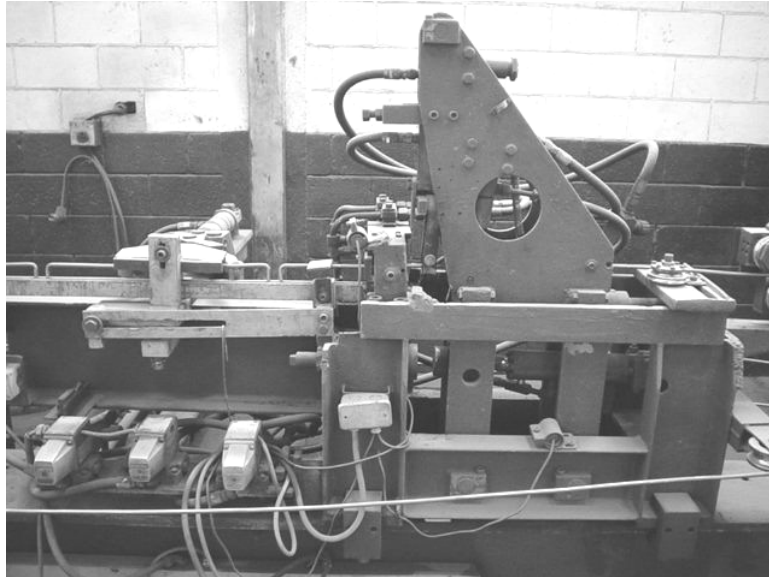


Figura 9 **Proceso de fabricación del joist Filigran**

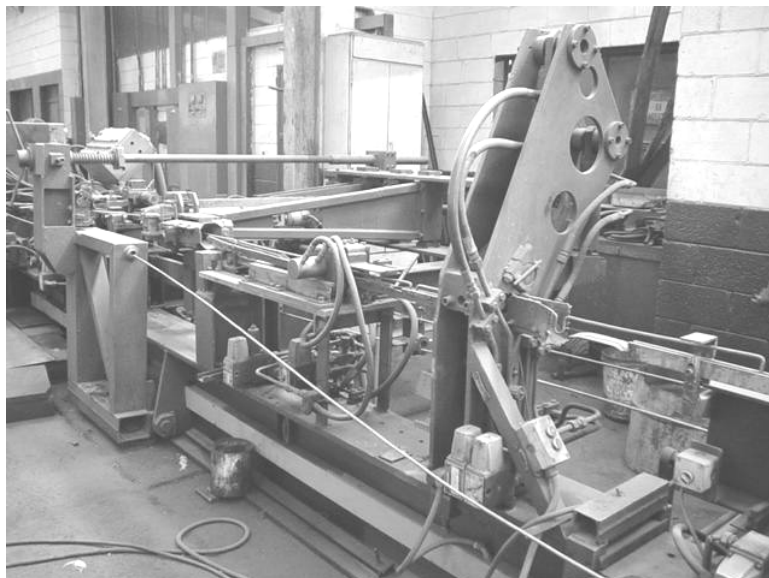


Figura 10 **Proceso de fabricación del joist Filigran**

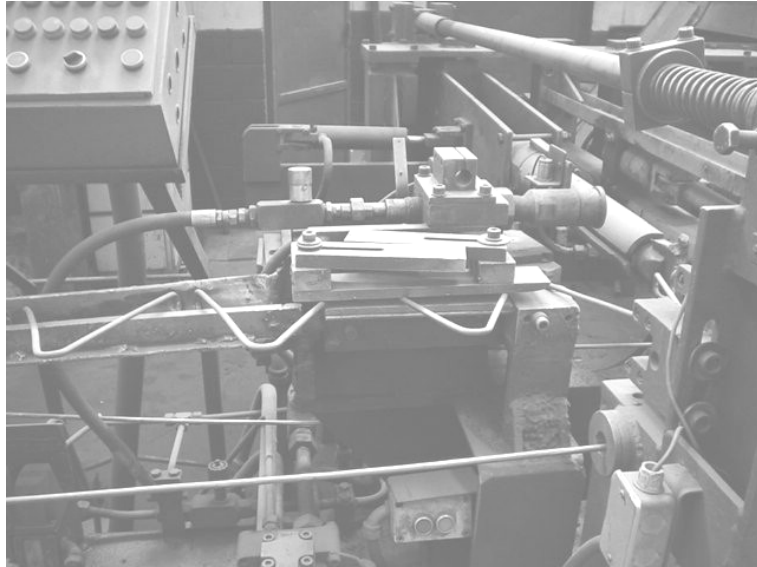


Figura 11 Proceso de fabricación del joist Filigran

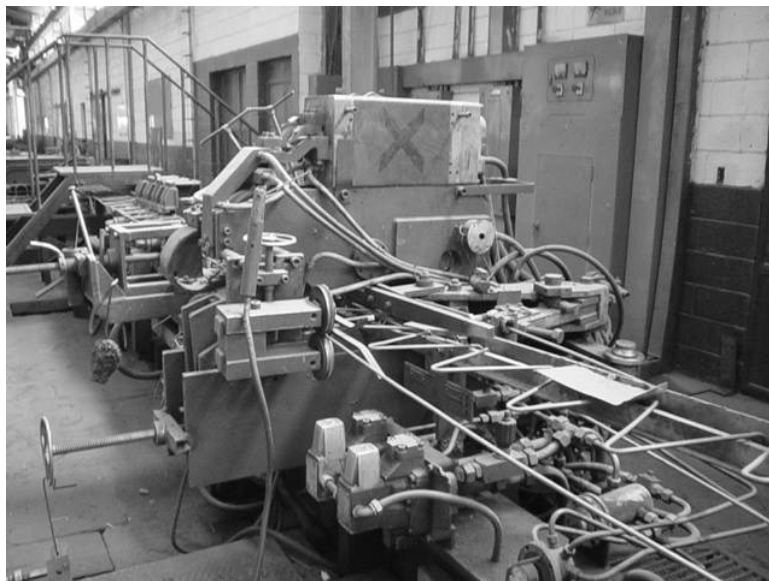


Figura 12 Proceso de fabricación del joist Filigran

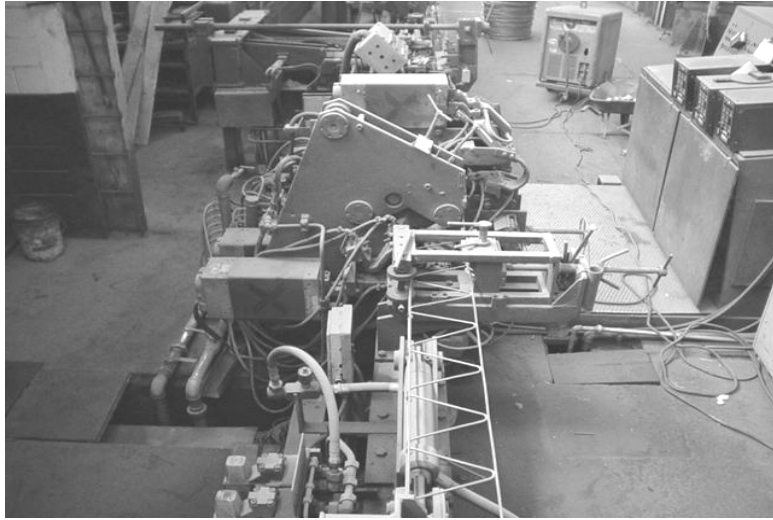


Figura 13 Proceso de fabricación del joist Filigran



Figura 14 Proceso de fabricación del joist Filigran



Figura 15 Joist Filigran terminado



Figura 16 Joist Filigran terminado



2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA COSTANERA EVG

Para la fabricación de la costanera EVG se realizan dos procesos independientes, los cuales son:

- Trefilado
- Fabricación de la costanera EVG

La trefilación es un proceso de deformación en frío que permite reducir el diámetro del alambón, sin generación de virutas de la mayoría de los materiales metálicos de forma alargada y sección simétrica, cuya fabricación se haya originado en procesos de laminación.

El primer paso para iniciar la trefilación del alambón consiste en la calibración de la máquina, tanto en la redondez de la sección como en el diámetro a trefilar, procediendo a enhebrar el alambón en la máquina de trefilado. Al completar estas dos etapas previas, se inicia el proceso de disminución del diámetro al aplicar importantes fuerzas mecánicas de tracción al alambón de sección circular. Éste es obligado a atravesar una matriz llamada hilera, perforada interiormente y con entrada de forma cónica. En el interior de dicha hilera, se produce una reducción de área entre la sección de material que entra y el que sale de aquella, resultando de esta forma un ordenamiento cristalino longitudinal, que mejora la resistencia a la tracción entre el 20% y 40%, porcentaje que depende de la magnitud de dicha reducción de área.

Figura 17 Reducción del área durante el proceso de trefilado

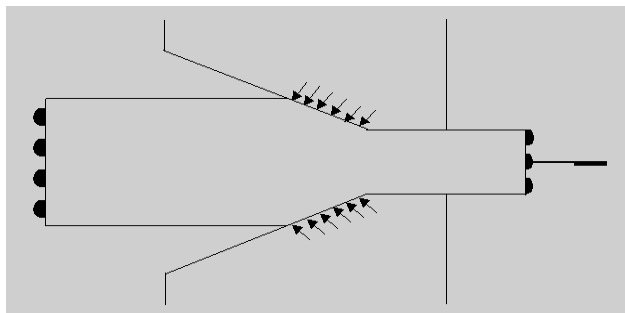


Figura 18 Micrografía del alambión no trefilado

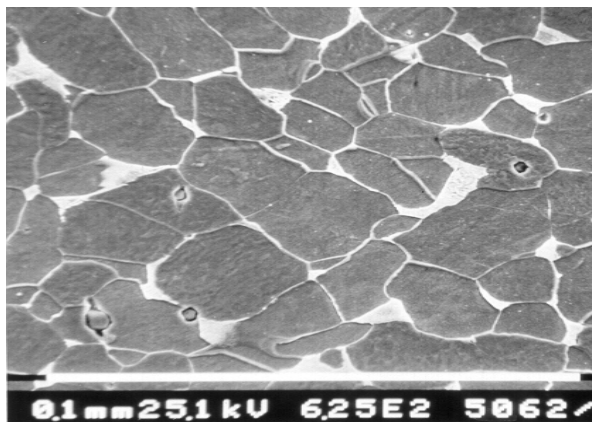
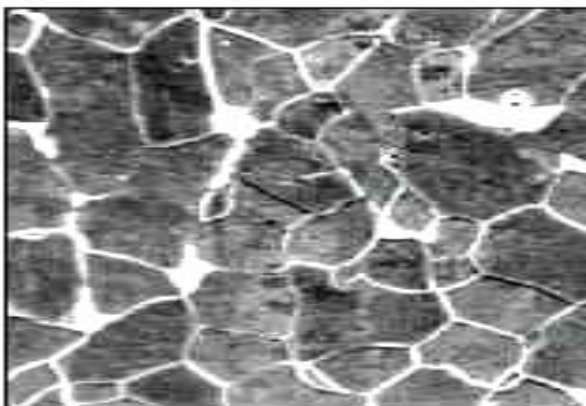


Figura 19 Micrografía del alambión trefilado



En el caso de la costanera EVG, se utilizan cuatro diferentes diámetros de trefilación, los cuales son:

- Φ 4.50mm, que se obtiene de alambre de Φ 6.30mm
- Φ 6.20mm, que se obtiene del alambre de Φ 8.00mm
- Φ 5.50mm, que se obtiene del alambre de Φ 8.00mm
- Φ 9.50mm, que se obtiene del alambre de Φ 12.00mm

A continuación se elaboró una tabla, en donde se presentan los diferentes porcentajes de reducción de área que sufre el alambre utilizado para la fabricación de la costanera EVG durante el proceso de trefilado:

Tabla I Porcentajes de reducción de área en el proceso de trefilado

No.	DIÁMETRO DEL ALAMBROÓN MATERIA PRIMA (mm)	DIÁMETRO ALAMBROÓN TREFILADO (mm)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE ÁREA
1	6.30	4.50	28.57
2	8.00	5.50	31.25
3	8.00	6.20	22.50
4	12.00	9.50	20.83

Luego de pasar por el proceso de trefilado, se insertan los conos con la materia prima ya trefilada a la máquina que fabrica la costanera EVG, la cual se encarga de cortar y soldar el alambre trefilado hasta obtener como resultado la estructura ya terminada.

El tipo de soldadura que se utiliza en el proceso es por inducción eléctrica o de contacto, por medio de la cual, a través de corriente eléctrica inducida en las partes por unir, se fusionan por contacto, debido a las altas temperaturas en la superficie de las partes. La temperatura alcanzada en el proceso de soldadura por inducción eléctrica puede llegar a 1,300° centígrados. Este proceso garantiza mayor precisión, limpieza y acabado final más homogéneo, asegurando una soldadura resistente en todos los puntos.

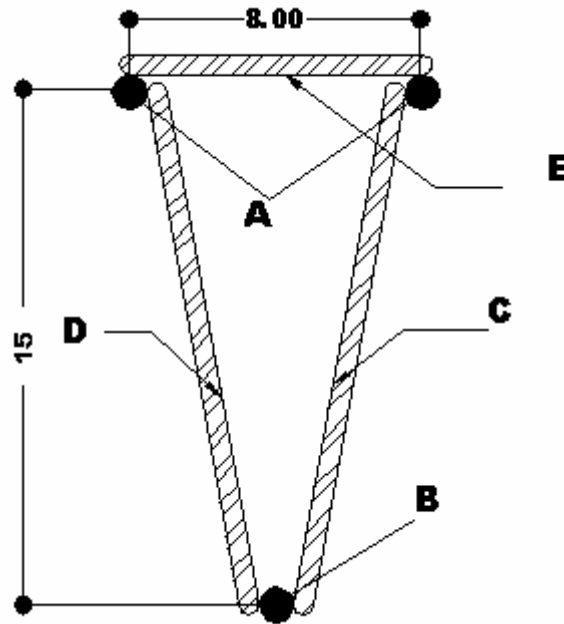
Actualmente, en Guatemala se producen únicamente dos tipos de costanera EVG, las cuales son: costanera EVG4 y EVG6.

En la costanera EVG6 para su producción, tanto en los cordones superiores como en el cordón inferior, se utiliza alambrión de $\Phi 9.50\text{mm}$, en los cordones diagonales se utiliza alambrión de $\Phi 5.50\text{mm}$; mientras que en la costanera EVG4 para su producción, tanto en los cordones superiores como en el cordón inferior, se utiliza alambrión de $\Phi 6.20\text{mm}$, y en los cordones diagonales se utiliza alambrión de $\Phi 4.50\text{mm}$.

Con respecto al peralte, tanto en la costanera EVG4 como la EVG6, se fabrican únicamente en peralte de 15cm. En la figura 20 se pueden observar los diferentes diámetros que componen a la costanera EVG.

- a) Cordones superiores
- b) Cordón inferior
- c) Cordón diagonal derecho
- d) Cordón diagonal izquierdo
- e) Cordón diagonal superior

Figura 20 Descripción de diámetros utilizados en la costanera EVG



2.1 Maquinaria y equipo empleado para la fabricación de la costanera EVG

Para la fabricación de la costanera EVG se utiliza, en la primera parte del proceso, una máquina de tracción servo hidráulica, marca INSTRON, modelo 8,502 de fabricación estadounidense, la cual es alimentada con una corriente de 440 voltios; y como equipo adicional se utiliza únicamente una soldadora manual, que sirve para darle continuidad de un rollo a otro. Esto se hace para que el proceso de trefilado sea continuo.

Las principales partes de la máquina de trefilación son: dados, bloque, controlador de tiro, cilindros y rodillo descascarador.

En la segunda parte del proceso, se utiliza una máquina hidráulica marca EVG, de fabricación alemana, de 20 metros de longitud, la cual se alimenta con corriente eléctrica.

Esta máquina está compuesta por estiradoras, dobladoras, tijeras espaciadoras, tijera ajustadora, soldadoras, cuchilla de corte, rodos de transporte y el tablero de operaciones. Con este último, se controla la longitud de corte y los diámetros a utilizar, dependiendo del tipo de costanera EVG a producirse.

2.2 Proceso de fabricación de la costanera EVG

El proceso de fabricación de la costanera EVG involucra el uso de la máquina trefiladora, dos operarios y un supervisor. Produce de 20 a 30 metros de alambión trefilado por minuto; además, la máquina EVG y la mano de obra de un operario y un supervisor, la cual produce 2 metros por minuto de costanera EVG tipo 6 y 3.5 metros por minuto de costanera EVG tipo 4. La diferencia en la capacidad de producción se debe a los diámetros que se utilizan.

El primer paso consiste en el transporte del alambión de $\varnothing 12$ mm, $\varnothing 8$ mm y $\varnothing 6.30$ mm, de la bodega al departamento de trefilación, luego son insertados en la máquina de trefilado, en donde se obtiene el alambre de $\varnothing 9.50$ mm, y $\varnothing 5.50$ mm, para la costanera EVG tipo 6; y el de $\varnothing 6.20$ mm, y $\varnothing 4.50$ mm, para la costanera EVG tipo 4. Después del proceso de trefilación, los conos de alambión son trasladados por medio de un montacargas a la máquina procesadora de costanera EVG, donde son colocados en los cilindros rotatorios de la máquina y son insertados en los conos de arrastre de la máquina.

Al ingresar a la máquina, el material es enderezado y la máquina procede a fabricar las diagonales, los cuales son conectados por medio de soldadura al hilo superior y a los dos inferiores. Luego se procede al corte programado, el cual es de 6 metros como longitud estándar, pero la máquina puede ser programada para producir cualquier tipo de longitud. La costanera EVG, al ser terminada, pasa al departamento de pintura, en donde se le aplica, por medio de piletas de inmersión, la pintura anticorrosiva.

Figura 21 Alambrón utilizado en la fabricación de la costanera EVG



Figura 22 Enhebrado del alambrión previo a ser trefilado



Figura 23 Proceso de trefilado

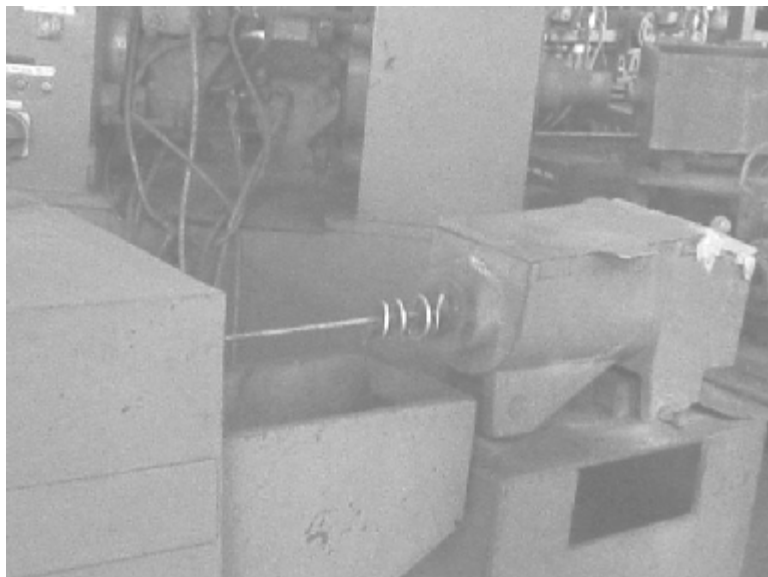


Figura 24 Proceso de trefilado



Figura 25 Alambión trefilado previo a ser insertado en la máquina EVG



Figura 26 Máquina EVG



Figura 27 Proceso de fabricación de la costanera EVG



Figura 28 Máquina EVG electrosoldando los diferentes elementos de la costanera

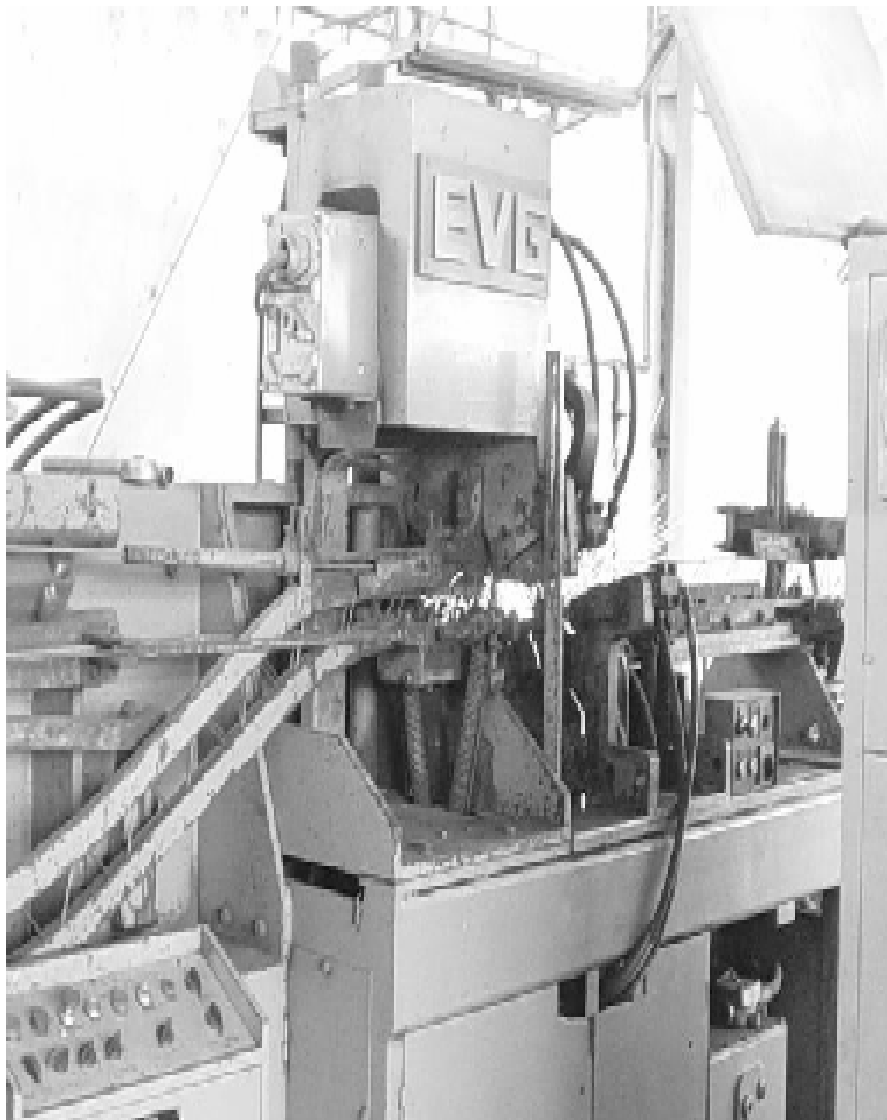


Figura 29 Máquina EVG cortando la costanera a la longitud predeterminada



Figura 30 Costanera EVG terminada



Figura 31 Costanera EVG terminada



3. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MATERIA PRIMA

3.1 Materia prima y sus componentes

El alambión que se utiliza para la fabricación del joist Filigran y la costanera EVG, se obtiene por laminado en caliente de acero en lingotes y es elaborado por cualquiera de los siguientes procesos:

- a.- Horno de solera abierta
- b.- Convertidor básico de oxígeno
- c.- Horno eléctrico

La materia prima para la fabricación del alambión es la chatarra. Hasta la década del setenta, la chatarra era un material de desecho difícil de eliminar, ya que no se sabía que hacer con ella, por lo que se fabricó un horno eléctrico para procesarla y transformarla en lingotes.

La chatarra es suministrada a la planta industrial por “los chatarreros”, que son trabajadores independientes dedicados a la recolección de desperdicios. Llega a la planta totalmente mezclada y sucia, por lo que es necesario clasificarla, seleccionarla y eliminar contaminantes. Se clasifica de acuerdo a su densidad y, más primordialmente, de acuerdo al procesamiento posterior que va a sufrir para aumentar su densidad; de esta forma se distinguen 5 tipos de chatarra:

- Liviana de prensa
Chatarra de baja densidad que va a ser procesada en una prensa tijera.

- Estañada
Chatarra de baja densidad que contiene estaño, la cual también será procesada dosificadamente en la prensa tijera.

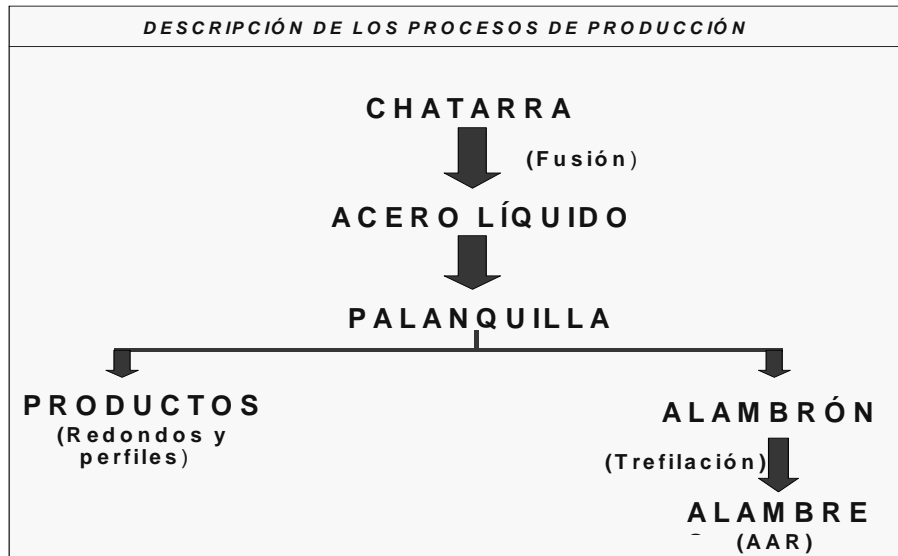
- Pesada chica
Chatarra de alta densidad que no es necesario procesarla para aumentar su densidad, pero sí es necesario limpiarla y separar los contaminantes que tiene (cobre, bronce, plomo, etc.), pues es una chatarra muy contaminada.

- Pesada para oxicorte
Chatarra de alta densidad, de mucho espesor, que no puede ser procesada por la prensa tijera, ya que es necesario trozarla con equipos de oxicorte (corte a soplete con oxígeno y supergás).

Figura 32 Materia prima para la fabricación del alambón



Figura 33 Proceso de producción del alambroón



En nuestro medio, por no contar con este tipo de hornos, nos vemos en la necesidad de importar la materia prima de países como Estados Unidos, México, Alemania, Japón, Suecia, Francia, Turquía, Brasil, Venezuela, Corea del Sur, Ucrania, Rusia, Argentina, etc.

3.1.1 Composición del alambroón utilizado para la fabricación de la costanera EVG y el joist Filigran

Las propiedades físicas del acero y su comportamiento a distintas temperaturas, varían según la cantidad de carbono y su distribución en el hierro.

Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de 3 sustancias: la ferrita, blanda y dúctil; la cementita, dura y frágil; y la perlita, una mezcla de ambas y de propiedades intermedias. Cuando mayor es el contenido de carbono en un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la perlita.

Cuando el acero tiene 0.8% de carbono, está compuesto por perlita. El acero con cantidades aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevar la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita tiende a convertirse en ferrita y en perlita, pero si el enfriamiento es repentino, la austenita se convierte en martensita, de dureza similar a la ferrita pero con carbono en disolución sólida.

El acero utilizado en la fabricación del joist Filigran y la costanera EVG, corresponde al grupo de los aceros al carbono. Éstos contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso, el 0.60% de silicio y el 0.60% de cobre.

Por medio de estudios realizados, se ha podido determinar que el alambón que se utiliza para la fabricación del joist Filigran y la costanera EVG, está formado por los componentes químicos y en los porcentajes que a continuación se detallan en la tabla número II:

Tabla II Porcentajes de los componentes químicos del alambón

COMPONENTE	PORCENTAJE DE PESO
Hierro	98.9880 %
Carbón	0.1830 %
Molibdeno	0.0040 %
Fósforo	0.0015 %
Cobre	0.0026 %
Níquel	0.0354 %
COMPONENTE	PORCENTAJE

	DE PESO
Cromo	0.0183 %
Silicio	0.0033 %
Manganeso	0.6990 %
Vanadio	0.0001 %
Estaño	0.0003 %
Titanio	0.0003 %
Aluminio	0.0084 %
Azufre	0.0580 %

Estos porcentajes corresponden a un acero al carbono con clasificación AISI C-1020.

3.2 Ensayos a tensión en alambón para la fabricación del joist Filigran

Para conocer mejor la evolución de la resistencia del joist Filigran, los ensayos a tensión se realizarán en los elementos longitudinales y transversales. Para la realización de estos ensayos se tomaron muestras de 70 cm de longitud de los diferentes diámetros utilizados para la fabricación del joist Filigran, de las cuales se tomaron dos tipos de muestras: primero se tomaron directamente de los cilindros de alambón, para de esta forma poder determinar el límite de fluencia de la materia prima; y la segunda muestra se tomó del alambón ya enderezado y estirado por la máquina Filigran antes de ser soldado.

Se realizó de esta manera para determinar si existe algún incremento en el límite de fluencia de la materia prima al pasar por los rodillos de la máquina, ya que durante la fabricación del joist Filigran los cordones superiores sufren una elongación no mayor al 10%.

Figura 34 Propiedades físicas en la materia prima del joist Filigran

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
8	0.29	70.00	8.01	0.5277525
10	0.45	71.60	9.98	0.8006263
12	0.65	72.10	12.01	1.1484403

Figura 35 Cargas actuantes y elongaciones en la material prima del joist Filigran

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				(5cm)	(20cm)
8	1,435.00	2,000.00	1,615.00	42	23
10	2,300.00	3,325.00	2,765.00	34	23
12	3,450.00	4,565.00	3,990.00	45	27

Figura 36 Esfuerzos debidos a cargas en la materia prima del joist Filigran

DIÁMETRO	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
8.00	2,719.08	266.58	3,789.66	371.54	3,060.15	300.01
10.00	2,872.75	281.64	4,153.00	407.16	3,453.55	338.58
12.00	3,004.07	294.52	3,974.96	389.70	3,474.28	340.62

Figura 37 Propiedades físicas del cordón inferior del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
8	0.2968	72.9	8.01	0.5186408
10	0.449	72.5	10.01	0.7889304
12	0.651	71.9	12.00	1.1534066

Figura 38 Cargas actuantes y elongaciones en el cordón simple del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				5cm	20cm
8	1,500.00	1,975.00	1,680.00	36	24
10	2,330.00	3,350.00	2,950.00	37	22
12	3,250.00	4,500.00	3,500.00	36	23

Figura 39 Esfuerzos debidos a cargas en el cordón simple del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO mm	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
8.00	2,892.17	283.55	3,808.03	373.34	3,239.24	317.57
10.00	2,953.37	289.55	4,246.26	416.30	3,739.24	366.59
12.00	2,817.74	276.25	3,901.49	382.50	3,034.49	297.50

Como se podrá observar en las figuras 39 y 36, el límite de fluencia (esfuerzo cedente) entre la materia prima y el cordón simple del joist antes de ser soldado, permanecen en el mismo rango. Esto se debe a que la varilla del cordón simple del joist no está sometida a ningún tipo de estiramiento durante el proceso de fabricación del joist Filigran, por lo tanto no aumenta su límite de fluencia.

Figura 40 Propiedades físicas de los cordones dobles del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
8	0.2651	68	7.81	0.496628
10	0.3915	70	9.35	0.7124659
12	0.6614	71.5	11.95	1.1783885

Figura 41 Cargas actuantes y elongaciones en cordones dobles del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				5cm	20cm
8	2,190.00	2,445.00	2,350.00	11	6
10	3,125.00	3,550.00	3,235.00	12	7
12	5,025.00	5,450.00	5,600.00	10	6

Figura 42 Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles del joist Filigran antes de soldar

DIÁMETRO	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
8.00	4,409.74	432.33	4,923.20	482.67	4,731.91	463.91
10.00	4,386.17	430.02	4,982.69	488.50	4,540.57	445.15
12.00	4,500.00	441.18	4,624.96	453.43	4,752.25	465.91

Como se puede observar, al comparar las figuras 42 y 36, las varillas del cordón doble del joist han tenido un incremento en su límite de fluencia de aproximadamente un 49%, el cual es provocado por el estiramiento que le produce la máquina Filigran a las varillas antes de ser soldadas con el cordón diagonal. Como podemos observar en las figuras 35 y 41, las elongaciones de los cordones dobles antes de ser soldados son menores a las de la materia prima, lo cual se debe al estiramiento que le produce la máquina, afectando la ductilidad de los cordones dobles.

Figura 43 Ensayo a tensión en materia prima



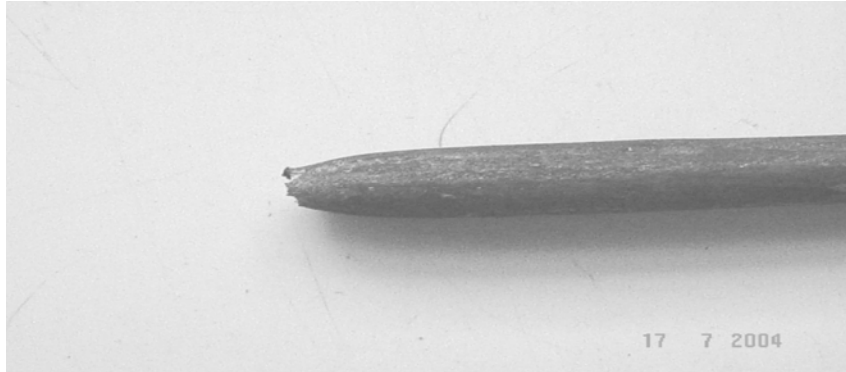
Figura 44 Medidor de deformaciones



Figura 45 Materia prima ensayada



Figura 46 Materia prima ensayada



3.3 Ensayos a tensión en alambón para la fabricación de la costanera EVG

Para la realización de los ensayos en la costanera EVG, se tomaron tres tipos de muestras: la primera fue tomada directamente de los cilindros de alambón; la segunda, de los cilindros de alambón ya trefilados, y las tercera muestra se tomó del alambón antes de ser soldado por la máquina EVG. Se realizó de esta manera para determinar si existe algún tipo de cambio en el límite de fluencia de la materia prima durante el proceso de fabricación de la costanera EVG, en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 47 Propiedades físicas en la materia prima para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
6.30	0.176	70.30	6.37	0.31892436
8.00	0.279	70.30	8.02	0.50556759
12.00	0.685	70.40	12.17	1.23950492

Figura 48 Cargas actuantes y elongaciones en materia prima para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMO (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				5cm	20cm
6.30	926.00	1,277.00	1,057.00	28	22
8.00	1,445.00	2,116.00	1,511.00	35	24
12.00	3,708.00	5,148.00	3,221.00	39	20

Figura 49 Esfuerzos debidos a cargas en materia prima para costanera EVG

DIÁMETRO mm	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
6.30	2,903.51	284.66	4,004.08	392.56	3,314.27	324.93
8.00	2,858.17	280.21	4,185.39	410.33	2,988.72	293.01
12.00	2,991.52	293.29	4,153.27	407.18	2,598.62	254.77

Figura 50 Propiedades físicas del alambón trefilado para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (cm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
4.50	0.086	70.10	4.46	0.15628265
5.50	0.134	70.20	5.57	0.2431633
6.20	0.166	70.40	6.19	0.30037638
9.50	0.393	70.10	9.52	0.71417538

Figura 51 Cargas actuantes y elongaciones en alambón trefilado para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				5cm	20cm
4.50	910.00	1,000.00	962.00	4	3
5.50	1,365.00	1,578.00	1,425.00	8	3
6.20	1,778.00	2,161.00	1,565.00	8	3.5
9.50	3,783.00	4,581.00	4,000.00	11	3.5

Figura 52 Esfuerzos debidos a cargas en alambón trefilado para costanera EVG

DIÁMETRO	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	mm	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²
4.50	5,822.78	570.86	6,398.66	627.32	6,155.51	603.48
5.50	5,613.51	550.34	6,489.47	636.22	5,860.26	574.54
6.20	5,919.24	580.32	7,194.31	705.32	5,210.13	510.80
9.50	5,297.02	519.32	6,414.39	628.86	5,600.87	549.10

Como se podrá observar, al comparar las figuras 49 y 52 se aprecia un incremento considerable en el límite de fluencia, el cual es de aproximadamente un 75%; es decir, que el acero pasó de tener un límite de fluencia de 2,810 kg/cm² (acero G-40) a 4,920 kg/cm² (acero G-70). Esto se debe al proceso previo de trefilado al que es sometida la materia prima para obtener los diámetros que se necesitan para la fabricación de la costanera EVG.

Figura 53 Propiedades físicas del alambón trefilado antes de soldar para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	PESO (kg)	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSVERSAL (cm ²)
4.50	0.088	70.10	4.45	0.15991713
5.50	0.134	70.00	5.50	0.24385805
6.20	0.169	70.20	6.19	0.3066761
9.50	0.395	70.00	9.49	0.7188353

Figura 54 Cargas actuantes y elongaciones en alambón trefilado antes de soldar para costanera EVG

DIÁMETRO (mm)	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)	ELONGACIÓN %	
				5cm	20cm
4.50	900.00	1,000.00	980.00	3.5	3
5.50	1,300.00	1,610.00	1,475.00	8	4
6.20	1,800.00	2,200.00	1,625.00	7	3
9.50	3,690.00	4,500.00	4,150.00	10	3.5

Figura 55 Esfuerzos debidos a cargas en alambón trefilado antes de soldar para costanera EVG

DIÁMETRO mm	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
4.50	5,627.91	551.76	6,253.24	613.06	6,128.17	600.80
5.50	5,330.97	522.64	6,602.20	647.27	6,048.60	593.00
6.20	5,869.38	575.43	7,173.69	703.30	5,298.75	519.49
9.50	5,133.30	503.26	6,260.13	613.74	5,773.23	566.00

Como se podrá apreciar, al comparar las figuras 55 y 52, el límite de fluencia de las varillas ya trefiladas y antes de ser soldadas por la máquina

permanecen en el mismo rango. Por lo anterior, se puede concluir que los cilindros de material trefilado al ser insertados en la máquina EVG, las varillas no sufren ningún cambio en su límite de fluencia durante el proceso de fabricación de la costanera EVG, debido a que la máquina EVG no provoca ningún estiramiento o disminución de área en el alambión.

Figura 56 Ensayo a tensión en materia prima para costanera EVG



Figura 57 Máquina utilizada para los ensayos a tensión

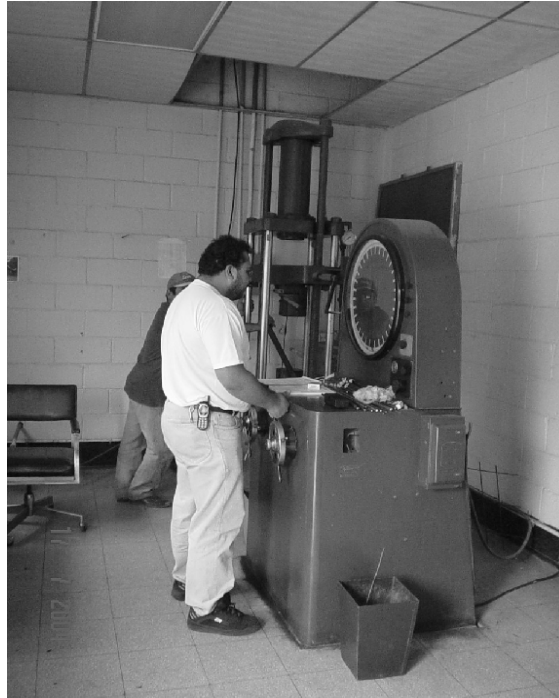
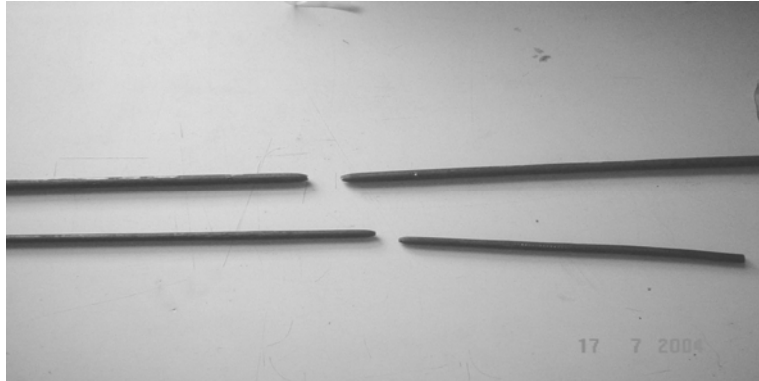


Figura 58 Medidor de deformaciones



Figura 59 Materia prima de costanera EVG ensayada



Los ensayos se realizaron por medio de una máquina de carga tipo universal, marca Baldwin, con una capacidad de carga de 30,000 libras.

Para determinar el esfuerzo en cada una de las varillas ensayadas, se calcularon las áreas de acero en base a datos experimentales, en función del peso y longitud de la muestra, por lo que se realizó de la siguiente forma:

$$A_s = (\text{peso de varilla} / \text{longitud}) / (\text{peso específico del acero})$$

Tomando como peso específico del acero $7,850 \text{ kg/m}^3$

El peso de la varilla en kilogramos y la longitud en metros

Para determinar los esfuerzos se utilizó la fórmula:

$$\text{Esfuerzo} = P / A_s$$

Donde:

P = carga máxima de tensión aplicada

A_s = área de acero de la varilla

4. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL JOIST FILIGRAN

El ensayo o experimentación es el medio por el cual se pueden determinar las propiedades mecánicas de los materiales, siempre y cuando se tenga el equipo de laboratorio adecuado.

Los ensayos, por lo regular, están sometidos a condiciones limitativas, y los resultados no se pueden informar apropiadamente hasta que se les asigna una interpretación práctica y permanece inconcluso hasta que se le resume, comprueba e interpreta.

4.1 Ensayo a tensión

El ensayo a tensión en el joist Filigran (completo), se realizó en los joist que se producen actualmente en el mercado guatemalteco.

En el mismo se busca determinar la resistencia a tensión de los cordones dobles y del cordón simple cuando ya está conformado el joist. Para la realización de estos ensayos se tomaron muestras de joist de 75 centímetros, ya que el objetivo es determinar si el cordón diagonal aumenta la resistencia del cordón simple y del cordón doble, por lo que al realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 60 Propiedades físicas en cordón simple del joist completo

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 61 Cargas actuantes en cordón simple del joist completo

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 62 Esfuerzos debidos a cargas en cordón simple del joist completo

TIPO DE JOIST SPN	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
10-8-8-10	3,145.29	308.36	4,304.09	421.97	3,043.42	298.37
15-8-8-8	3,359.27	329.34	4,498.30	441.01	3,504.89	343.62
20-8-8-8	3,107.86	304.69	4,137.22	405.61	3,385.00	331.86
25-10-8-12	3,143.51	308.19	4,200.29	411.79	3,422.05	335.50

Como se podrá observar en la figura 62, pese a que la varilla del cordón simple del joist Filigran no es estirada en el proceso de fabricación, ésta alcanza una resistencia a tensión de 3,000 kg/cm², debido a la transmisión de fuerzas en el cordón de la diagonal.

Figura 63 Propiedades físicas en cordones dobles del joist completo

TIPO DE JOIST SPN	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	ÁREA 1 (cm ²)	ÁREA 2 (cm ²)
10-08-08-10	7.95	7.95	0.496391274	0.496391274
15-08-08-08	7.97	7.96	0.498891982	0.497640843
20-08-08-08	7.86	7.81	0.485215844	0.479062249
25-10-08-12	9.68	9.61	0.735936929	0.725331697

Figura 64 Cargas actuantes en cordones dobles del joist completo

Las cargas que a continuación aparecen son un promedio de las cargas aplicadas a cada cordón.

TIPO DE JOIST SPN	DIÁMETRO PROMEDIO	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)
10-08-08-10	0.795	3,590.00	3,800.00	3,700.00
15-08-08-08	0.7965	3,600.00	3,900.00	3,700.00
20-08-08-08	0.7835	3,250.00	3,500.00	3,450.00
25-10-08-12	0.9645	4,000.00	4,500.00	4,400.00

Figura 65 Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles del joist completo

TIPO DE JOIST SPN	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
10-8-8-10	4,515.72	442.72	4,779.87	468.61	4,654.09	456.28
15-8-8-8	4,519.77	443.11	4,896.42	480.04	4,645.32	455.42
20-8-8-8	4,148.05	406.67	4,467.13	437.95	4,403.32	431.70
25-10-8-12	4,147.23	406.59	4,665.63	457.41	4,561.95	447.25

Por medio de la interpretación de las figuras anteriores, se llega a la conclusión que la resistencia del joist Filigran a la tensión en el cordón simple es de 3,000 kg/cm², y en los cordones dobles es de 4,200 kg/cm².

4.2 Ensayo de resistencia en la soldadura

Para realizar este ensayo se tomó un joist de cada peralte (10, 15, 20, 25 cm), los cuales fueron cortados longitudinalmente y luego colocados en un soporte o guía para la determinación del esfuerzo de corte en la soldadura, obteniendo los resultados mostrados en la figura 66.

Figura 66 Resistencia a corte de la soldadura del joist completo

TIPO DE JOIST SPN	OBSERVACIONES
10-08-08-10	Falló material.
15-08-08-08	Falló material.
20-08-08-08	Falló material.
25-10-08-12	Falló material.

4.3 Ensayo a compresión

En la mayoría de las veces los metales son sometidos a operaciones de conformación, lo cual implica grandes deformaciones plásticas. Estas operaciones involucran grandes compresiones, que en la mayoría de los casos las deformaciones sufridas exceden en magnitud a las tensiones, de ahí la importancia de los ensayos de compresión para poder predecir el comportamiento de los mismos.

A continuación se presentan los cuadros que detallan el comportamiento de los joist Filigran bajo cargas a compresión.

Figura 67 Ensayo a compresión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L= 0.70m

CARGA	DEFLEXIÓN cm	DEFLEXIÓN cm
-------	--------------	--------------

kg	SENTIDO ANCHO	SENTIDO ANGOSTO
0.00	0.00	0.00
500.00	0.00	0.00
1,000.00	0.10	0.20
1,200.00	0.10	0.20
1,400.00	0.20	0.20
1,500.00	0.20	0.25
1,800.00	0.20	0.25
2,000.00	0.25	0.30
2,200.00	0.30	0.30
2,400.00	0.30	0.35
2,700.00	0.30	0.40
2,900.00	0.40	0.70
3,000.00	0.40	1.90
3,100.00	0.60	FALLA

Figura 68 Ensayo a compresión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L= 0.70m

CARGA kg	DEFLEXIÓN cm SENTIDO ANCHO	DEFLEXIÓN cm SENTIDO ANGOSTO
0.00	0.00	0.00
200.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.20
600.00	0.00	0.25
900.00	0.10	0.30
1,100.00	0.10	0.30
1,300.00	0.20	0.40
1,600.00	0.20	0.50
1,800.00	0.20	0.50
2,000.00	0.25	0.60
2,200.00	0.30	0.80
2,300.00	0.30	1.25
2,400.00	0.40	FALLA

Figura 69 Ensayo a compresión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L= 1.55m

CARGA kg	DEFLECCIÓN cm SENTIDO ANCHO	DEFLECCIÓN cm SENTIDO ANGOSTO
0.00	0.00	0.00
200.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.00
600.00	0.00	0.00
800.00	0.10	0.00
1,000.00	0.10	0.10
1,200.00	0.10	0.10
1,400.00	0.10	0.20
1,600.00	0.10	0.40
1,800.00	0.20	0.60
2,000.00	0.30	1.30
2,100.00	0.30	3.30
2,200.00	0.40	FALLA

Figura 70 Ensayo a compresión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L= 1.55m

CARGA kg	DEFLECCIÓN cm SENTIDO ANCHO	DEFLECCIÓN cm SENTIDO ANGOSTO
0.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.00
800.00	0.00	0.10
1,200.00	0.10	0.30
1,600.00	0.10	0.40
2,000.00	0.10	2.90
2100.00	0.20	FALLA

Figura 71 Testigos utilizados para el ensayo a compresión



Figura 72 Ensayo a compresión en joist Filigran



Figura 73 Ensayo a compresión en joist Filigran



Figura 74 Joist Filigran después de ser ensayado



4.4 Ensayo a flexión

Cuando en un elemento actúan fuerzas de compresión en una parte de la sección transversal y tensión en la otra, se dice que se encuentra bajo el efecto de flexión. Normalmente, este efecto es producido por cargas en el sentido transversal; sin embargo, también se puede manifestar por momentos o fuerzas pares que actúen paralelamente al eje longitudinal de la pieza a considerar.

En este caso, se efectuaron ensayos de flexión a elementos de 2.04 m de largo, considerándolos simplemente apoyados, elementos a los que se les aplicó dos cargas concentradas a los tercios de la luz y la deflexión máxima que podía alcanzar el joist se determinó por medio de la fórmula $L/180$. Esta se utilizó tomando en cuenta que con ella se pueden medir mayores deflexiones y se pueden obtener mejores lecturas en la máquina, por lo que la deflexión máxima será de 11.11 mm, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 75 Ensayo a flexión del joist tipo SPN 10-8-8-10 L= 2.04m

CARGA	DEFLEXIÓN
kg	mm
0.00	0.00
50.00	2.00
150.00	4.00
200.00	6.00
250.00	7.00
300.00	9.00
400.00	10.00
450.00	10.00
490.00	11.00

Figura 76 Ensayo a flexión del joist tipo SPN 20-10-8-12 L= 2.04m

CARGA	DEFLEXIÓN
kg	mm
0.00	0.00
100.00	0.00
250.00	2.00
350.00	4.00
550.00	5.00
750.00	6.00
950.00	6.00
1050.00	8.00
1150.00	10.00
1250.00	11.00

Figura 77 Ensayo a flexión del joist tipo SPN 25-10-8-10 L= 2.04m

CARGA	DEFLEXIÓN
kg	mm
0.00	0.00
50.00	0.00
100.00	2.00
300.00	4.00
500.00	6.00
700.00	7.00
900.00	8.00
1000.00	10.00
1,100.00	10.00
1,200.00	11.00

Figura 78 Ensayo a flexión del joist Filigran



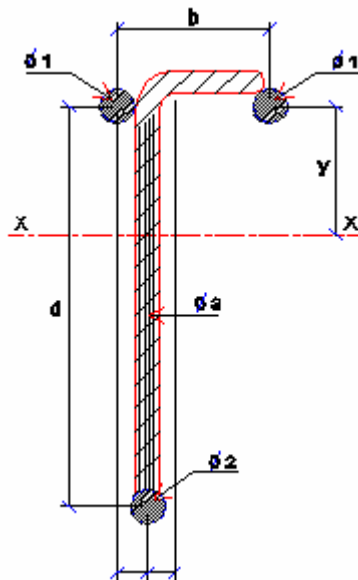
Figura 79 Medición de deflexiones durante el ensayo



4.5 Análisis y tabulación de resultados

Para calcular la carga teórica a compresión es necesario saber el momento de inercial del joist, el cual se calcula en base a las propiedades mecánicas del mismo, las cuales son mostradas en la figura número 80.

Figura 80 Características físicas del joist Filigran



- Carga teórica a compresión

$$P_u = \phi * f_{cr} * A_s$$

Donde:

$$\phi = 0.85$$

f_{cr} = en función de $k * L / r$ donde $r = \sqrt{I / A_s}$,

L = longitud de la muestra ensayada

k = dato obtenido de la tabla número XIII en anexos

A_s = área de acero

I = Momento de inercia del joist Filigran

Para el ensayo del joist SPN 20-10-08-12 de longitud 70 cm, tenemos:

$d = 20\text{cm}$	Peralte de joist
$b = 5 \text{ cm}$	Ancho de joist
$\varnothing 1 = 1.0 \text{ cm}$	Diámetro varillas superior
$\varnothing 2 = 1.2 \text{ cm}$	Diámetro varilla inferior
$\varnothing 3 = 0.8 \text{ cm}$	Diámetro diagonal
$A_1 = 0.78 \text{ cm}^2$	Área de acero varilla superior
$A_2 = 1.13 \text{ cm}^2$	Área de acero varilla inferior
$k = 1.2$	Dato obtenido de la tabla número XIII en anexos
$L = 70 \text{ cm} = 700 \text{ mm}$	Longitud

Posición del centro de gravedad:

$$Y = d/2(\varnothing 1/\varnothing 2)+1$$

$$X = \varnothing 1(b-\varnothing 1-\varnothing 3)/(\varnothing 2+2(\varnothing 1))$$

Sustituyendo valores:

$$Y = 8.37 \text{ cm}$$

$$X = 0.64 \text{ cm}$$

Carga teórica a compresión en el sentido ancho (Y)

$$I_y = 2(0.78)(8.37)^2 + 1.13(11.63) = 262 \text{ cm}^4$$

$$A_s = 1.57 + 1.13 = 2.70 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{I / A_s} = \sqrt{(262 / 2.70)} = 9.85 \text{ cm} = 98.50 \text{ mm}$$

$$KL / r = (1.2 * 700) / 98.50 = 8.53$$

Revisando las tablas números XI y XII en anexos, tablas del AISC (Instituto Americano de Construcción en Acero), se tiene que, para:

$$KL / r = 8.53 = f_{cr} = 1,743 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto:

$$P_{uy} = (0.85)(1,743)(2.70) = 4,000 \text{ kg}$$

Carga teórica a compresión en el sentido angosto (X)

$$I_x = (0.78+1.13)(0.64)^2 + 0.78(3.22)^2 = 8.83 \text{ cm}^4$$

$$A_s = 1.57 + 1.13 = 2.70 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{I / A_s} = \sqrt{(8.83 / 2.70)} = 1.81 \text{ cm} = 18.1 \text{ mm}$$

$$KL / r = (1.2 * 700) / 18.1 = 44.54$$

Revisando las tablas XI y XII en anexos, tablas del AISC (Instituto Americano de Construcción en Acero), se tiene que, para:

$$KL / r = 44.54 = f_{cr} = 1,522.17 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto:

$$P_{ux} = (0.85)(1,522.17)(2.70) = 3,493.38 \text{ kg}$$

Nótese que la falla ocurrió en el sentido angosto (X) con una carga de 3,100 kg. De esto se puede deducir que el joist a compresión resiste un 89% de la resistencia calculada de forma teórica.

Siguiendo el mismo procedimiento, se determinaron las cargas teóricas últimas para el resto de los joist ensayados.

Joist SPN 20-10-08-12 de L = 1.55 m, tenemos:

$$P_{uy} = 3,892$$

$$P_{ux} = 2,000$$

$$P_{ensy} = 2,100 \text{ kg}$$

Por lo tanto, se deduce que el joist SPN 20-10-08-12 de longitud 1.55 m, resistió el 87% de la resistencia calculada.

Para el joist 25-10-08-10 de L = 0.70 m, tenemos:

$$P_{uy} = 3,504$$

$$P_{ux} = 3,075$$

$$P_{ensy} = 2,400 \text{ kg}$$

Por lo tanto, se deduce que el joist 25-10-08-10 de longitud 0.70 m, resistió el 69% de la resistencia calculada.

Para el joist SPN 25-10-08-10 de L = 1.55 m, tenemos:

$$P_{uy} = 3,517$$

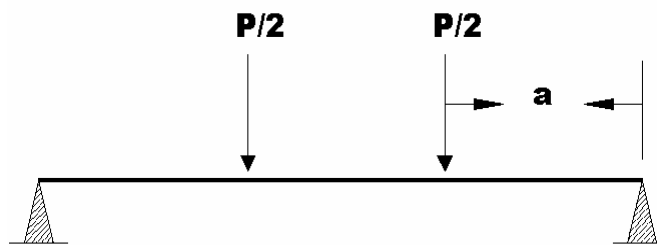
$$P_{ux} = 2,125$$

$$P_{ensy} = 2,200 \text{ kg}$$

Por lo tanto, se deduce que el joist SPN 25-10-08-10 de longitud 1.55 m, resistió el 96% de la resistencia calculada.

Carga teórica a flexión

Figura 81 Diagrama del ensayo a flexión



Para encontrar la carga teórica a flexión se utiliza la siguiente expresión:

$$F_s = M/S$$

Donde:

$$M = P_u * a / 2 \quad \text{y} \quad S = I / c$$

Despejando P_u , tenemos:

$$P_u = 2 * f_s * S / a$$

Para el joist 10-8-8-10, tenemos:

$$I = 44.15 \text{ cm}^4$$

$$c = 5.62 \text{ cm}$$

entonces,

$$S = 7.85 \text{ cm}^3$$

$$P_u = 2 * (2,520) * (7.85) / 68$$

$$P_u = 581.82 \text{ kg}$$

Revisando los datos obtenidos en el ensayo a flexión para este tipo de joist (figura 75), se tiene que la carga experimental es de 490 kg, equivalente a un 85% de la carga teórica.

Siguiendo el mismo procedimiento, se obtiene la comparación para los ensayos de joist que se presentan en las figuras 76 y 77, así:

Para el joist 20-10-8-12, tenemos:

$$I = 263 \text{ cm}^4$$

$$c = 11.62 \text{ cm}$$

entonces,

$$S = 22.63 \text{ cm}^3$$

$$P_u = 2 * (2,520) * (22.63) / 68$$

$$P_u = 1,677 \text{ kg}$$

$$P_{\text{ensy.}} = 1,250 \text{ kg}$$

Equivalente a un 75 % de la carga ensayada

Para el joist 25-10-8-10, tenemos:

$$I = 327.32 \text{ cm}^4$$

$$c = 16.66667 \text{ cm}$$

entonces,

$$S = 19.64 \text{ cm}^3$$

$$P_u = 2 * (2,520) * (19.64) / 68$$

$$P_u = 1,455 \text{ kg}$$

$$P_{\text{ensy.}} = 1,200 \text{ kg}$$

Equivalente a un 82 % de la carga ensayada

Al comparar los resultados obtenidos en el joist 20-10-8-12 y el joist 25-10-8-10, se observa que el módulo de la sección ó módulo resistente (S) del joist 20-10-8-12, es mayor al del joist 25-10-8-10 a pesar de ser de menor peralte. Esto se debe a que el joist 20-10-8-12 posee una varilla inferior de mayor diámetro la cual compensa la deflexión y además tiene una mayor resistencia a la tensión.

5. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA COSTANERA EVG

5.1 Ensayo a tensión

El ensayo a tensión en la costanera EVG completa se realizó en las costaneras que actualmente se producen, las cuales son EVG4 y EVG6. En

dicho ensayo se busca determinar la resistencia a tensión de los cordones dobles y del cordón simple cuando ya está conformada la costanera EVG.

Para la realización de dichos ensayos se tomaron muestras de costanera EVG de 75 centímetros, ya que el objetivo es determinar si los cordones diagonales aumentan la resistencia del cordón simple y de los cordones dobles. Al realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 82 Propiedades físicas en cordón simple de costanera EVG completa

TIPO DE COSTANERA	DIÁMETRO (cm)	ÁREA DE CORDÓN (cm ²)
EVG4	0.62	0.30
EVG6	0.95	0.71

Figura 83 Cargas actuantes en cordón simple de costanera EVG completa

TIPO DE COSTANERA	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)
EVG4	1,800.00	2,000.00	1,850.00
EVG6	3,750.00	4,500.00	4,350.00

Figura 84 Esfuerzos debidos a cargas en cordón simple de costanera EVG completa

TIPO DE	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
EVG 4	5,962.10	584.52	6,624.56	649.47	6,127.71	600.76
EVG 6	5,290.47	518.67	6,348.56	622.41	6,136.94	601.66

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la figura 84, se concluye que la resistencia a tensión del cordón simple es de 5,300 kg / cm² . El pequeño incremento que muestra en el límite de fluencia es causado por las varillas transversales, las cuales le dan una mayor resistencia a la varilla inferior de la costanera EVG.

Figura 85 Características físicas en cordones dobles de costanera EVG completa

TIPO DE COSTANERA	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	ÁREA 1 (cm ²)	ÁREA 2 (cm ²)
EVG4	6.2	6.19	0.301907054	0.300933946
EVG6	9.5	9.5	0.708821842	0.708821842

Figura 86 Cargas actuantes en cordones dobles de costanera EVG completa

TIPO DE COSTANERA	CEDENTE (kg)	MÁXIMA (kg)	RUPTURA (kg)
EVG4	1,550.00	1,800.00	1,700.00
EVG6	3,650.00	4,150.00	3,950.00

Figura 87 Esfuerzos debidos a cargas en cordones dobles de costanera EVG completa

TIPO DE	ESFUERZO CEDENTE		ESFUERZO MÁXIMO		ESFUERZO RUPTURA	
	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
EVG 4	5,150.63	504.96	5,962.10	584.52	5,649.08	553.83
EVG 6	5,149.39	504.84	5,854.79	574.00	5,572.63	546.34

Por medio de la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos, se llega a la conclusión que la resistencia de la costanera EVG a la tensión en el cordón doble es de 5,200 kg/cm² .

5.2 Ensayos de resistencia en la soldadura

Para la realización de este ensayo se tomó una muestra de cada tipo de costanera EVG.

La soldadura en la costanera EVG contribuye a la unión de los alambres longitudinales superior e inferior con los alambres transversales, los cuales fueron cortados longitudinalmente, para luego estirarlo en sus cordones simple y doble, donde en todos los ensayos falló la materia prima.

Figura 88 Ensayo en tensión en cordones dobles de costanera EVG



Figura 89 Ensayo a tensión en cordón simple de costanera EVG



Figura 90 Cordón de costanera EVG después de ser ensayado



5.3 Ensayo a compresión

Para la realización de estos ensayos se tomaron muestras de 0.70 metros y 1.55 metros de costanera EVG4 y EVG6, a las cuales se le colocaron platinas a los extremos para tener una superficie uniforme para aplicar la carga.

A continuación se presentan las figuras que detallan el comportamiento de la costanera EVG bajo cargas a compresión.

Figura 91 Ensayo a compresión en costanera EVG4 L = 0.70m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANCHO	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANGOSTO
0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00
200.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.10
600.00	0.00	0.10
800.00	0.10	0.15
1,000.00	0.10	0.15
1,200.00	0.10	0.15
1,400.00	0.15	0.20
1,600.00	0.15	0.20
1,800.00	0.15	0.25
2,000.00	0.20	0.30
2,100.00	0.30	0.40
2,200.00	0.40	0.50
2,300.00	0.50	0.60
2,400.00	0.60	0.80
2,500.00	0.70	0.90

Figura 92 Ensayo a compresión en costanera EVG6 L=0.70m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANCHO	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANGOSTO
100.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.00
700.00	0.00	0.00
1,000.00	0.00	0.00
1,300.00	0.00	0.10
1,600.00	0.00	0.10
1,900.00	0.00	0.10
2,200.00	0.00	0.10
2,500.00	0.00	0.20
2,800.00	0.00	0.20
3,100.00	0.00	0.25
3,400.00	0.10	0.25
3,700.00	0.10	0.30
4,000.00	0.10	0.30
4,300.00	0.20	0.40
4,600.00	0.20	0.50
4,900.00	0.30	0.60
5,000.00	0.50	1.20
5,100.00	0.50	1.30
5,200.00	0.50	1.30
5,300.00	0.60	1.35
5,400.00	0.60	1.40
5,500.00	0.70	1.50
5,600.00	0.90	1.50
5,700.00	0.90	1.60
5,800.00	1.10	1.65
5,900.00	1.10	1.70

Figura 93 Ensayo a compresión en costanera EVG4 L =1.55m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLECCIÓN (cm) SENTIDO ANCHO	DEFLECCIÓN (cm) SENTIDO ANGOSTO
100.00	0.00	0.00
200.00	0.00	0.00
300.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.00
500.00	0.00	0.10
600.00	0.00	0.10
700.00	0.00	0.15
800.00	0.00	0.15
900.00	0.00	0.25
1,000.00	0.00	0.25
1,100.00	0.00	0.25
1,200.00	0.10	0.25
1,300.00	0.10	0.30
1,400.00	0.10	0.40
1,500.00	0.20	0.40
1,600.00	0.20	0.60
1,700.00	0.30	0.80
1,800.00	0.80	1.20
1,900.00	1.10	1.20

Figura 94 Ensayo a compresión en costanera EVG6 L=1.55m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANCHO	DEFLEXIÓN (cm) SENTIDO ANGOSTO
100	0	0
400	0	0
700	0	0
1,000	0	0.1
1,300	0	0.1
1,600	0.1	0.1
1,900	0.1	0.15
2,100	0.1	0.15
2,300	0.2	0.25
2,500	0.25	0.25
2,700	0.3	0.3
2,900	0.35	0.3
3,100	0.4	0.4
3,300	0.4	0.45
3,500	0.5	0.6
3,700	0.7	0.8
3,800	0.8	1
3,900	0.9	1.1
4,000	1.1	1.3
4,100	1.2	1.5
4200	1.2	1.5
4300	1.3	1.6
4400	1.5	1.9

Figura 95 Testigos de costanera EVG antes de ser ensayados



Figura 96 Ensayo a compresión en costanera EVG6



Figura 97 Costaneras EVG4 y EVG6 después de ser ensayadas



5.4 Ensayo a flexión

En este caso se efectuaron ensayos de flexión en costaneras EVG6 y EVG4 a elementos de 2.04m de largo, considerándolos simplemente apoyados, a los que se les aplicó dos cargas concentradas a los tercios de la luz, y determinando que la deflexión máxima que alcanzará la costanera será de 11.11mm. Esta deflexión se obtuvo con la fórmula $L/180$, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 98 Ensayo a flexión en costanera EVG4 L=2.04m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLEXIÓN (mm)
100.00	0.00
200.00	1.00
300.00	1.00
400.00	4.00
500.00	6.00
600.00	8.00
700.00	9.00
800.00	10.00
900.00	12.00

Figura 99 Ensayo a flexión en costanera EVG6 L=2.04m

CARGA KILOGRAMOS	DEFLEXIÓN (mm)
100.00	0.00
200.00	0.00
300.00	0.00
400.00	0.00
500.00	2.00
600.00	2.00
700.00	4.00
800.00	4.00
900.00	4.00
1,000.00	4.50
1,100.00	5.00
1,200.00	5.00
1,300.00	6.00
1,400.00	6.00
1,500.00	7.00
1,600.00	7.00
1,700.00	8.00
1,800.00	10.00
1,900.00	10.00
2,000.00	11.00

Figura 100 Ensayo a flexión en costanera EVG4



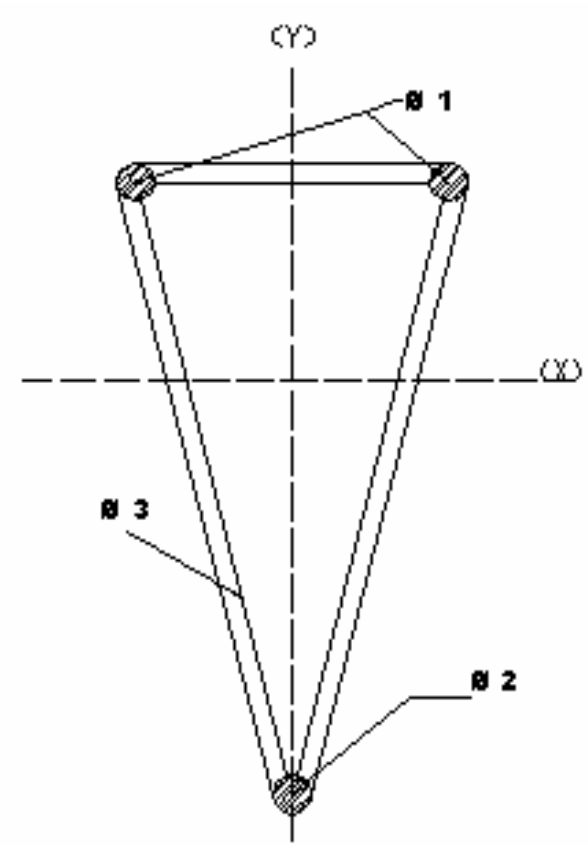
Figura 101 Ensayo a flexión en costanera EVG6



5.5 Análisis y tabulación de resultados

La carga teórica a compresión de la costanera EVG, se calcula en base a las propiedades físicas y mecánicas de la misma, las cuales se presentan en la figura número 102.

Figura 102 Propiedades físicas y mecánicas de la costanera EVG



Carga teórica a compresión

$$P_u = \Phi * F_{cr} * A_s$$

Donde:

$$\Phi = 0.85$$

F_{cr} = en función de KL/r

$$r = \sqrt{I / A_s}$$

L = longitud

k = dato obtenido de tabla número XIII

A_s = área de acero

I = momento de inercia

Carga teórica a compresión para costanera EVG6 L=0.70 sentido ancho (Y)

$$I_y = 1.4176 * (5)^2 + 0.7098 * (10)^2 = 106.32 \text{ cm}^4$$

$$A_s = (\pi/4) * (0.95)^2 * 3 = 2.13 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{(106.32 / 2.13)} = 7.12$$

$$KL / r = (1.20) * (700) / 71.20 = 11.80$$

Revisando las tablas XI y XII de anexos, tablas del AISC que corresponde para un acero de 60 ksi, tenemos que :

$$F_{cr} = 34.53 \text{ ksi} = 2,458 \text{ kg/cm}^2$$

Tomando en cuenta que el acero de la costanera EVG es de 70 ksi y el AISC no cuenta con tablas para ese tipo de acero, se interpolaron los valores para obtener un F_{cr} aproximado para un acero de 70 ksi.

$$F_{cr} \text{ para } 70 \text{ ksi} = 40.28 \text{ Ksi} = 2,839 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto:

$$P_{uy} = (0.85) * (2,839) * (2.13) = 5,140 \text{ kg}$$

Carga teórica a compresión para costanera EVG6 L=0.70 sentido angosto (X)

$$I_x = (0.7088 * (4)^2) * 2 = 22.68 \text{ cm}^4$$

$$A_s = (\pi/4) * (0.95)^2 * 3 = 2.13 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{(22.68 / 2.13)} = 3.26$$

$$KL / r = (1.20) * (700) / 32.6 = 25.76$$

Revisando las tablas XI y XII de anexos, tablas del AISC que corresponde para un acero de 60 ksi, tenemos que:

$$F_{cr} = 32.96 \text{ ksi} = 2,322 \text{ kg / cm}^2$$

Tomando en cuenta que el acero de la costanera EVG es de 70 ksi y el AISC no cuenta con tablas para ese tipo de acero, se interpolaron los valores para obtener un F_{cr} aproximado para un acero de 70 ksi.

$$F_{cr} \text{ para } 70 \text{ ksi} = 38.45 \text{ Ksi} = 2,709 \text{ kg / cm}^2$$

Por lo tanto:

$$P_{uy} = (0.85) * (2,709) * (2.13) = 4,905 \text{ kg}$$

Nótese que la mayor falla durante el ensayo ocurrió en el sentido (x), pero también se presentó una falla en el sentido (y). Esto se debe a que por la

geometría de la costanera los esfuerzos resistentes a compresión son similares, por lo que se puede deducir que la costanera soportó el 120% de la resistencia calculada, ya que la carga ensayada es de 5,900 kg.

Siguiendo el mismo procedimiento, se determinaron las cargas últimas para las otras costaneras ensayadas, obteniendo los siguientes resultados:

Costanera EVG6 L=1.55m

$P_{uy} = 4,880 \text{ kg}$

$P_{ux} = 3,982 \text{ kg}$

P ensayada = 4,400 kg, equivalente al 110 %

Costanera EVG4 L=0.70m

$P_{uy} = 2,200 \text{ kg}$

$P_{ux} = 2,000 \text{ kg}$

P ensayada = 2,450 kg, equivalente al 122.5 %

Costanera EVG4 L=1.55m

$P_{uy} = 2,076 \text{ kg}$

$P_{ux} = 1,700 \text{ kg}$

P ensayada = 1,900 Kg. equivalente al 112 %

Carga teórica a flexión

Para encontrar la carga teórica a flexión utilizaremos la siguiente expresión:

$$F_s = M / S$$

Donde:

$$M = P_u * a / 2 \quad \text{y} \quad S = I / c$$

M = momento máximo

S = módulo de resistencia

I = momento de inercia

c = distancia de la fibra extrema en compresión al eje neutro, (cm)

$$a = L/3 = 68 \text{ cm}$$

Para la costanera EVG6, tenemos:

$$I = 106.42 \text{ cm}^3$$

$$c = 5 \text{ cm}$$

$$S = 21.28 \text{ cm}^3$$

$$F_s = 2,960 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituyendo, tenemos:

$$P_u = 2 * f_s * S / a$$

$$P_u = 2 * (2,960) * (21.28) / 68 = 1,852.61 \text{ kg}$$

Chequeando los datos del ensayo a flexión realizado en este tipo de costanera (figura 99), se tiene que la carga experimental fue de 2,000 kg, equivalente a un 108% de la carga teórica.

Para la costanera EVG4, tenemos:

$$I = 45.28 \text{ cm}^3$$

$$c = 5 \text{ cm}$$

$$S = 9.056 \text{ cm}^3$$

$$f_s = 2,960 \text{ kg/cm}^2$$

Sustituyendo, tenemos:

$$P_u = 2 * f_s * S / a$$

$$P_u = 2 * (2,960) * (9.056) / 68 = 788.40 \text{ kg}$$

Chequeando los datos del ensayo a flexión realizado en este tipo de costanera (figura 98), se tiene que la carga experimental fue de 900 kg, equivalente a un 115% de la carga teórica.

Como se podrá apreciar al comparar los cuadros de joist Filigran y la costanera EVG, esta última tuvo un mejor comportamiento en los ensayos, es decir, superó la carga teórica calculada lo cual se debe a su geometría y a las varillas diagonales, las que aumentan la resistencia de la costanera EVG.

6. APLICACIONES DEL JOIST FILIGRAN Y COSTANERAS

EVG

En este capítulo se describirá paso a paso el proceso de diseño utilizando el método de fuerzas axiales del AISC, de la costanera EVG y el joist Filigran como elementos simplemente apoyados, colocados sobre muros o vigas de concreto, madera o metálicas. Estos elementos estarán diseñados para soportar el peso de las cubiertas, distribuyendo las cargas hacia los muros o vigas.

6.1 Cargas actuantes

Para el análisis general de estructuras se deben considerar las siguientes cargas:

- Cargas debidas al peso de la estructura
- Cargas de viento o sobrecarga útil
- Carga sísmica

En este caso no se analizará la carga sísmica, pues esta capacidad recae principalmente en la estructura portante de los joist o costaneras, tales como: vigas, marcos, columnas, muros, etc.; además se trata de una estructura de tipo liviana.

6.1.1 Cargas debidas el peso de la estructura

Como peso de la estructura se consideran el peso debido a la cubierta y el peso de los joist Filigran o la costanera EVG que se emplearán en el diseño.

En nuestro medio existe una diversidad de tipos de cubiertas, pero para fines prácticos solamente se considerará el peso de la lámina de zinc y el peso de la lámina perfil 10, ya que son los tipos de cubierta más comunes y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla III Pesos en cubiertas por metro cuadrado

TIPO DE CUBIERTA	PESO (kg/m ²)
LÁMINA ZINC CAL. 26	5.00
LÁMINA PERFIL 10 FIBROCEMENTO	11.50

El peso de la estructura opera en función de la forma y peralte de los joist Filigran o costanera EVG que se utilice.

Como el joist Filigran se puede fabricar de diferentes peraltes con diferentes combinaciones de diámetros, cada joist tiene distinto peso. En la tabla IV se presentan algunas de estas combinaciones de joist, incluyéndose el peso y el área de acero en cada uno de sus cordones.

Tabla IV Pesos de diferentes tipos de joist Filigran

JOIST TIPO SPN	ÁREA DE ACERO EN CORDONES cm ²			PESO kg/ml
	DOBLE	DIAGONAL	SIMPLE	
10-06-08-06	0.54	0.48	0.27	1.235
10-08-08-08	0.96	0.48	0.48	1.735
10-08-08-10	0.96	0.48	0.75	1.955
10-10-08-08	1.49	0.48	0.48	2.155
10-10-08-10	1.49	0.48	0.75	2.375
15-08-08-08	0.96	0.48	0.48	1.868
15-08-08-10	0.96	0.48	0.75	2.089
15-10-08-08	1.49	0.48	0.48	2.288
15-10-08-10	1.49	0.48	0.75	2.509
15-08-08-12	0.96	0.48	1.08	2.360
15-12-08-10	2.15	0.48	0.48	2.805
15-12-08-12	2.15	0.48	1.08	3.296
20-08-08-08	0.96	0.48	0.48	2.018
20-08-08-10	0.96	0.48	0.75	2.239
20-10-08-08	1.49	0.48	0.48	2.438
20-10-08-10	1.49	0.48	0.75	2.659
*20-10-8-12	1.49	0.48	1.08	2.930
20-08-08-12	0.96	0.48	1.08	2.510
20-12-08-08	2.15	0.48	0.48	2.955
20-12-08-12	2.15	0.48	1.08	3.446
25-08-08-08	0.96	0.48	0.48	2.137
25-08-08-10	0.96	0.48	0.75	2.360
25-10-08-08	1.49	0.48	0.48	2.557
25-10-8-10	1.49	0.48	0.75	2.778
25-08-08-12	0.96	0.48	1.08	2.628
25-12-08-08	2.15	0.48	0.48	3.074
25-12-08-12	2.15	0.48	1.08	3.570

A continuación, en la tabla V, se presentan los pesos de las costaneras EVG que actualmente se producen en Guatemala.

Tabla V Pesos de costanera EVG

COSTANERA TIPO	ÁREA DE ACERO EN CORDONES cm ²			PESO kg/ml
	DOBLE	DIAGONAL	SIMPLE	
EVG4	0.61	0.32	0.305	1.325
EVG6	1.42	0.475	0.71	2.57

6.1.2 Cargas de viento o sobrecarga útil

Los vientos no son más que movimientos horizontales de masas de aire debidos a diferencias de presión en las distintas zonas de la atmósfera y a la rotación terrestre. Para el diseño estructural, interesan esencialmente los vientos que tienen velocidades muy grandes y que se asocian a fenómenos atmosféricos excepcionales.

Cuando el libre flujo del viento se ve obstaculizado por un objeto fijo, tiene que desviarse para rodearlo, por lo cual produce presiones sobre el objeto. Las partículas de aire golpean en la cara expuesta directamente al efecto del viento, cara de “barlovento”, ejerciendo sobre ella un empuje. En la cara opuesta de “sotavento”, las estelas del flujo se separan del objeto provocando una succión. Los dos efectos se suman, dando lugar a una fuerza de arrastre sobre el objeto. En las caras laterales, se presenta una distribución de presiones que varía de empuje a succión, según la geometría del objeto.

El viento es una acción crítica en el diseño de porciones de la construcción que son muy ligeras y tienen grandes áreas expuestas a su acción, como las cubiertas de galeras industriales, bodegas y edificios.

Para determinar la presión del viento sobre una estructura, según la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, se suele utilizar la siguiente fórmula:

$$q = 0.004819 V^2$$

DONDE:

q = Presión ejercida en kg / m²

V = Velocidad del viento en km / h

Tabla VI Velocidades del viento

RANGO DE ALTURAS m	VELOCIDAD km / h
0 a 10	100
10 a 30	125
30 a 100	150

6.2 Análisis estructural en elemento simplemente apoyado

Considerando al elemento con carga uniformemente distribuida, se tiene
(Ver figura 103):

$$V = w \times L / 2$$

$$M = w \times L^2 / 8$$

Donde:

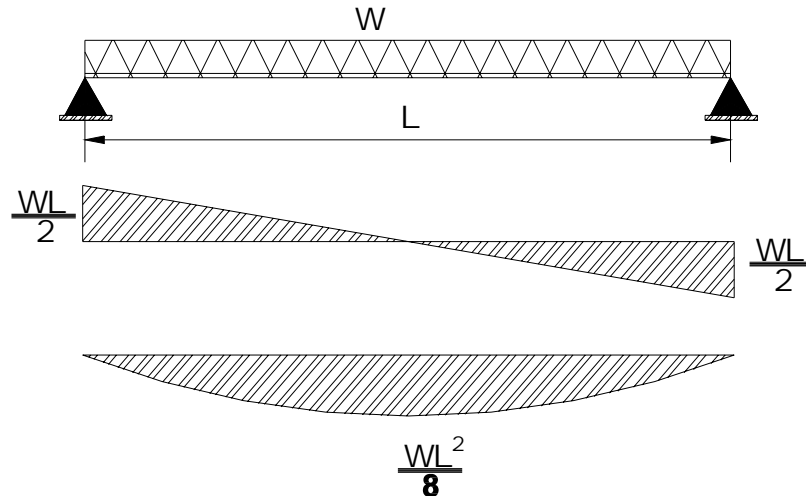
V = corte actuante en el elemento (kg)

M = momento máximo (kg x m)

W = carga distribuida kg / m

L = longitud (m)

Figura 103 Diagramas de momento y corte para un elemento simplemente apoyado aplicándole una carga distribuida



6.3 Diseño de elemento con la utilización de joist Filigran y costanera EVG

Para el diseño del joist Filigran y la costanera EVG se utilizará el método de fuerzas axiales, empleando para el diseño de áreas de acero a compresión de las tablas 1-42 y 1-60 del AISC, tablas que aparecen incluidas en los anexos del presente trabajo, y para el diseño de áreas de acero a tensión, el esfuerzo permisible de las varillas, presentándose a continuación.

Considerando que $M = \text{Fuerza} \times \text{brazo}$, entonces,

$$C = M / d$$

$$T = M / d$$

Teniendo estas fuerzas, se procede a diseñar el área de acero necesaria para contrarrestarlas. Para el diseño del área de acero a compresión A_{sc} , se tiene:

$$A_{sc} = C / F_a$$

De donde, F_a es el esfuerzo en los cordones sometidos a compresión y está en función de la rigidez KL/r de los mismos, de donde:

$K =$ constante y se considera igual a la unidad

$L =$ distancia sin apoyo de los cordones a compresión entre soldaduras expresado en mm (para el joist esta distancia es de 220mm y para la costanera EVG es de 200mm)

$r =$ radio de giro, en elementos circulares es igual a $d/4$

Conociendo KL/r , se chequea el valor de F_a en la tabla XII de anexos, tabla del AISC; la misma se refiere a un material con un límite de fluencia de 60,000 libras/pulg (4,200 Kg/cm²), que es la resistencia del joist en el cordón doble.

Para calcular el F_a de la costanera EVG, se utiliza siempre la tabla 1-60 del AISC, pero se interpolan los datos para obtener el factor F_a para el acero con límite de fluencia de 70,000 lb/pulg², que es la resistencia del cordón doble para la costanera EVG.

En la tabla VII, se encuentran localizados los F_a para los diferentes tipos de diámetros que se utilizan para la fabricación del joist Filigran.

Tabla VII Esfuerzos en cordones a compresión del joist filigran

No.	DIÁMETRO (mm)	Fa (KSI) TABLA 1-60	Fa (kg/cm ²)
1	6.00	7.01	493.88
2	8.00	12.34	869.41
3	10.00	18.63	13,112.57
4	12.00	22.82	1,607.78

En la tabla VIII se encuentran localizados los Fa para los diferentes tipos de diámetros que se utilizan para la fabricación de la costanera EVG4 y EVG6.

Tabla VIII Esfuerzos en cordones a compresión de la costanera EVG

DIÁMETRO	Fa	Fa
mm	KSI	kg/cm ²
6.20	8.97	631.98
9.50	20.37	1,4355.00

El diseño del área de acero a tensión <Ast>, se determina en función del esfuerzo permisible del acero, siendo este último igual al 60 % del límite de fluencia del material.

$$Ast = T / (0.6 \times fy)$$

El diseño del área de acero en el cordón de la diagonal, es similar al diseño del cordón a compresión, con la variante que para el joist Filigran se utilizará la tabla 1-42 del AISC, que se refiere a aceros con límite de fluencia de

42,000 lb/pulg² (2,960 kg/cm²) y para la costanera EVG se utiliza la tabla 1-60 del AISC, que se refiere a aceros con un límite de fluencia de 60,000 lb/pulg².

Si $V = w \times L / 2$

De donde $V_d = V / \text{sen } \Phi$

Entonces $A_{sd} = V_d / F_{ad}$

KL/r donde $K = \text{cte. igual a la unidad}$
 $L = \text{distancia entre puntos de soldadura en el cordón de la diagonal expresado en mm}$
 $r = \text{radio de giro igual a } d/4$

En las tablas IX y X se muestran los valores de los esfuerzos a compresión de las varillas diagonales; así como los ángulos que forman los diferentes peraltes de joist Filigran y costanera EVG.

Tabla IX Esfuerzos en cordones a compresión en el cordón diagonal y ángulo formado por la diagonal y las varillas longitudinales del joist Filigran

PERALTE	DIÁMETRO	ÁNGULOS	F _{ad}	F _{ad}
---------	----------	---------	-----------------	-----------------

cm	mm		ksi	kg/cm ²
10	8	45	18.35	1,292.14
15	8	59	15.86	1,117.41
20	8	67	12.37	871.52
25	8	70	8.44	594.64

Tabla X Esfuerzos en cordones a compresión en el cordón diagonal y ángulo formado por la diagonal y las varillas longitudinales de la costanera EVG

PERALTE	DIÁMETRO	ÁNGULOS	Fad	Fad
cm	mm		ksi	kg/cm ²
15	4.50	55	7.41	522.07
15	5.50	55	11.10	782.05

Por último, se hace el chequeo a la deflexión por medio de la ecuación siguiente:

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{w \cdot L^4}{EI} < L/180$$

DONDE:

W = carga distribuida kg / cm

L = longitud del claro

$E = \text{módulo de elasticidad del acero} = 2.1 \text{ E}6 \text{ kg / cm}^2$

$I = \text{momento de inercia}$

6.4 Ejemplos de aplicación

Ejemplo de aplicación con joist Filigran

Supongamos que nos piden diseñar una base para techo de una estructura fabricada con perfil W, la altura de la estructura es de 10 metros y los marcos principales están separados a cada 4.00m; además, como cubierta se utilizará lámina de zinc y los joist Filigran estarán separados a 1.20m.

Integración de cargas:

peso de cubierta 5.00 kg / m^2 (tabla III)

peso del joist este peso esta en función del peralte:

$$P = L/24 \quad P = 4 / 24 = 0.1667$$

Entonces se asume un joist 20-8-8-8 que tiene un peso de 2.018 kg / ml
(Ver tabla IV)

Sobrecarga útil

La sobrecarga útil que estará actuando es la carga de viento sobre la estructura, la cual se encuentra con la siguiente fórmula: $q = 0.004819 V^2$. En la tabla VI, se encuentra el valor de $V = 100 \text{ km/h}$ entonces:

$$q = 0.004819 * (100)^2 = 48.19 \text{ kg / m}^2$$

La carga distribuida sobre el joist se determina de la siguiente manera:

$$W = \text{peso del joist} + (\text{peso de la cubierta} + \text{sobrecarga}) * \text{separación entre joist}$$

$$W = 2.018 + (5 + 48.19) * 1.20 \qquad W = 65.84 \text{ kg/ml}$$

Ya que tenemos la carga distribuida sobre el joist, procedemos a calcular el corte actuante y el momento actuante. (Ver figura 103).

Cálculo del corte actuante

$$V = W * L / 2$$

$$V = 65.84 * 4 / 2 = 131.70 \text{ kg}$$

Cálculo de momento máximo

$$M = W * L^2 / 8$$

$$M = 65.84 * (4.00^2) / 8$$

$$M = 131.68 \text{ kg} * \text{m}$$

Diseño de área de acero a compresión (cordones superiores)

$$A_{sc} = C / F_a$$

Donde,

$$C = M / P = \text{Momento máximo} / \text{Peralte.}$$

Entonces,

$$C = 131.68 / 0.20 = 658.40 \text{ kg.}$$

En la tabla VII se chequea el F_a para un diámetro de 8mm, el cual es de 869 kg/cm^2 .

Entonces, el área de acero a compresión necesaria para contrarrestar el momento actuante, será:

$$A_{sc} = C / F_a$$

Entonces,

$$A_{sc} = 658.40 / 869 = 0.75 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria 0.75 cm^2 es menor que el área de acero que posee el joist Filigran 20-8-8-8, la cual es de 0.96 cm^2 (chequear tabla IV).

Diseño de área de acero a tensión (cordón inferior)

$$A_{st} = T / F_r$$

Donde,

$$T = M / P = \text{Momento} / \text{Peralte.}$$

$$F_r = 0.60 * F_y$$

Entonces,

$$T = 131.68 / 0.20 = 658.40 \text{ kg}$$

$$F_r = 0.60 * 3,000 = 1,800 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{st} = 658.40 / 1,800 = 0.3658 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria 0.3658cm^2 es menor que el área de acero que posee el joist Filigran 20-8-8-8, la cual es de 0.48cm^2 , (chequear tabla IV).

Diseño de área de acero a corte (diagonales)

$$Asd = Vd / Fad$$

Donde,

$$Vd = V / \text{Sen} (\theta)$$

En la tabla número IX, se encuentra el ángulo que corresponde a un joist de peralte 20, el cual es de 67° .

Entonces,

$$Vd = 131.68 / \text{sen} (67) = 143 \text{ kg}$$

Chequeando la tabla número IX, el valor Fad para un joist peralte 20 es de 871.52 kg/cm^2 .

Entonces,

$$Asd = 143 / 871.52 = 0.1642 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria 0.1642cm^2 es menor que el área de acero que posee el joist Filigran 20-8-8-8, la cual es de 0.48cm^2 , (Ver tabla IV). Además, las áreas de acero del joist propuesto son mayores que el área de acero que se necesita; y como el fin de cualquier

diseñador es optimizar y no sobrediseñar, entonces se hará un segundo chequeo con un joist 15-8-8-8 para así poder determinar si éste cumple nuestras necesidades de diseño.

Área de acero a compresión (cordones superiores)

$$C = 131.68 / 0.15 = 878 \text{ kg}$$

Chequeando la tabla número VII, tenemos que el F_a para una varilla de 8mm, es de 869.41 kg / cm².

Entonces,

$$A_{sc} = 878 \text{ kg} / 869.41 = 1.009 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria 1.009cm² es mayor que el área de acero que posee el joist Filigran 15-8-8-8, la cual es de 0.96cm², por lo cual se deduce que el joist no chequea, por lo que tenemos que utilizar el primer joist propuesto (20-8-8-8). Si se pretende optimizar al máximo el diseño, se recomienda lo siguiente:

- 1 Solicitar al fabricante, que produzca un joist con alambroón equivalente a los diámetros que necesitamos para nuestro diseño.
- 2 Aumentar la separación entre los joist si la cubierta lo permite, para que de esta forma tengamos una mayor área tributaria, lo cual se traduce en un aumento del momento y del corte actuante.

Cualquiera que sea la decisión que se tome al respecto, queda a responsabilidad del ingeniero diseñador.

Ejemplo de aplicación utilizando costanera EVG

Supongamos que se tiene que diseñar una base para techo de un parqueo que tiene unas dimensiones de 6 metros de ancho y 12 metros de largo, el cual se quiere chequear con lámina de zinc y las costaneras se separaran a 1 metro.

Primero se intentará diseñar con costanera EVG4.

Características costanera EVG4

Peso propio = 1.32 kg / ml (ver tabla V)

Área de acero en cordones dobles = 0.61 cm² (ver tabla V)

Área de acero en diagonales = 0.32 cm² (ver tabla V)

Área de acero en cordón simple = 0.305 cm² (ver tabla V)

Integración de cargas

Peso propio

Peso de cubierta = 5 kg / m² (ver tabla III)

Peso de costanera = 1.32 kg / m

Sobrecarga

Velocidad del viento = 100 km/h (ver tabla VI)

$$q = .004819 * (V) ^ 2 = 48.19 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de carga distribuida

$$W = (1.32 + (5 + 48.19) * (1.00)) = 54.50 \text{ kg/ml}$$

Cálculo de momento máximo

$$M = W * L^2 / 8 = (54.50) * (6)^2 / 8 = 245.25 \text{ kg * m}$$

Cálculo de corte actuante

$$V = W * L / 2 = (54.50) * (6) / 2 = 163.50 \text{ kg}$$

Diseño de área de acero a compresión (cordones superiores)

$$A_{sc} = C / F_a$$

$$C = M / P = (245.25) / (0.15) = 1,635 \text{ kg}$$

Según la tabla VIII, el F_a para un diámetro de 6.20mm es de 631.98 kg/cm², entonces:

$$A_{sc} = 1,635 / 631.98 = 2.59 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria a compresión es de 2.59 cm², la cual es mucho mayor que la que posee la costanera EVG4 en los cordones superiores que es de 0.61 cm², por lo que ahora diseñaremos con la costanera EVG6.

Características costanera EVG6

Peso propio = 2.57 kg / ml (ver tabla V)

Área de acero en cordones dobles = 1.42 cm² (ver tabla V)

Área de acero en diagonales = 0.475 cm² (ver tabla V)

Área de acero en cordón simple = 0.71 cm² (ver tabla V)

Integración de cargas

Peso de cubierta = 5 kg / m² (ver tabla III)

Peso de costanera = 2.57 kg / m

Sobrecarga

Velocidad del viento = 100 km/h (ver tabla VI)

$$q = .004819 * (V) ^ 2 = 48.19 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de carga distribuida

$$W = (2.57 + (5 + 48.19) * (1.00)) = 55.76 \text{ kg / ml}$$

Cálculo de momento máximo

$$M = W * L^2 / 8 = (55.76) * (6)^2 / 8 = 250.92 \text{ kg * m}$$

Cálculo de corte actuante

$$V = W * L / 2 = (55.76) * (6)/2 = 167.28 \text{ kg}$$

Diseño de área de acero a compresión (cordones superiores)

$$A_{sc} = C / F_a$$

$$C = M / P = (250.92) / (0.15) = 1,672.8 \text{ kg}$$

Según la tabla VIII, el F_a para un diámetro de 9.50 mm es de 1,435 kg/cm², entonces:

$$A_{sc} = 1,672.8 / 1,435 = 1.1657 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria a compresión es de 1.1657 cm², la cual es menor a la que posee la costanera EVG6 en los cordones superiores, que es de 1.42 cm², por lo que la costanera EVG6 cumple.

Diseño de área de acero a corte (cordones diagonales)

$$A_{sd} = V_d / F_{ad}$$

$$\Phi = 55 \text{ grados ver tabla X}$$

$$V_d = V / \text{sen}(\Phi) = (167.28) / (\text{sen}(55)) = 204.21 \text{ kg}$$

Según la tabla X, el F_{ad} para un diámetro de 5.50 mm es de 782.05 kg/cm², entonces:

$$A_{sc} = 204.21 / 782.05 = 0.26 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria a corte es de 0.26 cm², la cual es menor a la que posee la costanera EVG6 en los cordones diagonales que es de 0.475 cm², por lo que la costanera EVG6 cumple.

Diseño de área de acero a tensión (cordón inferior)

$$A_{st} = T / F_r$$

$$T = M / P = (250.92) / (0.15) = 1,672.8 \text{ kg}$$

$$F_r = 0.60 \cdot (f_y) = 0.60 \cdot (5,300 \text{ kg/cm}^2) = 3,180 \text{ kg/cm}^2$$

Entonces:

$$A_{st} = 1,672.8 / 3,180 = 0.53 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar, el área de acero necesaria a tensión es de 0.53 cm², la cual es menor a la que posee la costanera EVG6 en el cordón inferior que es de 0.71 cm², por lo que la costanera EVG6 cumple.

En conclusión, se recomienda utilizar una costanera EVG6 para el techo del parqueo.

CONCLUSIONES

1. La diferencia de los esfuerzos de ruptura ocurrida en los ensayos de tensión se debe a que la materia prima empleada para la fabricación de la costanera EVG y el joist es, en algunos casos, de diferente lote o proveedor y muchas veces la resistencia de la misma es variable.

2. La costanera EVG tiene un mejor comportamiento bajo cargas de compresión que el joist Filigran, esto se debe a su geometría y a las varillas diagonales.
3. Para el diseño a flexión del joist Filigran, cuando el criterio limitante es por deflexión, la carga ensayada es menor a la carga teórica; y para la costanera EVG, la carga teórica es menor a la carga ensayada; esto se debe a la geometría y a la doble varilla diagonal, la cual le da una mayor rigidez a la costanera EVG.
4. Al comparar los resultados obtenidos en el joist 20-10-8-12 y el joist 25-10-8-10 se observa que el módulo de la sección o módulo resistente (S) del joist 20-10-8-12 es mayor al del joist 25-10-8-10 a pesar de ser de menor peralte, esto se debe a que el joist 20-10-8-12 posee una varilla inferior de mayor diámetro la cual compensa la deflexión y además tiene una mayor resistencia a la tensión.
5. El esfuerzo a compresión de las varillas diagonales depende del ángulo formado entre éstas y las varillas longitudinales, ya que a un mayor ángulo, disminuye el esfuerzo a compresión, y a uno menor, aumenta.

RECOMENDACIONES

1. La materia prima para la fabricación del joist Filigran y la costanera EVG, debería ser tomada del mismo lote o proveedor, con el fin de obtener una estructura de resistencia homogénea.
2. Realizar ensayos periódicamente para el joist Filigran y la costanera EVG, para garantizarle al diseñador la efectiva utilización de los mismos.

3. Informarse con el fabricante de los diferentes tipos de joist Filigran y costanera EVG que se pueden producir, para así recomendar el diseño adecuado dependiendo del tipo de necesidad que se tenga.
4. Se recomienda realizar otros ensayos a flexión en prototipos de longitud mayor al realizado en este trabajo y así poder determinar con exactitud el factor de corrección entre la resistencia a flexión teórica y la resistencia a flexión experimental.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Institute of Steel Construction, **Manual de las construcciones en acero AISC**, 8ª. Edición, E.E.U.U. 1980.
2. Ayala Zapata, Edgar Virgilio, **Estudio comparativo de estructuras de acero de alma abierta y de alma llena**, tesis de Ingeniería Civil, Guatemala, 1977.
3. Mc-Cormac, Jack C., **Análisis estructural**, 3a. edición, México, Editorial Harla, 1983.
4. Mc-Cormac, Jack C., **Diseño de estructuras de acero**, 3ª. edición, México,

Editorial Alfa Omega, S.A., 1982.

5. Zea Cordón, Agripino, **Análisis de las cargas de viento de la ciudad de Guatemala**, tesis de Ingeniería Civil, Guatemala 1967.

ANEXOS

TABLA XI Tabla del AISC para diseño de elementos a compresión

TABLE 1-42
ALLOWABLE STRESS (KSI)
FOR COMPRESSION MEMEBERS OF 42 KSI SPECIFIED YIELD STRESS STEEL

Main and Secondary Members Kl/r not over 120						Main Members Kl/r 121 to 200				Secondary Members* l/r 121 to 200			
$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)	$\frac{l}{r}$	Fas (ksi)	$\frac{l}{r}$	Fas (ksi)
1	25.15	41	21.98	81	16.92	121	10.20	161	5.76	121	10.25	161	7.25
2	25.10	42	21.97	82	16.77	122	10.03	162	5.69	122	10.13	162	7.21
3	25.05	43	21.77	83	16.62	123	9.87	163	5.62	123	10.02	163	7.16
4	24.99	44	21.66	84	16.47	124	9.71	164	5.53	124	9.91	164	7.12
5	24.94	45	21.55	85	16.32	125	9.56	165	5.49	125	9.80	165	7.05
6	24.88	46	21.44	86	16.17	126	9.41	166	5.42	126	9.70	166	7.04

F_y = 42 ksi

7	24.82	47	21.33	87	16.01	127	9.26	167	5.35	127	9.59	167	7.00
8	24.76	48	21.22	88	15.86	128	9.11	168	5.29	128	9.49	168	6.96
9	24.70	49	21.10	89	15.71	129	8.97	169	5.23	129	9.40	169	6.93
10	24.63	50	20.99	90	15.55	130	8.84	170	5.17	130	9.30	170	6.89
11	24.57	51	20.87	91	15.39	131	8.7	171	5.11	131	9.21	171	6.85
12	24.50	52	20.76	92	15.23	132	8.57	172	5.05	132	9.12	172	6.82
13	24.43	53	20.64	93	15.07	133	8.44	173	4.99	133	9.03	173	6.79
14	24.36	54	20.52	94	14.91	134	8.32	174	4.93	134	8.94	174	6.76
15	24.29	55	20.40	95	14.75	135	8.19	175	4.88	135	8.86	175	6.73
16	24.20	56	20.28	96	14.59	136	8.07	176	4.82	136	8.78	176	6.70
17	24.15	57	20.16	97	14.43	137	7.96	177	4.77	137	8.70	177	6.67
18	24.07	58	20.03	98	14.26	138	7.84	178	4.71	138	8.62	178	6.64
19	24.00	59	19.91	99	14.09	139	7.73	179	4.66	139	8.54	179	6.61
20	23.92	60	19.79	100	13.93	140	7.62	180	4.61	140	8.47	180	6.58
21	23.84	61	19.66	101	13.76	141	7.51	181	4.56	141	8.39	181	6.56
22	23.76	62	19.53	102	13.59	142	7.41	182	4.51	142	8.32	182	6.53
23	23.68	63	19.4	103	13.42	143	7.30	183	4.43	143	8.25	183	6.51
24	23.59	64	19.27	104	13.25	144	7.20	184	4.41	144	8.18	184	6.49
25	23.51	65	19.14	105	13.08	145	7.10	185	4.36	145	8.12	185	6.46
26	23.42	66	19.01	106	12.90	146	7.01	186	4.32	146	8.05	186	6.44
27	23.33	67	18.88	107	12.73	147	6.91	187	4.27	147	7.99	187	6.42
28	23.24	68	18.75	108	12.55	148	6.82	188	4.23	148	7.93	188	6.40
29	23.15	69	18.61	109	12.37	149	6.73	189	4.18	149	7.87	189	6.38
30	23.06	70	18.48	110	12.19	150	6.64	190	4.14	150	7.81	190	6.36
31	22.97	71	18.34	111	12.01	151	6.55	191	4.09	151	7.75	191	6.35
32	22.88	72	18.20	112	11.83	152	6.46	192	4.05	152	7.69	192	6.33
33	22.78	73	18.06	113	11.65	153	6.38	193	4.01	153	7.64	193	6.31
34	22.69	74	17.92	114	11.47	154	6.30	194	3.97	154	7.59	194	6.30
35	22.59	75	17.78	115	11.28	155	6.22	195	3.93	155	7.53	195	6.28
36	22.49	76	17.64	116	11.10	156	6.14	196	3.89	156	7.48	196	6.27
37	22.39	77	17.50	117	10.91	157	6.06	197	3.85	157	7.43	197	6.26
38	22.29	78	17.35	118	10.72	158	5.98	198	3.81	158	7.39	198	6.24
39	22.19	79	17.21	119	10.55	159	5.91	199	3.77	159	7.34	199	6.23
40	22.08	80	17.06	120	10.37	160	5.83	200	3.73	160	7.29	200	6.22

* K taken as 1.0 for secondary members. Note: Ca = 116.7

TABLA XII Tabla de AISC para diseño de elementos a compresión

TABLE 1-60
ALLOWABLE STRESS (KSI)
FOR COMPRESSION MEMEBERS OF 60 KSI SPECIFIED YIELD STRESS STEEL

Main and Secondary Members Kl/r not over 120						Main Members Kl/r 121 to 200				Secondary Members* l/r 121 to 200			
Kl/r	Fa (ksi)	Kl/r	Fa (ksi)	Kl/r	Fa (ksi)	Kl/r	Fa (ksi)	Kl/r	Fa (ksi)	l/r	Fas (ksi)	l/r	Fas (ksi)
1	35.92	41	30.15	81	20.65	121	10.20	161	5.76	121	10.25	161	7.25
2	35.83	42	29.95	82	20.37	122	10.03	162	5.69	122	10.13	162	7.21
3	35.74	43	29.75	83	20.09	123	9.87	163	5.62	123	10.02	163	7.16
4	35.64	44	29.55	84	19.80	124	9.71	164	5.55	124	9.91	164	7.12
5	35.54	45	29.35	85	19.51	125	9.56	165	5.49	125	9.80	165	7.05
6	35.44	46	29.15	86	19.22	126	9.41	166	5.42	126	9.70	166	7.04
7	35.34	47	28.94	87	18.93	127	9.26	167	5.35	127	9.59	167	7.00
8	35.23	48	28.73	88	18.63	128	9.11	168	5.29	128	9.49	168	6.96
9	35.12	49	28.52	89	18.04	129	8.97	169	5.23	129	9.40	169	6.93

Fy = 60 ksi

10	35.01	50	28.31	90	18.04	130	8.84	170	5.17	130	9.30	170	6.89
11	34.89	51	28.09	91	17.73	131	8.70	171	5.11	131	9.21	171	6.85
12	34.77	52	27.87	92	17.43	132	8.57	172	5.05	132	9.12	172	6.82
13	34.65	53	27.66	93	17.12	133	8.44	173	4.99	133	9.03	173	6.79
14	34.52	54	27.43	94	16.81	134	8.32	174	4.93	134	8.94	174	6.76
15	34.40	55	27.21	95	16.50	135	8.19	175	4.88	135	8.86	175	6.73
16	34.27	56	26.98	96	16.19	136	8.07	176	4.82	136	8.78	176	6.70
17	34.13	57	26.76	97	15.87	137	7.96	177	4.77	137	8.70	177	6.67
18	34.00	58	26.53	98	15.55	138	7.84	178	4.71	138	8.62	178	6.64
19	33.86	59	26.29	99	15.24	139	7.73	179	4.66	139	8.54	179	6.61
20	33.71	60	26.06	100	14.93	140	7.62	180	4.61	140	8.47	180	6.58
21	33.57	61	25.82	101	14.64	141	7.51	181	4.56	141	8.39	181	6.56
22	33.42	62	25.58	102	14.35	142	7.41	182	4.51	142	8.32	182	6.53
23	33.27	63	25.34	103	14.08	143	7.30	183	4.46	143	8.25	183	6.51
24	33.12	64	25.1	104	13.81	144	7.20	184	4.41	144	8.18	184	6.49
25	32.96	65	24.86	105	13.54	145	7.10	185	4.36	145	8.12	185	6.46
26	32.81	66	24.61	106	13.29	146	7.01	186	4.32	146	8.05	186	6.44
27	32.65	67	24.36	107	13.04	147	6.91	187	4.27	147	7.99	187	6.42
28	32.48	68	24.11	108	12.80	148	6.82	188	4.23	148	7.93	188	6.40
29	32.32	69	23.86	109	12.57	149	6.73	189	4.18	149	7.87	189	6.38
30	32.15	70	23.6	110	12.34	150	6.64	190	4.14	150	7.81	190	6.36
31	31.98	71	23.34	111	12.12	151	6.35	191	4.09	151	7.75	191	6.35
32	31.81	72	23.08	112	11.9	152	6.46	192	4.05	152	7.69	192	6.33
33	31.63	73	22.82	113	11.69	153	6.38	193	4.01	153	7.64	193	6.31
34	31.45	74	22.56	114	11.49	154	6.30	194	3.97	154	7.59	194	6.30
35	31.28	75	22.29	115	11.29	155	6.22	195	3.93	155	7.53	195	6.28
36	31.09	76	22.02	116	11.10	156	6.14	196	3.89	156	7.48	196	6.27
37	30.91	77	21.75	117	10.91	157	6.06	197	3.85	157	7.43	197	6.26
38	30.72	78	21.48	118	10.72	158	5.98	198	3.81	158	7.39	198	6.24
39	30.53	79	21.21	119	10.55	159	5.91	199	3.77	159	7.34	199	6.23
40	30.34	80	20.93	120	10.37	160	5.83	200	3.73	160	7.29	200	6.22

* K taken as 1.0 for secondary members.

Note: Ca = 97.7

TABLA XII Longitudes efectivas en columnas

Figura 104 Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG



Base de techo realizada con joist Filigran como estructura principal y los polines con costanera EVG, proyecto **Casa del Águila**.

Figura 105 Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG



Estructura principal y base para techos fabricada completamente con joist Filigran, proyecto **Bodega CODEINSA**.

Figura 106 **Fotografía de aplicaciones de joist Filigran y costanera EVG**



Estructura principal con perfil W y base para techo con costanera EVG, proyecto planta de producción **CODEINSA**.