



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS
Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA
JUAN MANUEL QUIJAS FONSECA

DIRECTOR DE TESIS:
ING. M. en C. ENRIQUE MARTÍNEZ ROMERO



MÉXICO, D.F.

JUNIO 2005

m. 346240



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/016/03

Señor
JUAN MANUEL QUIJAS FONSECA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ENRIQUE MARTINEZ ROMERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. EFECTOS DE LA TORSIÓN ORIGINADA POR LA EXCENTRICIDAD
- III. TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES
- IV. COMBINACIÓN DE ESFUERZOS
- V. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS
- VI. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UN TRABE CARRIL
- VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- VIII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitario a 5 Marzo 2003.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

V.Bo
Enrique Martínez
24-Jun-03

V.Bo
Gerardo Ferrando Bravo
17-JUN-2003

V.Bo
Enrique Martínez Romero
20-JUN-2003

V.Bo
Gerardo Ferrando Bravo
20-06-03

V.Bo
Enrique Martínez
24-06-2003



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL,
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA

OFICIO FING/DCTG/SEAC/UTIT/016/03

ASUNTO: Solicitud de Jurado para
Examen Profesional

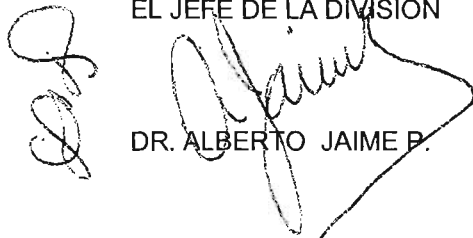
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNAM
Presente

El señor JUAN MANUEL QUIJAS FONSECA, registrado en esta facultad con el número de cuenta 9214926-9, en la carrera de **INGENIERO CIVIL**, quien ha cubierto los requisitos académicos necesarios para realizar sus trámites de Examen Profesional, le solicita atentamente autorice el siguiente jurado:

ASIGNACIÓN:	NOMBRE:	R.F.C.
PRESIDENTE:	ING. ALEJANDRO RIVAS VIDAL	RIVA-420605
VOCAL:	M.I. ENRIQUE MARTÍNEZ ROMERO	MARE-371209
SECRETARIO:	M.I. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ	CEVE-630715
1er. SUPLENTE:	ING. ISMAEL VÁZQUEZ MARTÍNEZ	VAMI-640606
2do. SUPLENTE:	ING. JUAN LUIS UMAÑA ROMERO	UARJ-670210

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 6 de junio del 2005
EL JEFE DE LA DIVISIÓN

ENTERADO



DR. ALBERTO JAIME P.

SR. JUAN MANUEL QUIJAS FONSECA

AJP/MTH*crc

EP-4

A mi mamá:

Gracias por estar siempre conmigo y cuidarme.
Algún día estaremos otra vez juntos.

A mi papá:

Gracias por mantenernos juntos y apoyarme en todo.
Te quiero mucho.

A mis hermanas:

A Sandra por ser un ejemplo a seguir.
A Marisol por aprender con ella el arte de educar.
Las quiero demasiado.

AGRADECIMIENTOS.

Un agradecimiento muy especial para el Ing. M. en C. Enrique Martínez Romero por permitirme ser su alumno durante todos estos años y poder colaborar en su equipo de trabajo. Esperando de corazón que pronto pasen estos momentos difíciles por los cuales esta pasando. Animo y a seguir adelante, por que todavía hay muchas cosas que aprender de Usted.

Agradezco a cada uno de mis sinodales, M.I. Enrique Cesar Váldez, Ing. Alejandro Rivas Vidal, M.I. Juan Luis Umaña Romero y M.I. Ismael Vázquez Martínez por la revisión y comentarios hechos, los cuales ayudaron a mejorar la versión final de esta tesis.

Agradezco a mi compañero y amigo de estudio y trabajo Armando Merida Ramos, con el cual pude comentar algunas ideas sobre este trabajo.

Agradezco a cada uno de mis compañeros de trabajo su disposición para comentar algunos detalles de este trabajo, y lograr que mis días de trabajo sean más agradables y divertidos.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México todas las facilidades otorgadas para mi preparación y formación como alumno de esta casa de estudio. A los distintos compañeros, profesores y administrativos desde mi ingreso al Colegio de Ciencias y Humanidades y posteriormente en la Facultad y Anexo de Ingeniería.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	2
Simbología.....	3
1. Antecedentes.	
1.1 Funcionamiento de una trabe carril.....	9
1.2 Cargas.....	11
1.3 Diseño de una trabe carril.....	24
2. Efectos de la torsión originada por la excentricidad.	
2.1 Causas de torsión.	30
2.2 Consecuencias principales debidas a torsión.	32
3. Torsión en secciones generales.	
3.1 Secciones macizas.	34
3.2 Secciones cerradas.	39
3.3 Secciones abiertas.	41
4. Combinación de esfuerzos.	
4.1 Esfuerzos originados por torsión.	45
4.2 Esfuerzos combinados de flexión biaxial.	49
4.3 Esfuerzos combinados de flexión biaxial y torsión.	53
5. Comparación de resultados entre un análisis depurado y los métodos prácticos de análisis recomendados.	
5.1 Ejemplos numéricos ignorando la torsión.	57
5.2 Ejemplos numéricos simplificando efectos de torsión.	92
5.3 Ejemplos numéricos aplicando método depurado.	127
6. Aspectos complementarios para una trabe carril.	
6.1 Detalles generales en la construcción de una trabe carril.	199
6.2 Cimentación para columnas “apoyo” de una trabe carril.	211
7. Discusión de resultados.	219
8. Conclusiones.	231
9. Literatura consultada.....	234

RESUMEN.

Este trabajo se ha desarrollado pensando en la necesidad de tener un conocimiento más amplio de los efectos que provoca la torsión sobre las traveses carril, ante las sollicitaciones del sistema o sistemas de grúas que se trasladan a través de ellas. En la actualidad estos efectos de torsión no son tomados en cuenta en su análisis, o en ocasiones, son tomados en cuenta de manera muy somera con resultados no siempre adecuados.

Considerando en lo anterior, el objetivo que se persigue en este trabajo, es revisar la importancia de los efectos de torsión, para un elemento estructural sujeto a flexión biaxial; y así complementar las consideraciones que hasta el momento se han desarrollado para su diseño. De esta manera, la presente tesis se ha desarrollado en seis capítulos principales: En el capítulo 1 se proporciona de manera general el funcionamiento, las cargas y el diseño común que tiene una trabe carril. En el capítulo 2 se presentan las causas que originan la torsión y su influencia en el diseño. Como parte complementaria, y de un mayor enfoque a las secciones utilizadas en la práctica, se desarrolla el capítulo 3, en el cual se parte del análisis de una sección maciza circular ante torsión (sección de mayor referencia en los textos referentes a resistencia de materiales), para posteriormente aplicar estas bases de estudio a secciones de pared delgada. Conociendo estos, se presenta así en el capítulo 4 los efectos que provoca esta sollicitación en una sección "W" rolada en caliente ó armada por medio de placas; para posteriormente analizar en el mismo capítulo la manera de aplicar estos efectos a los ya presentes en una trabe carril sometida a sus diferentes sollicitaciones.

Como parte principal de esta tesis tenemos el capítulo 5, en el cual se desarrollan tres diferentes métodos de análisis de una trabe carril; uno donde se ignora totalmente la torsión, el segundo donde la torsión es tomada de una manera simplificada y por último el método donde la torsión es tomada en su totalidad por la sección "W", acompañando a estos efectos de torsión los efectos adicionales que tiene una trabe carril ante sus sollicitaciones adicionales. Para cada diferente método presentado en este capítulo, se toman en cuenta cuatro secciones para ser analizadas (que pueden ser iguales en su sección transversal pero diferentes en su modo de fabricación).

Como parte complementaria en el desarrollo del análisis y diseño de una trabe carril, tenemos el capítulo 6, en el cual se presentan de manera somera la forma en que una trabe carril se integra a una estructura industrial y su cimentación.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

SIMBOLOGÍA

(A)

α factor adimensional para la ubicación del momento torsional.

a constante para propiedades de torsión igual a $\sqrt{\frac{E \cdot C_w}{G \cdot J}}$

A' área del patín a compresión y un 1/3 del alma a compresión de la trabe armada.

As área de acero de la sección.

Aw área del alma en la sección.

Af área del patín a compresión.

a1 distancia del extremo izquierdo al punto de aplicación en la trabe carril de la reacción debido a la grúa puente.

a2 distancia del extremo derecho al punto de aplicación en la trabe carril de la reacción debido a la grúa puente.

(B)

bf ancho del patín en secciones roladas.

(C)

Cw constante de alabeo para la sección transversal.

(D)

d peralte de la sección.

Δ_{PERMV} deflexiones permisibles verticales.

Δ_{PERML} deflexiones permisibles laterales.

Δ_{ACTV} deflexiones actuantes verticales.

Δ_{ACTL} deflexiones actuantes laterales.

(E)

E módulo de elasticidad del acero 2 090 000 Kg / cm² ó 29 000 kips / in²

e excentricidad de la fuerza de impacto lateral.

(F)

Flat. fuerzas laterales.

Fvert. fuerzas verticales.

Fv esfuerzo cortante permisible.

Fbxc = Fbx_c esfuerzo normal permisible a compresión debido a flexión alrededor del eje “X”.

Fbyc = Fby_c esfuerzo normal permisible a compresión debido a flexión alrededor del eje “Y”.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

(Continúa)

$F_{bxt} = F_{bx_t}$	esfuerzo normal permisible a tensión debido a flexión alrededor del eje “X”.
$F_{byt} = F_{by_t}$	esfuerzo normal permisible a tensión debido a flexión alrededor del eje “Y”.
FIL	fuerza de impacto lateral.
F_y	esfuerzo de fluencia del acero.
Fb	esfuerzo permisible a flexión según sección 1.5.1.4, de referencia 2.
F _{cort}	esfuerzo cortante permisible para la superposición de esfuerzos cortantes actuantes, de las diferentes sollicitaciones en una trabe carril.
F _{norm}	esfuerzo normal permisible para la superposición de esfuerzos normales actuantes, de las diferentes sollicitaciones en una trabe carril.
F _{bx}	esfuerzo normal permisible para flexión alrededor del eje “X”.
F _{by}	esfuerzo normal permisible para flexión alrededor del eje “Y”.
F _{bxi}	esfuerzo normal permisible a compresión debido a flexión alrededor del eje “X”, para i casos a comparar.
F _{bmax}	esfuerzo permisible local de flexión en el patín principalmente para cargas verticales.
F _{b_{comb}}	esfuerzo permisible para esfuerzos normales, en la revisión de flexión biaxial.
f _x	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “X”.
f _y	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “Y”.
f _{xc}	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “X”, a compresión.
f _{xt}	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “X”, a tensión.
f _{yc}	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “Y”, a compresión.
f _{yt}	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “Y”, a tensión.
f _{yct} = f _{yyct}	esfuerzos normales actuantes debido a flexión alrededor del eje “Y”, a tensión o compresión.
f _{btc}	esfuerzos normales actuantes debido por torsión, a compresión.
f _{btt}	esfuerzos normales actuantes debido por torsión, a tensión.
f _v	esfuerzo cortante actuante.
f _{vx} = τ_{xx}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “X”.
f _{vy} = τ_{yy}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “Y”.
f _{vx,f} = τ_{fx}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “X”, en patines.
f _{vx,w} = τ_{wx}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “X”, en el alma.
f _{vy,f} = τ_{fy}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “Y”, en patines.
f _{vy,w} = τ_{wy}	esfuerzo cortante actuante debido a flexión alrededor del eje “Y”, en el alma.
f _{norm}	esfuerzo normal actuante resultado de la superposición de esfuerzos normales, de las diferentes sollicitaciones en una trabe carril.
f _{cort}	esfuerzo cortante actuante resultado de la superposición de esfuerzos cortantes, de las diferentes sollicitaciones en una trabe carril.
f _{b_{comb}}	esfuerzo actuante normal, en la revisión de flexión biaxial; según referencia 3.
(G)	
G	módulo de elasticidad a cortante del acero = $E / 2(1 + \mu) = 787\,472 \text{ kg / cm}^2$ ó $11\,200 \text{ kips / in}^2$

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

(Continúa)

(I)

I_{xx}	momento de inercia alrededor del eje “X”, de la sección transversal.
I_{xxR}	momento de inercia del riel.
I_{yy}	momento de inercia alrededor del eje “Y”, de la sección transversal.
I'	momento de inercia del patín a compresión y un 1/3 del alma a compresión respecto al eje “Y” de la sección armada.

(J)

J	constante de torsión de la sección transversal.
-----	-------------------------------------------------

(K)

K_D	factor de servicio.
-------	---------------------

(M)

M_B	momentos en el extremo “B”.
M_C	momentos en el extremo “C”.
M_x	momento flexionante alrededor del eje “X”.
M_y	momento flexionante alrededor del eje “Y”.
M_t	momento torsionante alrededor del eje longitudinal del elemento estructural.
$M_{c'}$	momento flexionante en la trabe carril en la posición C’.
$M_{c''}$	momento flexionante en la trabe carril en la posición C’’.
M_{4max}	momento flexionante lateral máximo.
μ	módulo Poisson = 0.30

(P)

P	reacción de trabe puente sobre trabe carril.
$P_{DV} = PDV$	efecto dinámico de aquellas partes de la grúa con movimiento vertical.
$P_{DW} = PDW$	efecto dinámico de la carga segura de trabajo.
P_{GV}	fuerza gravitacional debido a la masa de aquellas partes de la grúa con movimiento vertical.
P_{GW}	fuerza gravitacional debido a la masa de la carga segura de trabajo.
%IMPL:	porcentaje de impacto lateral.
%IMPV:	porcentaje de impacto vertical.

(Q)

$\sigma_{ws} = \sigma_w$	esfuerzos normales por alabeo.
σ_b	esfuerzo normal por flexión.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

$\sigma_{TC} = f_{btc}$ esfuerzo normal debido a torsión, de compresión.

(Continúa)

$\sigma_{TT} = f_{btt}$ esfuerzo normal debido a torsión, de tensión.

$\sigma_{XC} = f_{bxc}$ esfuerzo normal debido a flexión alrededor del eje “X”, de compresión.

$\sigma_{XT} = f_{bxt}$ esfuerzo normal debido a flexión alrededor del eje “X”, de tensión.

σ_{XX} esfuerzo normal actuante debido a flexión alrededor del eje “X”.

σ_{YY} esfuerzo normal actuante debido a flexión alrededor del eje “Y”.

Q Momento estático o primer momento (con respecto del eje neutro de la sección transversal entera) de un área de la sección transversal entre los ejes de la sección de área a analizar y el eje neutro de la sección transversal entera.

Q_F valor de Q para un punto sobre el eje horizontal “centroidal” del patín.

Q_W valor de Q para el punto en el alma, a una altura del medio peralte.

Q_{FX} valor de Q_F para flexión alrededor del eje “X”, en patines.

Q_{FY} valor de Q_F para flexión alrededor del eje “Y”, en patines

Q_{WX} valor de Q_W para flexión alrededor del eje “X”, en alma.

Q_{WY} valor de Q_W para flexión alrededor del eje “Y”, en alma.

(R)

RA reacción del extremo “A” de la grúa puente, ante el análisis de elementos mecánicos.

RB reacción del extremo “B” de la grúa puente, ante el análisis de elementos mecánicos.

RC reacción del extremo “C” de la trabe carril, ante el análisis de elementos mecánicos.

RD reacción del extremo “D” de la trabe carril, ante el análisis de elementos mecánicos.

rt radio de giro de una sección que comprende el patín de compresión y 1/3 del área del alma en compresión, tomado con respecto a un eje en el plano del alma.

(S)

S_{ws} momento estático de alabeo del punto s en la sección transversal.

S_{xx} módulo de sección alrededor del eje “X”.

S_{yy} módulo de sección alrededor del eje “Y”.

$S_{xxc} = S_{xxsup}$ módulo de sección alrededor del eje “X” de la parte superior de la sección armada.

$S_{xxt} = S_{xxinf}$ módulo de sección alrededor del eje “X” de la parte inferior de la sección armada.

$S_{yy1} = S_{yysup}$ módulo de sección alrededor del eje “Y” considerando el patín superior.

$S_{yy2} = S_{yyinf}$ módulo de sección alrededor del eje “Y” considerando el patín inferior.

S_t módulo de sección del patín superior de una sección compuesta.

S_1 módulo de sección de la sección compuesta para el patín inferior.

S_2 módulo de sección de la sección compuesta para el patín superior.

S_{w0} momento estático de alabeo para el patín superior.

S_{w1} momento estático de alabeo para el patín inferior.

(T)

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”.

tf espesor del patín de la sección,
tw espesor del alma de la sección.

(Continúa)

τ_b esfuerzo cortante debido a flexión.
 τ_{wx} esfuerzo cortante debido a flexión alrededor del eje “X”, en el alma.
 τ_{fx} esfuerzo cortante debido a flexión alrededor del eje “X”, en el patín.
 τ_t esfuerzo cortante por torsión pura.
 θ giro por unidad de longitud de una sección transversal sometida a momento torsionante.
 θ' primera derivada de θ respecto a z.
 θ'' segunda derivada de θ respecto a z.
 θ''' tercera derivada de θ respecto a z.
t espesor del elemento de la sección transversal.
 t_l ancho de corte longitudinal imaginario, que es usualmente igual al espesor o ancho del elemento; utilizado para el cálculo del esfuerzo cortante.
 $\tau_w = \tau_{ws}$ esfuerzos cortantes por alabeo.
 $\tau_{w,f}$ esfuerzos cortantes por alabeo, en patines.
 $\tau_{t,f}$ esfuerzo cortante por torsión pura, en patines.
 $\tau_{w,w}$ esfuerzos cortantes por alabeo, en el alma.
 $\tau_{t,w}$ esfuerzo cortante por torsión pura, en el alma.

(W)

w peso propio de la trabe carril.
 W_{ns} función normalizada de alabeo para un punto s de la sección transversal.
 W_{no} función normalizada de alabeo para el patín superior.
 W_{nl} función normalizada de alabeo para el patín inferior.

(X)

x: distancia del extremo izquierdo al punto de interés para obtener el cortante, en la trabe carril.

(Y)

Y_{ij} fuerzas laterales en las ruedas de los extremos deslizantes de la grúa puente.
 y_2 distancia a la fibra superior más esforzada de una sección compuesta.
 $y_1 = y_p$ distancia a la fibra inferior más esforzada de una sección compuesta.

(Z)

Z ubicación del momento torsionante.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES.

BREVARIO SOBRE GRÚAS PUENTES.

1.1 FUNCIONAMIENTO DE UNA TRABE CARRIL.

El funcionamiento de una trabe carril es el de permitir principalmente el traslado de una grúa viajera, en el sentido longitudinal de edificios industriales; ya que en sentido transversal este traslado se da sobre el puente de la grúa. La grúa viajera o grúa puente se compone por el puente en si, apoyado en sus extremos sobre los cabezales que contienen las ruedas que actúan sobre el riel colocado en la trabe carril. La trabe carril transmite los efectos de la grúa puente a las columnas que forman parte de la estructura principal (Fig. 1.1).

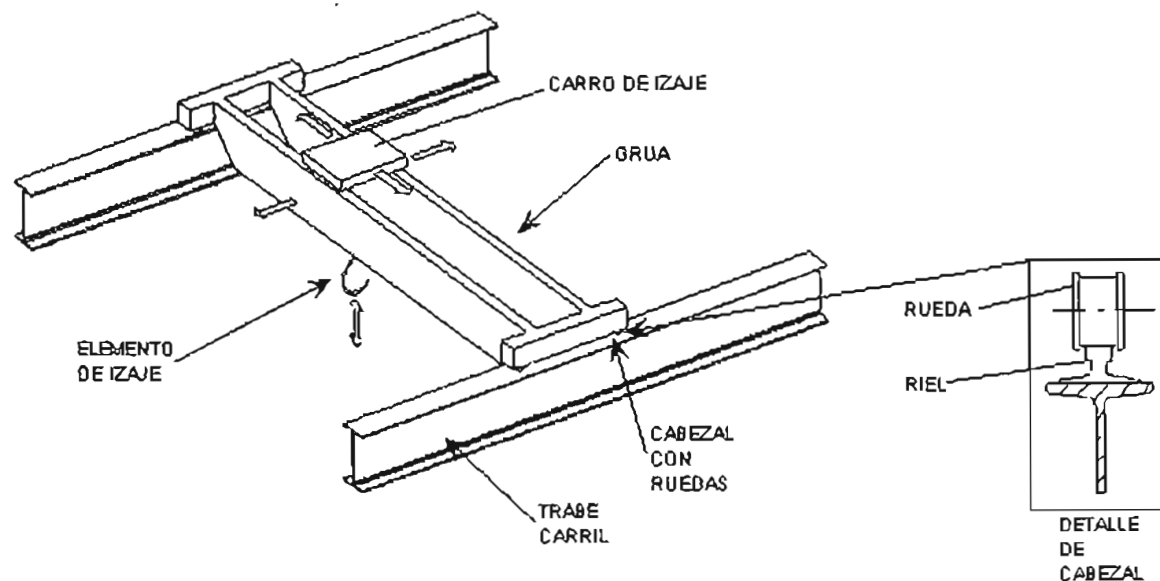


Fig. 1.1 Esquema general de una grúa puente.

1.1.1 TIPOS DE GRÚAS.

El principal propósito de la clasificación de grúas en el SAA Crane Code, AS1418, y en la CMAA - Crane Manufacturers Association of America- es el de distinguir entre grúas que tendrán un pequeño número de aplicaciones de carga y las que estarán sujetas a un número mayor de aplicaciones de estas. El número de aplicaciones de carga es necesario para el diseño de la trabe carril, ya que si es este número de aplicaciones es alto, entonces será necesario el diseño por fatiga.

Cinco clases de grúas son especificadas en AS1418. Las Tablas 1.1 y 1.2 proporcionan el número aproximado de aplicaciones de carga para cada clase de grúa, SAA y CMAA respectivamente, al mismo tiempo que dan ejemplos para cada aplicación de grúa.

TABLA 1.1. CLASIFICACIÓN DE GRUAS SEGÚN ASI418.

Clase de Grúa	No. de cargas aplicadas Bajo la vida de Diseño, $N_{X_{SU}}$	No. común de aplicación de carga por día	Diseño por fatiga	No. de ciclos Para diseño	Ejemplo
1	< 800	<1	NO	-----	Grúas operadas manualmente; grúas en estaciones de energía y grúas de mantenimiento.
2	800 a 20×10^3	<3	NO	-----	Grúa para trabajo mediano.
3	20×10^3 a 0.1×10^6	3 a 16	SI	0.1×10^6	Grúa para trabajo pesado.
4	0.1×10^6 a 0.5×10^6	16 a 80	SI	0.5×10^6	Grúa de contenedores, astilleros, etc.
5	$> 0.5 \times 10^6$	> 80	SI	2.0×10^6	Grúas magnéticas, para material voluminoso, molinos de acero, etc.

El número nominal de aplicación de cargas $N_{X_{SU}}$ es calculado asumiendo el número total de aplicaciones para cada estado de carga.

TABLA 1.2. CLASIFICACIÓN DE GRÚAS SEGÚN C. M. A. A.

Clase de Grúa en base a servicio	No. común de aplicación de carga	Ejemplo
A (Mediano)	1 al día	Grúas para tiendas de mantenimiento pequeñas, laboratorios de pruebas, etc.
B (Ligero)	de 2 a 5 por hora	Grúas para centros de almacenaje en equipo ligero, ensamble de equipo ligero, etc.
C (Moderado)	de 5 a 10 por hora	Grúas para talleres de maquinaria mediana, fabricas de papel, etc.
D (Pesado)	de 10 a 20 por día	Grúas para talleres de maquinaria pesada, fundidoras, etc. Donde por lo regular son operadas desde cabinas.
E (Cíclico)	más de 20 al día	Grúas con equipo de izaje magnético, de tipo "cuchara", etc

Normalmente las traveses carril pueden estar sujetas a un número menor de ciclos de carga que la misma grúa en sí, por que lo más común es que la grúa opera en un mismo lugar de la trabe carril. Esto no esta de acuerdo con el método de estimación del número de ciclos de carga de una grúa, pero otro método conduciría a un completo y engorroso estudio para cada longitud. Esto no es usualmente practico, y ante la ausencia de tal estudio, es conservador el asumir que la trabe carril debe estar en la misma clasificación de la grúa.

Es importante hacer notar, sin embargo, que la región del patín superior de la viga puede estar sujeta a un número mayor de ciclos de carga con un número de ruedas mayor a dos, cuando las áreas son sujetas a un ciclo completo de esfuerzos cada vez que pasa la rueda por un sitio en particular del patín.

1.2 CARGAS.

1.2.1 CARGAS DE DISEÑO.

TIPOS DE CARGAS.

Las grúas y las traveses carril están sujetas a una relativa gran variedad de cargas actuando vertical, longitudinal y horizontalmente. Las dos categorías de cargas principales que actúan en una grúa, y por consiguiente en una traveses carril, son cargas permanentes (carga muerta) y cargas variables; las cargas de magnitud variable son aplicadas en una posición y dirección al azar. Así, la manera para determinar el total de cargas que actúan en las traveses carril, es más difícil que para una estructura común.

Entre las cargas permanentes podemos citar las siguientes:

- Peso propio de la traveses carril.
- Riel y sus fijadores.
- Conductores de energía eléctrica.
- Pasillo de peatones (si es aplicable).
- Algunos otros accesorios permanentes.

Las cargas variables o regulares de servicio pueden ser:

- Peso de carrito cargado o descargado.
- Cargas laterales de las ruedas debido a la tracción o frenado del carrito.
- Cargas longitudinales debido a la tracción o frenado del carrito.
- Impacto del izaje de la carga.

Las cargas no frecuentes de servicio suelen ser:

- Carga de viento en servicio (mayores a 20 m/s) con la grúa en operación, para grúas expuestas al viento.
- Cargas de viento total (con un período de retorno de 50 años) con grúas sin cargar y estacionaria.
- Carga lateral de ruedas debido a irregularidades de alineamiento del riel.
- Cargas especiales debido al estacionamiento de esta, cambios restringidos por cambio de temperatura, interacción con la estructura en construcción, sismo, nieve y hielo cuando sea aplicable.

Cargas poco comunes:

- De impacto ó choque.
- De impacto debido a características mecánicas (como atascamiento de ruedas, choque de carga izada, etc.).
- De impacto de la guía rígida al izaje de objetos estacionarios.
- Cargas de ensayo.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Esta lista de cargas no tiene un carácter de exhaustiva, otras cargas peculiares de la estructura en particular como condiciones de operación ó de medio ambiente pueden identificarse y considerar para el diseño.

Normalmente más de un tipo de carga puede actuar en la trabe carril y la manera en que son combinadas recibe una cuidadosa atención. Una regla general es considerar la posición más desfavorable, así como las magnitudes mayores en combinaciones que realmente pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.

Las cargas regulares de servicio cambian para diferentes tipos de trabes carril y éstas son frecuentemente repetidas, y pueden producir un número mayor de ciclos de esfuerzos en la estructura. Por esta razón, puede ser necesario el analizar la trabe carril para diferenciar cuando las cargas regulares son incluidas en las combinaciones de carga.

1.2.2 CARGAS VERTICALES DE RUEDAS.

Estas cargas fluctúan durante el levantamiento y viajes horizontales, y su valor estático debe incrementarse por un apropiado factor tomado de un informe de máximos valores.

1. Levantamiento.

Las cargas verticales originadas por el levantamiento de artículos tienen su máximo valor a corto plazo, el cual es el momento de activarse el motor de izaje. La razón de la máxima carga de levantamiento dinámico y, el valor estático de esta es determinado por el factor de levantamiento. El máximo valor de reacción de la rueda es dado por:

$$P^*_H = P_H K_H = P_{DV} + P_{DW} \dots\dots\dots (1) \quad (\text{de acuerdo a AS1418})$$

Donde P_H es la reacción de la rueda debido a la carga de izaje incluyendo el peso de la carga a izar, y K_H es el factor de levantamiento dado en AS1418 el cual tiene un valor de:

$$K_H = 1.15 + 0.35V_H \dots\dots\dots (2)$$

El AS1418 relaciona así el factor de levantamiento para la velocidad de izaje, V_H . En realidad la máxima aceleración (típicamente entre 0.05g y 0.25g) es usada para determinar K_H pero este valor no esta normalmente disponible. Para un riguroso análisis dinámico de cargas estrictamente hablando, es necesario también el considerar el tiempo requerido para alcanzar la velocidad de izaje, el tamaño de las ruedas y la estructura de la grúa.

Algunos valores típicos para el valor de K_H son dados en la Tabla 1.2. Para más información, la lectura es referida en AS1418.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

TABLA 1.3. VELOCIDADES Y FACTORES DE IZAJE TÍPICOS.

Tipo de grúa	V _H en m/s	K _H
Grúa de mantenimiento, Clase 2.	0.05 – 0.10	1.16 – 1.18
Grúa de aplicaciones generales, Clase 3, carga segura de trabajo, SWL, superior a 200 KN	0.10 – 0.20	1.18 – 1.22
Grúa para manejo de volúmenes.	0.32 – 0.40	1.26 – 1.30
Grúa para manejo de desperdicios industriales.	0.40 – 0.63	1.29 – 1.37

2. Viaje horizontal.

La fluctuación de las cargas verticales durante el viaje horizontal ocurre por tres principales razones, las cuales son:

- Impacto causado por el paso ó irregularidades de la superficie de desplazamiento.
- Excentricidad de ruedas causadas por un uso desigual.
- Cargas dinámicas originadas por el movimiento de la grúa.

Para determinar la máxima carga de las ruedas se debe aplicar el factor K_D a las cargas estáticas:

Máxima carga vertical causada por el izaje de artículos estando en reposo la grúa es:

$$= P_{GH}K_D \dots\dots\dots (3)$$

Máxima carga vertical causada por el izaje de artículos estando en movimiento la grúa es:

$$= P_H K_H K_D = (P_{GW} + P_{GV}) K_H K_D \dots\dots\dots (4)$$

$$= P_{DW} K_D + P_{DV} K_D$$

Donde P_{GH} es la reacción de la rueda debido al peso de la grúa puente y la cabina de izaje, P_H es la reacción de la rueda debido al peso de la carga de izaje a atacar y K_H es el factor de izaje (ver ecuación 2).

La máxima carga total de la rueda es por lo tanto dada por:

$$P^*_H = P_{GH}K_D + P_H K_H K_D \dots\dots\dots (5)$$

El factor K_D debe tomar el valor de alguno de los siguientes, según AS1418:

Clase de grúa	Factor K _D
1	1.00
2	1.05
3	1.10
4	1.15
5	1.20

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Puede verse, que en cuanto AS 1418 concierne, el factor K_D depende de una clasificación de la grúa. Esta puede ser una alternativa más realista al relacionar el tipo de trabe carril y su riel con la grúa, la cual puede ser la forma más probable de influencia directa de la carga de la rueda en el viaje horizontal.

Una anomalía en AS1418 es que el factor K_D es aplicado al máximo valor, P^*_{H} , reacción de la rueda causado por el movimiento vertical de la carga. Esta es en efecto la suposición para que ambos efectos máximos puedan ocurrir simultáneamente, pero esto es más improbable que ocurra en la práctica. El documento fuente DIN15018 no requiere ambos factores (K_D , K_H) para aplicarlos a P_H .

Para ilustrar la fluctuación de carga de las ruedas de la grúa puente sobre la trabe carril en servicio se presenta la Fig. 1.2, que muestra el comportamiento típico de la carga vertical de la rueda en su desplazamiento sobre la grúa puente a través del tiempo.

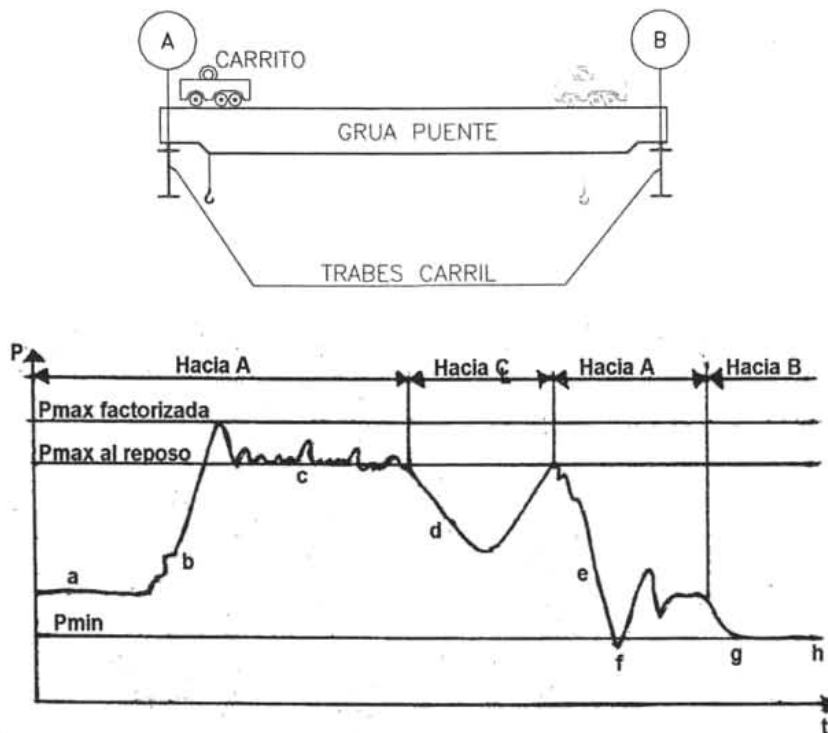


Fig. 1.2 Fluctuación de la reacción de una grúa puente en el punto "A" de la rueda sobre la trabe carril en un ciclo de trabajo.

- A – el reposo, no cargada. B – empezando el izaje de carga. C – movimiento en el viaje longitudinal.
 D – movimiento de carrito. E – empezando descarga. F – súbito deposito de carga.
 G – movimiento del carrito. H – al reposo, no cargada.

Un problema experimentado con los fabricantes de grúas es que en los datos solamente la carga estática total de la rueda la dan sin la componente de frenado, generando así una dificultad para calcular P^*_{H} . La siguiente expresión da una buena estimación de la carga máxima vertical de la rueda:

$$P^*_{H} = P_{MS}K_D + P_H [(K_H - 1) + (K_H - 1)(K_D - 1)] \dots\dots\dots (6)$$

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Donde P_{MS} es la máxima reacción de la rueda bajo condiciones estáticas que es dado o cotizado en los catálogos de fabricantes y P_H es calculado como sigue:

$$P_H = P_{GL} (S_T - G_{min}) / (S_T - N_W) \dots \dots \dots (7)$$

Donde P_{GL} es la carga de izaje sin factorizar incluyendo aparatos de izaje, S_T es la distancia centro a centro de los rieles guías, N_W es el número de ruedas en un extremo del puente y G_{min} es la mínima distancia entre centro del riel y el bloque de izaje (ver Fig. 1.3).

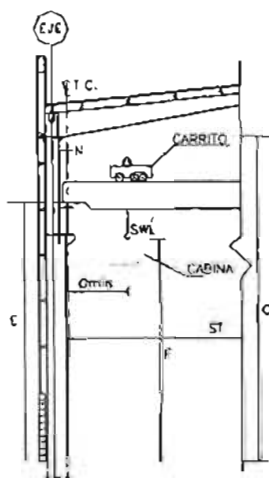


Fig. 1.3 Dimensiones principales de la trabe carril en interacción con la estructura y grúa.

Donde:

C = altura libre, E = altura a la parte superior del riel, F = altura para gancho requerida, G = distancia mínima de gancho aprovechada, N = distancia del riel a la columna, ST = tamaño de grúa puente, SWL = carga segura de trabajo.

1.2.3 CARGAS LATERALES DEBIDO AL MOVIMIENTO DEL CARRITO.

La aceleración y frenado en el movimiento del carrito produce fuerzas de inercia actuando transversalmente en la trabe carril. En teoría, estas fuerzas son proporcionales a la masa y a la aceleración del carrito, pero en la práctica es delimitado por una fuerza máxima de fricción que puede ser sustentada sin el patinaje de la rueda.

Por lo tanto:

$$P_{LT} = P_{min} (\mu n) N \dots \dots \dots (8)$$

Donde P_{LT} es la carga lateral debido al movimiento del carrito, m es el factor dinámico igual a 1.5, y N es el número de ruedas manejadas, tomando el valor de μ como 0.2 y P_{min} como un cuarto del peso de la cabina y N como 2, la carga lateral es:

$$P_{LT} = P_{TG} (0.25)(0.2)(1.5)(2) = 0.15P_{TG} \dots \dots \dots (9)$$

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES

Donde P_{TG} es el mayor peso del carrito solo (sin la carga a izar). La carga P_{LT} puede ser considerada como igualmente distribuida en toda rueda de la grúa, donde es improbable que esta carga gobierne el diseño.

El razonamiento realizado anteriormente para la simple formulación de la ecuación (8) es el siguiente: el diseño mecánico de las unidades de manejo requieren que los esfuerzos de tracción puedan ser transmitidos a través de las ruedas de manejo, sin patinaje cuando este la grúa sin cargar. Así, la fuerza de tracción no puede ser mayor que el producto de la mínima reacción en la rueda, y el coeficiente de fricción μ igual a 0.20. Esta es incrementada para el propósito de cálculos estructurales, usando un factor dinámico de 1.5. En la práctica, la fuerza de tracción es usualmente menor a esta alta estimación para evitar que la aceleración no exceda de 0.05g.

Substancialmente, cargas mayores son dadas en AISE en el reporte técnico No. 13, el cual refleja la práctica usada en los Estados Unidos de Norteamérica permitiendo para izaje vertical "inadecuado" e impacto de cabina contra los topes finales en la grúa puente. Los siguientes valores de las fuerzas laterales son extraídos de esta referencia.

Tipo de grúa	Fuerza lateral % de swl
Grúa de fabrica	20
Grúa cucharón	20
Grúa magnética y de almeja.	50
Perforaciones en sitios húmedos.	100
Grúa de destrucción.	100
Grúa de mantenimiento.	15

1.2.4 CARGAS LATERALES DEBIDO A ASIMETRÍA DINÁMICA.

La tracción generada por las unidades de manejo para viaje longitudinal idealmente tiene su punto de aplicación en el centro de masas de la grúa, para evitar así alguna rotación de la grúa en el plano horizontal. Cuando la resultante de las fuerzas de tracción no pasa a través del centro de masas es generado un par, causando así un momento M_s de sesgamiento en cada tiempo en que la grúa es acelerada o frenada:

$$M_s = R_T J \dots\dots\dots(10)$$

Donde R_T es la resultante de las fuerzas de tracción, $R_T = \sum P_T$, y J es la excentricidad con respecto al centro de masas de la grúa incluyendo la carga a izar como es mostrado en la Fig. 1.4. La diferencia entre grúas equipadas con tipo E y tipo W en unidades de manejo es la siguiente:

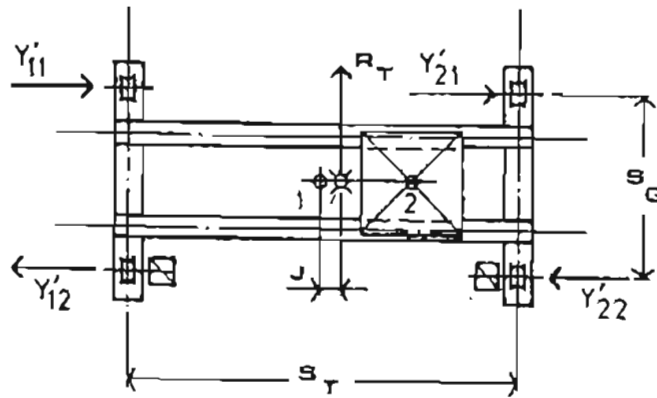


Fig1.4 Fuerzas laterales debido a asimetría dinámica.

Tipo E: son caracterizadas por una igual fuerza de tracción en ambos lados de la grúa puente, y por lo tanto, la resultante de las fuerzas de tracción es localizada en el centro de claro del puente.

Tipo W: teóricamente produce fuerzas de tracción que son proporcionales a las cargas de las ruedas, y por lo tanto, la resultante de las fuerzas de tracción coincide con el centro de masas de la grúa incluyendo la carga de izaje.

Las fuerzas laterales debido a la aceleración o frenado son calculadas por:

$$(Y'_{11} + Y'_{21})S_G = R_T J \dots\dots\dots(11)$$

Donde \$S_G\$: es la distancia entre centros de ruedas (ver Fig. 1.4).

- Para un sistema de manejo EFF¹, \$Y'_{11} = Y'_{21}\$ y \$Y'_{12} = Y'_{22} = -Y'_{11}\$

Entonces el máximo valor de la resultante de las fuerzas de tracción es dado por:

$$R_T = P_{min}(\mu m) N = P_{min}(0.30) N \dots\dots\dots(12)$$

Donde N es el número de ruedas manejadas.

$$Y'_{11} = Y'_{21} = -Y'_{12} = -Y'_{22} = R_T J / 2S_G = 0.15(N)(P_{min})J / S_G \dots\dots\dots(13)$$

- Para sistemas de manejo tipo WFF², la excentricidad J es teóricamente nula justamente antes de iniciar el patinaje, y consecuentemente, las fuerzas laterales \$Y'_{11}\$, etc., también son nulas. Sin embargo, debido a las condiciones de variabilidad en la superficie de los rieles, están sujetas a algunas fuerzas que son usadas como el tipo EFF.

Nota: La designación total de sistemas de manejo para grúas puentes, contiene a otros dos tipos:

¹ Sistema de manejo de la grúa tipo E, con sistema de guía en el lado derecho e izquierdo de la grúa puente, donde estas guías pueden ser guías sobre un riel.
² Sistema de manejo de la grúa tipo W, con sistema de guía en el lado derecho e izquierdo de la grúa puente, donde estas guías pueden ser guías sobre un riel

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

EFL : Sistema de manejo tipo E con solamente sistema de guías en el lado izquierdo de la grúa puente, mientras en el lado derecho las ruedas pueden moverse libremente en forma lateral.

WFL : Sistema de manejo tipo W con solamente sistema de guías en el lado derecho de la grúa puente, mientras en el lado izquierdo las ruedas pueden moverse libremente en forma lateral.

1.2.5 CARGAS LATERALES DEBIDO A VIAJE OBLICUO.

El viaje oblicuo es un término usado en el código de grúas, con la tendencia de éstas a serpentear su movimiento o viaje en la dirección transversal. El viaje oblicuo es experimentado cuando en la fabricación de las traveses se tiene algún defecto de acabado. El comportamiento de las grúas fue sujeto a exhaustivos estudios en Alemania y el método de cálculo de las fuerzas involucradas fue principalmente desarrollado por Hannover.

La secuencia de eventos durante el viaje oblicuo es generalmente el siguiente:

- 1.- La grúa asume una posición oblicua por alguna razón cualquiera, y entonces continua oblicua hasta el principal borde del elemento guía, como el contacto con el lado del riel (o guía rodada si existe).
- 2.- La fuerza lateral en el lado del riel se incrementa hasta alcanzar el máximo valor, P_{OT} , algunos casos termina transmitiendo la fuerza al elemento guía (ver Fig. 1.5).
- 3.- Debido a la acción de esta fuerza la grúa retorna a su propio curso momentáneamente.

Imperfecciones en la fabricación de la grúa e inadecuado mantenimiento incrementan la tendencia del viaje oblicuo. Algunos de las imperfecciones usualmente vistas en las grúas son:

- Falta de paralelismo en los ejes de las ruedas.
- Diferencia en los diámetros de las ruedas.
- Diferencias en las características de velocidad/torque de las unidades individuales de manejo.
- Mal alineación de los rieles, y mala condición en la superficie de rodamiento.

El máximo valor de la fuerza de viaje oblicuo actuando en el borde principal del riel (o guía rodada si existe) es:

$$P_{OT} = (1 - \sum Z_j / C N_w) K_o P_G \dots \dots \dots (14)$$

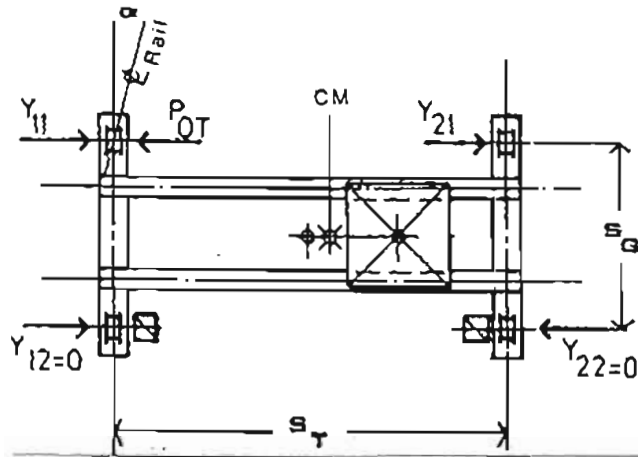


Fig. 1.5 Fuerzas laterales debido a viaje oblicuo.

Donde Z son las distancias al eje (ver Fig.1.5), C es la distancia al polo de rotación, K_o es el coeficiente de impedimento o es definido en AS1418 como el coeficiente de contacto friccional, y P_G es el mayor peso de la grúa y de la carga a izar.

La distancia del eje de la rueda principal al polo de rotación de la grúa puente es calculada por:

$$C = (NsJ_1J_2 + \sum Z_j^2) / \sum Z_j \dots\dots\dots(15)$$

Donde N_s es el número de ruedas pares sincronizadas, J₁ y J₂ son las distancias al centro de masas (incluyendo la masa de la carga a izar), y Z₁, Z₂,Z_j son las distancias del eje principal al eje existente considerado.

El número de ruedas N_w es para efectos mecánicos un número par, N_s y N_w son listados abajo para 4 ruedas en la grúa:

	Tipo E	Tipo W
N _w	2	2
N _s	0	1

El coeficiente de arrastre lateral K_o fue establecido de un reporte de trabajo, en función del ángulo de sesgamiento, α (expresado en radianes):

$$K_o = 0.30(1 - e^{-250\alpha}) \dots\dots\dots(16)^3$$

El ángulo de sesgamiento depende de la cantidad de espacio libre en el patín, espacio libre causado por el uso del riel y de los patines, y de las desviaciones geométricas de la grúa. El AS1418 da las siguientes expresiones para el ángulo de sesgamiento:

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_w + \alpha_o \geq 0.15 \text{ rad} \dots\dots\dots(17)$$

Donde: $\alpha_f = 0.75C_T/S_G$; $\alpha_w = 0.10B_T/S_G$; $\alpha_o = 0.001$

³ AS1418 usa ligeramente modificado esta expresión donde α es definido en términos de gradiente. Para el gradiente de 1 en 1000 corresponde a un ángulo de 0.001 radianes.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Para grúas sin lados rolados. En esta expresión, C_T es la distancia libre entre los bordes y el riel con variedad de grúa a grúa pero es raramente menor que 5 mm. B_T es el ancho de la cabeza del riel y S_G es el ancho de la base de la rueda.

Los valores de K_o son tabulados a continuación:

α (rad)	0.004	0.006	0.008	0.010	0.015
K_o	0.190	0.233	0.259	0.275	0.293

La magnitud de la fuerza P_{OT} varía con la posición del centro de masas dado por las distancias J_1 y J_2 , y puede ser visto en la ecuación (14). Este alcanza el valor máximo cuando la grúa viajera esta en el extremo opuesto, por ejemplo cuando J_1 es el máximo.

El borde la rueda principal (o guía rolada cuando existe), impide la continuidad de la grúa en la dirección inicial oblicua del viaje; la grúa es obligada al patinazo oblicuo en su viaje hacia delante. Estos patinazos inducen fuerzas de fricción en las otras ruedas y la magnitud de las fuerzas de patinaje (designadas como P_{OTW} en AS1418) son semejantes a las fuerzas que mantienen el equilibrio. Para ejemplo de fuerzas laterales, resultado de un contacto perimetral de una grúa de cuatro ruedas por cada trabe carril son representadas en la Fig. 1.6.

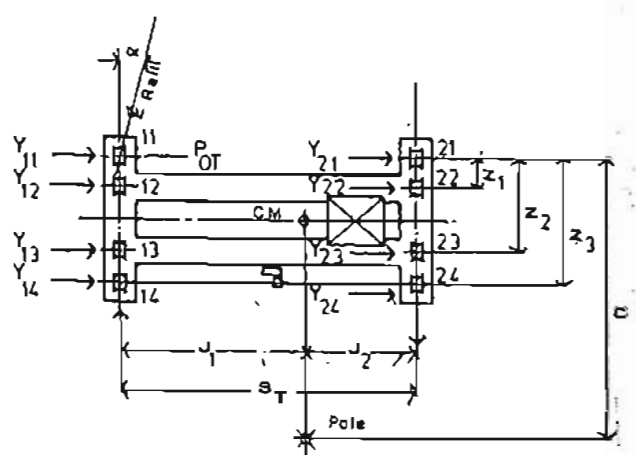


Fig. 1.6 Fuerzas de viaje oblicuo de 8 ruedas en un sistema de manejo WFF.

El efecto equilibrio es fuerte en la trabe carril, el cual concierne a la fuerza P_{OT} actuando en el borde de la rueda 11; esta es opuesta para la fuerza Y_{11} dando como resultado $H_{11} = P_{OT} - Y_{11}$ y para la trabe carril 2: $H_{21} = Y_{21}$

Fuerzas laterales adicionales a otras ruedas son generadas por grúas equipadas con unidades de manejo EFF, con más de dos ruedas por lado, y para todas las grúas equipadas con sistema de manejo WFF.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Estas fuerzas (Tabla 1.4) son calculadas de acuerdo con la fórmulas en AS1418. La Fig. 1.6 muestra la localización y orientación de estas fuerzas. La Tabla 1.4 es adaptada de AS1418 para una rápida referencia.

TABLA 1.4. FUERZAS LATERALES DEBIDO A VIAJE OBLICUO.

Descripción	Fórmula
Distancia al polo de desvío. - para sistema EFF - para sistema WFF	$C = \Sigma Zi^2 / \Sigma Zi$ $C = (\Sigma Zi^2 + N_S J_1 J_2) / \Sigma Zi$
Fuerza conductora	$P_{OT} = (1 - Zi / C N_w) K_O P_G$
Fuerzas laterales en lado 1: - Rueda principal - Otras ruedas	$Y_{11} = J_2 / S_T [(1 - Z_1 / C) / N_w] K_O P_G$ $Y_{1i} = J_2 / S_T [(1 - Z_i / C) / N_w] K_O P_G$
Fuerzas laterales en lado 2: - Rueda principal - Otras ruedas	$Y_{21} = (J_1 / J_2) Y_{11}$ $Y_{2i} = (J_1 / J_2) Y_{1i}$

1.2.6 CARGAS LONGITUDINALES DEBIDO AL FRENADO Y ACELERACIÓN.

La aceleración y frenado de la grúa puente produce fuerzas longitudinales resistidas por la trabe carril. Una estimación alta de las fuerzas de frenado puede ser obtenida al asumir que los frenos son bastantes fuertes para abrazar la rueda. El máximo coeficiente friccionante justo para un buen amarre es 0.30, dando la fuerza de frenado:

$$PLB = 0.30 P_{min} N_B \dots \dots (18) \quad (\text{para sistema de manejo E})$$

En contraste, AISE en su reporte técnico No.13 recomienda que la carga debido a frenado puede ser de 20% de la suma de las reacciones de las ruedas de manejo (frenado). Sin embargo, las cargas de frenado de semejantes magnitudes no son usuales en la práctica y los fabricantes de grúas dan aviso.

1.2.7 COMBINACIONES DE CARGA.

Para aspectos de ingeniería es requerida una selección de condiciones de cargas para combinaciones. El principio general es el incluir en cada combinación de carga las cargas que puedan razonablemente ocurrir simultáneamente. Sin embargo, no todas las cargas son incluidas en la combinación excepto para alcanzar el máximo valor en un instante de tiempo, esto es necesario para decidir un factor apropiado para usar en cada carga.

**TABLA 1.5. COMBINACIONES DE CARGA Y FACTORES DINÁMICOS
(ADAPTADO DEL ASI418).**

Tipo	Cargas	En servicio sin viento						En servicio con viento			Fuera de servicio / diseño de viento		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	Debido al peso de la grúa puente y el riel. PGH	KD	KD	KD	KD	KD	KD	0.9KD	0.9KD	0.9KD	1.0	1.0	1.0
B	Debido al peso de las partes de movimiento vertical. PGV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
C	Debido a efectos de inercia de las partes de movimiento vertical. PDV	KD	KD	KD	KD	KD	KD	0.9KD	0.9KD	0.9KD	0.0	0.0	0.0
D	Debido a efectos de inercia por izaje de carga (carga segura de trabajo) PDW (ver nota 2)	KD	KD	KD	KD	KD	KD	0.9KD	0.9KD	0.9KD	0.0	0.0	0.0
E	Debido al inicio de izaje. POL	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
F	Debido a efectos de inercia producido por movimiento lateral de la cabina, por aceler. de la grúa puente. PIC, (ver nota 3)	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
G	Debido a efectos de inercia por cargas (colisión de carga con obstáculos), PIL	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H	En servicio con viento en grúa solamente. PWC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
I	En servicio con viento en carga izada. PWL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0
J	Fuera de servicio con viento en grúa. POW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0
K	Carga por viaje oblicuo. POT	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
L	Carga por impacto de choque. PBI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
M	Debido a expansión térmica (si es restringido), PTE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.75	0.0
N	Cargas especiales debido a manufactura, tránsito, etc. PX	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.75

Notas:

(1) Combinaciones de carga 1 y 2 son repetitivas y requieren análisis por fatiga. Solamente análisis por esfuerzos de trabajo son requeridos para las combinaciones del 3 a 12.

(2) Cargas PDV y PDW son obtenidas por multiplicar los pesos relevantes por el factor KH.

(3) Carga PIC es tomada para cada PLT o Y',.

Para simplificar esta difícil tarea, ASI418, SAA Crane Code, especifican las combinaciones de carga a usar para diseñar grúas puentes y otros elementos de grúa. Una versión simplificada de la tabla de combinaciones de carga de ASI418 es reproducida en la Tabla 1.5 para usarse en el diseño de traveses carril. Las diferencias notables entre ASI418 y la Tabla 1.5 son:

- a) La carga de viaje oblicuo POT no es combinada con la fuerza de inercia PIC ya que en cuanto a traveses carril no son de importancia, estas son también conservadoras. DIN15018 (ver Tabla 1.6) no requieren de semejante combinación.
- b) Las condiciones de carga son agrupadas para las combinaciones 1 y 2 referentes a cargas frecuentemente repetidas y estas son solamente usadas cuando requieren análisis por fatiga (clase 3, 4 y 5 de grúas).

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Estas son conocidas por el SAA Crane Code bajo un repaso regular y las combinaciones dadas pueden ser modificadas en el futuro.

Una versión abreviada de la tabla de combinaciones de carga del código DIN15018 es incluida en la Tabla 1.6, para el lector que se interese en la derivación de la tabla para AS1418. Las combinaciones de carga son divididas en tres grupos:

- 1) Cargas repetidas frecuentemente, por ejemplo, combinaciones de carga resultado de un uso normal de la grúa.
- 2) Combinaciones de carga que no ocurren frecuentemente.
- 3) Combinaciones de carga especiales.

TABLA 1.6 COMBINACIONES DE CARGA MODELADAS EN DIN15018.

Tipo	Cargas	Símbolo	Combinación de carga número								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frecuentes	Peso de la grúa puente yriel.	PGH	KD	KD	1.0	KD	1.0	1.0	KD	KD	1.0
	Carga izada incluyendo equipo de izaje.	PH	KH	KH	0.0	KH	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0
	Peso de equipo de izaje sin incluir carga.	PGV	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0
	Fuerzas de inercia debido a viaje longit.	PICT	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Poco frecuentes	Fuerzas de inercia debido a viaje de la grúa puente (viaje transv.).	PICB	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
	En servicio con cargas de viento.	PIWC	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fuera de servicio con cargas de viento en grúa.	POW	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Especiales	Cargas por viaje oblicuo.	POT	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Cargas de impacto debido a colisión entre la carga izada y obstáculos fijos.	PCL	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Cargas de impacto debido a choque.	PBI	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
	Cargas por prueba de grúa.	PT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0
	Otras cargas especiales (ver nota 1).	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0

Nota 1:

- 1.1. Efectos de temperatura, cargas de pasillo, y cargas de tránsito solamente necesitan ser consideradas en casos especiales.
- 1.2. Cargas frecuentes en combinaciones de carga 1 y 2 deben ser incluidas en el análisis por esfuerzos de trabajo y por fatiga.
- 1.3. Cargas poco frecuentes combinadas con cargas frecuentes en combinaciones de carga 3 y 4 solamente son consideradas en el diseño de esfuerzos por trabajo.

La repetición frecuente de algunas cargas, usualmente generan un gran número de fluctuaciones de esfuerzos y por esta razón es necesario el realizar dos análisis independientes de esfuerzos:

- i) Análisis de esfuerzos de trabajo normal, para una simple aplicación de la más desfavorable combinación de carga.
- ii) Análisis de fatiga para la combinación de carga esperada para generar más de 100 000 ciclos de fluctuaciones de esfuerzo durante la vida de diseño (50 años).

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES

Solamente para cargas especiales y cargas poco frecuentes es requerido el análisis de esfuerzos normal. Además, no son usados los factores de amplificación dinámica con los casos especiales de combinación de carga, porque estos ocurren solamente una o dos veces en la vida útil de la trabe.

La Tabla 1.5 excluye cargas debido al peso propio de la trabe carril incluyendo el riel, fijadores de riel y otros accesorios. La tolerancia hecha por esta puede ser superpuesta en todas las combinaciones de carga.

El máximo ó crítico esfuerzo es obtenido por superponer los esfuerzos debido a cada tipo de carga en la combinación de carga; por ejemplo, la combinación 2 requiere los esfuerzos debido a los siguientes cargas a superponerse:

$$P_{GHK_D}, P_{DvK_D}, P_{DwK_D}, P_{OL}$$

(no incluido el peso propio en las consideraciones)

1.3 DISEÑO DE UNA TRABE CARRIL.

Una definición breve acerca de las trabes carril menciona que es un elemento del sistema de grúas, sujetas en su parte superior a cargas verticales y a fuerzas horizontales originadas por el trabajo que lleva a cabo el sistema de grúas. Consecuentemente, una viga carril debe ser diseñada para la combinación de flexión alrededor de sus ejes principales.

Salmon y Gaylord presentaron en el AISC (American Institute of Steel Construction) especificaciones para la torsión lateral, donde la intensidad de pandeo es debido a la carga aplicada a una altura sobre el eje neutro de la viga. Si la carga es aplicada arriba del eje neutro (por ejemplo, en el patín superior de la viga, como el caso de una trabe carril), la resistencia al pandeo ante cargas laterales es reducida. En adición, la carga lateral del sistema de grúas es aplicada en el nivel del patín superior, generando un momento de giro en la viga. Cuando las cargas laterales y verticales son aplicadas simultáneamente, estos dos efectos se acumulan. Para compensar a estos, es común en la práctica asumir que la carga lateral debido al momento de giro son resistidas solamente por el patín superior. Con esta suposición Salmon y Gaylord sugieren que la estabilidad lateral de una viga de este tipo esta sujeta a una flexión biaxial, de otra manera típicamente no sería afectada la sección por el momento flexionante (M_y) en el eje débil. Consecuentemente, el apropiado esfuerzo permisible a flexión (F_b) para la flexión combinada es basada en el criterio $F_b = 0.6F_y$ para una sección sin soporte lateral.

Otros criterios relacionados al diseño de trabes carril es referido en el AISC a especificaciones de "pandeo lateral del alma" (sección K1.5). Este criterio es incluido para prevenir el pandeo en el patín a compresión de la viga, cuando los patines no son restringidos por sujetadores de rigidez y son objetos de cargas concentradas. Esta forma de fractura puede predominar cuando el patín a compresión es arriostrado en intervalos con el patín a tensión ó cuando al sección es usada donde al patín a compresión es mayor que el patín a tensión (por ejemplo, una viga de patín ancho con un canal en el patín superior). La máxima carga concentrada permisible es usada como criterio límite en este modo de pandeo.

Estos criterios no son comúnmente usados a vigas sujetas simultáneamente a múltiples cargas de ruedas.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

Para traveses carril los siguientes procedimientos de diseño son recomendados para una seguridad adecuada donde la fatiga no es un factor importante.

1. Calcular los momentos de inercia requeridos (I_x e I_y) para satisfacer los criterios de deflexión:

$L / 600$ a $L / 1000$ para deflexiones verticales.

$L / 400$ para deflexiones laterales.

2. Colocar la grúa sobre la trabe carril para el caso más desfavorable ante las condiciones de carga. Esto puede ser llevado con base en las fórmulas planteadas por el AISC para vigas con dos cargas móviles en un claro simple. Para otro arreglo de ruedas el máximo momento está ubicado debajo de la rueda más pesada cuando esta y la resultante equidistan del centro del claro. Para espacios continuos, la determinación del máximo momento de esta forma produce un error. El uso de una computadora para el caso de claros continuos es recomendable.
3. Calcular el momento flexionante M_x y M_y incluyendo efectos de impacto.
4. Seleccionar una sección ignorando los efectos de la carga lateral (M_y) de la forma:

$$S_x = M_x / F_{bx}$$

donde F_{bx} es obtenido del AISC según ecuaciones del capítulo F.

5. Checar esta sección usando:

$$(M_x / S_x) + (M_y / S_t) \leq 0.6F_y$$

S_t : módulo de sección medio de la sección alrededor del eje y . Para vigas roladas sin canal en la parte superior, S_t puede tomarse como $1/2$ del total S_y de la sección, entonces solamente el patín superior resiste las cargas laterales de la grúa. Para traveses carril con un canal en la parte superior S_t es el módulo de sección del canal y del área del patín superior. Los valores de estos parámetros son dados en el manual AISC para varias combinaciones de secciones W con canales. En el mismo manual también se lista valores para I_x , S_1 , S_2 y Y_1 . Las S_1 y S_2 se refieren al módulo de sección para el patín inferior y superior respectivamente, Y_1 es la distancia del patín inferior al centroide de la sección; así mismo proporciona los momentos de inercia del "patín superior" de la combinación de la sección W y el canal.

6. Checar la sección con respecto al pandeo lateral del alma como es descrito en la sección K1.5 de las especificaciones del AISC.
7. Checar esfuerzos longitudinales de flexión locales en el patín superior.
8. Cuando la fatiga es una consideración, el procedimiento antes dicho puede ser alterado para el rango de esfuerzos por fatiga permisibles, como de manera general se cita:

"La fatiga como se entiende en varios textos referidos al tema, se define como el daño que, después de un cierto número de fluctuaciones de esfuerzo, puede terminar en fractura. El intervalo de esfuerzos se define como la magnitud de estas fluctuaciones. En caso de inversión de esfuerzos, el

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

intervalo debe considerarse como la suma numérica de esfuerzos máximos repetidos de tensión y de compresión, o, como la suma de esfuerzos cortantes máximos en direcciones opuestas en un punto dado, que resultan de diferentes distribuciones de carga viva”.

Dado que en el diseño por fatiga se toma en cuenta el número de ciclos de carga, en la Tabla 1.7 se muestran las condiciones de carga.

TABLA 1.7 CONDICIONES DE CARGA SEGÚN CICLOS DE CARGA.

Condiciones de carga	Desde	Hasta
1	20 000 ^a	100 000 ^b
2	100 000	500 000 ^c
3	500 000	2 000 000 ^d
4	más de 2 000 000	

^a equivalente a aproximadamente a dos aplicaciones diarias durante 25 años.

^b equivalente a aproximadamente a diez aplicaciones diarias durante 25 años.

^c equivalente a aproximadamente a cincuenta aplicaciones diarias durante 25 años.

^d equivalente a aproximadamente a doscientas aplicaciones diarias durante 25 años.

El esfuerzo máximo no podrá exceder del esfuerzo básico permisible estipulado anteriormente, ni la amplitud de la variación de esfuerzos excederá de los valores en la Tabla 1.8.

TABLA 1.8 AMPLITUD DE VARIACIÓN DE ESFUERZOS PERMISIBLES, F_{sr} Kg/cm².

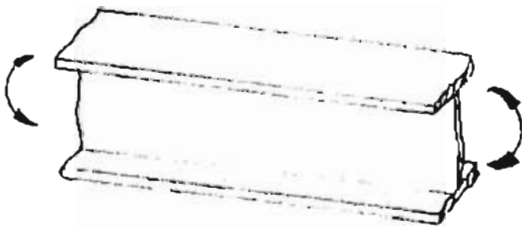
Categoría (de la Tabla 1.9)	Condición de Carga 1, Fsr1	Condición de Carga 2, Fsr2	Condición de Carga 3, Fsr3	Condición de Carga 4, Fsr4
A	4220	2530	1690	1690
B	3160	1930	1270	1130
C	2250	1340	910	700 ^a
D	1900	1130	700	490
E	1480	880	560	350
F	1060	840	630	560

^a Se permite una amplitud de variación de esfuerzos de flexión de 840 Kg/cm² en el pie de la soldadura, de alisadores en alma o patines.

TABLA 1.9⁴ TIPO Y LOCALIZACIÓN DE LOS COMPONENTES.

Condiciones Generales	Localización	Tipo de Esfuerzo ^a	Categoría de Esfuerzo (Tabla 1.7)	Ver Fig. 1.7
Material simple	Metal base en perfiles o placas sin conexiones ni soldaduras.	T ó Rev	A	Caso 1
Miembros armados	Metal base y metal de soldadura en miembros sin piezas conectadas, armadas con placas o perfiles con soldadura continua de ranura de penetración completa o parcial, o soldaduras continuas de filete paralelas ala dirección del esfuerzo aplicado.	T ó Rev	B	Caso 2

Caso 1



Caso 2

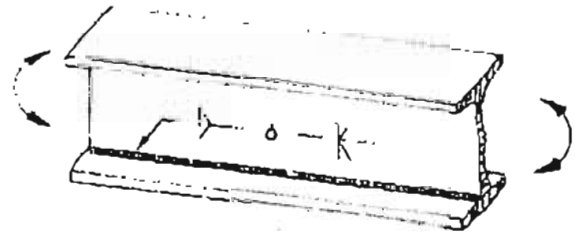


Fig. 1.7 Miembros tipo por revisión de estructura por fatiga.

⁴ Tabla con casos aplicables a traveses roladas y/o traveses armadas

TESIS:
“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO II.- EFECTOS DE LA TORSIÓN ORIGINADA
POR LA EXCENTRICIDAD.

CAPÍTULO 2.- EFECTOS DE LA TORSIÓN ORIGINADA POR LA EXCENRICIDAD.

Los casos en que la torsión influye de manera significativa en el diseño de la estructura de acero de un edificio ordinario son relativamente pocos, y se presentan con frecuencia durante la construcción.

En la mayor parte de los edificios, los miembros están restringidos torsionalmente a la largo de su eje por los mismos elementos que les transmiten las cargas que producen la torsión, de manera que ésta no puede exceder ciertos límites, dado que la rotación está limitada por la conexión en los extremos de los elementos transversales. Una situación que se presenta es, por ejemplo, en las vigas de fachada que reciben losa de piso de concreto de un solo lado, la losa produce un momento de torsión uniformemente distribuido, pero al mismo tiempo, restringe la rotación de la viga.

También hay torsión en las barras de estructuras espaciales, por ejemplo, la rotación de un nudo en uno de los marcos de un edificio produce momentos torsionantes en las vigas normales a su plano, que forman parte de otros marcos perpendiculares al primero, de manera que todas las vigas están sometidas a flexión y torsión simultáneas. Sin embargo, la segunda sollicitación es muy pequeña y frecuentemente despreciable, porque el momento de desequilibrio en cada nudo es resistido fundamentalmente por las barras que trabajan a flexión (las situadas en el plano del momento), cuya rigidez angular es muchas veces mayor que la de las piezas en torsión.

Una situación en la cual la torsión puede ser ocasionada en forma directa por las sollicitaciones exteriores que obran sobre el elemento, es el caso típico del eje de un motor, cuyo trabajo principal consiste en la transmisión de un momento de torsión.

La torsión puede ser más importante en estructuras de otros tipos, como traveses carril o puentes; en éstos la carga viva es en ocasiones completamente asimétrica, y no hay elementos transversales que la resistan trabajando en flexión.

Así, la fuerza lateral que la grúa móvil aplica en el hongo del riel produce torsión en la trabe carril (Fig. 2.1a), que puede verse incrementada por carga vertical si el riel no está perfectamente alineado con el alma (Fig. 2.1b). Si el claro de la trabe es grande, o la capacidad de carga de la grúa es importante, la torsión puede llegar a ser predominante en el diseño, lo que obliga a utilizar una trabe carril de sección transversal en cajón o, más frecuentemente, a colocar una armadura horizontal en el nivel del patín superior, que resiste las fuerzas laterales trabajando a flexión y eliminar así la torsión.

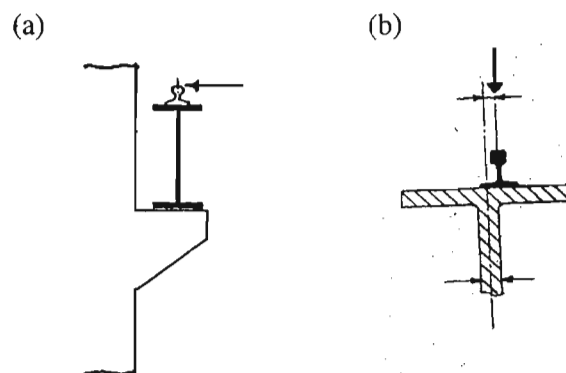


Fig. 2.1 Fuerzas laterales(a) y verticales (b) que provocan torsión en las traveses carril.

2.1 CAUSAS DE TORSIÓN.

Las cargas sobre vigas pueden producir otras acciones, además de los esfuerzos normales de flexión. Esta otra clase de acción es el efecto torsional que se origina, si el plano del momento de flexión no coincide con el centro de cortante en la sección transversal de la viga.

En la Fig. 2.2a, una carga concentrada aparece en el extremo de una viga en cantilever o en voladizo. La ubicación de la carga origina un momento que coincide con el eje vertical del centroide de la sección rectangular de la viga. Esto producirá la deformación mostrada en la Fig. 2.2c, con una distribución simple del esfuerzo de flexión, coincidiendo el eje neutro con el eje centroidal horizontal de la sección de la viga. Si por otra parte, la carga se aleja del centro, como se muestra en la Fig. 2.2b, la viga asimismo se ve sometida a un efecto torsional, el cual produce la deformación mostrada en la Fig. 2.2d.

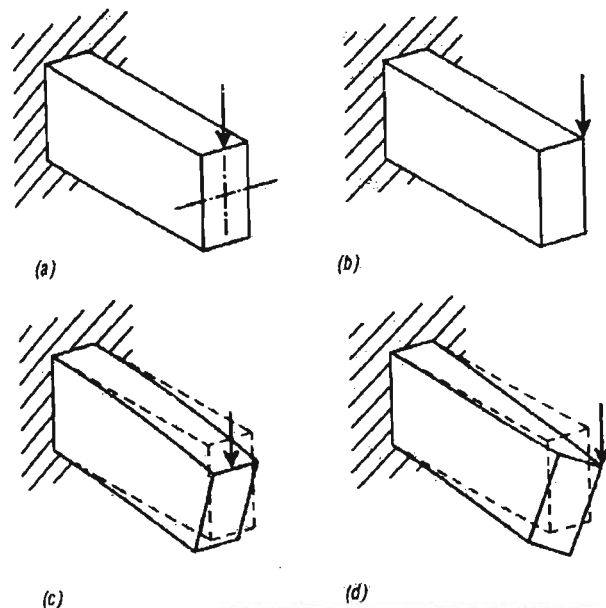


Fig. 2.2 Apreciación del efecto torsión en una sección rectangular de viga.

En vigas con simetría biaxial (simétricas con respecto a ambos ejes centroidales), el centro de cortante coincidirá con el centroide de la sección. Así, en la viga de la Fig. 2.2, el efecto torsional se evita si el plano del momento de flexión coincide con el eje centroidal, como ya se había citado anteriormente. La relación se mantiene para otros perfiles doblemente simétricos, tal como el perfil I de acero mostrado en la Fig. 2.3a.

Para secciones que no tienen eje de simetría paralelo al plano del momento de flexión, tal como el perfil C de la Fig. 2.3c, el centro de cortante se encuentra en un punto fuera del centroide de la sección, aunque siempre se encuentra en cualquier otro eje simétrico que pueda existir (tal como el eje horizontal del perfil C). Para la viga de sección C, la carga y el momento de flexión que no coincida con el eje centroidal vertical (Fig. 2.3c) producirá un efecto de torsión. Si se utiliza como viga, un elemento de sección C debe adaptarse contra la rotación debida a la torsión o hacer que la carga coincida con el centro de cortante, como se indica en la Fig. 2.3d, si ha de evitarse el esfuerzo de torsión.

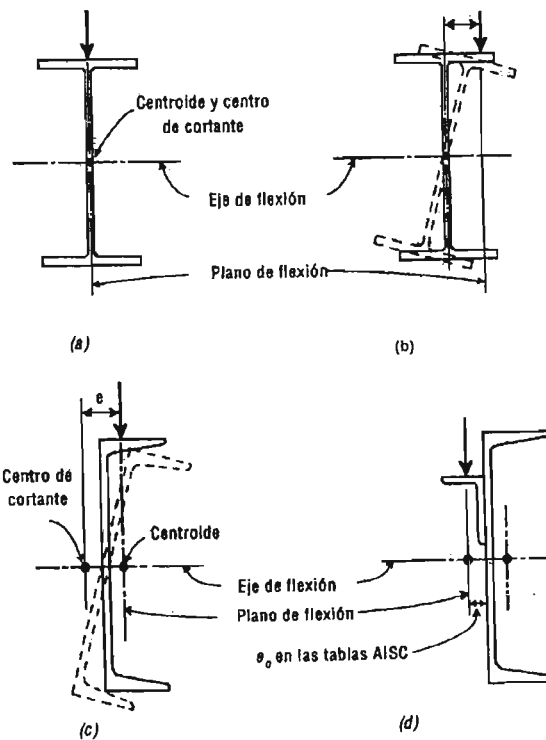


Fig. 2.3 Efecto torsional de una carga que no pasa por el centro de cortante.

La Fig. 2.4 muestra la relación entre el centroide y el centro de cortante para varias secciones que consisten en perfiles de acero. Para el perfil I y el tubo (Fig. 2.4a), el centroide y centro de cortante coinciden. Para los perfiles C, T y L (Fig. 2.4b), los dos se encuentran en diferentes lugares. Es posible, sin embargo, utilizar los perfiles C, T y L de tal modo que la carga se ubique sobre un eje centroidal, como se muestra en la figura 2.4c y d, orientando la carga sobre el eje simétrico existente, o produciendo una sección compuesta con un eje simétrico.

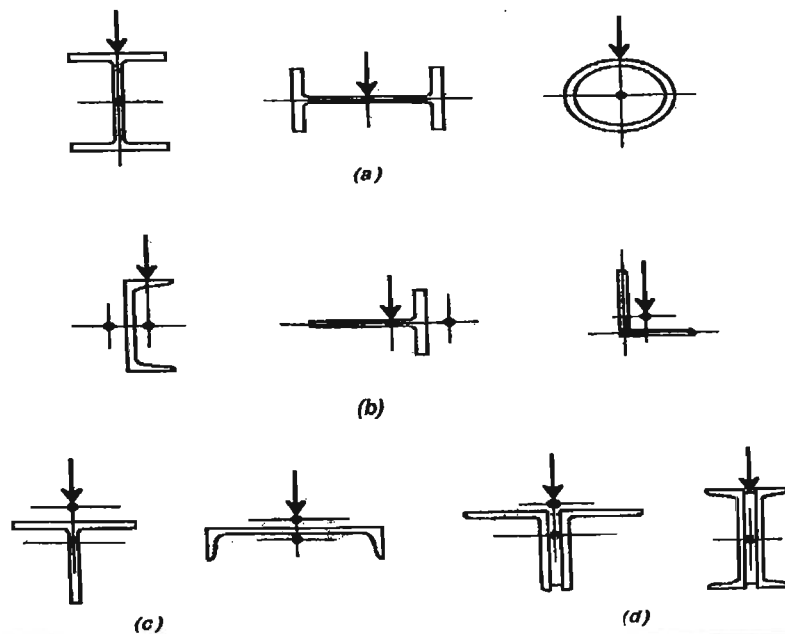


Fig. 2.4 Centros de cortante y centroides de varias secciones.

2.2 CONSECUENCIAS PRINCIPALES DEBIDAS A TORSIÓN.

La condición de cortante torsional¹ produce varios efectos que originan un cierto número de respuestas diferentes, según el material y la configuración de los elementos que se someten a torsión. El fenómeno de esfuerzo cortante es esencialmente tridimensional e incluye respuestas comunes algo complejas, entre ellas, el cortante en planos mutuamente perpendiculares y los efectos de tensión y compresión diagonales. Algunos efectos y respuestas comunes son las siguientes:

1. Cortante Transversal. Este tiende a producir una falla por la separación de las superficies de las secciones transversales adyacentes, como se muestra en la Fig. 2.5a. Esto no ocurre, a menudo, en elementos de forma continua, pero se asocia con fallas de uniones en elementos conectados.
2. Cortante Longitudinal. Este da por resultado una hendidura longitudinal y es una falla caracterizada en ejes de madera (véase Fig. 2.5b).
3. Tensión diagonal. Esta produce un tipo de separación en espiral y es una respuesta común en materiales frágiles, como por ejemplo hierro fundido. Esto es especialmente cierto en materiales poco resistentes a la tensión, tales como la roca o el concreto (véase la Fig. 2.5c).
4. Compresión diagonal. Esta provoca un aplastamiento en espiral o en colapso. Esto es característico en materiales suaves tales como hule o plástico. Asimismo, es la forma de falla más corriente en cilindros de pared delgada, que se presenta como pandeo en forma de espiral (véase la Fig. 2.5d).

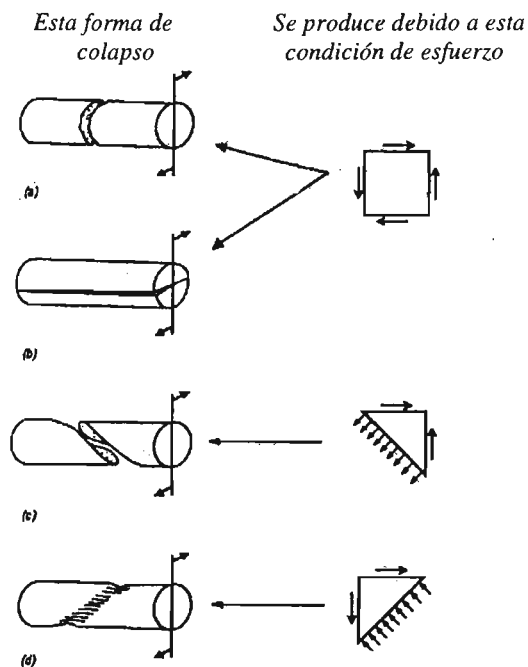


Fig. 2.5 Formas de falla torsional.

¹ Término utilizado para interpretar las fuerzas internas del elemento cilíndrico macizo y otros elementos, para resistir el momento o par de fuerzas que originan la torsión.

TESIS:
“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO III.- TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES.

3.1 SECCIONES MACIZAS.

3.1.1 SECCION CIRCULAR.

El caso más simple de torsión pura – torsión existente en la cual los esfuerzos resistentes de un punto pueden ser expresados como cortante puro – es el referente a una sección de cilindro sólido circular, sujeta a un par de momentos torsionantes aplicados alrededor de su eje longitudinal en los extremos, de igual intensidad pero de sentidos contrarios (Fig. 3.1); el cual es tratado en todos los textos de resistencia de materiales. La derivación de fórmulas usuales para esfuerzos y rigidez son presentadas aquí, principalmente para el propósito de esclarecer conceptos y establecer las bases para el estudio de otro tipo de secciones.

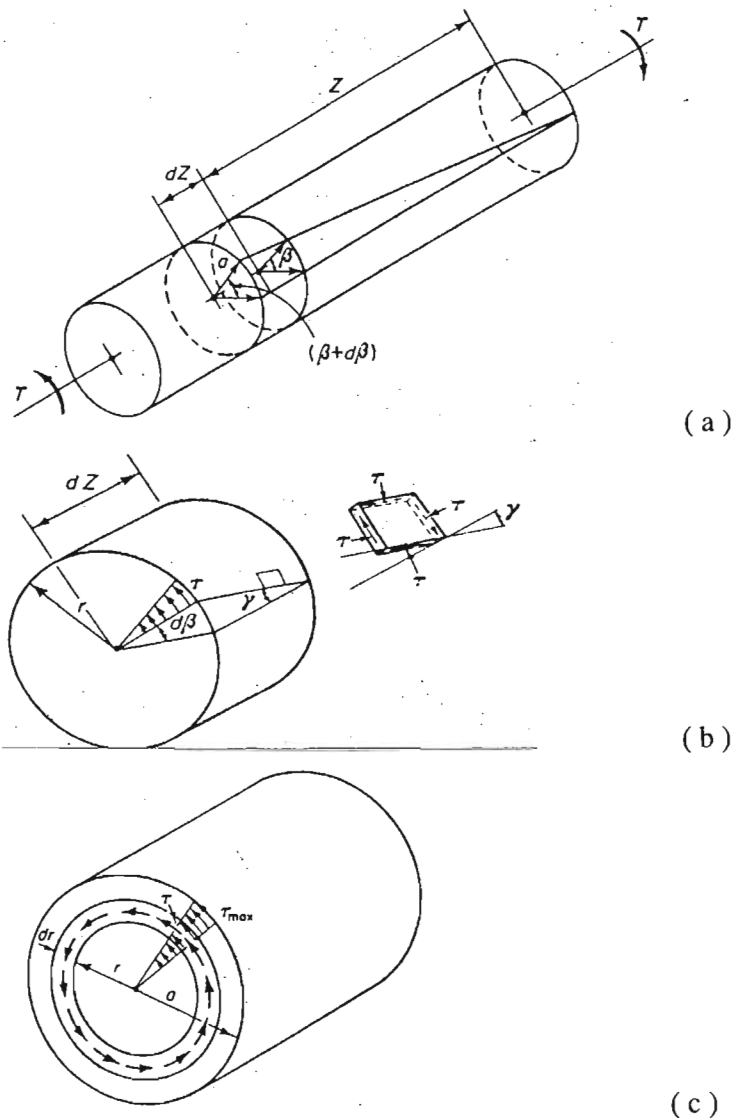


Fig 3.1 Torsión presente en una sección circular maciza.

CAPITULO 3.- TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES.

Suponiendo que el plano de una sección es asumida que permanece plana (no hay alabeo fuera de su plano), y cada sección transversal es asumida que permanece sin distorsionarse en su propio plano (esto es para permanecer circular); al rotar alrededor del eje longitudinal (suposición justificada por la completa simetría alrededor del eje longitudinal), el momento torsionante T puede causar deformación sus directrices pasando de una configuración recta a una helicoidal (Fig. 3.1a). El ángulo total de giro para toda la longitud de z es β . La razón de giro (giro por unidad de longitud) es constante a través de la longitud y puede ser escrita:

$$\beta = d\beta / dz \quad \dots(a)$$

Una longitud diferencial de espesor dz y radio r es típica, por lo cual puede ser aislado para ser estudiado (Fig. 3.1b). Fijando en la cara lejana un punto para referencia, y una línea radial en la cara delantera que rota un ángulo $d\beta$, y una línea longitudinal en la superficie exterior un ángulo γ . Consecuentemente, un elemento de superficie cuadrada al radio r estará sujeta, por los momentos torsionantes a cortante (τ) en sus cuatro caras (ver Fig. 3.1b), en donde:

$$\tau = \gamma G \quad \dots(b)$$

Para lo cual, G es modulo de rigidez a cortante. Para las suposiciones hechas γ y τ varían directamente con el radio r . Los esfuerzos τ en la cara delantera del elemento de superficie cuadrada ejercen un esfuerzo en la cara delantera del elemento diferencial dz , actuando éste uniformemente alrededor de un anillo de ancho dr (Fig. 3.1c). La fuerza produce para el radio r un par elemental:

$$dT = (\tau 2\pi r dr) r \quad \dots(c)$$

La suma de todos los pares es igual al momento aplicado:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \tau \cdot \int_0^a r^2 dr$$

Pero: $\tau = \tau_{\max} (r/a) \quad \dots(d)$

Entonces:

$$T = \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{a} \right) \cdot \tau_{\max} \int_0^a r^3 dr$$

La integral es el momento polar de inercia I_p de un área circular de radio r , principalmente para:

$$\tau_{\max} = T a / I_p \quad \dots(3.1)$$

Por la variación lineal de los esfuerzos, los esfuerzos cortantes al radio r , es:

$$\tau = T r / I_p \quad \dots(3.1a)$$

CAPITULO 3.- TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES.

También por Fig. 3.1b,

$$r \, d\beta = \gamma \, dz.$$

O usando ecuación (a)

$$\theta = d\beta / dz = \gamma / r$$

Por ecuaciones (b) y (e)

$$\theta = \tau / G r = \tau_{\max} / G a \quad \dots(g)$$

Por último, usando la ecuación (3.1) para eliminar τ_{\max}

$$\theta = T / G I_p \quad \dots(3.2)$$

La ecuación (3.2) puede ser generalizada al escribirla como:

$$\theta = d\beta / dz = T / G K = T / C \quad \dots(3.3)$$

Donde K es la constante de torsión de la sección transversal (en la presente instancia I_p) y $C = GK$ es la rigidez torsional elástica. La ecuación (3.3) en alguna de sus combinaciones es la ecuación diferencial básica de torsión pura. Esto es análogo para la ecuación:

$$(1 / \rho = - d^2y / dx^2 = M / EI)$$

Ecuación diferencial básica para flexión, excepto para el punto; mientras que para una flexión diferencial, la constante flexionante es siempre a un momento de inercia de la sección, en torsión simple, K no es siempre el momento polar de inercia. Para otras secciones que no sea la circular esta puede ser enteramente diferente.

3.1.2 SECCION CUADRADA.

Las hipótesis que sirven de base para la solución del problema en barras de sección circular, y los resultados a los que se llega partiendo de ellas, no son válidos para piezas con secciones transversales de otras formas, lo que puede comprobarse tratando de aplicarlas, por ejemplo, a una barra de sección cuadrada.

Las líneas de acción de los esfuerzos tangenciales, en puntos de la periferia de la sección circular, son perpendiculares a las rectas que unen esos puntos con el centro (Fig. 3.2a), condición que no puede cumplirse en la sección cuadrada (Fig. 3.2b), porque de ser así habría componentes normales al borde (τ_{zx} en la Fig. 3.2), que tienen que ser nulas, ya que no hay fuerzas tangenciales exteriores aplicadas en las caras longitudinales de la barra. Por consiguiente, los esfuerzos ligados a puntos del borde de la sección deben ser paralelos a éste y nulos en las esquinas, en las que, como una consecuencia, la deformación angular es también nula.

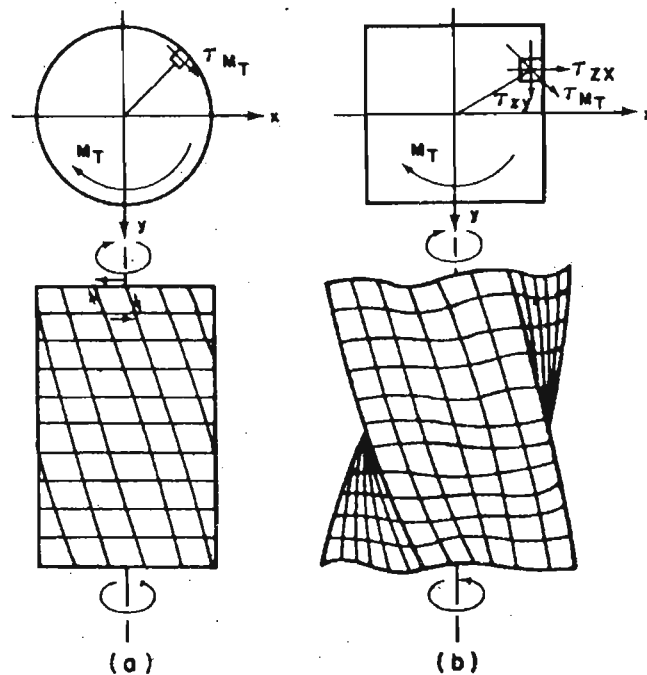


Fig. 3.2 Torsión pura en barras de sección transversal circular y cuadrada.

Se concluye de aquí que, a diferencia de lo que sucede en la barra de sección circular, en la que las deformaciones angulares son iguales en todos los puntos de la periferia, en la de sección cuadrada son nulas en las esquinas y máximas en los puntos medios de los lados; y para que sean compatibles con las rotaciones alrededor del eje longitudinal, es necesario que las secciones transversales originalmente planas dejen de serlo. Es decir, que se presente un fenómeno de alabeo, ya que los ángulos en las esquinas entre los bordes longitudinales y la superficie de la sección transversal se conservan de 90° (véase la Fig. 3.2b, y compárese con la 3.2a). Además, los esfuerzos tangenciales no son constantes a lo largo de los lados del cuadrado, sino valen cero en las esquinas y adquieren valores máximos en los puntos medios.

Saint Venant planteó correctamente el problema de la determinación de esfuerzos, y deformaciones en barras de eje recto y de sección transversal cualquiera sometidas a torsión, teniendo en cuenta el fenómeno de alabeo que se acaba de discutir (la barra de sección circular había sido resuelta años antes por Navier). Venant encontró soluciones para un cierto número de secciones transversales relativamente sencillas, tales como rectángulo, triángulo y elipse. Sin embargo, debido a complicaciones de tipo matemático no es posible resolver, utilizando su método, muchas secciones de gran interés práctico, entre las que se cuentan los perfiles laminados, ángulos, canales y viguetas.

De acuerdo con la teoría de Saint Venant, el ángulo de giro por unidad de longitud de una barra recta de sección transversal rectangular, sometida a torsión pura se calcula con la ecuación (3.4), y los esfuerzos tangenciales máximos, que aparecen en los puntos medios de los lados largos (ver Fig. 3.3), con la ecuación (3.5).

$$\theta = M / G\beta bc^3 \quad \dots(3.4)$$

$$\tau_{\max} = M / \beta bc^2 \quad \dots(3.5)$$

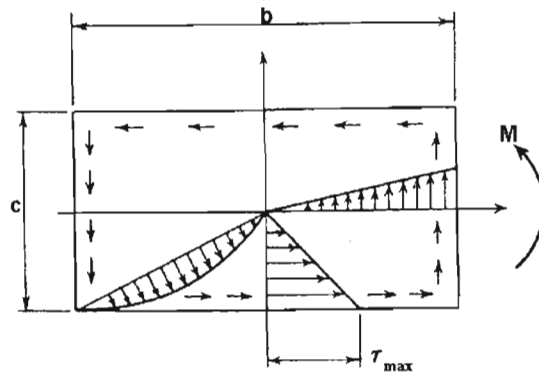


Fig. 3.3 Distribución de esfuerzos en una sección rectangular.

En las que b es el lado más largo y c el lado más corto de la sección recta rectangular, α y β son factores numéricos que depende de la razón b / c . La Tabla 3.1 da varios valores de α y β .

TABLA 3.1 DATOS PARA TORSION DE UNA SECCION RECTANGULAR

b / c	α	β
1.00	0.208	0.141
1.50	0.231	0.196
1.75	0.239	0.214
2.00	0.246	0.229
2.50	0.258	0.249
3.00	0.267	0.263
4.00	0.282	0.281
6.00	0.299	0.299
8.00	0.307	0.307
10.00	0.313	0.313
∞	0.333	0.333

Se aprecia que en el caso de una sección rectangular muy estrecha, tal como la de una tira o cinta delgada de hoja metálica, α y β son iguales $1/3$ y las ecuaciones (3.4) y (3.5) se convierten en:

$$\theta = 3M / Gbc^3 \quad \dots(3.4a)$$

$$\tau_{\max} = 3M / bc^2 \quad \dots(3.5a)$$

Ambas ecuaciones tienen importancia en la práctica porque se les puede utilizar, no solo para un rectángulo estrecho, sino también para hallar soluciones aproximadas en otros casos, en los que la anchura de la sección recta es pequeña. Por ejemplo, en el caso de las secciones rectas de espesor uniforme.

3.2 SECCIONES CERRADAS.

Si a la sección maciza le es retirado la mayor cantidad de material, dejando tan solo una pequeña cantidad en su perímetro, obtendremos una sección *hueca cerrada* ó *sección cerrada* (ver Fig. 3.4).

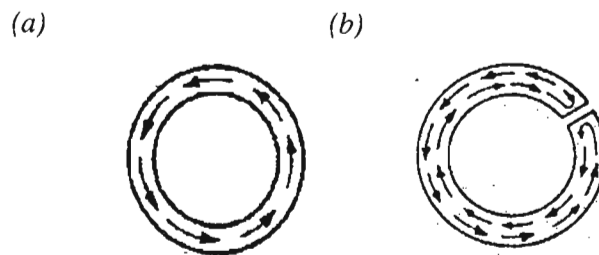


Fig. 3.4 Tubos de pared delgada, cerrada (a) y abierta (b).

Si a este tipo de secciones, se les aplica dos momentos alrededor de su eje longitudinal de igual magnitud, pero de sentido contrario en sus extremos (Fig. 3.5); tomando dos directrices originalmente derechas en un elemento diferencial para el tubo de pared continua, estas son deformadas de manera similar (mostrado esto a mayor escala en la Fig. 3.7a). Entonces, un elemento de superficie originalmente cuadrada entre las dos directrices puede ser deformado. Esta deformación es debido a las fuerzas cortantes ν de igual magnitud, pero de sentidos contrarios desarrollados en las caras verticales del elemento. Para balancear el momento causado por estas, es necesario dos fuerzas de la misma magnitud, pero ahora actuando en la cara superior e inferior del elemento. Debido a la simetría axial de las fuerzas cortantes horizontales actuando uniformemente alrededor de la circunferencia, además para equilibrar la magnitud total del momento aplicado, estas fuerzas se multiplican por el radio efectivo (radio establecido en la parte media del espesor del elemento). La secuencia de causa y efecto es la contraria de ésta, pero en descripción invertida es acaso tal vez más difícil de seguir. Otra inferencia lógica es que la sección transversal permanece plana cuando están actuando sobre ella esfuerzos. Así, el torque es resistido por fuerzas cortantes de la misma forma que para secciones macizas, pero ahora concentrándose en la pared del tubo (Fig. 3.5). Si la pared continua es delgada con respecto al radio (pero de tal forma que no tenga problemas ante el pandeo local, forma de colapso establecida en el capítulo 2), la variación radial de τ puede ser omitida y el flujo de cortante en la pared tratada esta actuando a una distancia a del eje, donde a es el radio a la mitad del espesor de la pared. Para el equilibrio:

$$T = (\tau 2\pi a)a$$

ó

$$\tau = T / 2At \quad \dots(3.6)$$

Donde $A = \pi a^2$ es el área dentro del radio efectivo (área de la sección hasta el punto medio del espesor del tubo). La ecuación (3.6) fue derivada para un caso especial, pero esto es enteramente general a condición de definir apropiadamente para algunas secciones cerradas de pared delgada y celda simple (llamando celda simple a la sección que no tiene divisiones en su interior con su propio espesor de pared). El esfuerzo cortante torsional de algunos puntos en el perímetro, es igual al torque dividido por le producto del espesor de la pared del punto y dos veces el área encerrada (Fig. 3.6), excepto para ángulos donde el doblez puede causar concentración de esfuerzos. Estas concentraciones de esfuerzos

CAPITULO 3.- TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES.

nunca son tomados cuando el espesor de la pared varia, tan largamente que el cambio no es abrupto para causar concentraciones de esfuerzos. El flujo de cortante sigue la línea perimetral y es constante.

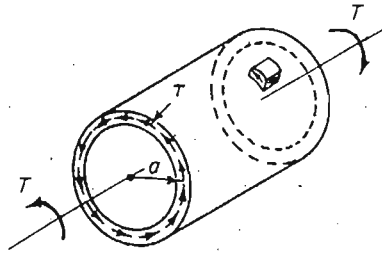


Fig. 3.5 Tubo cilíndrico.

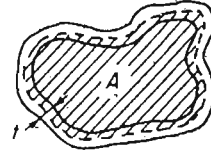


Fig. 3.6 Area encerrada de la sección hueca.

Retomando de la sección circular maciza:

$$\theta = \gamma / a = \tau / G a$$

Usando la ecuación 3.6:

$$\theta = T / G(2Aa) = T / GK \quad \dots(3.7)$$

En estos casos K es otra vez el momento polar de inercia ($K = 2Aa = 2\pi a^3 t$). La ecuación (3.7) es solamente valida para la sección circular de pared delgada, pero para ponerlo de manera más general, se puede manipular algebraicamente para obtener:

Multiplicando numerador y denominador por $2\pi a$:

$$\theta = (2\pi a / 2\pi a)(T / 2GAa) = TS / 4GA^2 t \quad \dots(3.8)$$

Donde S es la circunferencia efectiva del tubo circular, o en términos generales, la longitud del perímetro total de la pared. La ecuación (3.8) abarca todas las secciones cerradas de pared delgada y celda simple de espesor delgado constante. Para celdas de espesor variable, la relación S / t puede ser remplazada por la integral:

$$\theta = \frac{T}{4GA^2} \int_0^S \left(\frac{1}{t} \right) ds \quad \dots(3.8a)$$

Donde ds es un elemento de longitud, y la integral es alrededor de todo el perímetro. La expresión general para la rigidez torsional C para tubos llega a ser:

$$C = GK = \frac{4GA^2}{\int_0^s \left(\frac{1}{t}\right) ds} \dots(3.9)$$

Una alternativa, muestra más versatilidad para la ecuación (3.8a), es obtenida por la eliminación de T al usar la ecuación (3.6). Colocando τ en la integral, entonces varia con S, por lo cual:

$$\theta = \left(\frac{1}{2GA}\right) \int_0^s \tau ds \dots(3.8b)$$

3.3 SECCIONES ABIERTAS.

En un tubo de pared delgada, cortado o de sección abierta, los esfuerzos cortantes no se desarrollan en las caras expuestas del corte. Entonces por equilibrio, las fuerzas cortantes horizontales circunferenciales adyacentes a los lados de la ranura no se desarrollan. Por lo tanto, la cara del corte puede permanecer recto y sin esfuerzos presentes. Si para este tubo con ranura no es restringido longitudinalmente su extremo, entonces este se deformara fuera de su plano original. El alabeo de esta clase permite que todas sus directrices longitudinales permanezcan rectas, de aquí que los esfuerzos cortantes circunferenciales vistos en el tubo de pared continua no se desarrollen del todo. Por lo tanto, la única manera de resistir el momento aplicado es desarrollando esfuerzos cortantes como los mostrados en la Fig. 3.8. Este es en principio, la diferencia entre secciones abiertas y secciones cerradas.

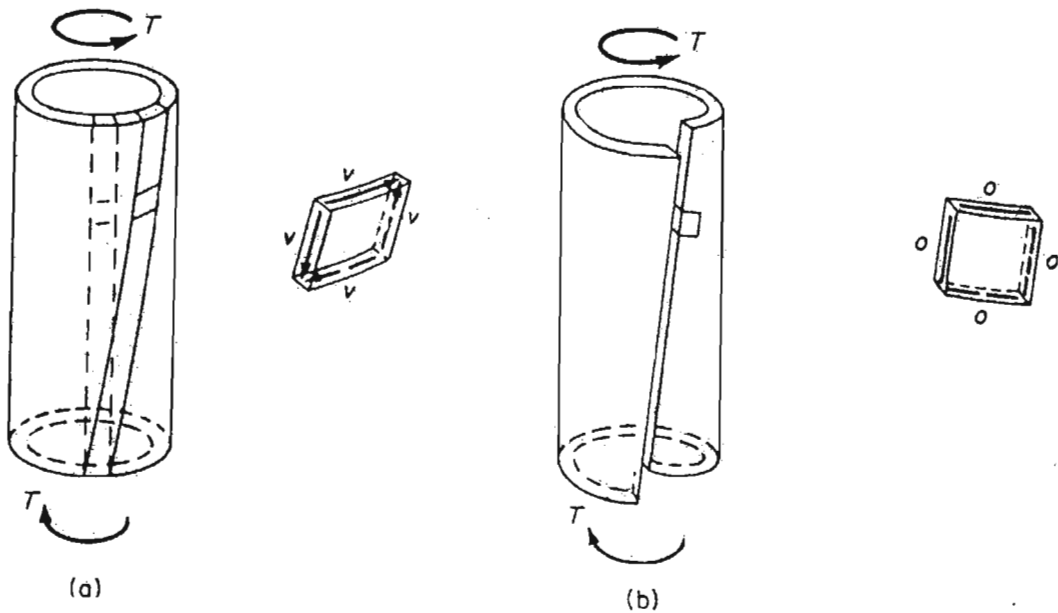


Fig. 3.7 Secciones de pared continua, (a) sección cerrada y (b) sección abierta.

CAPITULO 3.- TORSIÓN EN SECCIONES GENERALES.

Así, las secciones abiertas de pared delgada (Fig. 3.7) son ineficientes en torsión. Si estas son sometidas al par de momentos de igual magnitud, pero de sentidos contrarios en sus extremos libres, la única manera de apreciar de cómo se desarrolla el flujo de cortante torsional en cada sección transversal, es el mostrado en el bosquejo de la sección rectangular (Fig. 3.8).

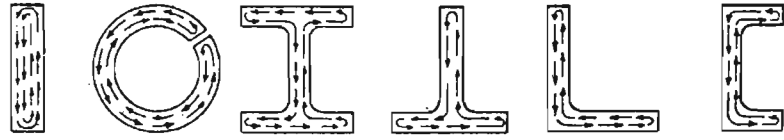


Fig. 3.8 Secciones abiertas en torsión.

Las componentes verticales (paralelas al lado b , Fig. 3.9), varían a través del espesor " t ", empezando a incrementarse cuando se aleja del eje central hasta un máximo valor en la parte más aleja del mismo. De la misma manera, las componentes horizontales las cuales son paralelas al ancho t . También, toda componente vertical deben ser nulas en la parte superior e inferior de la sección, entonces estos no son cortantes normales para los extremos libres y, similarmente, toda componente horizontal puede volverse nula en los dos lados perpendiculares. El resultado de estas dos componentes da como resultado un patrón continuo de esfuerzos. Los pares elementales junto con la resistencia total al torque pueden generar en pequeño brazo de palanca (d_1) o pequeños esfuerzos cortantes (componentes horizontales). Para desarrollar el torque total, el máximo esfuerzo cortante y la torcedura deben ser relativamente grandes. Al mostrar en el detalle el flujo de cortante para las diferentes secciones se deduce que es principalmente lo mismo.

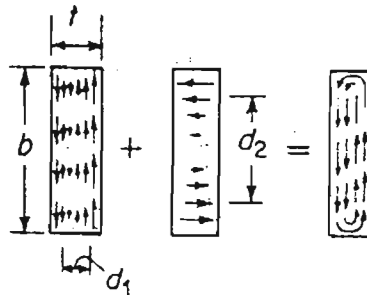


Fig. 3.9 Componentes verticales y horizontales resistentes al momento aplicado.

A manera de pequeña conclusión, al ver en la Fig. 3.10, se aprecian como están distribuidos los esfuerzos en dos secciones de paredes delgadas, iguales en todo, excepto en que una es cerrada y la otra es abierta; lo cual muestra claramente las diferencias antes mencionadas. Para que un momento de torsión aplicado exteriormente sea resistido por una sección abierta de paredes delgadas, los esfuerzos deberán cambiar de sentido a través de su espesor, lo que no ocurre en secciones cerradas, por lo cual se llega a la conclusión de que la sección abierta es mucha menos resistente que la cerrada, debido a que los brazos de los pares resistentes interiores son mucho mas pequeños en ella.

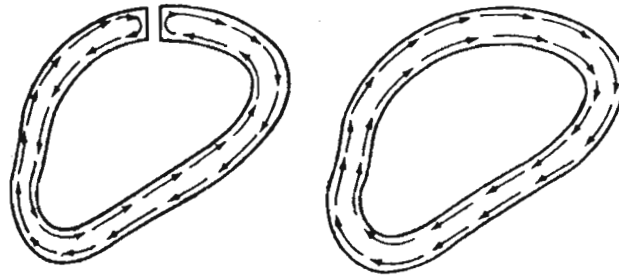


Fig. 3.10 Esfuerzos cortantes en dos secciones de paredes delgadas, una abierta y otra cerrada.

TESIS:
“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO IV.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

4.1 ESFUERZOS ORIGINADOS POR TORSION.

Recordando que la torsión ocurre cuando el plano donde se aplican las cargas no pasa a través del centro de cortante de la sección transversal del elemento estructural. Un análisis de esfuerzos torsionales resultado de estas cargas, envuelve o toma en cuenta propiedades para torsión de la sección transversal y derivadas del ángulo de rotación en varios puntos a lo largo de la longitud del elemento.

ESFUERZOS TORSIONALES.

La sección transversal de un miembro estructural resistiendo un momento torsional aplicado, esta sujeto a:

1. Esfuerzos cortantes debidos a la torsión pura.
2. Esfuerzos cortantes por alabeo.
3. Esfuerzos normales por alabeo.

4.1.1 ESFUERZOS CORTANTES POR TORSIÓN PURA.¹

Los esfuerzos cortantes por torsión pura varían linealmente a través del espesor de los elementos de la sección transversal y actúan en una dirección paralela al eje de cada componente del elemento. Estos son máximos e iguales, pero de dirección opuesta en las partes más alejadas del eje del elemento. El esfuerzo al eje del elemento es determinado por la ecuación:

$$\tau_t = G t \theta' \dots\dots\dots(4.1)$$

Los esfuerzos cortantes por torsión pura serán mayores en el mayor espesor del elemento.

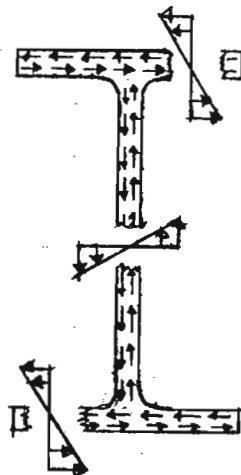


Fig. 4.1 Esfuerzos cortantes por torsión pura o Saint Venant.

¹ Esfuerzos presentes cuando no se presenta en absoluto alguna distorsión de la sección transversal.

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

4.1.2 ESFUERZOS CORTANTES POR ALABEO.

Los esfuerzos cortantes por alabeo son constantes a través del espesor de cada elemento de la sección transversal, pero varían en magnitud a lo largo de la longitud del elemento estructural. Estos actúan en una dirección paralela al eje de cada elemento. La magnitud de estos esfuerzos son determinados por la formula:

$$\tau_{ws} = - (1/t) E S_{ws} \theta''' \dots\dots\dots(4.2)$$

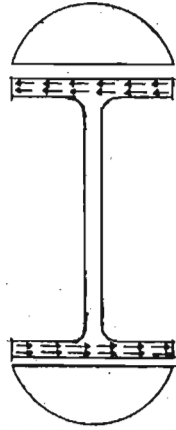


Fig. 4.2 Esfuerzos cortantes por alabeo.

4.1.3 ESFUERZOS NORMALES POR ALABEO.

Los esfuerzos normales por alabeo, actúan perpendicular a la superficie de la sección transversal. Estos son constantes a través del espesor del elemento de la sección transversal pero varían en magnitud a lo largo de la longitud del elemento estructural. La magnitud de estos esfuerzos es determinada por la formula:

$$\sigma_{ws} = E W_{ns} \theta'' \dots\dots\dots(4.3)$$

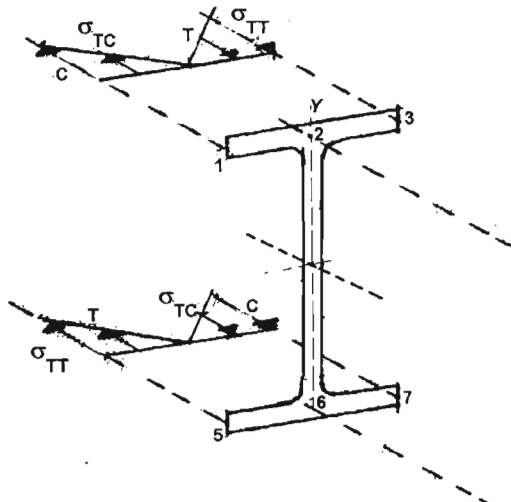


Fig. 4.3 Esfuerzos normales por alabeo.

ESFUERZOS POR FLEXIÓN.

En adición a los esfuerzos de torsión, esfuerzos de flexión (σ_b) y esfuerzos cortantes (τ_b) debido a el plano de flexión están normalmente presentes en el elemento estructural. Estos esfuerzos son determinados por las siguientes formulas:

$$\sigma_b = (1/ I) M b y.....(4.4)$$

$$\tau_b = (1/ I t_1) V Q.....(4.5)$$

La figura 4.4 ilustra la distribución de estos esfuerzos. La distribución es mostrada para el caso del momento actuando alrededor del eje mayor de la sección y el cortante actuando a lo largo del eje menor de la sección.

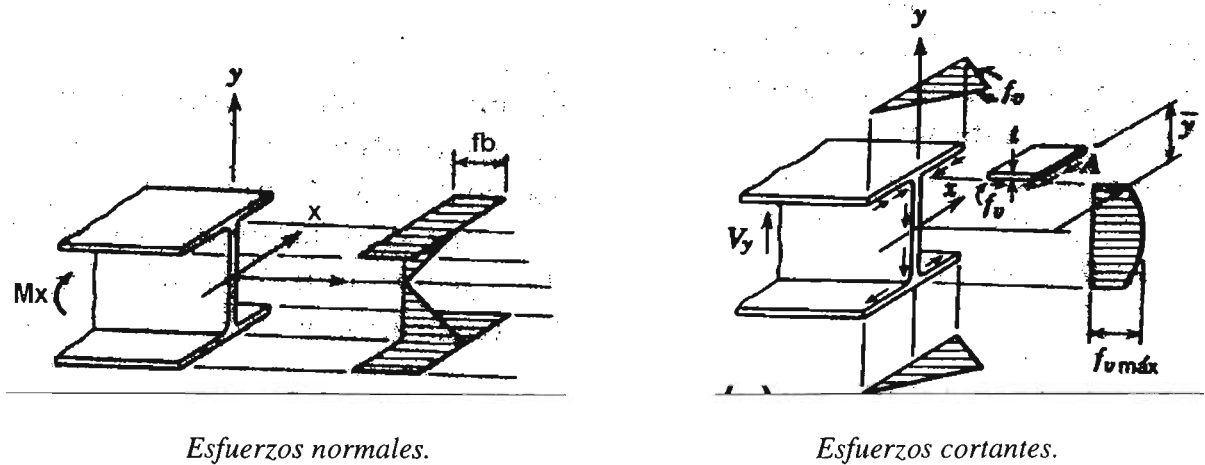


Fig. 4.4 Esfuerzos resultantes por flexión alrededor del eje principal de la sección.

COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

El orden para determinar la condición total de esfuerzos en un elemento estructural es: los esfuerzos debidos a torsión y también los debidos a flexión son adicionados algebraicamente. Esto es imperativo debido a la dirección de los esfuerzos cuidadosamente observados.

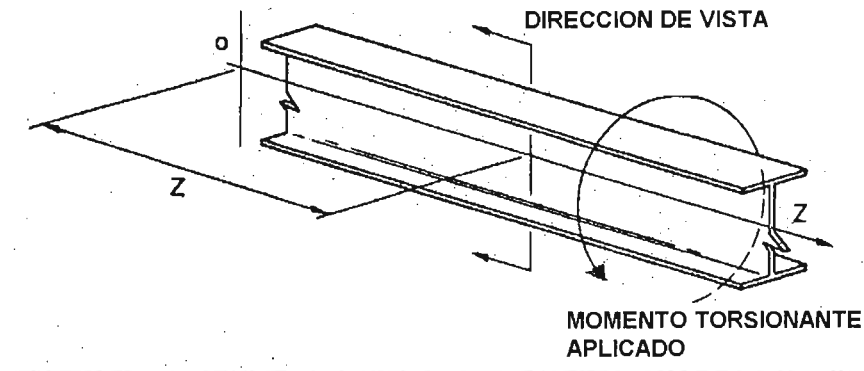


Fig. 4.5 Orientación general de la figura

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

La dirección positiva de los esfuerzos de torsión es en base a la convención de signos indicados en las Fig. 4.1, 4.2 y 4.3. En los bosquejos acompañados para cada tipo de esfuerzo, estos son mostrados actuando en una sección del elemento localizada a una distancia z del soporte izquierdo, y visto en la dirección indicada por la orientación general de la Fig. 4.5. En todos los bosquejos, el momento torsional aplicado actúa en algún punto arbitrario a lo largo del miembro en la dirección indicada. En los bosquejos de la Fig. 4.4, el momento actúa alrededor del eje mayor de la sección transversal y causan compresión en el patín superior. Además, el cortante aplicado se asume que actúa verticalmente y de manera descendente a lo largo del eje menor de la sección transversal.

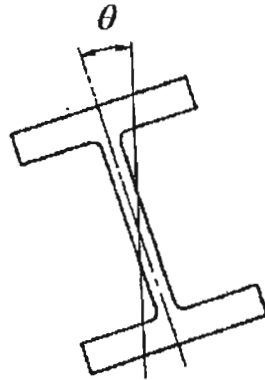


Fig. 4.6 Angulo positivo de rotación.

Para secciones de patín ancho σ_{ws} (esfuerzo normal por alabeo) y σ_b (esfuerzo normal por flexión), son máximos en los ejes de los patines lo cual es mostrado en las Fig. 4.3 y 4.4. Igualmente, donde quiera que sea la aplicación del momento torsionante y el momento de flexión, en estos patines será donde se presenten estos esfuerzos. Así, para elementos de patín ancho, σ_{ws} y σ_b siempre son adicionados para determinar el máximo esfuerzo longitudinal en la sección transversal. También para secciones de patín delgado, los máximos valores de τ_t (esfuerzo puro de torsión), τ_{ws} (esfuerzo cortante por alabeo) y τ_b (esfuerzo cortante por flexión) en los patines pueden siempre adicionarse para algún punto cualquiera, en la dirección de la aplicación del momento torsional y adicionarles el cortante vertical para dar el máximo esfuerzo cortante en el patín. (El valor de τ_b calculado usando Q_F por las tablas de propiedades a torsión, el cual puede verse en los manuales para construcción en acero del Institute Americano de Construcción en Acero (AISC), por sus siglas en ingles, es el valor teórico en el eje del alma. La exactitud presentada en este método, es que combina el resultado del valor teórico del esfuerzo cortante por torsión calculado para el punto de la intersección del alma con el patín). Para el alma, el máximo valor de esfuerzo del cortante τ_b adicionado al valor de τ_t en el alma, independientemente de la dirección de aplicación de la carga, da como resultado el máximo esfuerzo cortante en el alma.

El determinar el máximo valor de la combinación de los esfuerzos para todos los tipos de secciones transversales a estudiar para cada caso, es algunas veces molesto porque los esfuerzos τ_t , τ_{ws} , σ_{ws} y σ_b no se presentan siempre en la misma sección transversal a lo largo de la longitud del elemento estructural. Por lo tanto, en muchos casos los esfuerzos son revisados en los lugares críticos a lo largo del elemento estructural.

CONDICIONES DE APOYO PARA TORSIÓN.

La distribución de los esfuerzos por torsión a lo largo de los elementos estructurales, así como la rigidez torsional del elemento, depende de las condiciones de extremo presentes. Existen tres tipos principales para condición de extremo al realizar un análisis por torsión, estos son: el caso fijo, articulado y libre. Cuando una condición ideal no es aplicable, puede interpolarse entre condiciones, o asumir la peor de las condiciones posibles.

La condición de extremo fijo es satisfecho cuando la rotación y el alabeo de la sección transversal del extremo del miembro son prevenidas. Una conexión que aproximadamente cumple esta condición es la mostrada en la Fig. 4.7.

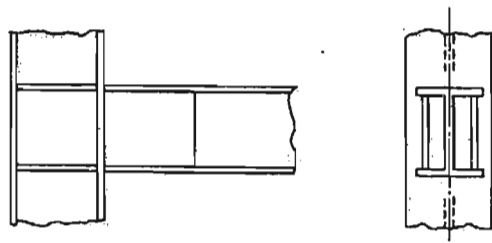


Fig. 4.7 Condición de extremo fijo para la torsión.

La condición articulada ocurre cuando la sección transversal en el extremo del elemento, es prevenida para rotación pero se permite el alabeo libremente. La conexión más común para esta condición es la mostrada en la Fig. 4.8.

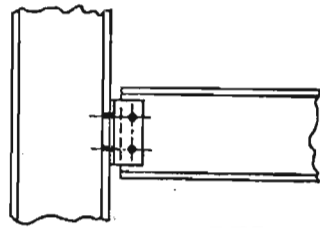


Fig. 4.8 Condición de extremo articulado para la torsión.

Para la condición de extremo libre, la rotación y alabeo de la sección transversal no son restringidos. El caso de un cantelever o voladizo en su extremo final ilustra el caso de esta condición.

4.2 ESFUERZOS COMBINADOS DE FLEXIÓN BIAxIAL.

En la mayoría de los sistemas estructurales, las vigas comúnmente se colocan de manera que las cargas sean perpendiculares a algún plano de los momentos de flexión, el cual a su vez es perpendicular sean perpendiculares a uno de los ejes centroidales principales de la sección de la viga. Así, los esfuerzos de flexión se distribuyen de forma simétrica y el eje principal con respecto al cual ocurre la flexión es, asimismo, el eje neutro para el esfuerzo de flexión (ver Fig. 4.9).

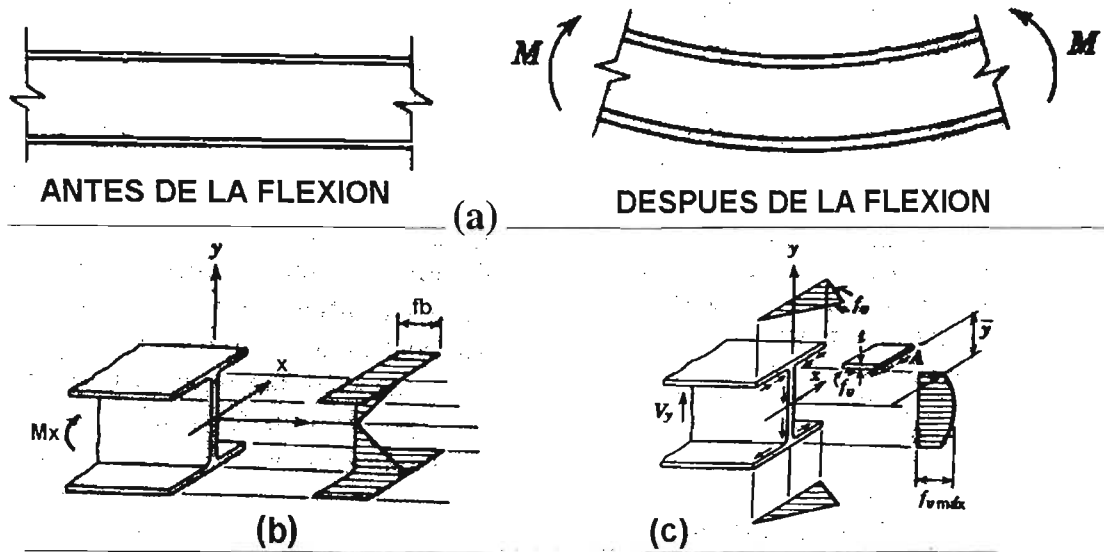


Fig. 4.9 (a) Elemento estructural "W" sujeto a flexión con sus respectivos esfuerzos, (b) esfuerzos normales y (c) esfuerzos cortantes.

Pero existen varias situaciones en las que un elemento estructural se somete a flexión, de tal modo que se origina una flexión simultánea alrededor de más de un eje. Si el elemento está reforzado contra torsión, el resultado puede ser, sencillamente, un caso de lo que se llama flexión biaxial ó flexión asimétrica. La situación más común en la que una viga esta sometida a este tipo de flexión es cuando se utiliza en un techo inclinado, cubriendo el claro entre armaduras u otras vigas que generan el perfil inclinado. Con respecto a las cargas gravitacionales, la viga experimentará flexión en un plano que está girado con respecto a sus ejes principales, originando componentes de flexión con respecto a sus dos ejes, como se muestra en la figura 4.10.

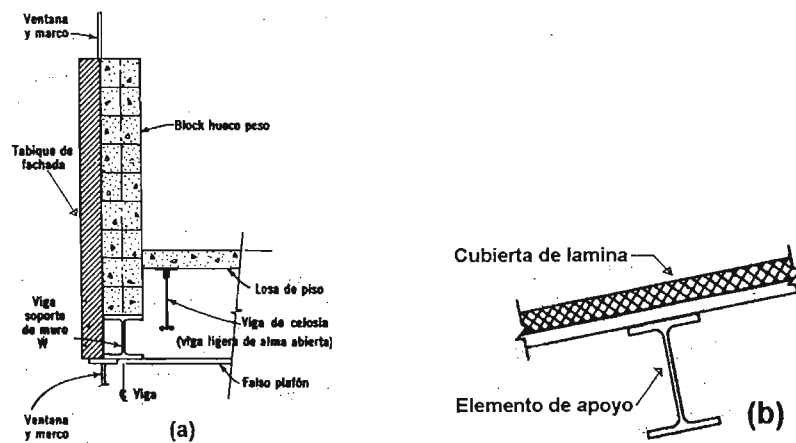


Fig. 4.10 Elementos sujetos a solicitaciones que originan flexión biaxial; (a) viga de soporte "W" de un muro exterior, (b) larguero para cubierta metálica inclinada, el cual comúnmente no es una sección W.

Considerando la Fig. 4.10, el elemento viga utilizado en muros exteriores; aunque tengan una orientación vertical, puede experimentar flexión biaxial por las combinaciones de cargas laterales y

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

gravitacionales. Para el caso que esta en análisis (trabe carril), caso en el cual la trabe esta sometida a la combinación de una fuerza lateral aplicada excéntrica, acompañada de una carga vertical aplicada en el eje centroidal correspondiente. Así, los esfuerzos de flexión alrededor de los dos ejes de la sección de la viga producirán los siguientes esfuerzos:

$$\sigma_x = \frac{M_x \cdot y}{I_x} \dots\dots(4.6)$$

y

$$\sigma_y = \frac{M_y \cdot x}{I_y} \dots\dots(4.7)$$

Como el ejemplo más simple de flexión biaxial o asimétrica, considérese la viga rectangular como la mostrada en la Fig. 4.11, sobre la cual actúan cargas gravitacionales que generan un momento M. Usando la representación vectorial para M mostrada en la Fig. 4.11, este vector forma un ángulo α con el eje "x" y puede descomponerse en las dos componentes M_x y M_y . Dando así origen a los esfuerzos citados anteriormente.

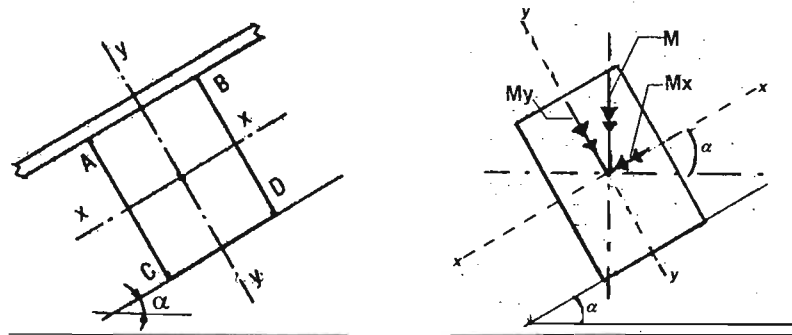


Fig. 4.11 Viga rectangular, ejemplo común de flexión biaxial.

Suponiendo comportamiento elástico del material, una superposición de los esfuerzos causados por M_x y M_y en los extremos de la sección, tendrán como distribución la forma que se muestra en la Fig. 4.12, la cual se puede representar determinando los esfuerzos en las cuatro esquinas de la sección. Si se observa, el sentido de los momentos con respecto a los dos ejes y se utiliza el signo más para compresión y el signo menos para tensión, las condiciones netas de esfuerzo en las esquinas son como se indica a continuación:

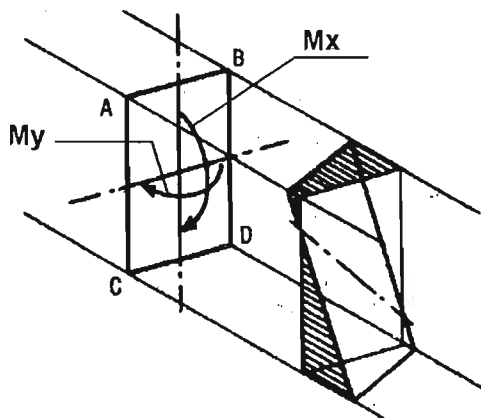


Fig. 4.12 Distribución de esfuerzos debido a flexión biaxial.

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

$$\begin{array}{ll} \text{En A: } \sigma = \frac{-M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} & \text{En C: } \sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \\ \text{En B: } \sigma = \frac{-M_x \cdot y}{I_x} - \frac{M_y \cdot x}{I_y} & \text{En D: } \sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} - \frac{M_y \cdot x}{I_y} \end{array}$$

Esta es una condición un poco idealizada, que ignora los problemas de efecto torsionales y pandeo lateral o torsional. Si un elemento se utiliza en las situaciones mostradas en la Fig. 4.10, debe ser uno al que no le afecten estas acciones, o el diseño deberá realizarse cuidadosamente, a fin de proporcionar rigidez y otros controles para evitar acciones diferentes a la flexión simple.

Análogamente a una sección rectangular, los esfuerzos en una sección "W" pueden ser superpuestos de forma esquemática en el rango elástico como es mostrado a continuación:

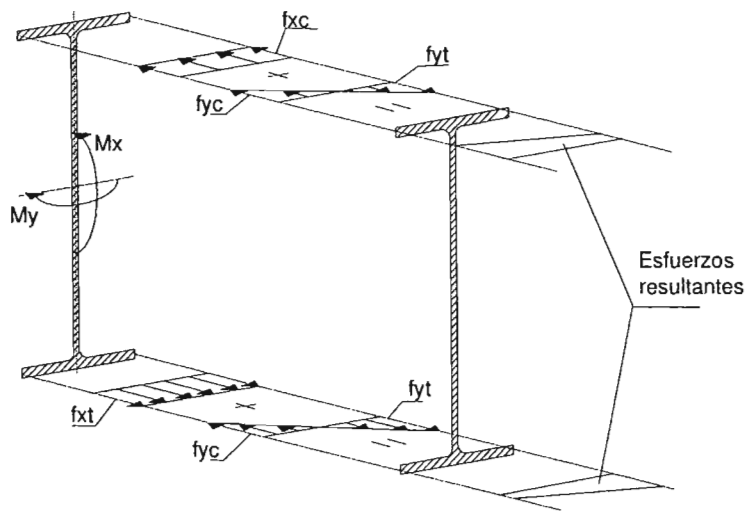


Fig. 4.13. Superposición de esfuerzos normales en una sección "W", bajo flexión biaxial.

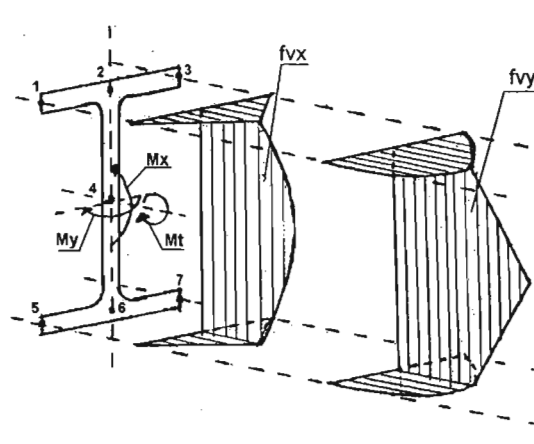


Fig. 4.14. Esfuerzos cortantes en una sección "W", bajo flexión biaxial

4.3 ESFUERZOS COMBINADOS DE FLEXIÓN BIAIXIAL Y TORSIÓN.

Recordando de secciones anteriores, que ante elementos mecánicos denominados comúnmente momentos torsionales en una sección "W"; esta presenta esfuerzos normales y cortantes resistentes. Entonces, ante la combinación de esfuerzos de flexión biaxial con torsión hay que tomar en cuenta a estos dos tipos de esfuerzos generados por la flexión alrededor del eje "X" y "Y" en la sección (Fig. 4.15).

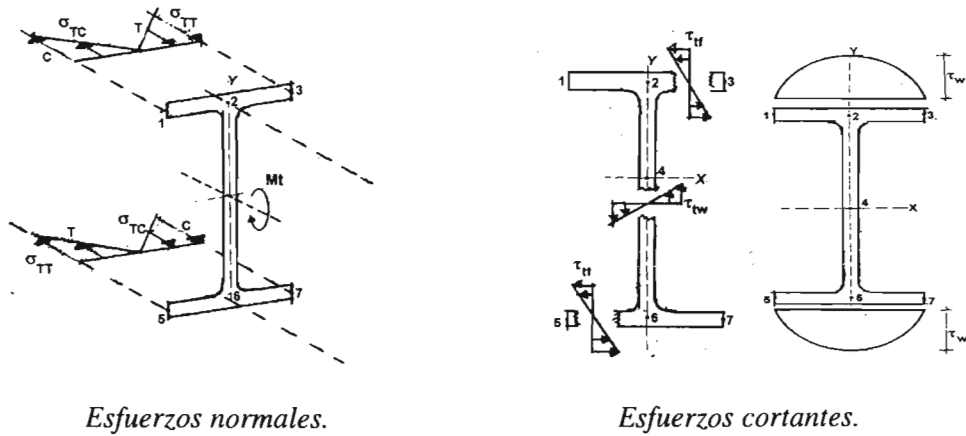


Fig.4.15 Esfuerzos generados ante un momento torsionante (M_t) aplicado.

Conociendo que ante la flexión alrededor del eje "X" (Fig. 4.16), se presentan los esfuerzos:

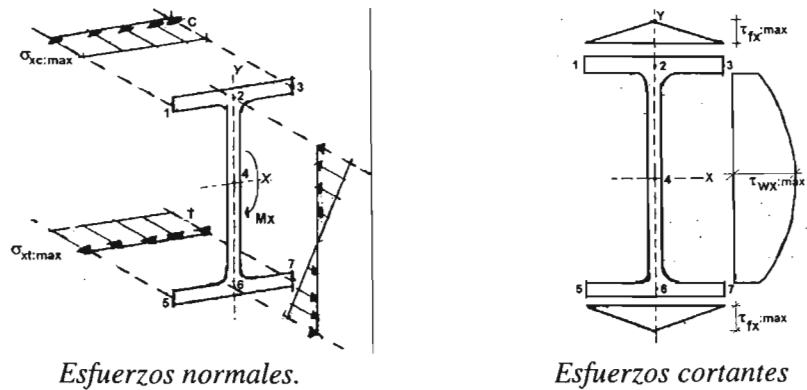


Fig.4.16 Esfuerzos generados ante una flexión alrededor del eje "X".

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

Y debido a la flexión alrededor del eje "Y" (Fig. 4.17), tenemos:

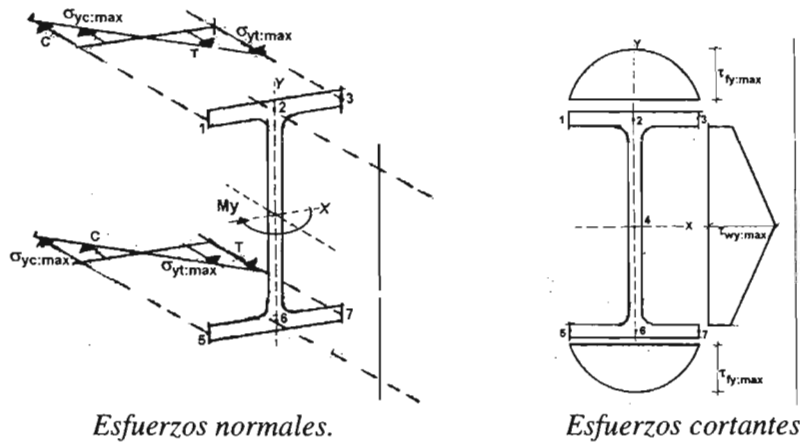


Fig.4.17 Esfuerzos generados ante una flexión alrededor del eje "Y".

Por lo tanto, tomando en cuenta los esfuerzos normales provocados por la torsión (Fig. 4.18), se pueden superponer estos en el rango elástico de la forma que se muestra a continuación:

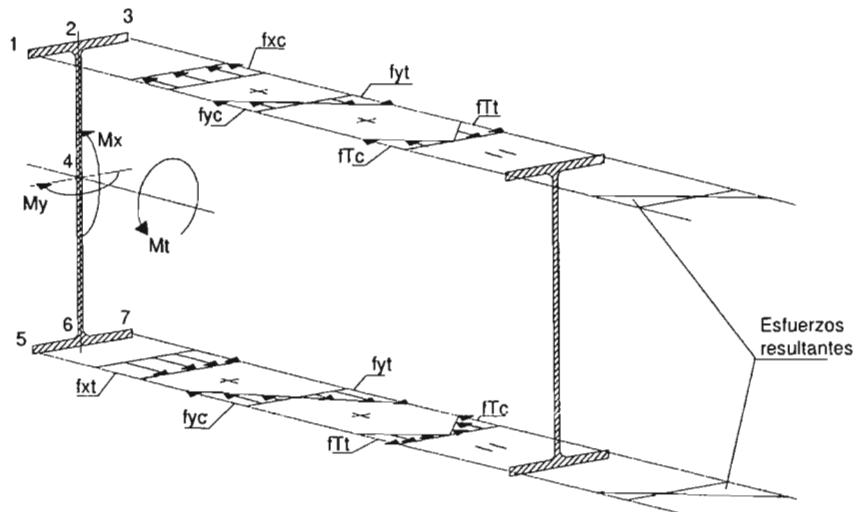


Fig. 4.18 Esfuerzos normales producidos por flexión alrededor del eje "X", flexión alrededor del eje "Y" y torsión.

CAPÍTULO 4.- COMBINACIÓN DE ESFUERZOS.

Lo cual se puede formular de la siguiente manera:

Punto	Esfuerzos actuantes
1	$f_{xc} + f_{yc} + f_{Tc}$
2	f_{xc}
3	$f_{xc} - f_{yt} - f_{Tt}$
4	-----
5	$- f_{xt} + f_{yc} - f_{Tt}$
6	$- f_{xt}$
7	$- f_{xt} - f_{yt} + f_{Tc}$

De igual manera que para los esfuerzos normales, se puede realizar una superposición de esfuerzos cortantes en el rango elástico (Fig. 4.19); de tal forma que su superposición resultaría de la siguiente manera:

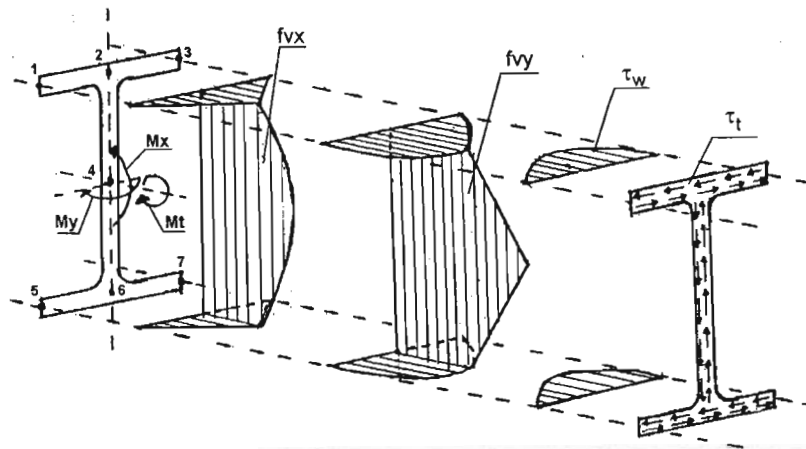


Fig. 4.19 Esfuerzos cortantes producidos por flexión alrededor del eje "X", flexión alrededor del eje "Y" y torsión.

Lo cual se puede formular de la siguiente manera:

Punto	Esfuerzos actuantes
1	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$
2	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$
3	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$
4	$f_{vx,w} + f_{vy,w} + \tau_{w,w} + \tau_{t,w}$
5	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$
6	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$
7	$f_{vx,f} + f_{vy,f} + \tau_{w,f} + \tau_{t,f}$

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS
DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

5.1 EJEMPLOS NUMÉRICOS IGNORANDO TORSIÓN.

5.1.1 SECCIÓN ROLADA “W”.

A) ESQUEMAS.

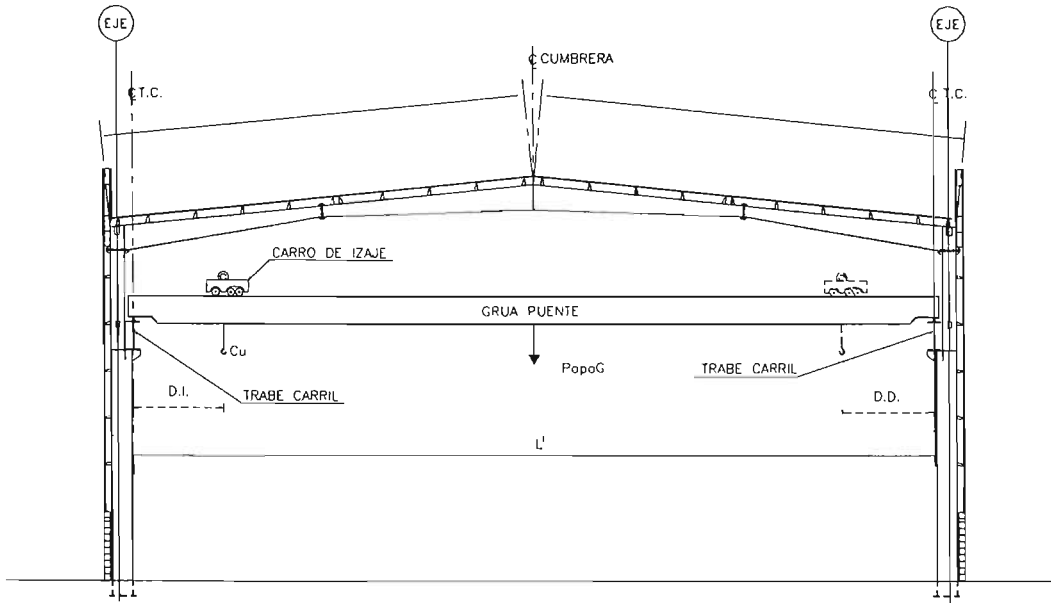


Fig. 5.1.1 Vista frontal representativa para una trabe carril en su contorno.

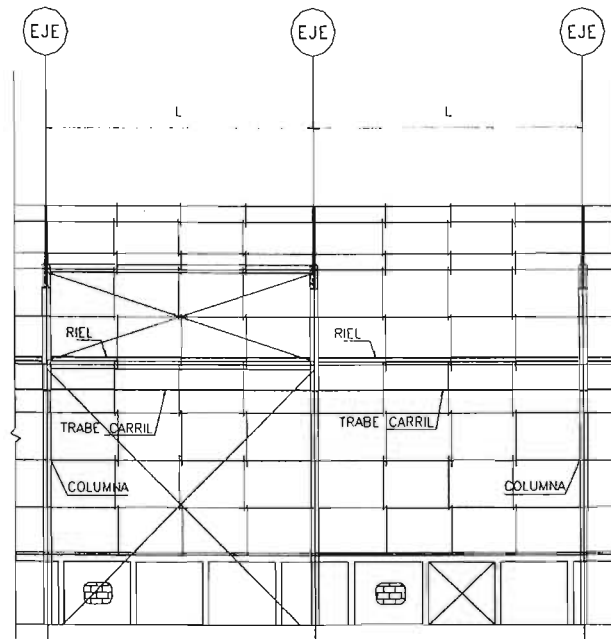


Fig. 5.1.2 Vista lateral representativa para una trabe carril con sus columnas de apoyo.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

B) DATOS.

Cu : carga capaz de izar la grúa puente = 12.5 ton.
L' : distancia entre ruedas para grúa puente = 27 m.
L'' : distancia entre ruedas para carro de izaje = 4 m.
L : distancia entre columnas de apoyo para la trabe carril = 12.50 m.
PopoG : peso propio de la grúa = 5 ton.
Wc : peso del carro de izaje = 3 ton.
Servicio tipo: C¹
Tipo de acero: A50-Gr72, Fy = 3515 Kg / cm²
IR : 60 lb / yd ó ± 30 Kg / m; IR = 14.6 in⁴ = 6 076 978.81 mm⁴
hr : altura del riel = 12.7 cm.

Distancia de acercamiento mínima permisible del carro de izaje a las traves carril:

D.I. : distancia izquierda = 1.50 m.

D.D. : distancia derecha = 2.00 m.

Porcentajes de impacto para una grúa puente con el tipo de servicio "AC"²:

Impacto Vertical = 25 %

Empuje Longitudinal = 10 %

Impacto lateral³ = 20 %

Número de ruedas (para impacto lateral):

4, si la grúa puente se desliza por dos traves carril de misma inercia alrededor del eje débil.

2, si una trabe carril por la cual se desliza la grúa puente tiene mayor rigidez que la otra en proporción a su inercia alrededor de su eje débil.

C) CRITERIOS DE REVISIÓN.

C.1. RESISTENCIA.

C.1.1 Esfuerzos Normales.

$$\frac{f_x}{F_x} + \frac{f_y}{F_y} \leq 1.00$$

C.1.2 Esfuerzos Cortantes.

$$F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}}$$

C.2 DEFLEXIONES.

$$\Delta_{\text{PERMV}} > \Delta_{\text{ACTV}}$$

$$\Delta_{\text{PERML}} > \Delta_{\text{ACTL}}$$

C.3 APLASTAMIENTO DEL ALMA.

¹ Según referencia 1.

² Según referencia 1.

³ Solo aplicable a Cu + Wc

D) ELEMENTOS MECÁNICOS.

Para la grúa puente:

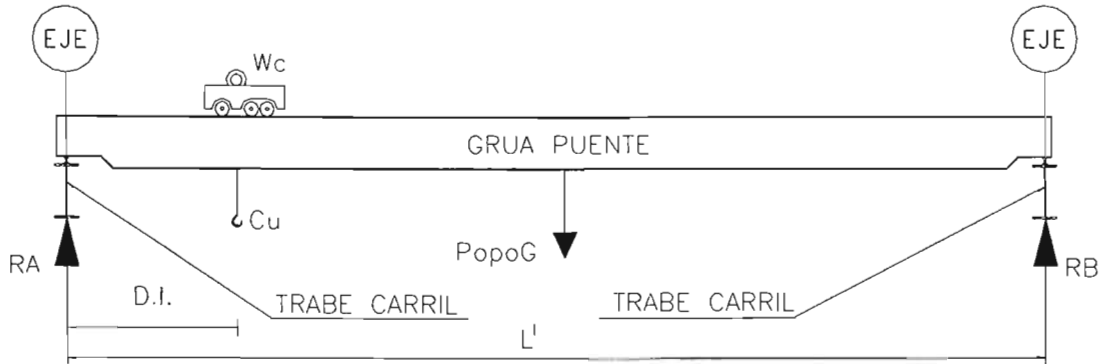


Fig. 5.1.3 Esquema representativo de grúa puente

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\text{PopoG} (L'/2) + (Wc + Cu)(L' - D.I.) - RA(L') = 0$$

$$5(27/2) + (3 + 12.5)(27 - 1.5) - RA(27) = 0 \quad \Rightarrow \quad RA = 17.139 \text{ ton.}$$

$$\Sigma F_{\text{vert}} = 0$$

$$Wc + Cu + \text{PopoG} - RA - RB = 0 \quad \Rightarrow \quad RB = 3.361 \text{ ton.}$$

D.1) MOMENTOS FLEXIONANTES.

Para la trabe carril como la mostrada en la Fig. 5.1.4; aplicando el concepto de línea de influencia⁴, se puede concluir:

“El momento flexionante máximo ($M_{c'}$) que produce un tren de ruedas sobre una viga de claro simple, se ubica debajo de la rueda más pesada cuando esta y la resultante equidistan del centro del claro”.

De lo cual obtenemos un diagrama de momentos flexionantes:

⁴ Las líneas de influencia son un recurso útil para resolver problemas que incluyen cargas móviles (ver comentarios de capítulo).

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

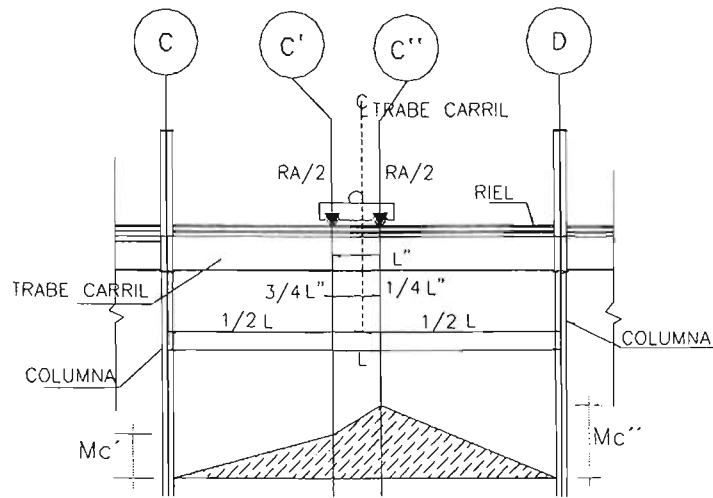


Fig. 5.1.4 Esquema de momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada.

Entonces: $\Sigma M_C = 0$

$$\frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3L''}{4} \right) + \frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

$$\frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{3(4)}{4} \right) + \frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.5) = 0$$

por lo tanto $RD = 7.198 \text{ ton.}$

Sí: $\Sigma F_{\text{vert}} = 0$

Entonces: $RA + B + RC + BRD = 0$ y $RC = 9.941 \text{ ton.}$

Por lo cual:

$$Mc'' = RD \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L''}{4} \right) = 7.198 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{4}{4} \right) = 37.79$$

Mc'' [ton-m]

Y:

$$Mc' = RC \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) = 9.941 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) = 32.308$$

Mc' [ton-m]

D.1.1) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y W_{Popo} Y R⁵.

M1 : f (solicitaciones).

M2 : f (solicitaciones + impacto).

M3 : f (solicitaciones + impacto + W_{Popo}).

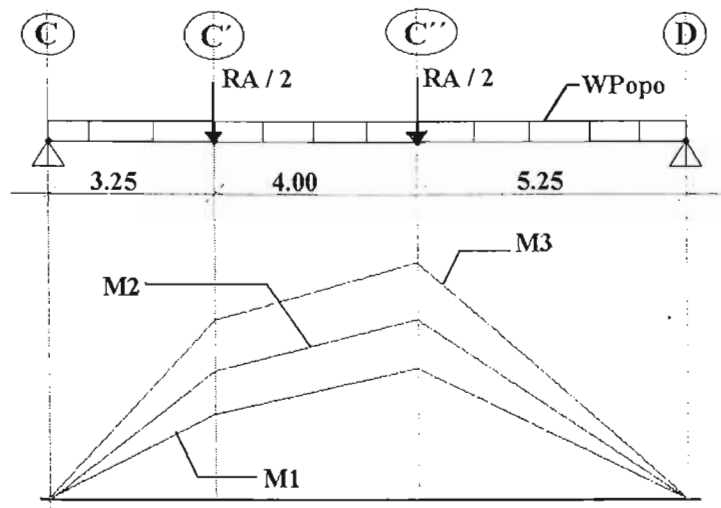


Fig. 5.1.5 Diagrama de momentos flexionantes para cargas verticales.

De manera general :

$$M1c' = 32.308 \text{ ton-m.}$$

$$M2c' = M1c' + \%IMP_V(M1c')$$

$$M3c' = M2c' + M_{popo}^6$$

$$M1c'' = 37.789 \text{ ton-m.}$$

$$M2c'' = M1c'' + \%IMP_V(M1c'')$$

$$M3c'' = M2c'' + M_{popo}^7$$

Sí:

$$M1c' = 32.308 \text{ ton-m.}$$

$$M2c' = 32.308 + 0.25 (32.308) = 40.385 \text{ ton-m.}$$

$$M3c' = 40.385 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 40.385 + 4.028 = 44.413 \text{ ton-m.}$$

Y

$$M1c'' = 37.789 \text{ ton-m.}$$

$$M2c'' = 37.789 + 0.25 (37.789) = 47.236 \text{ ton-m.}$$

$$M3c'' = 47.236 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 47.236 + 5.10 = 52.336 \text{ ton-m.}$$

D.1.2) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA IMPACTOS LATERALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: $W_c + C_u$.

M4 : f (impacto lateral).

⁵ Carga por unidad de longitud debido al peso de la trabe carril y el peso del riel.

⁶ Se supondrá como $W_{popo} = 268 \text{ Kg / m}$

⁷ Se supondrá como $W_{popo} = 268 \text{ Kg / m}$

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (W_c + Cu)}{NoRUEIDAS} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton}$$

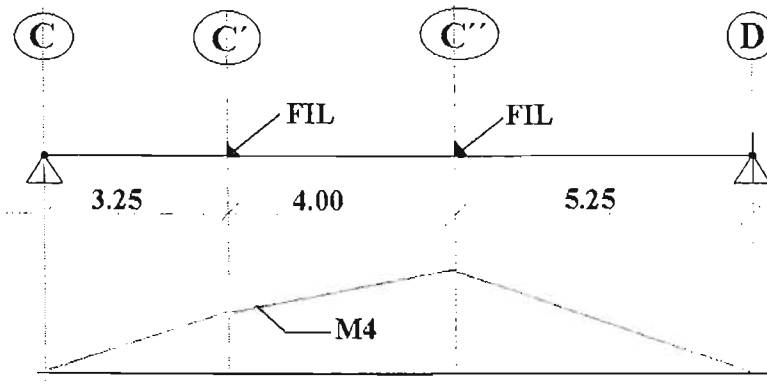


Fig. 5.1.6 Distribución de momentos flexionantes para cargas laterales

$$\Sigma M_C = 0$$

$$FIL \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) + FIL \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

$$0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) + 0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.50) = 0$$

por lo cual $RD = 0.651 \text{ ton.}$

$$\Sigma F_{\text{lat}} = 0$$

$$2FIL + RC + RD = 0 \Rightarrow RC = 0.899 \text{ ton.}$$

$$M4_{\text{max}} = RD \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L''}{4} \right)$$

entonces

$$M4_{\text{max}} = 0.651 \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{4}{4} \right) = 3.418 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

D.2) FUERZA CORTANTE.

De la misma manera en que se determina el máximo momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada, debido a cargas móviles; se tiene del concepto de líneas de influencia:

“El máximo cortante debido a cargas concentradas móviles ocurre en uno de los apoyos cuando una de estas cargas está en el apoyo”.

Por lo cual obtenemos un diagrama de fuerzas cortantes:

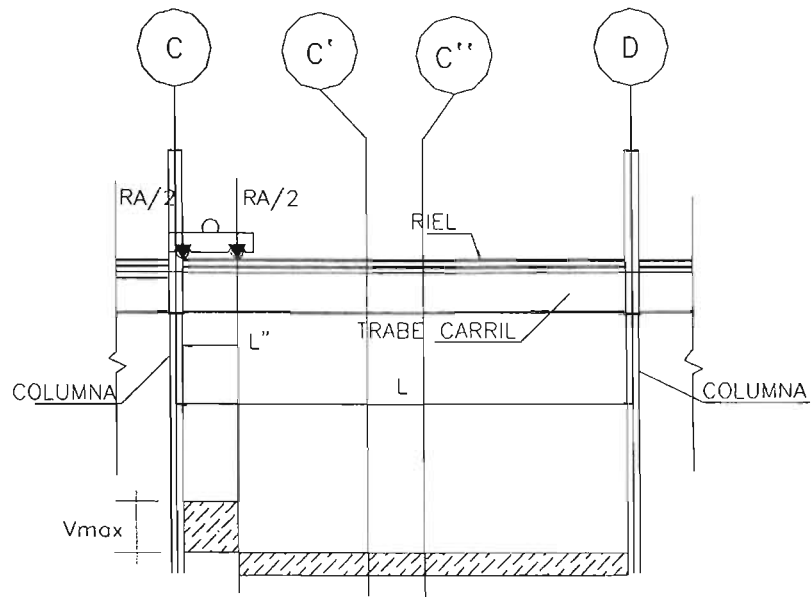


Fig. 5.1.7 Diagrama de fuerzas cortantes para una trabe carril simplemente apoyada.

Por lo cual : $V_{max} = V_c = RA / 2 = 8.5695 \text{ ton.}$

D.2.1) DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN UNA TRABE CARRIL TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y W_{POPO} T.C. Y R

- V1 : f (solicitaciones).
- V2 : f (solicitaciones + impacto).
- V3 : f (solicitaciones + impacto + W_{POPO}).

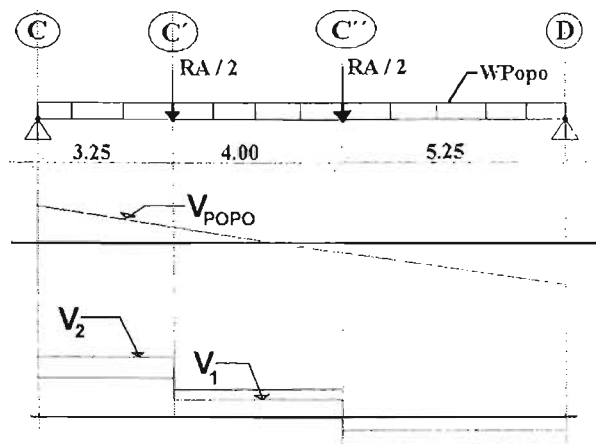


Fig.5.1.8 Diagrama de fuerzas cortantes para cargas verticales.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

De manera general :

$$\begin{aligned} V1_{C-C'} &= 9.941 \text{ ton.} & V1_{C-C''} &= 1.3715 \text{ ton.} \\ V2_{C-C'} &= V1_{C-C'} + \%IMP_V(V1_C) & V2_{C-C''} &= V1_{C-C''} + \%IMP_V(V1_D) . \\ V3_{C-C'} &= V2_{C-C'} + V_{POPO} & V3_{C-C''} &= V2_{C-C''} + V_{POPO} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V1_{C''-D} &= 7.198 \text{ ton.} \\ V2_{C''-D} &= V1_{C''-D} + \%IMP_V(V1_{C''}) . \\ V3_{C''-D} &= V2_{C''-D} + V_{POPO} \end{aligned}$$

Si: $V1_{C-C'} = 9.941 \text{ ton-m.}$
 $V2_{C-C'} = 9.941 + 0.25(9.941) = 12.426 \text{ ton.}$
 $V3_{C-C'} = 12.426 + W_{popo}(L) / 2 = 12.426 + 0.268(12.50) / 2 = 14.101 \text{ ton.}$

$\Rightarrow V1_{C-C''} = 1.3715 \text{ ton-m.}$
 $V2_{C-C''} = 1.3715 + 0.25(1.3715) = 1.714 \text{ ton.}$
 $V3_{C-C''} = 1.714 + W_{popo}(L - x) / 2 = 1.714 + 0.268(12.50 B 3.25) / 2 = 2.954 \text{ ton.}$

y $V1_{C''-D} = 7.198 \text{ ton-m.}$
 $V2_{C''-D} = 7.198 + 0.25(7.198) = 8.998 \text{ ton.}$
 $V3_{C''-D} = 8.998 + W_{popo}(L - x) / 2 = 8.998 + 0.268(12.50 B 7.25) / 2 = 9.702 \text{ ton.}$

E) SECCIÓN PRELIMINAR DEBIDO A DEFLEXIONES.

E.1) DEFLEXIONES VERTICALES.

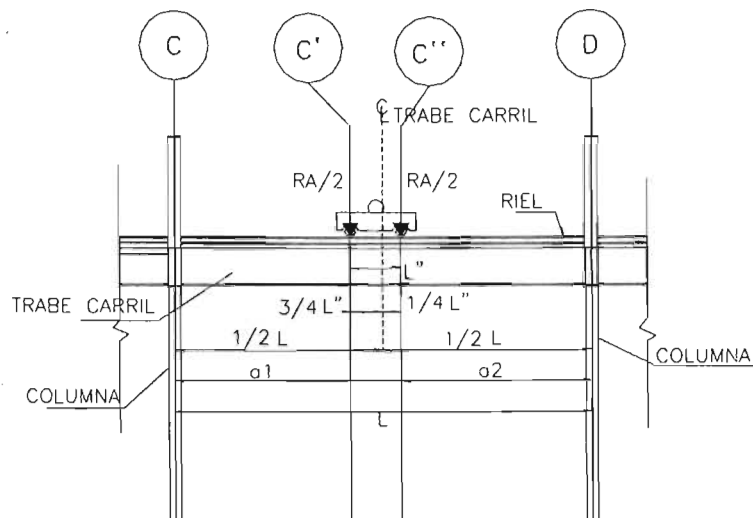


Fig. 5.1.9 Parámetros para el cálculo de deflexiones verticales.

Sí:

$$\Delta_{PERMV} = L / 600 = 1250 / 600 = 2.08 \text{ cm.}$$

Para efectos de reacción por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

$$\Delta_{ACTV} = \frac{RA \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{xx}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right]$$

$$\Delta_{ACTV} = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right]$$

Por lo cual:

$$\Delta_{ACTV} = 664178.75 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) \cdot (0.418) = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

Estableciendo: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos :

$$2.08 = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

Por lo tanto : $I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4$

E.2) DEFLEXIONES LATERALES.

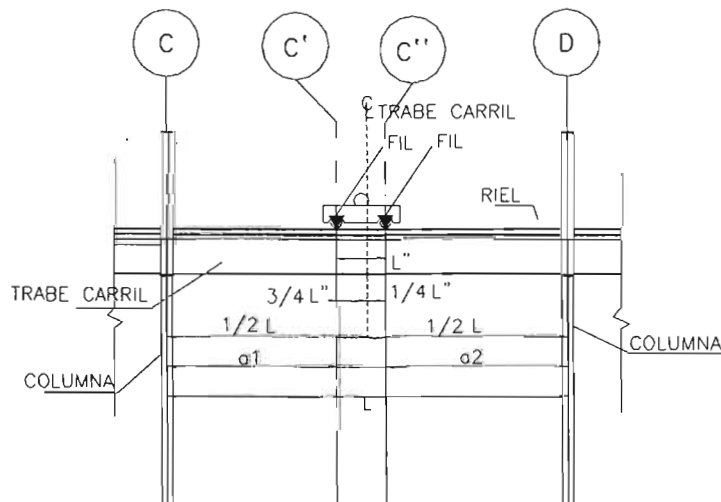


Fig. 5.1.10 Parámetros para el cálculo de deflexiones laterales.

Sí:

$$\Delta_{PERML} = L / 400 = 1250 / 400 = 3.125 \text{ cm.}$$

Para efectos de impacto por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$\Delta ACTL = \frac{FIL \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{yy}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTL = \frac{775 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{yy}} \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTL = 60066.34 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right) \cdot (0.418) = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$$

Estableciendo: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos : $3.125 = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$

Por lo tanto : $I_{yy} \cong 8\,034.47 \text{ cm}^4$

Tomando W36X160:

$I_{xx} = 405\,824 \text{ cm}^4 > 133\,474.39 \text{ cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.

$I_{yy} = 12\,279 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.

$S_{xx} = 8\,882 \text{ cm}^3$

$S_{yy} = 805 \text{ cm}^3$

$bf = 30.5 \text{ cm.}$

$w = 238 \text{ Kg / m.}$

$A_s = 303.20 \text{ cm}^2$

$r_1 = 7.70 \text{ cm.}$

$tf = 2.59 \text{ cm.}$

$tw = 1.65 \text{ cm.}$

$d = 91.5 \text{ cm.}$

Tomando ahora, tanto efectos de peso propio de la trabe carril como del riel, tenemos:

$$\Delta ACTV = \frac{RA}{2} \cdot \frac{L^3}{E \cdot I_{xx}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right] + \frac{wx}{24EI_{xx}} \cdot (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$

$$\Delta ACTV = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right] + \frac{2.38 \cdot (325)}{24 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \cdot [1250^3 - 2 \cdot (1250) \cdot 325^2 + 325^3]$$

$$\Delta ACTV = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) + 26449.26 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

Estableciendo como anteriormente: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos : $2.08 = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}}\right)$

Por lo cual $I_{xx} = 146\,190.38 \text{ cm}^4 < 405\,824 \text{ cm}^4$, entonces se acepta W36x160

Nota: para efectos de desplazamientos laterales esta carga uniformemente repartida (peso propio), no afecta la deflexión lateral anteriormente calculada.

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 0 / 8882 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_c} = f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} = 0 / 805 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 52.336 \times 10^5 / 8882 = 589.51 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_c} = f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} = 3.418 \times 10^5 / 805 = 424.596 \text{ Kg / cm}^2$$

F.2) CORTANTE:

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{91.5 \cdot 1.65} = 93.39$$

donde f_v [Kg / cm²]

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{91.5 \cdot 1.65} = 64.26$$

donde f_v [Kg / cm²]

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x ⁸

Criterios:

a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.

⁸ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{bf}{2tf}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{por lo tanto} \quad \left(\frac{bf}{2tf}\right) = \left(\frac{30.5}{2 \cdot 2.59}\right) = 5.888 \quad ; \quad \text{por otra parte} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

$$5.88 < 9.19 \quad \text{por lo cual} \quad \underline{PASA CRITERIO.}$$

c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados: *no aplica.*

d) Relación peralte / espesor:

$$\frac{d}{tw} < \frac{d}{t} \quad \text{donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{fa}{F_y}\right)$$

Considerando $fa = 0$, esto debido a los A apoyos \equiv proporcionados a la trabe carril, por los cuales se puede asumir que se transmite la fuerza axial (fa); lo que hace que fa tenga un valor nulo (ver Fig. 5.1.11).

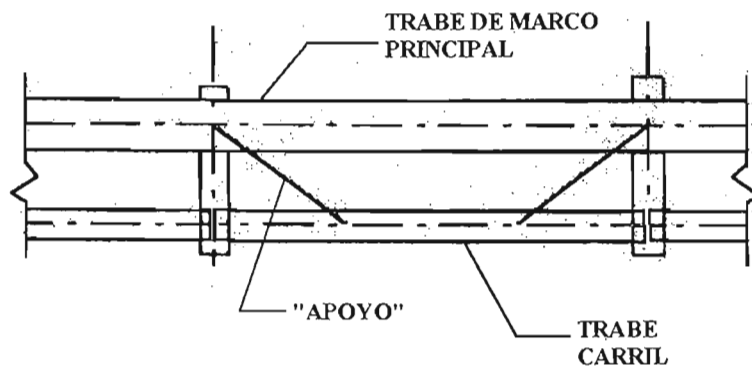


Fig. 5.1.11 Vista en planta de una trabe carril acompañada de "apoyos".

$$\text{Así:} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.567 \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{91.5}{1.65} = 55.454 \quad \text{por lo cual} \quad 55.454 < 90.576$$

concluyendo que: PASA CRITERIO.

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

LSSL = L = 1250 cm.

A cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} \quad \text{de donde} \quad \frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (30.5)}{\sqrt{3515}} = 327.7 \quad \text{y} \quad \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{91.5}{78.99}\right) \cdot 3515} = 346.294$$

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Como $LSSL = 1250 \text{ cm} > 346.29 \text{ cm}$.

Por sección 1.5.1.4.5.⁹

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \quad \text{de la cual} \quad \frac{l}{rt} = \frac{1250}{7.7} = 162.34$$

Donde $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = 101.06$

como: $162.34 > 101.06$

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{l}{rt}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{7.7}\right)^2} = 455.33$$

Entonces:

$F_{xc1} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 91.5}{78.99}\right)} = 582.89$$

y

$F_{xc2} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$

EL CUAL RIGE.

Tomando cargas accidentales:

$$F_{xc} = 1.33F_{xc2} = 1.33(582.89) = 775.24 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y ¹⁰

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

⁹ Según referencia 1.

¹⁰ Según referencia 1

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$\left(\frac{bf}{2}\right) \left(\frac{2}{tf}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{bf}{2}\right) \left(\frac{2}{tf}\right) = \left(\frac{30.5}{2}\right) \left(\frac{2}{2.59}\right) = 5.888 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

5.88 < 9.19 por lo cual PASA CRITERIO.

$$F_{y_t} = F_{y_c} = 0.75F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{y_t} = 0.75F_y(1.33)$$

$$F_{y_t} = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{775.24} + \frac{0}{3506} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{589.51}{775.24} + \frac{424.59}{3506} = 0.760 + 0.1211 = 0.882 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3506} = 0.0 + 0.0 = 0.0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{589.51}{2805} + \frac{424.596}{3506} = 0.210 + 0.1211 = 0.3313 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 93.39 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 64.26 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(36.01 - 2 \times 1.02)} \cdot 0.65^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{36.01 - 2 \times 1.9}{0.65} \right]^3 \right] = 38.81$$

P_{perm} . [Kips]

$$P_{perm} = 17\,474 \text{ Kg.}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact) :

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como $Pact < P_{perm}$ por lo tanto PASA CRITERIO.

5.1.2 ANÁLISIS DE SECCION ARMADA (1).

Tomando los primeros apartados para la sección 5.1.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia $f_y = 3515 \text{ Kg/cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y, E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril, son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \quad \text{y:} \quad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

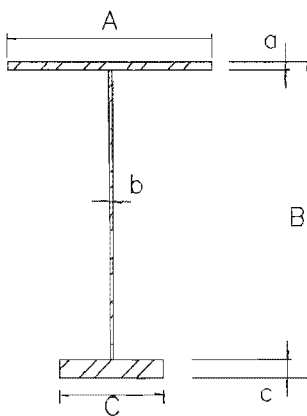


Fig. 5.1.12 Sección asimétrica armada (1).

5.1.2.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga¹¹:

$$\text{A cumplir : } \frac{h}{t_w} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \text{ por lo cual } \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

$$\text{Tomando } h = B = 60 \text{ cm, obtenemos: } t_{w, \min} \geq \frac{h}{242.74} = \frac{60}{242.74} = 0.247 \text{ donde } t_w, \min \text{ [cm]}$$

5.1.2.2) Espesor de alma para no tener reducción de esfuerzos en el patín¹²:

$$\text{A cumplir: } \frac{h}{t_w} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \text{ tomando un valor } F_b = 0.6F_y = 2109 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}} = \frac{6370}{\sqrt{2109}} = 138$$

tomando $t_w = 1.3$ cm, obtenemos:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.3} = 46.15 < 138$$

por lo cual se acepta alma con espesor de 13 mm.

¹¹ Parámetros necesarios para el diseño de traveses armados.

¹² Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

5.1.2.3) Diseño preliminar de placa de patín¹³ en base a las contribuciones a flexión del alma, proponiendo una placa para patín: a = 2.54 cm, y A = 50 cm, por lo cual (a)(A) = 127 cm²

$$A_f = \frac{M}{F_b \cdot h'} - \frac{1}{6} \cdot t_w \cdot d = \frac{52.34 \times 10^5}{2109 \cdot (60 - 2.54)} - \frac{1}{6} \cdot (1.3 \cdot 54.92) = 31.29 \quad \text{donde } A_f \text{ [cm}^2\text{]}$$

Concluyendo que: 31.29 cm² << 133 cm². entonces se acepta placa para patín.

5.1.2.4) Comprobando que el patín se totalmente efectivo como elemento a compresión no atiesado:

$$\text{A cumplir: } \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}} \quad \text{entonces: } \frac{50}{2 \cdot 2.54} = 9.84 < \frac{800}{\sqrt{3515}} = 13.49 \quad \text{por lo cual: } \underline{\text{se acepta placa para patín.}}$$

5.1.2.5) Propiedades geométricas generales para la sección armada (1):

Sí: A = 50 cm; B = 60 cm; C = 25 cm; a = 2.5 cm; b = 1.3 cm; c = 3.8 cm.

$$I_{xx} = 192\,340.97 \text{ cm}^4 > 178\,392 \text{ cm}^4$$

$$I_{yy} = 30\,999.42 \text{ cm}^4 > 8\,947 \text{ cm}^4$$

$$S_{xxT} = 5\,795.29 \text{ cm}^3$$

$$S_{yyT/C} = 1239.98 \text{ cm}^3$$

$$A_s = 289.81 \text{ cm}^2$$

$$S_{xxC} = 7174.22 \text{ cm}^3$$

$$S_{yyC/T} = 2479.98 \text{ cm}^3$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 7174.22 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 5795.29 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yyT/C} = 0 / 1239.98 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yyC/T} = 0 / 2479.9 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 7174.22 = 729.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

¹³ Según referencia 1.

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 5795.29 = 903.15 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 3.418 \times 10^5 / 1239.98 = 275.81 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{C/T}} = 3.418 \times 10^5 / 2479.9 = 137.91 \text{ Kg / cm}^2.$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{60 \cdot 1.3} = 180.78 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{60 \cdot 1.3} = 124.38 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x^{14}

Simplificando criterios que estipula la sección 1.5.1.4.1¹⁵

Por sección 1.5.1.4.5¹⁶

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir : } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{r_t} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

$$\text{Donde: } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16 \quad \text{y} \quad \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

¹⁴ Según referencia 1.

¹⁵ Según referencia 1.

¹⁶ Según referencia 1.

Para calcular r_t tomaremos:

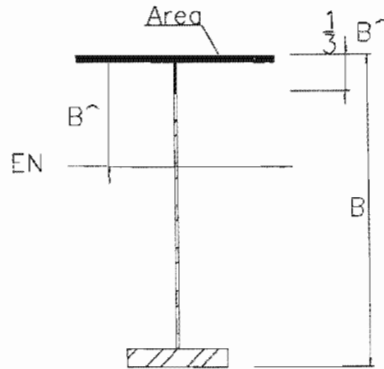


Fig.5.1.13 Area a considerar para el cálculo de r_t .

De la cual resulta: $r_t^{17} = 13.81 \text{ cm}$, teniendo por lo tanto : $\frac{1}{r_t} = \frac{1250}{13.81} = 90.53$

como: $45.16 < 90.53 < 101.6$ se acepta criterio.

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{1}{r_t} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (90.53)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1405.75$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{I_d}{A_f} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{127} \right)} = 1429.17$$

y $\text{donde } F_{xc2}$ [Kg / cm²] EL CUAL RIGE

Tomando cargas accidentales:

$$\text{tenemos: } F_{xc} = 1.33 F_{xc1} = (1.33) 1429.17 = 1900.79 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{18}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. Cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

¹⁷ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

¹⁸ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2a}\right) = \left(\frac{50}{2.5}\right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad \text{donde ahora} \quad \frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44 \quad \text{por lo cual} \quad 10.00 < 13.44, \text{ entonces cumple criterio.}$$

Así:

$$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a}\right) \cdot \sqrt{f_y} \right] \quad \text{donde} \quad F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{50}{2 \cdot (2.5)}\right) \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$$

Por lo cual; $F_{yc} = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1900.79} + \frac{0}{3373.66} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \text{ por lo cual } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{729.56}{1900.79} + \frac{275.81}{3373.66} = 0.384 + 0.082 = 0.4658 < 1.0 \text{ por lo cual } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSION.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3373.66} = 0.0 + 0.0 = 0.0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{903.15}{2805} + \frac{275.81}{3373.66} = 0.3219 + 0.082 = 0.404 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 180.78 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 124.38 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

D) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{\frac{d_c}{t_w}}{\frac{L}{b_f}} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(23.62 - 2 \times 1.00)} \cdot 0.51^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{\frac{23.62 - 2 \times 1.3}{0.51}}{\frac{492.13}{19.68}} \right]^3 \right] = 74.72$$

P_{perm.} [Kips]
P_{perm} = 33 894 Kg

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/4 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10 712 \text{ Kg.}$$

como Pact < Pperm por lo tanto PASA CRITERIO.

5.1.3 ANÁLISIS DE SECCIÓN ARMADA (2).

Tomando los primeros apartados para la sección 5.1.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia fy=3515 Kg / cm², C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 266 949 \text{ cm}^4 \quad \text{y:} \quad I_{yy} \cong 8 040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

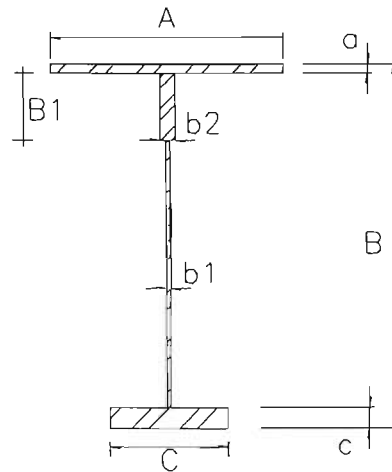


Fig. 5.1.14 Sección asimétrica armada (2).

5.1.3.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga¹⁹:

$$\text{A cumplir: } \frac{h}{tw} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \quad \text{por lo cual} \quad \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

$$\text{Tomando } h = B = 60 \text{ cm, obtenemos: } tw, \text{ min} \geq \frac{h}{242.74} = \frac{60}{242.74} = 0.247 \quad \text{donde } tw, \text{ min [cm].}$$

5.1.3.2) Espesor de alma para no tener reducción de esfuerzos en el patín²⁰:

$$\text{A cumplir: } \frac{h}{tw} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \quad \text{tomando un valor } F_b = 0.6F_y = 2109 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}} = \frac{6370}{\sqrt{2109}} = 138 \quad \text{tomando } tw = 1.3 \text{ cm, obtenemos:}$$

$$\frac{h}{tw} = \frac{60}{1.3} = 46.15 < 138 \quad \text{por lo cual se acepta alma con espesor de 13 mm.}$$

5.1.3.3) Diseño preliminar de placa de patín²¹ en base a las contribuciones a flexión del alma,

¹⁹ Parámetros necesarios para el diseño de traveses armados.

²⁰ Igual a nota 19.

²¹ Igual a nota 19.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

proponiendo una placa para patín: $a = 2.54 \text{ cm}$, y $A = 50 \text{ cm}$, por lo cual $(a)(A) = 127 \text{ cm}^2$.

$$A_f = \frac{M}{F_b \cdot h'} - \frac{1}{6} \cdot t_w \cdot d = \frac{52.34 \times 10^5}{2109 \cdot (60 - 2.54)} - \frac{1}{6} \cdot (1.3 \cdot 54.92) = 31.29$$

donde $A_f [\text{cm}^2]$

Concluyendo que: $31.29 \text{ cm}^2 \ll 133 \text{ cm}^2$. entonces se acepta placa para patín.

5.1.3.4) Comprobando que el patín se totalmente efectivo como elemento a compresión no atiesado:

A cumplir: $\frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}}$ entonces: $\frac{50}{2 \cdot 2.54} = 9.84 < \frac{800}{\sqrt{3515}} = 13.49$ por lo cual se acepta placa para patín.

5.1.3.5) Determinando la dimensión B1 para placa en alma:

Donde B1 esta en función de los siguientes criterios:

- El radio de giro de una sección que comprende el patín a compresión más un tercio del área del alma en compresión, B1i (ver Fig. 5.1.15).
- El esfuerzo de compresión al pie de los filetes de la unión del alma al patín, resultado de cargas concentradas no soportadas por atiesadores B1ii (ver Fig. 5.1.16).

Tomando como base las siguientes propiedades preliminares (en base a la Fig. 5.1.14):

Sí: $A = 50 \text{ cm}$; $B = 60 \text{ cm}$; $C = 25 \text{ cm}$; $a = 2.5 \text{ cm}$; $b_1 = 1.3 \text{ cm}$; $b_2 = 2.5 \text{ cm}$; $c = 3.8 \text{ cm}$.

Del primer criterio tendremos: $B_{1i} \cong 1/6 B$, redondeando el valor obtenido, optamos por: $B_{1i} \cong 10 \text{ cm}$.

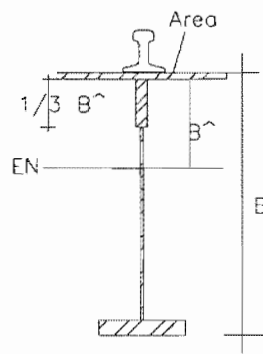


Fig. 5.1.15 Primer criterio para la determinación de B1.

Del segundo criterio y tomando como base que $b_2 \cong 2b_1$ (ver Fig. 5.1.14):, es decir $b_2 \cong 2.5 \text{ cm}$; tendremos:

Por lo tanto: $b = 2 (hr + a)$
 Sí: $P = b^2(b + 2B1)(0.75Fy)^{22}$ (1)

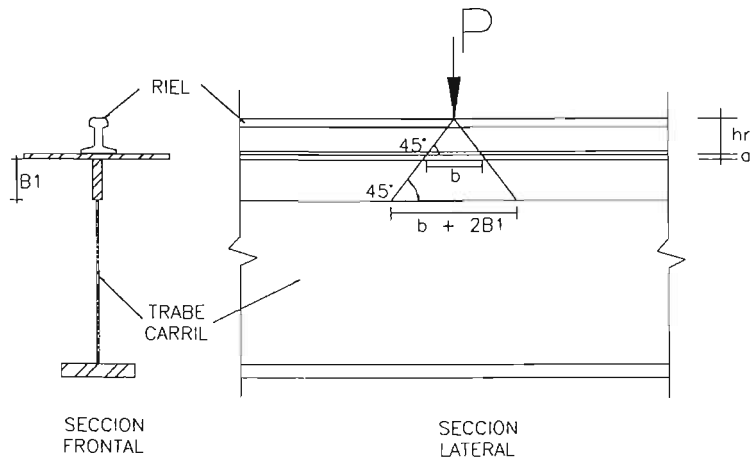


Fig. 5.1.16 Segundo criterio para la determinación de B1.

$$B1 = \frac{P}{2 \cdot b^2 \cdot 0.75 \cdot Fy} - \frac{b}{2} \dots\dots\dots (2)$$

De la ecuación (1), obtenemos:

Para esta última ecuación, se puede observar que para la combinación de una pequeña carga concentrada (P) debida a la grúa viajera, y un gran peralte del riel (hr); dan como resultado una dimensión de placa "B1" con valor negativo.

Por lo cual el cálculo de esta dimensión de placa estará regido por el primer criterio citado con anterioridad.

5.1.3.6) Para las dimensiones propuestas con anterioridad y tomando B2 = 10 cm, tendremos como propiedades geométricas generales para la sección armada (2):

$I_{xx} = 196\,402.97 \text{ cm}^4 > 178\,392 \text{ cm}^4$	
$I_{yy} = 31\,011.42 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4$	$A_s = 301.81 \text{ cm}^2$
$S_{xxT} = 5\,759.60 \text{ cm}^3$	$S_{xxC} = 7\,583.1 \text{ cm}^3$
$S_{yyTC} = 1240 \text{ cm}^3$	$S_{yyCT} = 2481 \text{ cm}^3$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

²² Esfuerzo permisible a compresión debido a cargas concentradas no soportadas por atiesadores.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 7583.1 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 5759.6 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 0 / 1240 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 0 / 2481 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 7583.1 = 690.22 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 5759.6 = 908.74 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 3.418 \times 10^5 / 1240 = 275.81 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 3.418 \times 10^5 / 2481 = 137.85 \text{ Kg / cm}^2.$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{(b_2 \cdot B_1) + (b_1 \cdot (B - a - c - B_1))} = \frac{14101}{(2.5 \cdot 10) + (1.3 \cdot 43.7)} = 172.36 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCION : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{(b_2 \cdot B_1) + (b_1 \cdot (B - a - c - B_1))} = \frac{9702}{(2.5 \cdot 10) + (1.3 \cdot 43.7)} = 118.59 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x^{23}

Simplificando criterios de sección 1.5.1.4.1²⁴

Por sección 1.5.1.4.5²⁵

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

²³ Según referencia 1.

²⁴ Según referencia 1.

²⁵ Según referencia 1.

Para esfuerzos a compresión:

A cumplir :
$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{l}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

Donde:
$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16 \quad \text{y} \quad \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

Para calcular rt tomaremos:

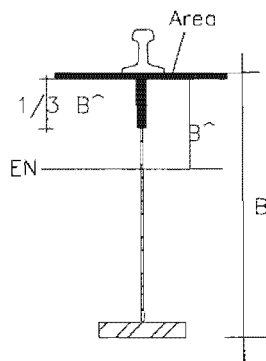


Fig. 5.1.17 Area a considerar para calcular rt .

De la cual resulta: $rt^{26} = 12.39$ cm, teniendo por lo tanto :

$$\frac{l}{rt} = \frac{1250}{12.39} = 100.8$$

como: $45.16 < 100.89 < 101.6$ se acepta criterio.

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{l}{rt} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (100.89)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1178.88$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{ld}{Af} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{125} \right)} = 1406.6$$

y

donde F_{xc2} [Kg / cm²] RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc} = (1.33)(1406.6) = 1870.78 \text{ Kg / cm}^2$$

²⁶ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{27}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. Cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2a}\right) = \left(\frac{50}{2.5}\right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad \text{donde ahora} \quad \frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44 \quad \text{por lo cual} \quad 10.00 < 13.44, \text{ entonces cumple criterio.}$$

Así:

$$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a}\right) \cdot \sqrt{f_y} \right] \quad \text{donde} \quad F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left[\frac{50}{2 \cdot (2.5)}\right] \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$$

Por lo cual; $F_{yc} = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40 F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) VERIFICANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1870.78} + \frac{0}{3373.66} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \quad \text{por lo tanto} \quad \text{PASA CRITERIO.}$$

²⁷ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{690.22}{1870.78} + \frac{275.81}{3373.66} = 0.369 + 0.0818 = 0.451 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3373.66} = 0.0 + 0.0 = 0.0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{908.74}{2805} + \frac{275.81}{3373.66} = 0.3240 + 0.0818 = 0.406 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 172.36 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 118.59 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(23.62 - 1 - 1.15)} \cdot 1^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{23.62 - 2 \times 1.3}{1} \right]^3 \right] = 75.24$$

Pperm. [Kips]

$$P_{perm} = 34\,131 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como Pact < Pperm por lo tanto PASA CRITERIO.

5.1.4 ANÁLISIS DE SECCIÓN COMPUESTA “T”.

Tomando los primeros apartados para la sección 5.1.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que los elementos tendrán un esfuerzo de fluencia $f_y=3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \qquad \text{y:} \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

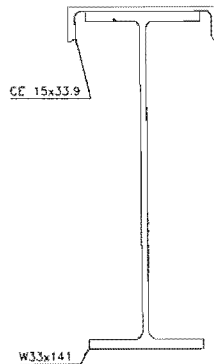


Fig. 5.1.18 Sección asimétrica compuesta.

Propiedades geométricas generales para la sección compuesta, proponiendo las siguientes secciones:

W33x141 y CE 15x33.9

$$\begin{array}{ll}
 I_{xx} = 386\,902.43 \text{ cm}^4 > 133\,474.39 \text{ cm}^4 & A_s = 332.84 \text{ cm}^2 \\
 I_{yy} = 23\,240 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4 & S_{xxc} = 11\,029.15 \text{ cm}^3 \\
 S_{xxt} = 7\,655.38 \text{ cm}^3 & S_{yy_{TC}} = 1219.95 \text{ cm}^3 \\
 S_{yy_{C/T}} = 1586.35 \text{ cm}^3 &
 \end{array}$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 11\,029.15 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 7\,655.38 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 0 / 1219.95 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 0 / 1586.35 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 11\,029.15 = 474.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 7655.38 = 683.70 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 3.418 \times 10^5 / 1219.95 = 280.18 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 3.418 \times 10^5 / 1586.35 = 215.46 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{84.6 \cdot 1.54} = 108.23 \quad f_v \text{ [Kg} / \text{cm}^2]$$

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{84.6 \cdot 1.54} = 74.47 \quad f_v \text{ [Kg} / \text{cm}^2]$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X" : F_x^{28}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica.
- c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad \text{se tomará:} \quad b_f = d_{CE} \quad \text{y} \quad t_f = t_{w_{CE}}$$

por lo cual: $b_f = 38.1 \text{ cm.}$ y $t_f = 1.02 \text{ cm.}$

Por lo tanto: $\left(\frac{b_f}{2} \right) = \frac{38.1}{2} = 18.67$ y $\frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$

²⁸ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Entonces : $18.67 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

d) Relación peralte / espesor de alma:

$$\frac{d}{tw} < \frac{d}{t} \quad \text{de donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{f_a}{F_y}\right) \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{dw + twce}{tw}$$

Considerando $f_a = 0$, como ya se citó al inicio del capítulo, tendremos:

$$\frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.567 \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{84.6 + 1.02}{1.54} = 55.59$$

entonces: $55.59 < 90.576$ por lo cual PASA CRITERIO.

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

LSSL = 1250 cm.

A cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y}$$

De donde

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot dce}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (38.1)}{\sqrt{3515}} = 409.36 \quad \text{y} \quad \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{85.62}{135.49}\right) \cdot 3515} = 634.78$$

Como LSSL = 1250 cm > 634.78

Por sección 1.5.1.4.5²⁹

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33) \\ F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir : } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

²⁹ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Donde: $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$

Para calcular r_t tomaremos:

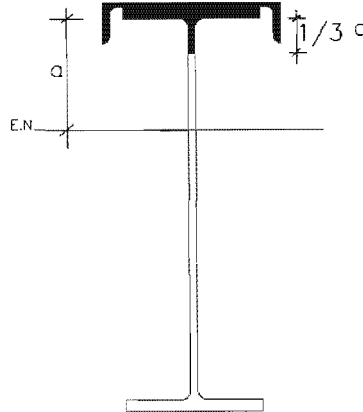


Fig. 5.1.19 Área a considerar para calcular r_t .

De la cual resulta: $r_t^{30} = 10.93 \text{ cm}$, teniendo por lo tanto : $\frac{l}{r_t} = \frac{1250}{10.93} = 114.39$
 como: $114.39 > 101.06$ por lo cual

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{l}{r_t}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{10.93}\right)^2} = 917.4$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 85.62}{135.49}\right)} = 1068.48$$

donde F_{xc2} [Kg / cm²] RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc} = (1.33)(1068.4) = 1421.08 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y ³¹

Criterios:

a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.

³⁰ Ver propiedades en el apéndice correspondiente.

³¹ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica criterio.

c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad \text{se tomará:} \quad b = d_{CE} \quad \text{y} \quad t_f = t_{w_{CE}}$$

por lo cual: $bf = 38.1 \text{ cm}$ y $t_f = 1.02 \text{ cm}$

Por lo tanto: $\left(\frac{bf}{2}\right) \frac{38.1}{1.02} = 18.68$ y $\frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$

Entonces : $18.68 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

$$F_{yc} = F_{yt} = 0.75F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{xt} = 0.75F_y(1.33)$$

$$F_{y1} = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) VERIFICANDO CRITERIOS DE REVISIÓN.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1421.08} + \frac{0}{3506} = 0 + 0 = 0$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{474.56}{1421.08} + \frac{280.18}{3506} = 0.333 + 0.079 = 0.413$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2085} + \frac{0}{3506} = 0.0 + 0.0 = 0.0$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{683.7}{2085} + \frac{280.18}{3506} = 0.328 + 0.0798 = 0.408 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 108.23 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 74.47 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{dc}{tw} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(33.3 - 2 \times 0.96)} \cdot 0.61^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{29.8}{0.61} \right]^3 \right] = 29.58$$

$$dc = d - 2k$$

$$P_{perm.} \text{ [Kips]}$$

$$P_{perm} = 13\,416 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10712 \text{ Kg.}$$

como $Pact < P_{perm}$ por lo tanto PASA CRITERIO

REFERENCIAS.

1. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). 2001. Manual de Construcción en Acero -Diseño por Esfuerzos Permisibles. Limusa Noriega Editores. Vol. 1, 3ª Edición. México, D.F.

5.2 EJEMPLOS NUMÉRICOS SIMPLIFICANDO EFECTOS DE TORSIÓN.

5.2.1 SECCIÓN ROLADA “W”.

A) ESQUEMAS.

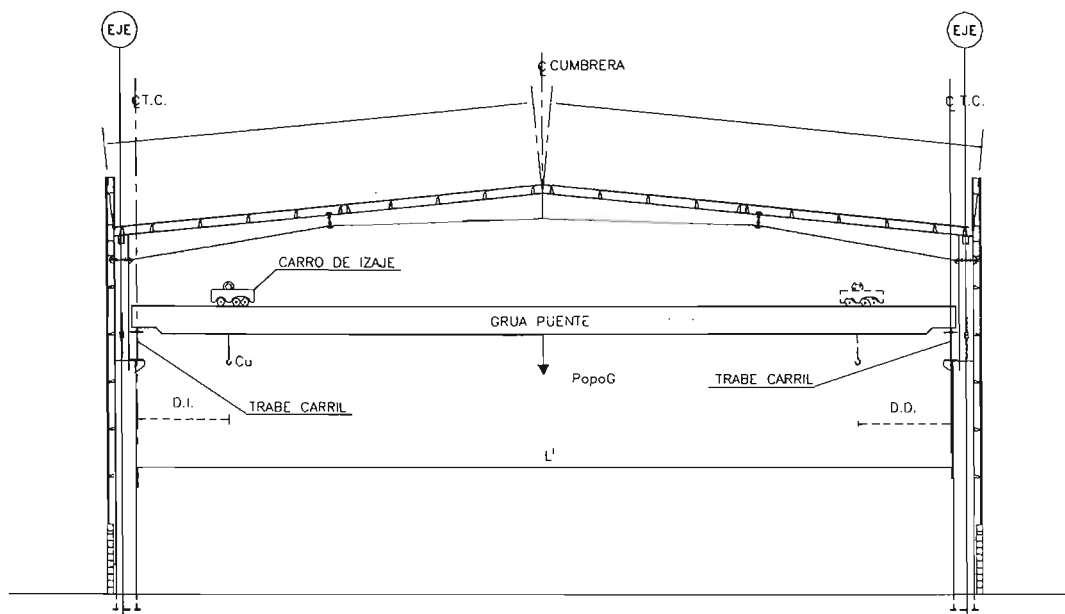


Fig. 5.2.1 Vista frontal representativa para una trabe carril en su contorno.

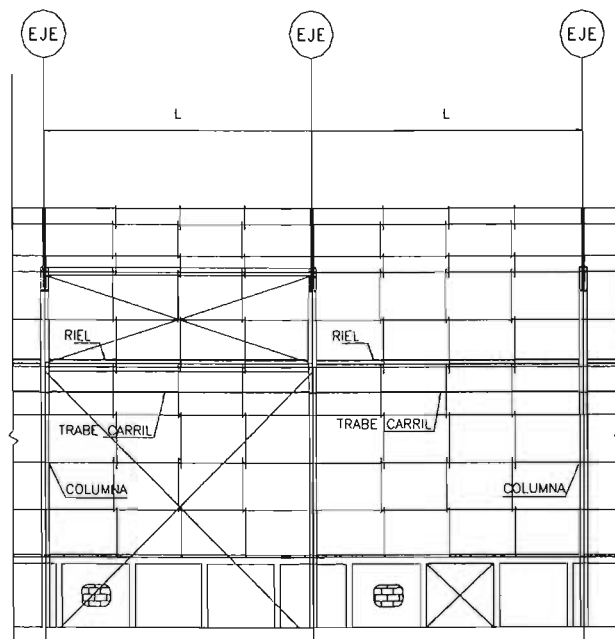


Fig. 5.2.2 Vista lateral representativa para una trabe carril con sus columnas de apoyo.

B) DATOS.

- Cu : carga capaz de izar la grúa puente = 12.5 ton.
L' : distancia entre ruedas para grúa puente = 27 m.
L'' : distancia entre ruedas para carro de izaje = 4 m.
L : distancia entre columnas de apoyo para la trabe carril = 12.50 m.
PopoG : peso propio de la grúa = 5 ton.
Wc : peso del carro de izaje = 3 ton.
Servicio tipo: C¹
Tipo de acero: A50-Gr72, Fy = 3515 Kg / cm²
IR : 60 lb / yd ó 130 Kg / m; IR = 14.6 in⁴ = 6 076 978.81 mm⁴
hr : altura del riel = 12.7 cm.

Distancia de acercamiento mínima permisible del carro de izaje a las trabes carril:

D.I. : distancia izquierda = 1.50 m.

D.D. : distancia derecha = 2.00 m.

Porcentajes de impacto para una grúa puente con el tipo de servicio "C"²:

Impacto Vertical = 25 %

Empuje Longitudinal = 10 %

Impacto lateral³ = 20 %

Número de ruedas (para impacto lateral):

4, si la grúa puente se desliza por dos trabes carril de misma inercia alrededor del eje débil.

2, si una trabe carril por la cual se desliza la grúa puente tiene mayor rigidez que la otra en proporción a su inercia alrededor de su eje débil.

C) CRITERIOS DE REVISIÓN.

C.1. RESISTENCIA.

C.1.1 Esfuerzos Normales.

$$\frac{f_x}{F_x} + \frac{f_y}{F_y} \leq 1.00$$

C.1.2 Esfuerzos Cortantes.

$$F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}}$$

C.2 DEFLEXIONES.

$$\Delta_{\text{PERMV}} > \Delta_{\text{ACTV}}$$

$$\Delta_{\text{PERML}} > \Delta_{\text{ACTL}}$$

C.3 APLASTAMIENTO DEL ALMA.

¹ Según referencia 1.

² Según referencia 1.

³ Solo aplicable a Cu + Wc

D) ELEMENTOS MECÁNICOS.

Para la grúa puente:

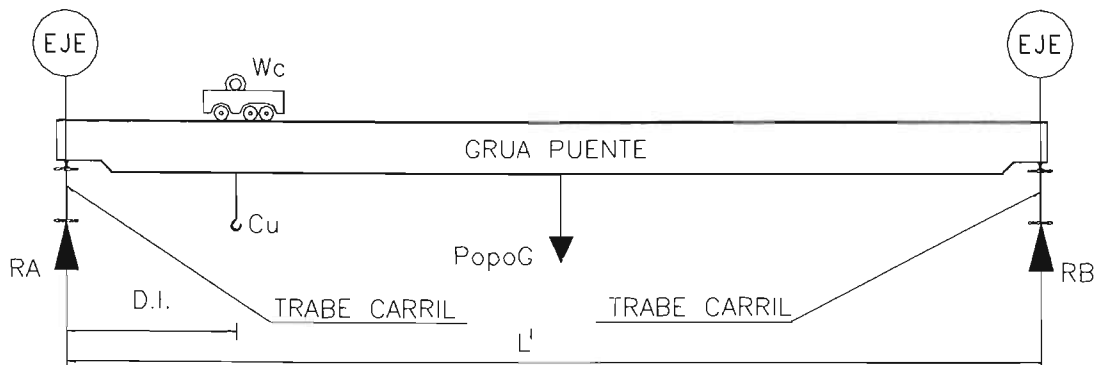


Fig. 5.2.3 Esquema representativo de grúa puente.

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\text{PopoG} (L'/2) + (Wc + Cu)(L' - D.I.) - RA(L') = 0$$

$$5 (27 / 2) + (3 + 12.5)(27 - 1.5) - RA(27) = 0 \quad \Rightarrow \quad RA = 17.139 \text{ ton.}$$

$$\Sigma F_{\text{vert}} = 0$$

$$Wc + Cu + \text{PopoG} - RA - RB = 0 \quad \Rightarrow \quad RB = 3.361 \text{ ton.}$$

D.1) MOMENTOS FLEXIONANTES.

Para la trabe carril como la mostrada en la Fig. 5.2.4; aplicando el concepto de línea de influencia⁴, se puede concluir:

“El momento flexionante máximo (Mc') que produce un tren de ruedas sobre una viga de claro simple, se ubica debajo de la rueda más pesada cuando esta y la resultante equidistan del centro del claro”.

De lo cual obtenemos un diagrama de momentos flexionantes:

⁴ Las líneas de influencia son un recurso útil para resolver problemas que incluyen cargas móviles (ver comentarios de capítulo).

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

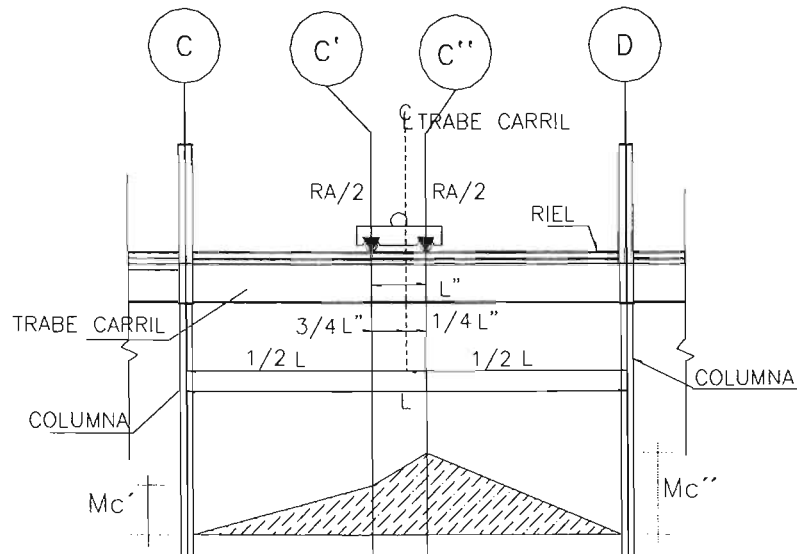


Fig. 5.2.4 Esquema de momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada

Entonces: $\Sigma M_C = 0$

$$\frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3L''}{4} \right) + \frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

$$\frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{3(4)}{4} \right) + \frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.5) = 0$$

por lo tanto $RD = 7.198 \text{ ton.}$

Sí: $\Sigma F_{\text{vert}} = 0$

Entonces: $RA + B + RC + BRD = 0$ y $RC = 9.941 \text{ ton.}$

Por lo cual:

$$Mc'' = RD \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L''}{4} \right) = 7.198 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{4}{4} \right) = 37.79$$

Mc'' [ton-m]

Y:

$$Mc' = RC \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) = 9.941 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) = 32.308$$

Mc' [ton-m]

D.1.1) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y W_{Popo} T.C. Y R.⁵.

- M1 : f (solicitaciones).
- M2 : f (solicitaciones + impacto).
- M3 : f (solicitaciones + impacto + W_{Popo}).

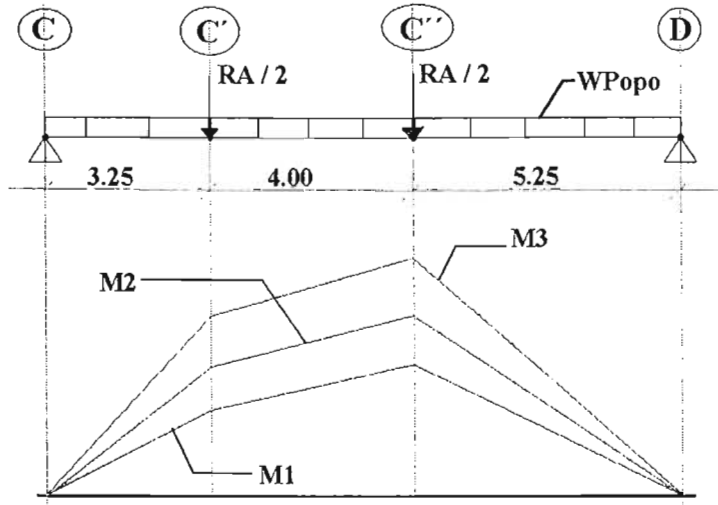


Fig. 5.2.5 Diagrama de momentos flexionantes para cargas verticales.

De manera general :

$$\begin{aligned}
 M1c' &= 32.308 \text{ ton-m.} & M1c'' &= 37.789 \text{ ton-m.} \\
 M2c' &= M1c' + \%IMP_V(M1c'). & M2c'' &= M1c'' + \%IMP_V(M1c''). \\
 M3c' &= M2c' + M_{popo}^6 & M3c'' &= M2c'' + M_{popo}^7
 \end{aligned}$$

Sí:

$$\begin{aligned}
 M1c' &= 32.308 \text{ ton-m.} \\
 M2c' &= 32.308 + 0.25 (32.308) = 40.385 \text{ ton-m.} \\
 M3c' &= 40.385 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 40.385 + 4.028 = 44.413 \text{ ton-m.}
 \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned}
 M1c'' &= 37.789 \text{ ton-m.} \\
 M2c'' &= 37.789 + 0.25 (37.789) = 47.236 \text{ ton-m.} \\
 M3c'' &= 47.236 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 47.236 + 5.10 = 52.336 \text{ ton-m.}
 \end{aligned}$$

D.1.2) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA IMPACTOS LATERALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: $W_c + C_u$.

- M4 : f (impacto lateral).

⁵ Carga por unidad de longitud debido al peso de la trabe carril y el peso del riel.

⁶ Se supondrá como $W_{popo} = 268 \text{ Kg / m}$.

⁷ Se supondrá como $W_{popo} = 268 \text{ Kg / m}$.

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (Wc + Cu)}{NoRUEDAS} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton}$$

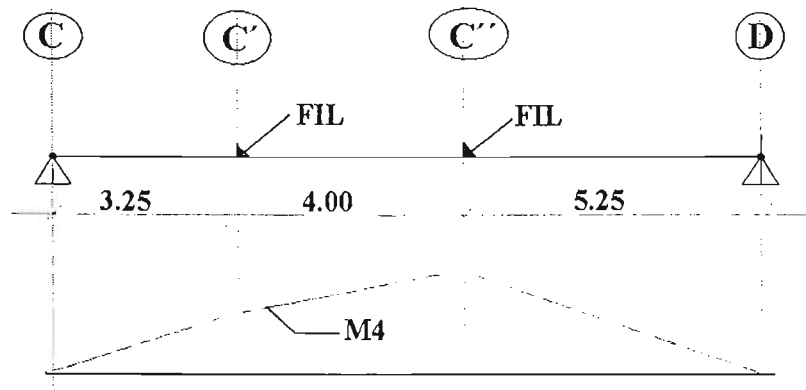


Fig. 5.2.6 Distribución de momentos flexionantes para cargas laterales.

$$\Sigma M_C = 0$$

$$FIL \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) + FIL \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

$$0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) + 0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.50) = 0 \quad \text{por lo cual} \quad RD = 0.651 \text{ ton.}$$

$$\Sigma F_{\text{lat}} = 0$$

$$2FIL - RC - RD = 0 \Rightarrow RC = 0.899 \text{ ton.}$$

$$M4_{\text{max}} = RD \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L''}{4} \right) \quad \text{entonces} \quad M4_{\text{max}} = 0.651 \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{4}{4} \right) = 3.418 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

D.2) FUERZA CORTANTE.

De la misma manera en que se determina el máximo momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada, debido a cargas móviles; se tiene del concepto de líneas de influencia:

“El máximo cortante debido a cargas concentradas móviles ocurre en uno de los apoyos cuando una de estas cargas esta en el apoyo”.

Por lo cual obtenemos un diagrama de fuerzas cortantes:

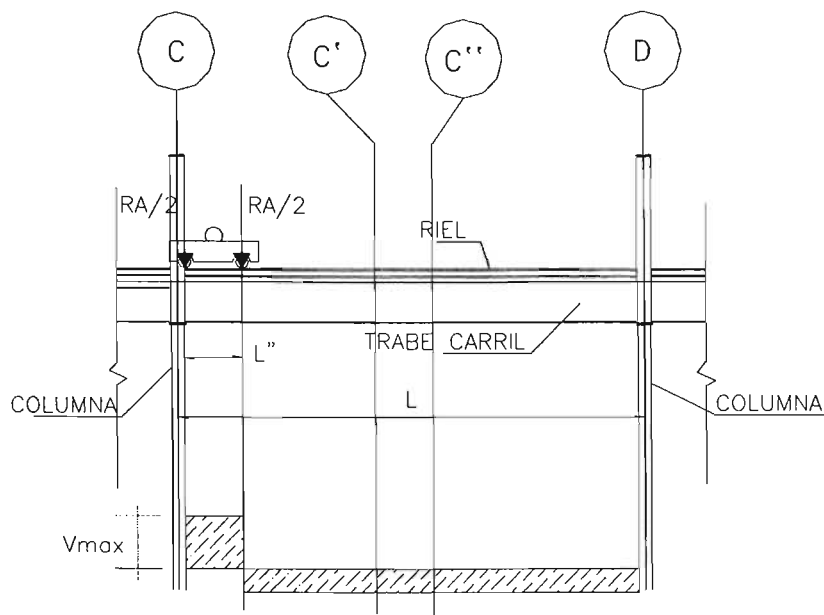


Fig. 5.2.7 Diagrama de fuerzas cortantes para una trabe carril simplemente apoyada.

Por lo cual : $V_{max} = V_c = RA / 2 = 8.5695 \text{ ton.}$

D.2.1) DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN UNA TRABE CARRIL TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y $Popo_{T.C. Y R}$

- V1 : f (solicitaciones).
- V2 : f (solicitaciones + impacto).
- V3 : f (solicitaciones + impacto + W_{POPO}).

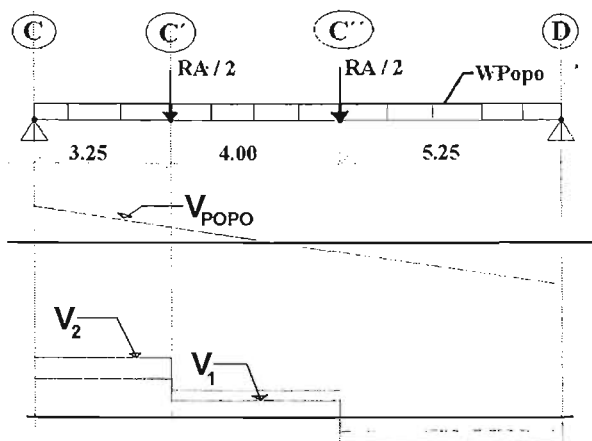


Fig.5.2.8 Diagrama de fuerzas cortantes para cargas verticales.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

De manera general :

$$V1_{C-C'} = 9.941 \text{ ton.}$$

$$V2_{C-C'} = V1_{C-C'} + \%IMP_V(V1_C)$$

$$V3_{C-C'} = V2_{C-C'} + V_{POPO}$$

$$V1_{C-C''} = 1.3715 \text{ ton.}$$

$$V2_{C-C''} = V1_{C-C''} + \%IMP_V(V1_D)$$

$$V3_{C-C''} = V2_{C-C''} + V_{POPO}$$

$$V1_{C''-D} = 7.198 \text{ ton}$$

$$V2_{C''-D} = V1_{C''-D} + \%IMP_V(V1_{C''})$$

$$V3_{C''-D} = V2_{C''-D} + V_{POPO}$$

Si: $V1_{C-C'} = 9.941 \text{ ton-m.}$

$$V2_{C-C'} = 9.941 + 0.25(9.941) = 12.426 \text{ ton.}$$

$$V3_{C-C'} = 12.426 + W_{popo}(L) / 2 = 12.426 + 0.268(12.50) / 2 = 14.101 \text{ ton.}$$

$$\Rightarrow V1_{C-C''} = 1.3715 \text{ ton-m.}$$

$$V2_{C-C''} = 1.3715 + 0.25(1.3715) = 1.714 \text{ ton.}$$

$$V3_{C-C''} = 1.714 + W_{popo}(L - x) / 2 = 1.714 + 0.268(12.50 - 3.25) / 2 = 2.954 \text{ ton.}$$

y $V1_{C''-D} = 7.198 \text{ ton-m.}$

$$V2_{C''-D} = 7.198 + 0.25(7.198) = 8.998 \text{ ton.}$$

$$V3_{C''-D} = 8.998 + W_{popo}(L - x) / 2 = 8.998 + 0.268(12.50 - 7.25) / 2 = 9.702 \text{ ton.}$$

E) SECCION PRELIMINAR DEBIDO A DEFLEXIONES.

E.1) DEFLEXIONES VERTICALES.

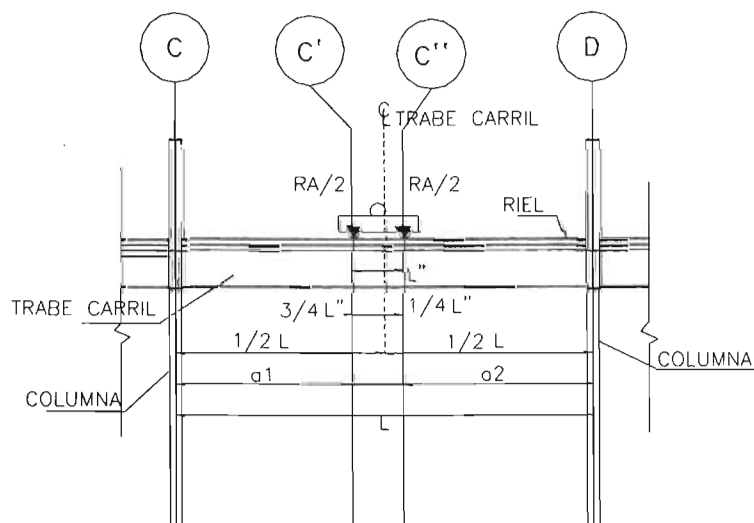


Fig. 5.2.9 Parámetros para el cálculo de deflexiones verticales.

Sí:

$$\Delta_{\text{PERMV}} = L / 600 = 1250 / 600 = 2.08 \text{ cm.}$$

Para efectos de reacción por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

$$\Delta_{\text{ACTV}} = \frac{RA \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{xx}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right]$$

$$\Delta_{\text{ACTV}} = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left[\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right] - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right]$$

Por lo cual:

$$\Delta_{\text{ACTV}} = 664178.75 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) \cdot (0.418) = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

Estableciendo: $\Delta_{\text{PERMV}} = \Delta_{\text{ACTV}}$ tendremos : $2.08 = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$

Por lo tanto : $I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4$

E.2) DEFLEXIONES LATERALES.

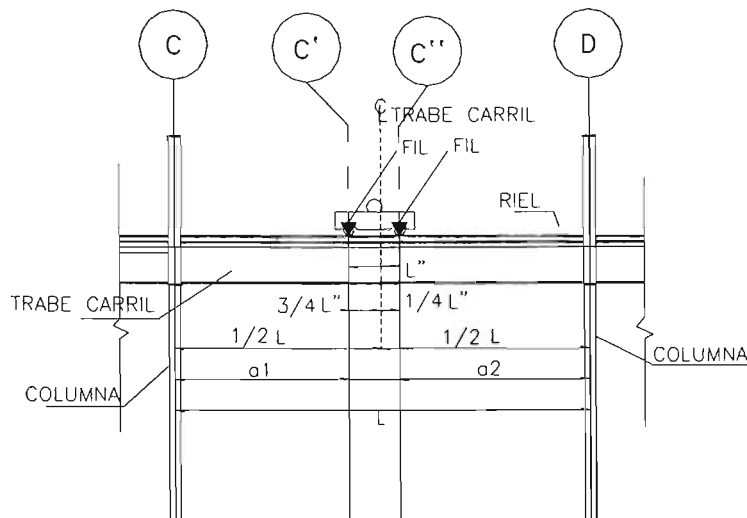


Fig. 5.2.10 Parámetros para el cálculo de deflexiones laterales.

Sí:

$$\Delta_{\text{PERML}} = L / 400 = 1250 / 400 = 3.125 \text{ cm.}$$

Para efectos de impacto por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$\Delta ACTL = \frac{FIL \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{yy}} \cdot \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTL = \frac{775 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{yy}} \cdot \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTL = 60066.34 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right) \cdot (0.418) = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$$

Estableciendo: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos : $3.125 = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$

Por lo tanto : $I_{yy} \cong 8\ 034.47\ \text{cm}^4$

Tomando W36X160:

$I_{xx} = 405\ 824\ \text{cm}^4 > 133\ 474.39\ \text{cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.

$I_{yy} = 12\ 279\ \text{cm}^4 > 8\ 040\ \text{cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.

$S_{xx} = 8\ 822\ \text{cm}^3$

$S_{yy} = 805\ \text{cm}^3$

$S_{yy}^* = 402.5\ \text{cm}^3$

$bf = 30.5\ \text{cm}$

$w = 238\ \text{Kg/m}$

$A_s = 303.20\ \text{cm}^2$

$r_t = 7.70\ \text{cm}$

$tf = 2.59\ \text{cm}$

$tw = 1.65\ \text{cm}$

$d = 91.5\ \text{cm}$

Tomando ahora, tanto efectos de peso propio de la trabe carril como del riel, tenemos:

$$\Delta ACTV = \frac{ra \cdot L^3}{2 \cdot E \cdot I_{xx}} \cdot \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right] + \frac{wx}{24EI_{xx}} \cdot (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$

$$\Delta ACTV = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \cdot \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right] + \frac{2.38 \cdot (325)}{24 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \cdot [1250^3 - 2 \cdot (1250) \cdot 325^2 + 325^3]$$

$$\Delta ACTV = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) + 26449.26 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

* Módulo de sección a utilizar para simplificar los efectos de torsión, dicho módulo consiste en disminuir en un 50 % la inercia de la sección alrededor del eje débil.

Estableciendo como anteriormente: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos : $2.08 = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}}\right)$

Por lo cual $I_{xx} = 146\,190.38 \text{ cm}^4 < 405\,824 \text{ cm}^4$, entonces se acepta W36x160

Nota: para efectos de desplazamientos laterales esta carga uniformemente repartida (peso propio) no afecta la deflexión lateral anteriormente calculada.

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 0 / 8882 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_c} = f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} = 0 / 402.5 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 52.336 \times 10^5 / 8882 = 589.51 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_c} = f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} = 3.418 \times 10^5 / 402.5 = 849.193 \text{ Kg / cm}^2$$

F.2) CORTANTE:

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{91.5 \cdot 1.65} = 93.39$$

donde f_v [Kg / cm²]

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{91.5 \cdot 1.65} = 64.26$$

donde f_v [Kg / cm²]

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x^8

Criterios:

a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.

⁸ Según referencia 1

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{bf}{2}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{por lo tanto} \quad \left(\frac{bf}{2}\right) = \left(\frac{30.5}{2}\right) = 5.888 \quad ; \quad \text{por otra parte} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

$$5.88 < 9.19 \quad \text{por lo cual} \quad \underline{\text{PASA CRITERIO.}}$$

c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados: no aplica.

d) Relación peralte / espesor:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{d}{t} \quad \text{donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{f_a}{F_y}\right)$$

Considerando $f_a = 0$, esto debido a los "apoyos" proporcionados a la trabe carril, por los cuales se puede asumir que se transmite la fuerza axial (f_a); lo que hace que f_a tenga un valor nulo (ver Fig. 5.2.11).

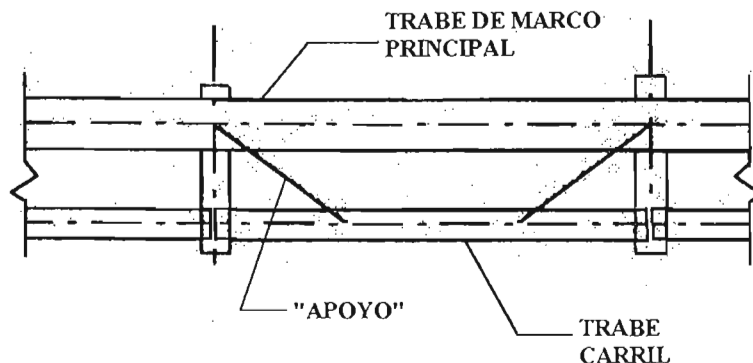


Fig. 5.2.11 Vista en planta de una trabe carril acompañada de "apoyos".

$$\text{Así:} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.567 \quad \text{y} \quad \frac{d}{t_w} = \frac{91.5}{1.65} = 55.454 \quad \text{por lo cual} \quad 55.454 < 90.576$$

concluyendo que: PASA CRITERIO.

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

$$LSSL = L = 1250 \text{ cm.}$$

A cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{A_f}\right) \cdot F_y} \quad \text{de donde} \quad \frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (30.5)}{\sqrt{3515}} = 327.7 \quad \text{y} \quad \frac{1410000}{\left(\frac{d}{A_f}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{91.5}{78.99}\right) \cdot 3515} = 346.294$$

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Como $LSSL = 1250 \text{ cm} > 346.29 \text{ cm}$.

Por sección 1.5.1.4.5.⁹

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_1} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_1} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_1} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \quad \text{de la cual} \quad \frac{1}{rt} = \frac{1250}{7.7} = 162.34$$

Donde $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = 101.06$

como: $162.34 > 101.06$

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{1}{rt}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{7.7}\right)^2} = 455.33$$

Entonces:

$F_{xc1} [\text{Kg / cm}^2]$

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{Af}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 91.5}{78.99}\right)} = 582.89$$

y

$F_{xc2} [\text{Kg / cm}^2]$.

EL CUAL RIGE

Tomando cargas accidentales:

$$F_{xc} = 1.33F_{xc2} = 1.33(582.89) = 775.24 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{10}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

⁹ Según referencia 1.

¹⁰ Según referencia 1

$$\left(\frac{bf}{2}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{bf}{2}\right) = \left(\frac{30.5}{2}\right) = 5.888 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

5.88 < 9.19 por lo cual PASA CRITERIO.

$F_{y_t} = F_{y_c} = 0.75F_y$; tomando cargas accidentales, $F_{y_t} = 0.75F_y(1.33)$

$$F_{y_t} = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{775.24} + \frac{0}{3506} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{589.51}{775.24} + \frac{849.19}{3506} = 0.761 + 0.242 = 1.003 > 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{NO PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3506} = 0.0 + 0.0 = 0.0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{589.51}{2805} + \frac{849.193}{3506} = 0.210 + 0.242 = 0.452 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 93.39 \text{ Kg / cm}^2 \quad \text{por lo tanto } \underline{PASA \text{ CRITERIO.}}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 64.26 \text{ Kg / cm}^2 \quad \text{por lo tanto } \underline{PASA \text{ CRITERIO.}}$$

D) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(36.01 - 2 \times 1.02)} \cdot 0.65^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{36.01 - 2 \times 1.9}{0.65} \right]^3 \right] = 38.8$$

P_{perm} . [Kips]

$$P_{perm} = 17\,474 \text{ Kg.}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact) :

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como $Pact < P_{perm}$ por lo tanto PASA CRITERIO.

5.2.2 ANÁLISIS DE SECCIÓN ARMADA (1) .

Tomando los primeros apartados para la sección 5.2.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia $f_y = 3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y, E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril, son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \quad \text{y:} \quad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

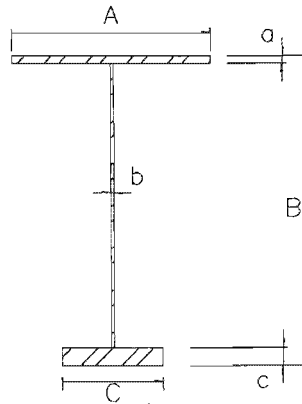


Fig. 5.2.12 Sección asimétrica armada (1).

5.2.2.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga¹¹:

A cumplir :

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \quad \text{por lo cual} \quad \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

Tomando $h = B = 60$ cm, obtenemos:

$$t_w, \min \geq \frac{h}{242.74} = \frac{60}{242.74} = 0.247 \quad \text{donde } t_w, \min \text{ [cm]}$$

5.2.2.2) Espesor de alma para no tener reducción de esfuerzos en el patín¹²:

A cumplir:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \quad \text{tomando un valor } F_b = 0.6F_y = 2109 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}} = \frac{6370}{\sqrt{2109}} = 138 \quad \text{tomando } t_w = 1.3 \text{ cm, obtenemos:}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.3} = 46.15 < 138 \quad \text{por lo cual se acepta placa en alma de 13 mm de espesor.}$$

¹¹ Parámetros necesarios para el diseño de traveses armados

¹² Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

5.2.2.3) Diseño preliminar de placa de patín¹³ en base a las contribuciones a flexión del alma, proponiendo una placa para patín: a = 2.54 cm, y A = 50 cm, por lo cual (a)(A) = 127 cm².

$$A_f = \frac{M}{F_b \cdot h'} - \frac{1}{6} \cdot t_w \cdot d = \frac{52.34 \times 10^5}{2109 \cdot (60 - 2.54)} - \frac{1}{6} \cdot (1.3 \cdot 54.92) = 31.29 \quad \text{donde } A_f [\text{cm}^2]$$

Concluyendo que: 31.29 cm² << 133 cm². entonces se acepta placa para patín.

5.2.2.4) Comprobando que el patín se totalmente efectivo como elemento a compresión no atiesado:

$$A \text{ cumplir: } \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}} \quad \text{entonces: } \frac{50}{2 \cdot 2.54} = 9.84 < \frac{800}{\sqrt{3515}} = 13.49 \quad \text{por lo cual: } \underline{\text{se acepta placa para patín.}}$$

5.2.2.5) Propiedades geométricas generales para la sección armada (1):

Sí: A = 50 cm; B = 60 cm; C = 25 cm; a = 2.5 cm; b = 1.3 cm; c = 3.8 cm.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 192\,340.97 \text{ cm}^4 > 178\,392 \text{ cm}^4 \\ I_{yy} &= 30\,999.42 \text{ cm}^4 > 8\,947 \text{ cm}^4 \\ S_{xxT} &= 5\,795.29 \text{ cm}^3 \\ S_{yy_{T/C}} &= 1239.98 \text{ cm}^3 \\ S_{yy^*_{T/C}} &= 619.99 \text{ cm}^3 \\ A_s &= 289.81 \text{ cm}^2 \\ S_{xxC} &= 7174.22 \text{ cm}^3 \\ S_{yy_{C/T}} &= 2479.98 \text{ cm}^3 \\ S_{yy^*_{C/T}} &= 1239.99 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 7174.22 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 5795.29 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}}^* = 0 / 619.99 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{C/T}}^* = 0 / 1239.99 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 7174.22 = 729.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

¹³ Según referencia 1.

* Módulo de sección a utilizar para simplificar los efectos de torsión, dicho módulo consiste en disminuir en un 50 % la inercia de la sección alrededor del eje débil.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$f_{x1} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 5795.29 = 903.15 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{yc1} = f_{y11} = M_{yy} / S_{yy T / C}^* = 3.418 \times 10^5 / 619.99 = 551.29 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{yc2} = f_{y12} = M_{yy} / S_{yy C / T}^* = 3.418 \times 10^5 / 1239.99 = 275.65 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{60 \cdot 1.3} = 180.78 \quad \text{donde} \quad f_v [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{60 \cdot 1.3} = 124.38 \quad \text{donde} \quad f_v [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X" : F_x ¹⁴

Simplificando criterios que estipula la sección 1.5.1.4.1 ¹⁵

Por sección 1.5.1.4.5 ¹⁶

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{xt} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{xt} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{xt} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir : } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{r_t} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

$$\text{Donde: } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16 \quad \text{y} \quad \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

* Módulo de sección a utilizar para simplificar los efectos de torsión, dicho módulo consiste en disminuir en un 50% la inercia de la sección alrededor del eje débil.

¹⁴ Según referencia 1

¹⁵ Según referencia 1.

¹⁶ Según referencia. 1

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Para calcular r_t tomaremos:

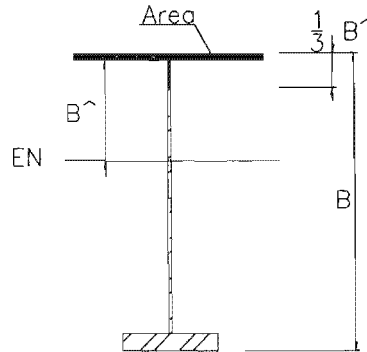


Fig.5.2.13 Area a considerar para el cálculo de r_t .

De la cual resulta: $r_t^{17} = 13.81 \text{ cm}$, teniendo por lo tanto: $\frac{1}{r_t} = \frac{1250}{13.81} = 90.53$

como: $45.16 < 90.53 < 101.6$ se acepta criterio.

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{1}{r_t} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (90.53)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1405.75 \quad \text{donde } F_{xc1} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{127} \right)} = 1429.17$$

y $\text{donde } F_{xc2} \text{ [Kg / cm}^2\text{]} \quad \underline{\underline{EL CUAL RIGE}}$

Tomando cargas accidentales:

$$\text{tenemos: } F_{xc} = 1.33 F_{xc2} = (1.33) 1429.17 = 1900.7 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{18}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. Cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

¹⁷ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

¹⁸ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2}\right) = \left(\frac{50}{2.5}\right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

$$\left(\frac{A}{2}\right) < \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad \text{donde ahora} \quad \frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44 \quad \text{por lo cual} \quad 10.00 < 13.44, \text{ entonces cumple criterio.}$$

Así:

$$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a}\right) \cdot \sqrt{f_y} \right] \quad \text{donde} \quad F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left[\frac{50}{2 \cdot (2.5)}\right] \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$$

Por lo cual; $F_{yc} = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40 F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1900.7} + \frac{0}{3373.66} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \text{ por lo cual } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{729.56}{1900.7} + \frac{551.29}{3373.66} = 0.3838 + 0.1634 = 0.5472 < 1.0 \text{ por lo cual } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3373.66} = 0.0 + 0.0 = 0.0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCION : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{903.15}{2805} + \frac{551.29}{3373.66} = 0.3219 + 0.1634 = 0.4853 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 180.78 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg/cm}^2 > f_v = 124.38 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(23.62 - 2 \times 1.00)} \cdot 0.51^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{23.62 - 2 \times 1.3}{0.51} \right]^3 \right] = 74.72$$

P_{perm.} [Kips]
P_{perm} = 33 894 Kg

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/4 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como Pact < Pperm por lo tanto PASA CRITERIO.

5.2.3 ANÁLISIS DE SECCIÓN ARMADA (2)

Tomando los primeros apartados para la sección 5.2.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia $f_y = 3515 \text{ Kg/cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 266\,949 \text{ cm}^4 \qquad y: \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

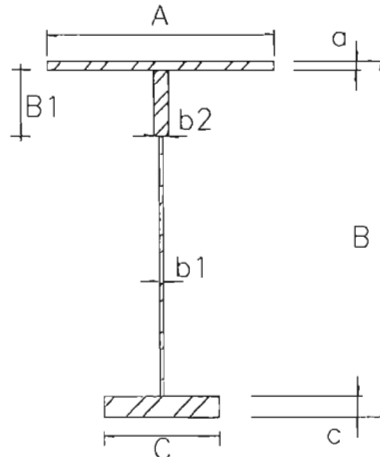


Fig. 5.2.14 Sección asimétrica armada (2).

5.2.3.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga¹⁹:

A cumplir:
$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \text{ por lo cual } \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

Tomando $h = B = 60$ cm, obtenemos:
$$t_w, \min \geq \frac{h}{242.74} = \frac{60}{242.74} = 0.247 \text{ donde } t_w, \min \text{ [cm].}$$

5.2.3.2) Espesor de alma para no tener reducción de esfuerzos en el patín²⁰:

A cumplir:
$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \text{ tomando un valor } F_b = 0.6F_y = 2109 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\frac{6370}{\sqrt{F_b}} = \frac{6370}{\sqrt{2109}} = 138 \text{ tomando } t_w = 1.3 \text{ cm, obtenemos:}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.3} = 46.15 < 138 \text{ por lo cual se acepta espesor de alma de 13 mm.}$$

5.2.3.3) Diseño preliminar de placa de patín²¹ en base a las contribuciones a flexión del alma,

¹⁹ Parámetros necesarios para el diseño de traveses armados.

²⁰ Igual a nota 19.

²¹ Igual a nota 19.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

proponiendo una placa para patín: $a = 2.54 \text{ cm}$, y $A = 50 \text{ cm}$, por lo cual $(a)(A) = 127 \text{ cm}^2$.

$$A_f = \frac{M}{F_b \cdot h'} - \frac{1}{6} \cdot t_w \cdot d = \frac{52.34 \times 10^5}{2109 \cdot (60 - 2.54)} - \frac{1}{6} \cdot (1.3 \cdot 54.92) = 31.29 \quad \text{donde } A_f [\text{cm}^2]$$

Concluyendo que: $31.29 \text{ cm}^2 \ll 133 \text{ cm}^2$. entonces se acepta placa.

5.2.3.4) Comprobando que el patín se totalmente efectivo como elemento a compresión no atiesado:

$$\text{A cumplir: } \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \frac{800}{\sqrt{F_y}} \quad \text{entonces: } \frac{50}{2 \cdot 2.54} = 9.84 < \frac{800}{\sqrt{3515}} = 13.49 \quad \text{por lo cual } \underline{\text{se acepta placa para patín.}}$$

5.2.3.5) Determinando la dimensión B1 para placa en alma:

Donde B1 esta en función de los siguientes criterios:

- El radio de giro de una sección que comprende el patín a compresión más un tercio del área del alma en compresión, B1i (ver Fig. 5.2.15).
- El esfuerzo de compresión al pie de los filetes de la unión del alma al patín, resultado de cargas concentradas no soportadas por atiesadores B1ii (ver Fig. 5.2.16).

Tomando como base las siguientes propiedades preliminares (en base a la Fig. 5. 2.14):

Sí: $A = 50 \text{ cm}$; $B = 60 \text{ cm}$; $C = 25 \text{ cm}$; $a = 2.5 \text{ cm}$; $b_1 = 1.3 \text{ cm}$; $b_2 = 2.5 \text{ cm}$; $c = 3.8 \text{ cm}$.

Del primer criterio tendremos: $B1i \cong 1/3 B$, redondeando el valor obtenido, optamos por: $B1i \cong 10 \text{ cm}$.

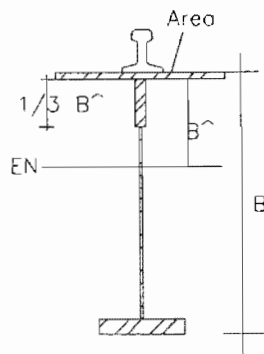


Fig. 5.2.15 Primer criterio para la determinación de B1.

Del segundo criterio y tomando como base que $b_2 \cong 2b_1$, (ver Fig. 5.2.14), es decir $b_2 \cong 2.5 \text{ cm}$; tendremos:

Por lo tanto: $b = 2 (hr + a)$
 Sí: $P = b^2(b + 2B1)(0.75Fy)^{22} \dots\dots\dots (1)$

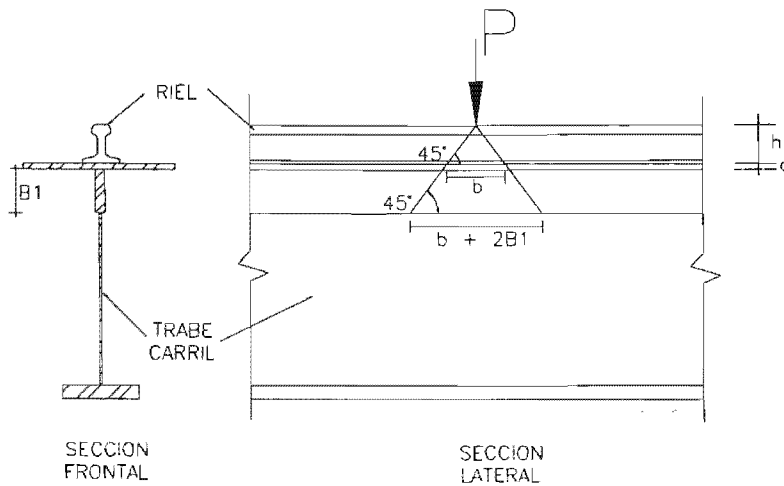


Fig. 5.2.16 Segundo criterio para la determinación de B1.

$$B1 = \frac{P}{2 \cdot b^2 \cdot 0.75 \cdot Fy} - \frac{b}{2} \dots\dots\dots(2)$$

De la ecuación (1), obtenemos:

Para esta última ecuación se puede observar que para la combinación de una pequeña carga concentrada (P) debida a la grúa viajera, y un gran peralte del riel (hr); dan como resultado una dimensión de placa "B1" con valor negativo.

Por lo cual el cálculo de esta dimensión de placa estará regido por el primer criterio citado con anterioridad.

5.2.3.6) Para las dimensiones propuestas con anterioridad y tomando B2 = 10 cm, tendremos como propiedades geométricas generales para la sección armada (2), las siguientes :

$I_{xx} = 196\ 402.97\ \text{cm}^4 > 178\ 392\ \text{cm}^4$	
$I_{yy} = 31\ 011.42\ \text{cm}^4 > 8\ 040\ \text{cm}^4$	$A_s = 301.81\ \text{cm}^2$
$S_{xxT} = 5\ 759.60\ \text{cm}^3$	$S_{xxC} = 7583.1\ \text{cm}^3$
$S_{yyT/C} = 1240\ \text{cm}^3$	$S_{yyCT} = 2481\ \text{cm}^3$
$S_{yy^*T/C} = 620\ \text{cm}^3$	$S_{yy^*CT} = 1240.5\ \text{cm}^3$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

²² Esfuerzo permisible a compresión debido a cargas concentradas no soportadas por atiesadores.

* Módulo de sección a utilizar para simplificar los efectos de torsión, dicho módulo consiste en disminuir en un 50 % la inercia de la sección alrededor del eje débil.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 7583.1 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 5759.6 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 0 / 620 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 0 / 1240.5 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 7583.1 = 690.22 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 5759.6 = 908.74 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{y_{c1}} = f_{y_{t1}} = M_{yy} / S_{yy_{TC}} = 3.418 \times 10^5 / 620 = 551.62 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{y_{c2}} = f_{y_{t2}} = M_{yy} / S_{yy_{CT}} = 3.418 \times 10^5 / 1240.5 = 275.7 \text{ Kg / cm}^2.$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{(b_2 \cdot B1) + (b1 \cdot (B - a - c - B1))} = \frac{14101}{(2.5 \cdot 10) + (1.3 \cdot 43.7)} = 172.36 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg / cm}^2]$$

SECCIÓN : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{(b_2 \cdot B1) + (b1 \cdot (B - a - c - B1))} = \frac{9702}{(2.5 \cdot 10) + (1.3 \cdot 43.7)} = 118.5 \quad \text{donde} \quad f_v \text{ [Kg/cm}^2]$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x ²³

Simplificando criterios de sección 1.5.1.4.1²⁴

Por sección 1.5.1.4.5²⁵

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

²³ Según referencia 1

²⁴ Según referencia 1.

²⁵ Según referencia 1.

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir: } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{r_t} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

$$\text{Donde: } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16 \quad \text{y} \quad \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

Para calcular r_t tomaremos:

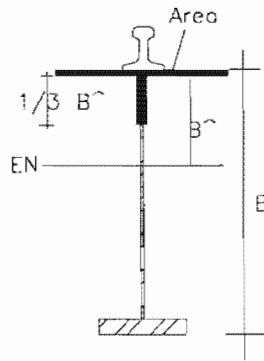


Fig. 5.2.17 Area a considerar para calcular r_t .

$$\text{De la cual resulta: } r_t^{26} = 12.39 \text{ cm,} \quad \text{teniendo por lo tanto:} \quad \frac{1}{r_t} = \frac{1250}{12.39} = 100.8$$

como: $45.16 < 100.89 < 101.6$ se acepta criterio.

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{1}{r_t} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (100.89)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1178.88$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{I_d}{A_f} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{125} \right)} = 1406.6$$

y

donde F_{xc2} [Kg / cm²] RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc2} = (1.33)(1406.6) = 1870.78 \text{ Kg / cm}^2$$

²⁶ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{27}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. Cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{A}{2}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2}\right) = \left(\frac{50}{2}\right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

$$\left(\frac{A}{2}\right) < \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad \text{donde ahora} \quad \frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44 \quad \text{por lo cual} \quad 10.00 < 13.44, \text{ entonces cumple criterio.}$$

Así:

$$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a}\right) \cdot \sqrt{f_y} \right] \quad \text{donde} \quad F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left[\frac{50}{2 \cdot (2.5)}\right] \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$$

Por lo cual; $F_{yc} = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1870.78} + \frac{0}{3373.66} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \quad \text{por lo tanto} \quad \underline{\text{PASA CRITERIO.}}$$

²⁷ Según referencia 1

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{690.22}{1870.78} + \frac{551.29}{3373.66} = 0.369 + 0.163 = 0.532 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{2805} + \frac{0}{3373.66} = 0 + 0 = 0 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{908.74}{2805} + \frac{551.29}{3373.66} = 0.324 + 0.163 = 0.487 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 172.36 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 118.59 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

D) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(23.62 - 1 - 1.15)} \cdot 1^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{23.62 - 2 \times 1.3}{492.13} \right]^3 \right] = 75.24$$

$$d_c = B - 2K$$

$$P_{perm.} \text{ [Kips]}$$

$$P_{perm} = 34\,131 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como Pact < Pperm por lo tanto PASA CRITERIO.

5.2.4 ANÁLISIS DE SECCIÓN COMPUESTA “T”.

Tomando los primeros apartados para la sección 5.2.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que los elementos tendrán un esfuerzo de fluencia $f_y=3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \qquad \text{y:} \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

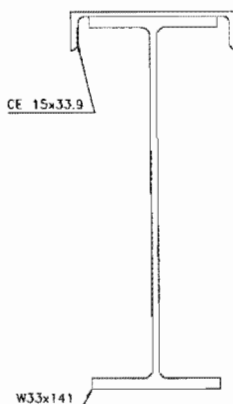


Fig. 5.2.18 Sección asimétrica compuesta.

Propiedades geométricas generales para la sección compuesta, proponiendo las siguientes secciones:

W33x141 y CE 15x33.9

$$\begin{array}{ll}
 I_{xx} = 386\,902.43 \text{ cm}^4 > 133\,474.39 \text{ cm}^4 & A_s = 332.84 \text{ cm}^2 \\
 I_{yy} = 23\,240 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4 & S_{xxC} = 11\,029.15 \text{ cm}^3 \\
 S_{xxT} = 7\,655.38 \text{ cm}^3 & S_{yyTC} = 1219.95 \text{ cm}^3 \\
 S_{yyCT} = 1586.35 \text{ cm}^3 & S_{yyTC}^* = 609.98 \text{ cm}^3 \\
 S_{yyCT}^* = 793.18 \text{ cm}^3 &
 \end{array}$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) FLEXIÓN.

SECCIÓN : C

$$f_{xc} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 11\,029.15 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{xt} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 7655.38 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

* Módulo de sección a utilizar para simplificar los efectos de torsión, dicho módulo consiste en disminuir en un 50 % la inercia de la sección alrededor del eje débil.

$$f_{yc1} = f_{y11} = M_{yy} / S_{yy} \text{ T/C} = 0 / 609.98 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2.$$

$$f_{yc2} = f_{y12} = M_{yy} / S_{yy} \text{ C/T} = 0 / 793.18 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

SECCIÓN : C''

$$f_{xc} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 11\,029.15 = 474.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2.$$

$$f_{x1} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 7655.38 = 683.70 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{yc1} = f_{y11} = M_{yy} / S_{yy} \text{ T/C} = 3.418 \times 10^5 / 609.98 = 560.36 \text{ Kg} / \text{cm}^2.$$

$$f_{yc2} = f_{y12} = M_{yy} / S_{yy} \text{ C/T} = 3.418 \times 10^5 / 793.18 = 430.92 \text{ Kg} / \text{cm}^2.$$

F.2) CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{14101}{84.6 \cdot 1.54} = 108.23 \quad f_v \text{ [Kg} / \text{cm}^2]$$

SECCION : C''

$$f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} = \frac{9702}{84.6 \cdot 1.54} = 74.47 \quad f_v \text{ [Kg} / \text{cm}^2]$$

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X" : F_x ²⁸

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica
- c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados: .

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad \text{se tomará:} \quad b_f = d_{CE} \quad \text{y} \quad t_f = t_{w_{CE}}$$

$$\text{por lo cual:} \quad b_f = 38.1 \text{ cm} \quad \text{y} \quad t_f = 1.02 \text{ cm}$$

$$\text{Por lo tanto:} \quad \left(\frac{b_f}{t_f} \right) = \frac{38.1}{1.02} = 18.67 \quad \text{y} \quad \frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$$

²⁸ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Entonces : $18.67 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

d) Relación peralte / espesor de alma:

$$\frac{d}{tw} < \frac{d}{t} \quad \text{de donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{f_a}{F_y}\right) \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{dw + tw_{ce}}{tw}$$

Considerando $f_a = 0$ como ya se citó al inicio del capítulo, tendremos:

$$\frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.567 \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{84.6 + 1.02}{1.54} = 55.59$$

entonces: $55.59 < 90.576$ por lo cual PASA CRITERIO.

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

LSSL = 1250 cm.

A cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y}$$

De donde

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot d_{ce}}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (38.1)}{\sqrt{3515}} = 409.36 \quad \text{y} \quad \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{85.62}{135.49}\right) \cdot 3515} = 634.78$$

Como LSSL = 1250 cm > 634.78

Por sección 1.5.1.4.5²⁹

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir : } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

²⁹ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

Donde: $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$

Para calcular r_t tomaremos:

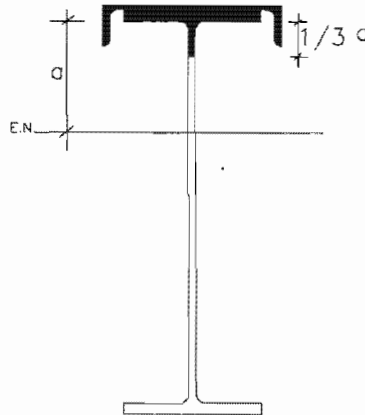


Fig. 5.2.19 Area a considerar para calcular r_t .

De la cual resulta: $r_t^{30} = 10.93 \text{ cm}$, teniendo por lo tanto : $\frac{1}{r_t} = \frac{1250}{10.93} = 114.39$
 como: $114.39 > 101.06$ por lo cual

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{1}{r_t}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{10.93}\right)^2} = 917.4$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{I \cdot d}{A_f}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 85.62}{135.49}\right)} = 1068.48$$

y donde F_{xc2} [Kg / cm²] RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc} = (1.33)(1068.48) = 1421.08 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) Flexión alrededor del eje " Y " : F_y^{31}

Criterios:

a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.

³⁰ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

³¹ Según referencia 1.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica criterio.

c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad \text{se tomará:} \quad b = d_{CE} \quad \text{y} \quad t_f = t_{w_{CE}}$$

por lo cual: $bf = 38.1 \text{ cm}$ y $t_f = 1.02 \text{ cm}$

Por lo tanto: $\left(\frac{bf}{2t_f}\right) = \frac{38.1}{2 \cdot 1.02} = 18.68$ y $\frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$

Entonces : $18.68 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

$$F_{yc} = F_{yt} = 0.75F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_1} = 0.75F_y(1.33)$$

$$F_{y_1} = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{0}{1421.08} + \frac{0}{3506} = 0 + 0 = 0$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xc}}{F_{xc}} + \frac{f_{yc}}{F_{yc}} = \frac{474.56}{1421.08} + \frac{560.36}{3506} = 0.333 + 0.159 = 0.492$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN.

SECCIÓN : C

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{0}{2085} + \frac{0}{3506} = 0.0 + 0.0 = 0.0$$

< 1.0 por lo tanto PASA CRITERIO.

CAPÍTULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANÁLISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{f_{xt}}{F_{xt}} + \frac{f_{yt}}{F_{yt}} = \frac{683.7}{2085} + \frac{560.32}{3506} = 0.328 + 0.159 = 0.488 < 1.0 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE.

SECCIÓN : C

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 108.23 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$F_v = 1406 \text{ Kg / cm}^2 > f_v = 74.47 \text{ Kg / cm}^2 \text{ por lo tanto } \underline{PASA CRITERIO.}$$

D) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(33.3 - 2 \times 0.96)} \cdot 0.61^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{29.8}{0.61} \right]^3 \right] = 29.58$$

$$d_c = d - 2k$$

Pperm. [Kips]

$$P_{perm} = 13\,416 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$P_{act} = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10712 \text{ Kg.}$$

como $P_{act} < P_{perm}$ por lo tanto PASA CRITERIO.

REFERENCIAS.

1. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). 2001. Manual de Construcción en Acero -Diseño por Esfuerzos Permisibles. Limusa Noriega Editores. Vol. 1, 3ª Edición. México, D.F.

5.3 EJEMPLOS NUMÉRICOS APLICANDO MÉTODO DEPURADO.

RESISTENCIA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL A MOMENTOS TORSIONANTES.

- MOMENTO RESISTENTE DE UNA SECCIÓN SIN “RESTRICCIÓN AL ALABEO”.

Para un punto a lo largo del eje de un miembro sujeto a un momento torsionante, la sección transversal puede girar un ángulo θ como se muestra en la Fig. 5.3.1.

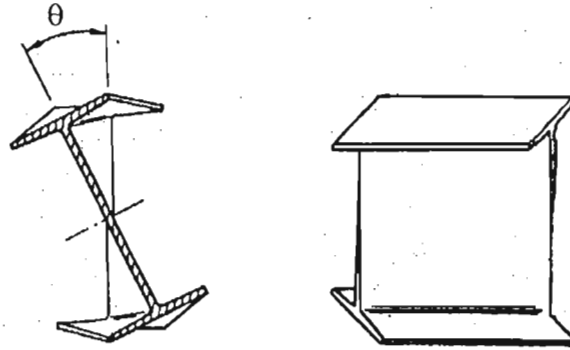


Fig. 5.3.1. Sección transversal con un giro θ y su alabeo asociado.

Para una sección no circular, esta rotación es acompañada por alabeo; esto es, la sección transversal no permanece plana. Si este alabeo es totalmente sin restricción, el momento torsional resistente para esta sección es:

$$M1 = GJ\theta' \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$M1$: momento resistente para una sección transversal sin restricción al alabeo.

G : módulo de elasticidad a cortante.

J : constante torsional para la sección transversal.

$\theta' = d\theta / dz$: ángulo de rotación por unidad de longitud. Esta es la primera derivada del ángulo de rotación θ con respecto a z .

- MOMENTO RESISTENTE DE UNA SECCIÓN CON “RESTRICCIÓN AL ALABEO”.

Cuando la tendencia de la sección transversal a alabearse libremente es prevenida o restringida, resulta una flexión longitudinal. Esta flexión es acompañada por esfuerzos cortantes en el plano de la sección transversal, los cuales resisten el momento torsional aplicado según la siguiente relación;

$$M2 = - ECw\theta'' \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$M2$: momento resistente de la sección transversal con restricción al alabeo.

- MOMENTO TORSIONAL TOTAL RESISTENTE.

El momento torsional total resistente para la sección es la suma de $M1$ y $M2$. La primera esta siempre presente; la segunda depende de la resistencia al alabeo. Concluyendo, que el momento total resistente

M, es:

$$M = M1 + M2 = GJ\theta' - ECw\theta'''$$

Esto también puede ser escrito como:

$$M = GJ\theta' - ECw\theta'''$$

Multiplicando ambos miembros por: $\frac{1}{Cw}$, tenemos: $\frac{1}{Cw} \cdot M = \frac{1}{Cw} \cdot (GJ\theta' - ECw\theta''')$ ó $\frac{M}{Cw} = \frac{GJ\theta'}{Cw} - E\theta'''$

Multiplicando ahora ambos miembros por: $\frac{1}{E}$, resulta: $\frac{1}{E} \cdot \left(\frac{M}{Cw}\right) = \frac{1}{E} \cdot \left(\frac{GJ\theta'}{Cw} - \theta'''\right)$ ó $\frac{M}{E \cdot Cw} = \frac{GJ\theta'}{ECw} - \theta'''$

Proponiendo: $a^2 = \frac{ECw}{GJ}$ ∴ obtenemos: $\frac{M}{ECw} = \frac{1}{a^2} \cdot \theta' - \theta'''$ ó $\theta'''' - \frac{1}{a^2} \cdot \theta' = -\frac{M}{ECw}$ (3)

• SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL.

(a) Momento torsional puntual.

Si el momento torsional aplicado es puntual en cualquier posición de la longitud el miembro como se mostrado en la Fig. 5.3.2, la ecuación (3) es directamente aplicable.

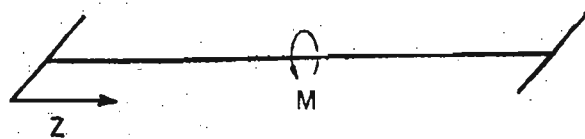


Fig. 5.3.2 Representación de un momento torsional puntual.

La solución de esta ecuación es:

$$\theta = A + B \cdot \cosh \frac{z}{a} + C \cdot \sinh \frac{z}{a} + \frac{MZ}{GJ} \dots \dots \dots (4)$$

Los términos A, B, y C son constantes que son determinadas con apropiadas condiciones de frontera.

(b) Condiciones de frontera.

Las ecuaciones generales contienen constantes, que son evaluadas para casos específicos de condiciones de frontera. Estas condiciones de frontera son especificadas matemáticamente, debido a condiciones de apoyo físicas. Estas son asumidas como siguen:

Condición matemática	Condición física	Condición torsional en el extremo de apoyo
$\theta = 0$ $\theta' = 0$ $\theta'' = 0$	No hay rotación. Sección que no se alabea. Sección que puede alabearse libremente.	Fijo ó articulado. Fijo. Articulado ó libre.

Las siguientes relaciones adicionales pueden también satisfacer para soportes cuando un miembro es continuo al punto donde es aplicado el momento torsional.

$$\theta_R = \theta_L \quad \theta'_R = \theta'_L \quad \theta''_R = \theta''_L$$

Donde los subíndices R y L denotan a la derecha y a la izquierda del punto en cuestión.

(c) Solución y derivadas de la ecuación diferencial.

Tomando al momento torsionante de la forma:

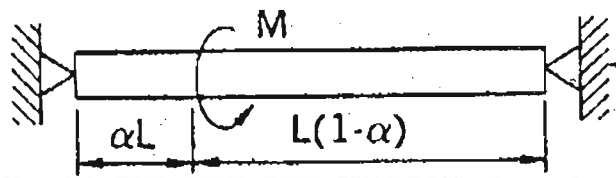


Fig. 5.3.3 Esquema representativo de momento torsional puntual con sus apoyos articulados.

Con base a la ecuación (4) y condiciones de apoyo articuladas:

Extremo Derecho	Extremo Izquierdo
$\theta = \theta'' = 0$	$\theta = \theta'' = 0$

Tenemos que para el tramo: $\alpha L \leq Z \leq L$

$$\theta = \frac{M \cdot L}{GJ} \left[(1-Z) \cdot \frac{\alpha}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right] \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) - \alpha \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\cosh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

Para $0 \leq Z \leq \alpha L$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) \cdot \frac{Z}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \sinh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) + \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\sinh \frac{Z}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

5.3.1 SECCIÓN ROLADA "W".

A) ESQUEMAS.

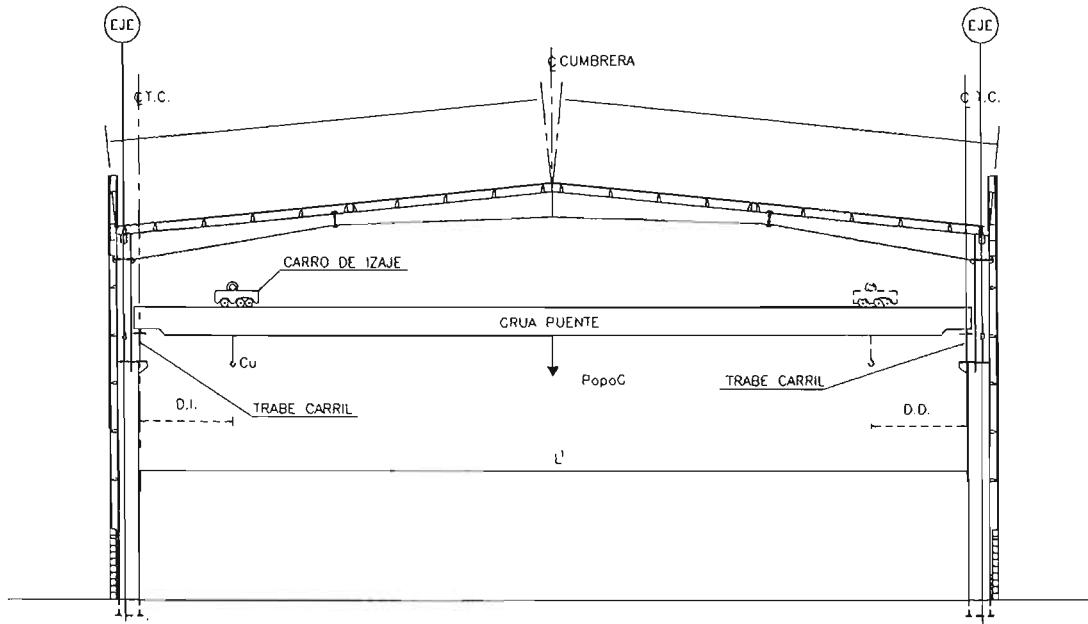


Fig. 5.3.4 Vista frontal representativa para una trabe carril en su contorno.

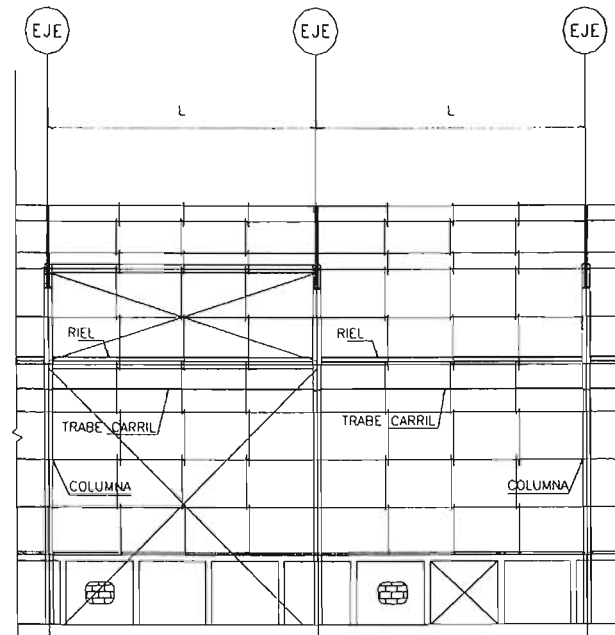


Fig. 5.3.5 Vista lateral representativa para una trabe carril con sus columnas de apoyo.

B) DATOS.

- Cu : carga capaz de izar la grúa puente = 12.5 ton.
- L' : distancia entre ruedas para grúa puente = 27 m.
- L'' : distancia entre ruedas para carro de izaje = 4 m.
- L : distancia entre columnas de apoyo para la trabe carril = 12.50 m.
- PopoG : peso propio de la grúa = 5 ton.
- Wc : peso del carro de izaje = 3 ton.
- Servicio tipo: C¹
- Tipo de acero: A50-Gr72, Fy = 3515 Kg / cm².
- IR : 60 lb / yd ó 130 Kg / m; IR = 14.6 in⁴ = 6 076 978.81 mm⁴
- hr : altura del riel = 12.7 cm.

Distancia de acercamiento mínima permisible del carro de izaje a las traves carril:

D.I. : distancia izquierda = 1.50 m.

D.D. : distancia derecha = 2.00 m.

Porcentajes de impacto para una grúa puente con el tipo de servicio C²:

Impacto Vertical = 25 %

Empuje Longitudinal = 10 %

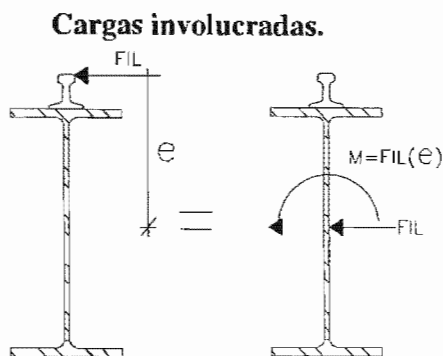
Impacto lateral³ = 20 %

Número de ruedas (para impacto lateral):

4, si la grúa puente se desliza por dos traves carril de misma inercia alrededor del eje débil.

2, si una trabe carril por la cual se desliza la grúa puente tiene mayor rigidez que la otra en proporción a su inercia alrededor de su eje débil.

B.1) ESQUEMAS DE ANÁLISIS.



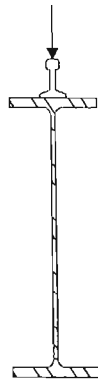
⇒ Esfuerzos de torsión y flexión_{yy}.

¹ Según referencia 1.

² Según referencia 1.

³ Solo aplicable a Cu + Wc

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.



⇒ Esfuerzos de flexión_{xx}.

Determinando el momento torsionante (M_T):

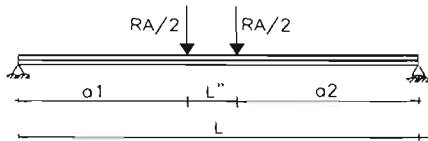
$$e = d / 2 + h_R = 36.01" / 2 + 4 \frac{1}{4}" = 22.26 \text{ in.}$$

í

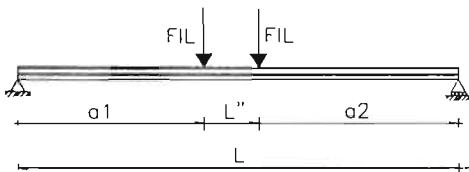
$$M_T^4 = +22.26(1708.55) = + 38\ 032.32 \text{ lb in.}$$

Los esfuerzos debido a flexión y a torsión, en trabe carril serán:

A) FLEXIÓN:



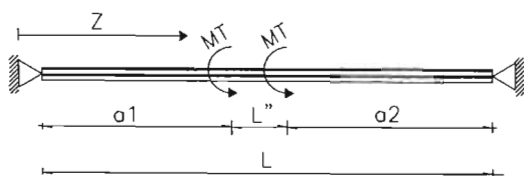
alrededor del eje "X"



alrededor del eje "Y".

⁴ Momento torsionante positivo según convención de signos establecido en capítulo anterior.

B) TORSIÓN:



alrededor del eje longitudinal.

C) CRITERIOS DE REVISIÓN.

C.1. RESISTENCIA.

C.1.1 Esfuerzos Normales.

$$\frac{\sigma_a}{F_a} + \frac{\sigma_x}{F_x} + \frac{\sigma_y}{F''_y} + \frac{\sigma_w}{F_w} \leq 1.00$$

C.1.2 Esfuerzos Cortantes.

$$F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}}$$

C.2. DEFLEXIONES.

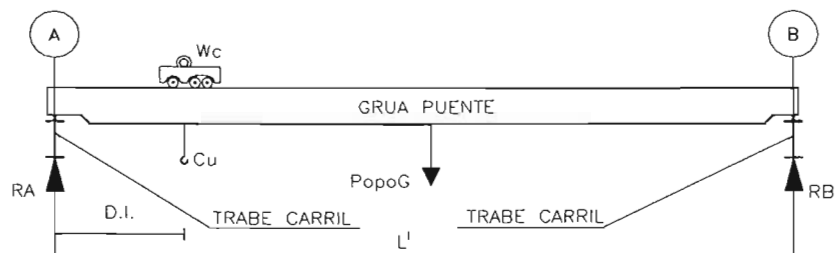
$$\Delta_{\text{PERMV}} > \Delta_{\text{ACTV}}$$

$$\Delta_{\text{PERML}} > \Delta_{\text{ACTL}}$$

C.3 APLASTAMIENTO DEL ALMA.

D) ELEMENTOS MECÁNICOS.

Para la grúa puente:



¡Error! Marcador no definido. Fig. 5.3.6 Esquema representativo de grúa puente:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$\text{PopoG} (L'/2) + (W_c + C_u)(L' - D.I.) - RA(L') = 0$$

$$5 (27 / 2) + (3 + 12.5)(27 - 1.5) - RA(27) = 0 \quad \Rightarrow \quad RA = 17.139 \text{ ton.}$$

$$\Sigma F_{\text{vert}} = 0$$

$$W_c + C_u + \text{PopoG} - RA - RB = 0 \quad \Rightarrow \quad RB = 3.361 \text{ ton.}$$

D.1) MOMENTOS FLEXIONANTES.

Para la trabe carril como la mostrada en la Fig. 5.3.7; aplicando el concepto de línea de influencia⁵, se puede concluir:

“El momento flexionante máximo ($M_{c''}$) que produce un tren de ruedas sobre una viga de claro simple, se ubica debajo de la rueda más pesada cuando esta y la resultante equidistan del centro del claro”.

De lo cual obtenemos un diagrama de momentos flexionantes:

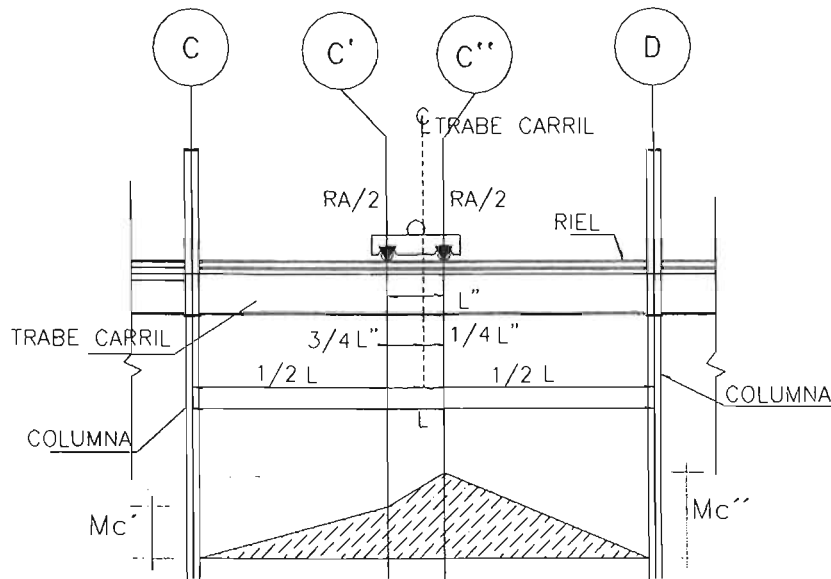


Fig. 5.3.7 Esquema de momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada

Entonces: $\Sigma M_C = 0$

$$\frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3L''}{4} \right) + \frac{RA}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

⁵ Las líneas de influencia son un recurso útil para resolver problemas que incluyen cargas móviles.

$$\frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{3(4)}{4} \right) + \frac{17.14}{2} \cdot \left(\frac{12.5}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.5) = 0$$

por lo tanto $RD = 7.198 \text{ ton.}$

Sí: $\Sigma F_{\text{vert}} = 0$

Entonces: $RA \ B \ RC \ BRD = 0$ y $RC = 9.941 \text{ ton.}$

Por lo cual: $M_{c''} = RD \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{L''}{4} \right) = 7.198 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{4}{4} \right) = 37.79$ $M_{c''}$ [ton-m]

y: $M_{c'} = RC \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) = 9.941 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) = 32.308$ $M_{c'}$ [ton-m]

D.1.1) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y POPO_{T.C. Y R}⁶.

M1 : f (solicitaciones).

M2 : f (solicitaciones + impacto).

M3 : f (solicitaciones + impacto + W_{POPO}⁷).

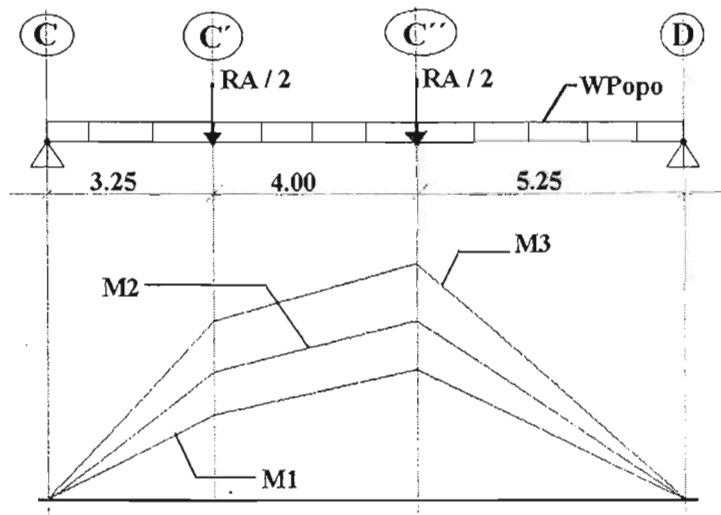


Fig. 5.3.8 Diagrama de momentos flexionantes para cargas verticales.

De manera general :

$$M1c' = 32.308 \text{ ton-m.}$$

$$M2c' = M1c' + \%IMP_V(M1c').$$

$$M1c'' = 37.789 \text{ ton-m.}$$

$$M2c'' = M1c'' + \%IMP_V(M1c'').$$

⁶ Carga por unidad de longitud debido al peso de la trabe carril y el peso del riel.

⁷ Se supondrá como Wpopo = 268 Kg / m

$$M3c' = M2c' + M_{popo}^8$$

$$M3c'' = M2c'' + M_{popo}^9; \text{Error!}$$

Marcador no definido.

Sí:

$$M1c' = 32.308 \text{ ton-m.}$$

$$M2c' = 32.308 + 0.25 (32.308) = 40.385 \text{ ton-m.}$$

$$M3c' = 40.385 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 40.385 + 4.028 = 44.413 \text{ ton-m.}$$

y

$$M1c'' = 37.789 \text{ ton-m.}$$

$$M2c'' = 37.789 + 0.25 (37.789) = 47.236 \text{ ton-m.}$$

$$M3c'' = 47.236 + W_{popo} (x / 2)(L-x) = 47.236 + 5.10 = 52.336 \text{ ton-m.}$$

D.1.2) DIAGRAMA DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA IMPACTOS LATERALES, EN TRABE CARRIL, TOMANDO: $W_c + C_u$.

$M4 : f$ (impacto lateral).

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (W_c + C_u)}{NoRUEDAS} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton}$$

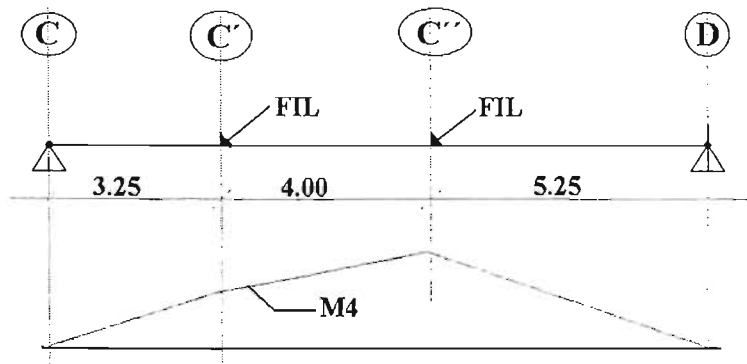


Fig. 5.3.9 Distribución de momentos flexionantes para cargas laterales

$$\Sigma M_C = 0$$

$$FIL \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{3 \cdot L''}{4} \right) + FIL \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{L''}{4} \right) - RD \cdot (L) = 0$$

$$0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} - \frac{3 \cdot 4}{4} \right) + 0.775 \cdot \left(\frac{12.50}{2} + \frac{4}{4} \right) - RD \cdot (12.50) = 0$$

por lo cual $RD = 0.651 \text{ ton.}$

$$\Sigma F_{lat} = 0$$

$$2FIL - RC - RD = 0 \Rightarrow RC = 0.899 \text{ ton.}$$

⁸ Se supondrá como $W_{popo} = 268 \text{ kg / m.}$

⁹ Igual que nota 8.

$$M_{4max} = RD \left(\frac{L}{2} - \frac{L'}{4} \right) \quad \text{entonces} \quad M_{4max} = 0.651 \cdot \left(\frac{12.5}{2} - \frac{4}{4} \right) = 3.418 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

D.2) FUERZA CORTANTE.

De la misma manera en que se determina el máximo momento flexionante para una trabe carril simplemente apoyada, debido a cargas móviles; se tiene del concepto de líneas de influencia:

“El máximo cortante debido a cargas concentradas móviles ocurre en uno de los apoyos cuando una de estas cargas esta en el apoyo”.

Por lo cual, obtenemos un diagrama de fuerzas cortantes:

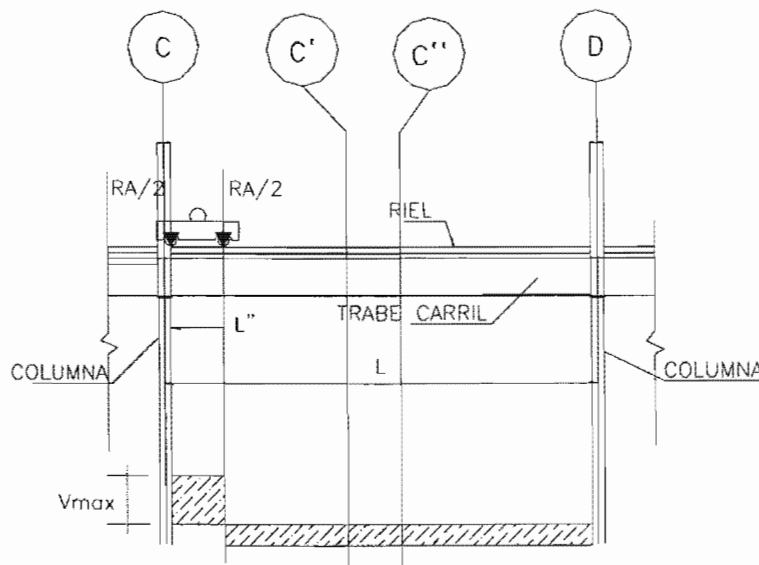


Fig. 5.3.10 Diagrama de fuerzas cortantes para una trabe carril simplemente apoyada.

Por lo cual : $V_{max} = V_c = RA / 2 = 8.569 \text{ ton.}$

D.2.1) DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES PARA CARGAS VERTICALES, EN UNA TRABE CARRIL TOMANDO: SOLICITACIONES, IMPACTO Y POPO_{T.C. Y R}

V1 : f (solicitaciones).

V2 : f (solicitaciones + impacto).

V3 : f (solicitaciones + impacto + W_{POPO}).

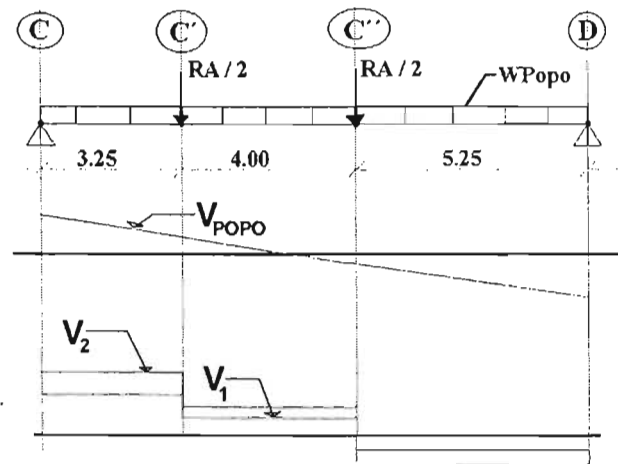


Fig.5.3.11 Diagrama de fuerzas cortantes para cargas verticales.

De manera general :

$$\begin{aligned}
 V1_{C-C'} &= 9.941 \text{ ton.} & V1_{C-C''} &= 1.3715 \text{ ton.} \\
 V2_{C-C'} &= V1_{C-C'} + \%IMP_V(V1_C) & V2_{C-C''} &= V1_{C-C''} + \%IMP_V(V1_D) \\
 V3_{C-C'} &= V2_{C-C'} + V_{POPO} & V3_{C-C''} &= V2_{C-C''} + V_{POPO} \\
 \\
 V1_{C''-D} &= 7.198 \text{ ton.} \\
 V2_{C''-D} &= V1_{C''-D} + \%IMP_V(V1_{C''}) \\
 V3_{C''-D} &= V2_{C''-D} + V_{POPO}
 \end{aligned}$$

Si:

$$\begin{aligned}
 V1_{C-C'} &= 9.941 \text{ ton-m.} \\
 V2_{C-C'} &= 9.941 + 0.25(9.941) = 12.426 \text{ ton.} \\
 V3_{C-C'} &= 12.426 + W_{popo}(L) / 2 = 12.426 + 0.268(12.50) / 2 = 14.101 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

⇒

$$\begin{aligned}
 V1_{C-C''} &= 1.3715 \text{ ton-m.} \\
 V2_{C-C''} &= 1.3715 + 0.25(1.3715) = 1.714 \text{ ton.} \\
 V3_{C-C''} &= 1.714 + W_{popo}(L - x) / 2 = 1.714 + 0.268(12.50 - 3.25) / 2 = 2.954 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned}
 V1_{C''-D} &= 7.198 \text{ ton-m.} \\
 V2_{C''-D} &= 7.198 + 0.25(7.198) = 8.998 \text{ ton.} \\
 V3_{C''-D} &= 8.998 + W_{popo}(L - x) / 2 = 8.998 + 0.268(12.50 - 7.25) / 2 = 9.702 \text{ ton.}
 \end{aligned}$$

D.2.2) DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES PARA IMPACTOS LATERALES, EN UNA TRABE CARRIL TOMANDO: $W_c + C_u$.

$$V : f (W_c + C_u).$$

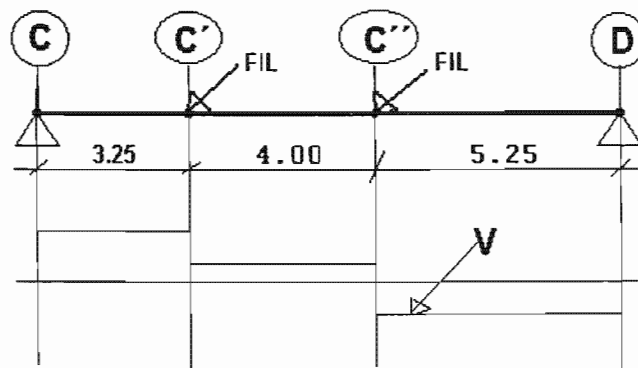


Fig.5.3.12 Diagrama de fuerzas cortantes para impactos laterales.

De manera general :

$$V_{C-C'} = 0.899 \text{ ton}$$

$$V_{C-C''} = 0.124 \text{ ton}$$

$$V_{C''-D} = 0.651 \text{ ton}$$

E) SECCIÓN PRELIMINAR DEBIDO A DEFLEXIONES.

E.1) DEFLEXIONES VERTICALES.

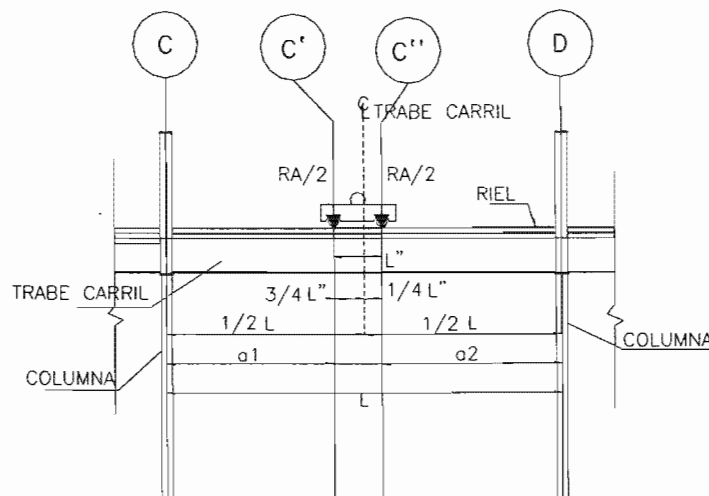


Fig. 5.3.13 Parámetros para el cálculo de deflexiones verticales.

Sí:

$$\Delta_{PERMV}^{10} = L / 600 = 1250 / 600 = 2.08 \text{ cm.}$$

Para efectos de reacción por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

¹⁰ Según referencia 1.

$$\Delta ACTV = \frac{\left(\frac{RA}{2}\right) \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{xx}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L}\right) - \left(\frac{a1}{L}\right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L}\right) - \left(\frac{a2}{L}\right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTV = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \left[\left(\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)}\right) - \left(\frac{325}{1250}\right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250}\right) - \left(\frac{525}{1250}\right)^3 \right]$$

Por lo cual:
$$\Delta ACTV = 664178.75 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}}\right) \cdot (0.418) = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}}\right)$$

Estableciendo: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos: $2.08 = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}}\right)$

Por lo tanto: $I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4$

E.2) DEFLEXIONES LATERALES.

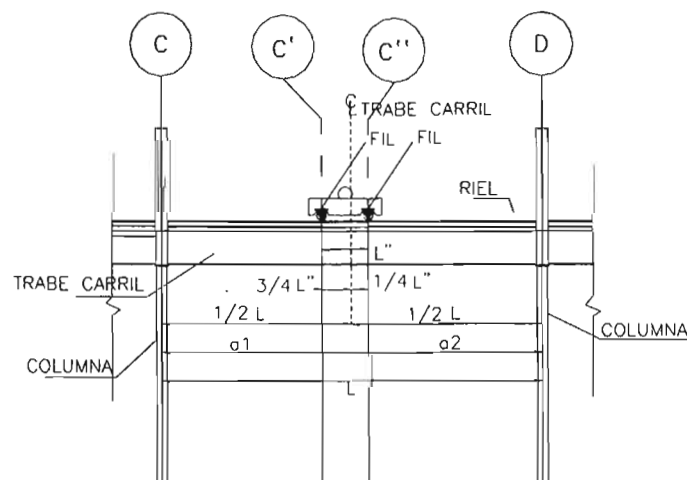


Fig. 5.3.14 Parámetros para el cálculo de deflexiones laterales.

Sí:

$$\Delta_{PERML}^{11} = L / 400 = 1250 / 400 = 3.125 \text{ cm.}$$

Para efectos de impacto por grúa puente sobre trabe carril tenemos:

$$\Delta ACTL = \frac{FIL \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{yy}} \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L}\right) - \left(\frac{a1}{L}\right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L}\right) - \left(\frac{a2}{L}\right)^3 \right]$$

¹¹ Según referencia 1.

$$\Delta ACTL = \frac{775 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{yy}} \cdot \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right]$$

$$\Delta ACTL = 60066.34 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right) \cdot (0.418) = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$$

Estableciendo: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos: $3.125 = 25107.7 \cdot \left(\frac{1}{I_{yy}} \right)$

Por lo tanto: $I_{yy} \cong 8\,034.47 \text{ cm}^4$

Tomando W36X160:

$I_{xx} = 405\,824 \text{ cm}^4 > 133\,474.39 \text{ cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.
 $I_{yy} = 12\,279 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4 \Rightarrow$ se acepta sección.

$S_{xx} = 8\,882 \text{ cm}^3$	$A_s = 303.20 \text{ cm}^2$	$J = 12.4 \text{ in}^4 = 516.13 \text{ cm}^4$
$S_{yy} = 805 \text{ cm}^3$	$r_t = 7.70 \text{ cm.}$	$S_w = 321 \text{ in}^4 = 13\,361 \text{ cm}^4$
$bf = 30.5 \text{ cm.}$	$tf = 2.59 \text{ cm.}$	$a = 137 \text{ in} = 347.9 \text{ cm.}$
$Q_{wx} = 312 \text{ in}^3 = 5\,113 \text{ cm}^3$	$d = 91.5 \text{ cm.}$	$Q_{fx} = 1\,781 \text{ cm}^3$
$Q_{fy} = 301.17 \text{ cm}^3$	$tw = 1.65 \text{ cm.}$	$C_w = 90200 \text{ in}^6 = 24\,221\,935 \text{ cm}^6$
$w = 238 \text{ Kg / m.}$	$Q_{wy} = 31.14 \text{ cm}^3$	$W_{ns} = 105 \text{ in}^2 = 677.4 \text{ cm}^2$

Tomando ahora tanto efectos de peso propio de la trabe carril como del riel, tenemos:

$$\Delta ACTV = \frac{\left(\frac{RA}{2} \right) \cdot L^3}{12 \cdot E \cdot I_{xx}} \cdot \left[\left(\frac{3 \cdot a1}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a1}{L} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot a2}{4 \cdot L} \right) - \left(\frac{a2}{L} \right)^3 \right] + \frac{wx}{24EI_{xx}} \cdot (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$

$$\Delta ACTV = \frac{8569.5 \cdot 1250^3}{12 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \cdot \left[\left[\frac{3 \cdot (325)}{4 \cdot (1250)} \right] - \left(\frac{325}{1250} \right)^3 + \left(\frac{3 \cdot 525}{4 \cdot 1250} \right) - \left(\frac{525}{1250} \right)^3 \right] + \frac{2.38 \cdot (325)}{24 \cdot (2.1 \times 10^6) \cdot I_{xx}} \cdot [1250^3 - 2 \cdot (1250) \cdot 325^2 + 325^3]$$

$$\Delta ACTV = 277626.72 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) + 26449.26 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right) = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

Estableciendo como anteriormente: $\Delta_{PERMV} = \Delta_{ACTV}$ tendremos:

$$2.08 = 304075.98 \cdot \left(\frac{1}{I_{xx}} \right)$$

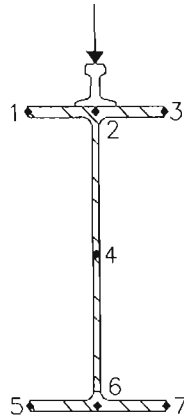
Por lo cual $I_{xx} = 146\,190.38 \text{ cm}^4 < 405\,824 \text{ cm}^4$, entonces se acepta W16x160

Nota: para efectos de desplazamientos laterales esta carga uniformemente repartida (peso propio) no afecta la deflexión lateral anteriormente calculada.

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 1,2 y 3 compresión; 5,6 y 7 tensión.

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 0 / 8822 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

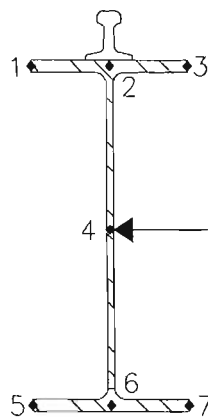
SECCIÓN : C''

Para puntos: 1,2 y 3 compresión; 5,6 y 7 tensión.

$$f_{x_c} = f_{x_t} = M_{xx} / S_{xx} = 52.336 \times 10^5 / 8882 = 589.24 \text{ Kg / cm}^2$$

F.2) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 3 y 7 compresión; 1 y 5 tensión.

$$f_{yc} = f_{yt} = M_{yy} / S_{yy} = 0 / 805 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

Para puntos: 1 y 5 tensión; 3 y 7 compresión.

$$f_{yc} = f_{yt} = M_{yy} / S_{yy} = 3.418 \times 10^5 / 805 = 424.59 \text{ Kg / cm}^2$$

F.3) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{14101(5113)}{405824(1.65)} = 107.67 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para puntos: 2 y 6

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx}}{I_{xx} \cdot b_f} = \frac{14101(1781)}{405824(30.5)} = 2.03 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{9702(5113)}{405824(1.65)} = 74.08 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para puntos: 2 y 6

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx}}{I_{xx} \cdot t_f} = \frac{9702(1781)}{405824(30.5)} = 1.39 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

F.4) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_y \cdot (d - 2t_f)} = \frac{899(31.14)}{12279(91.5 - (2) \cdot 2.59)} = 0.026 \quad \text{donde} \quad \tau_{wy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para puntos: 2 y 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot t_f} = \frac{899(301.17)}{12279(2.59)} = 8.51 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

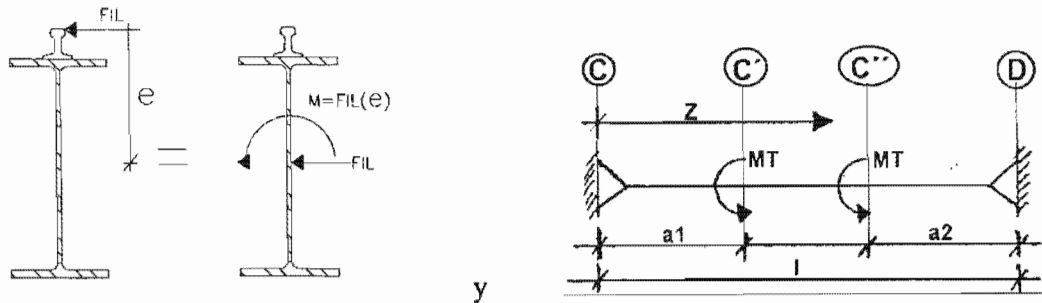
$$\tau_{wy} = \frac{VQwy}{I_y \cdot (d - 2tf)} = \frac{651(31.14)}{12279(91.5 - (2) \cdot 2.59)} = 0.019 \quad \text{donde} \quad \tau_{wy} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

Para puntos: 2 y 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQfy}{I_{yy} \cdot tf} = \frac{651(301.17)}{12279(2.59)} = 6.16 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

F.5) ESFUERZOS POR TORSIÓN.

Debidos a:



Por lo tanto:

$$\alpha = \frac{L - a2}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58; \quad \frac{\alpha \cdot L}{a} = \frac{0.58 \cdot (492.13)}{137} = 2.08; \quad \frac{L}{a} = \frac{492.13}{137} = 3.59; \quad \frac{a}{L} = \frac{137}{492.13} = 0.278$$

$$\frac{M}{GJ} = \frac{38.032}{(11.2 \times 10^3) \cdot 12.4} = 2.74 \times 10^{-4}$$

donde M / GJ [1 / in]

F.5.1) VALORES DE: θ , θ' , θ'' y θ'''

Para la sección: C'' ($Z = 7.25 \text{ m} = 285.2 \text{ in}$)

$$\frac{Z}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58; \quad \frac{Z}{a} = \frac{285.2}{137} = 2.08$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(L - Z) \cdot \frac{\alpha}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right] \right]$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(492.13 - 285.2) \cdot \frac{0.58}{492.13} + 0.278 \cdot \left(\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} \cdot \sinh 2.08 - \sinh 2.08 \cdot \cosh 2.08 \right) \right] = 0.1126 \cdot \frac{ML}{GJ}$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha \cdot L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) - \alpha}{\tanh \frac{L}{a}} \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} \cdot \cosh 2.08 - (\sinh 2.08) \cdot (\sinh 2.08) - 0.58 \right] = -0.062 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\cosh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} \cdot \sinh 2.08 - (\sinh 2.08) \cdot (\cosh 2.08) \right] = -0.469 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} \cdot \cosh 2.08 - (\sinh 2.08) \cdot (\sinh 2.08) \right] = 0.517 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2}$$

Para la sección: C (Z = 0)

$$\frac{Z}{L} = \frac{0.00}{12.50} = 0.00 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{0.00}{137} = 0.00$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) \cdot \frac{Z}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \sinh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta = \frac{MJ}{GI} \left[(1.0 - 0.58) \cdot (0.00) + (0.278) \cdot \left(\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} - \cosh 2.08 \right) \cdot \sinh 0 \right] = 0$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) + \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - 0.58) + \left(\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} - \cosh 2.08 \right) \cdot \cosh 0.00 \right] = 0.301 \cdot \frac{M}{GJ}$$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\sinh \frac{Z}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\sinh 0.00 \cdot \left(\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} - \cosh 2.08 \right) \right] = 0.00$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\left(\frac{\sinh 2.08}{\tanh 3.59} - \cosh 2.08 \right) \cdot \cosh 0.00 \right] = -0.119 \cdot \left(\frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \right)$$

F.5.2) ESFUERZOS NORMALES POR ALABEO.

$$\sigma_w = E W_n s \theta''$$

SECCIÓN: C ($\theta'' = 0.00$)

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patines superior y/o inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(105)(0.00)$
 $\sigma_w = 0.00 \text{ ksi} = 0.00 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot (-0.469)$

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patines superior y/o inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(105)(2.74 \times 10^{-4})(1/137)(-0.469)$
 $\sigma_w = -2.86 \text{ ksi} = -200.82 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

F.5.3) ESFUERZOS CORTANTES POR TORSION PURA.

$$\tau = G t \theta'$$

SECCION: C $\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (0.301)$

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.65)(2.74 \times 10^{-4})(0.301) = 0.60 \text{ ksi} = 42.21 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

Patín: $\tau_f = (11.2 \times 10^3)(1.02)(2.74 \times 10^{-4})(0.301) = 0.942 \text{ ksi} = 66.24 \text{ Kg/cm}^2$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (-0.062)$$

SECCIÓN: C''

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.65)(2.74 \times 10^{-4})(-0.062) = -0.123 \text{ ksi} = 8.69 \text{ Kg/cm}^2$

Patín: $\tau_f = (11.2 \times 10^3)(1.02)(2.74 \times 10^{-4})(-0.062) = -0.194 \text{ ksi} = 13.65 \text{ Kg/cm}^2$

F.5.4.) ESFUERZOS CORTANTES POR ALABEO.

$$\tau_w = - (E S_w \theta''') (1/t)$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (-0.119)$$

SECCIÓN: C

$$\tau_w = - (29 \times 10^3)(321)(2.74 \times 10^{-4})(1/137^2)(-0.119)(1/1.02)$$

$$\tau_w = .016 \text{ ksi} = 1.09 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (0.517)$$

SECCIÓN: C''

$$\tau_w = - (29 \times 10^3)(321)(2.74 \times 10^{-4})(1/137^2)(0.517)(1/1.02)$$

$$\tau_w = -.0689 \text{ ksi} = -4.84 \text{ Kg/cm}^2$$

RESUMEN DE ESFUERZOS.

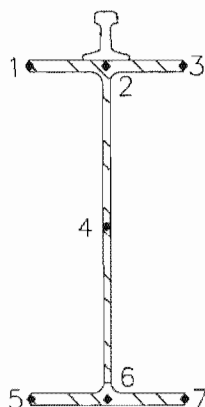
LOCALIZACIÓN	ESFUERZOS NORMALES (Kg/cm ²)			ESFUERZOS CORTANTES (Kg/cm ²)			
	TORSION (σw)	FLEXION "X" (f x)	FLEXION "Y" (f y)	TORSION (τt)	TORSION (τw)	FLEXION "X" (τx)	FLEXION "Y" (τy)
SECCION C							
PATIN	0	0	0	66.24	1.09	2.03	8.51
ALMA	NA	NA	NA	42.21	NA	107.67	0.026
SECCION C''							
PATIN	200.82	589.24	424.59	13.65	4.77	1.36	6.16
ALMA	NA	NA	NA	8.69	NA	74.08	0.019

NA: Esfuerzo no aplicable para esa sección.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

ESFUERZOS ACTUANTES EN DIFERENTES PUNTOS.

Tomando como referencia la siguiente figura:



PUNTO	SECCION C								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σ_{ws}	f_x	f_y	Σ	τ_t	τ_{ws}	τ_x	τ_y	Σ
1	0	0	0	0	A	0	0	0	66.24
2	0	0	0	0	A	A	A	A	77.87
3	0	0	0	0	A	0	0	0	66.24
4	NA	0	0	0	A	NA	A	A	149.91
5	0	0	0	0	A	0	0	0	66.24
6	0	0	0	0	A	A	A	A	77.87
7	0	0	0	0	A	0	0	0	66.24

PUNTO	SECCION C''								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σ_{ws}	f_x	f_y	Σ	τ_t	τ_{ws}	τ_x	τ_y	Σ
1	C	C	C	1214.65	A	0	0	0	13.65
2	0	C	0	1013.83	A	A	A	A	25.97
3	T	C	T	-36.15	A	0	0	0	13.65
4	NA	0	0	0.00	A	NA	A	A	82.79
5	T	T	C	-365.47	A	0	0	0	13.65
6	0	T	0	-589.24	A	A	A	A	25.97
7	C	T	T	-813.03	A	0	0	0	13.65

Donde:

Para esfuerzos normales:

C: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a compresión. ⇒

(+) esf. a comp.

T: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a tensión. ⇒

(-) esf. a ten.

Para esfuerzos cortantes:

A: indica que el esfuerzo cortante actúa en ese punto.

NA: indica que ese tipo de esfuerzo no aplica en ese punto.

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x^{12}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{bf}{2tf}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{por lo tanto} \quad \left(\frac{bf}{2tf}\right) = \left(\frac{30.5}{2.59}\right) = 5.888 \quad ; \quad \text{por otra parte} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

$$5.88 < 9.19 \quad \text{por lo cual cumple criterio}$$

- c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados: no aplica.
- d) Relación peralte / espesor:

$$\frac{d}{tw} < \frac{d}{t} \quad \text{donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{fa}{F_y}\right)$$

Considerando $fa = 0$; esto debido a los "apoyos" horizontales proporcionados a la trabe carril (ver Fig. 5.3.15.), por los cuales se puede asumir que se transmite la fuerza axial, lo que hace que el esfuerzo por carga axial (fa) tenga un valor nulo.

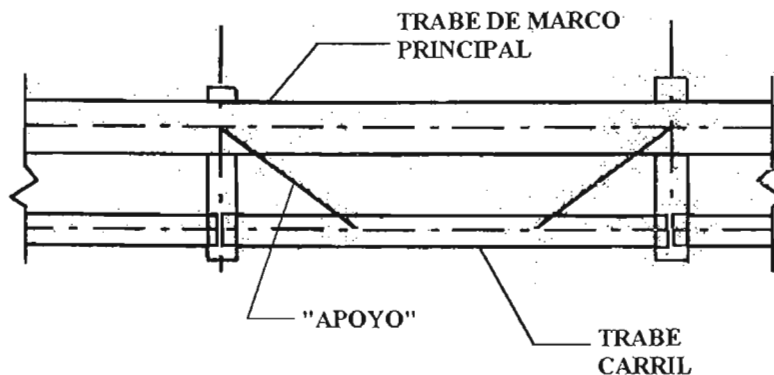


Fig. 5.3.15 Vista en planta de una trabe carril acompañada de "apoyos" horizontales.

$$\text{Así:} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.576 \quad \text{y} \quad \frac{d}{tw} = \frac{91.5}{1.65} = 55.454 \quad \text{por lo cual} \quad 55.454 < 90.576$$

concluyendo que: cumple criterio

¹² Según referencia 1.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

LSSL = L = 1250 cm.

Parámetros cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y}$$

de donde: $\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (30.5)}{\sqrt{3515}} = 327.7$ y

$$\frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{91.5}{78.99}\right) \cdot 3515} = 346.294$$

Como LSSL = 1250 cm > 346.29 cm. \Rightarrow no cumple parámetros.

Por sección 1.5.1.4.5¹³

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

Parámetros a cumplir:

$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

de la cual: $\frac{1}{rt} = \frac{1250}{7.7} = 162.34$

Donde: $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 101.06$

como: 162.34 > 101.06 ϵ no cumple parámetros.

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{1}{rt}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{7.7}\right)^2} = 455.33$$

Entonces:

F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{t \cdot d}{Af}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 91.5}{78.99}\right)} = 582.89$$

y

F_{xc2} [Kg/cm²] EL CUAL RIGE

¹³ Según referencia 1.

Tomando cargas accidentales:

$$F_{xc} = 1.33F_{xc2} = 1.33(582.89) = 775.24 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : $F''y^{14}$

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{bf}{tf}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{bf}{tf}\right) = \left(\frac{30.5}{2}\right) = 5.888 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

5.88 < 9.19 por lo cual cumple criterio

$$F''y_t = F''y_c = 0.75F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F''y_t = F''y_c = 0.75F_y(1.33)$$

$$F''y_t = F''y_c = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506 \text{ Kg/cm}^2$$

G.3) TORSIÓN ALREDEDOR DEL EJE LONGITUDINAL DE TRABE CARRIL: F_w^{15}

$$F_w = 0.6F_y = 0.6(3515) = 2109 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_w = 0.6F_y(1.33) = 0.6(3515)(1.33) = 2804.97 \text{ Kg / cm}^2$$

G.4) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_v = 0.40F_y (1.33) = 0.40(3515)(1.33) = 1869.98 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN¹⁶.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{775.24} + \frac{0.00}{3506.21} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \text{cumple criterio.}$$

¹⁴ Según referencia 1.

¹⁵ Según referencia 2.

¹⁶ Para el punto más esforzado según tabla de esfuerzos actuantes.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{589.24}{775.24} + \frac{424.59}{3506.21} + \frac{200.82}{2804.97} = 0 + 0.760 + 0.121 + 0.0716 = 0.9527 \leq 1.00 \Rightarrow \text{cumple criterio.}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSION¹⁷.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{2804.97} + \frac{0.00}{3506.21} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \Rightarrow \text{cumple criterio.}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{589.24}{2804.97} + \frac{424.59}{3506.21} + \frac{200.82}{2804.97} = 0 + 0.2100 + 0.1211 + 0.0716 = 0.4028 \leq 1.00 \Rightarrow \text{cumple criterio.}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE¹⁸.

SECCIÓN : C

$$\text{Sí: } F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 149.91 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$$

SECCIÓN : C''

$$\text{Sí: } F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 82.79 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{\text{perm}} = \frac{6800}{(d - 2t_f)} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{d_c}{t_w} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(36.01 - 2 \times 1.02)} \cdot 0.65^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{36.01 - 2 \times 1.9}{0.65} \right]^3 \right] = 38.8$$

$$P_{\text{perm. [Kips]}} \\ P_{\text{perm}} = 17\,474 \text{ Kg.}$$

¹⁷ Igual a nota 16.

¹⁸ Igual a nota 16.

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact) :

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = (17.139/2) (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como $Pact < Pperm$ por lo tanto no hay problemas de pandeo en el alma.

5.3.2 ANÁLISIS DE SECCIÓN ARMADA (1).

Tomando los primeros apartados para la sección 5.3.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia $f_y = 3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y, E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril, son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \qquad \text{y:} \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

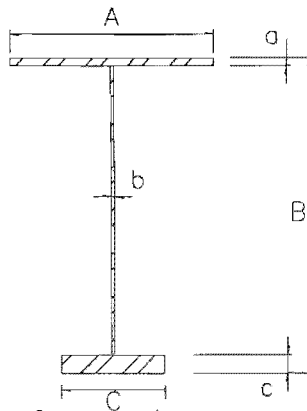


Fig. 5.3.16 Sección asimétrica armada (1).

5.3.2.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga¹⁹:

$$\text{A cumplir:} \quad \frac{h}{t_w} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \quad \text{por lo cual} \quad \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

¹⁹ Parámetros necesarios para el diseño de trabes armadas

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$tw, \min \geq \frac{h}{242.74} = \frac{60}{242.74} = 0.247$$

Tomando $h = B = 60$ cm, obtenemos: donde tw, \min [cm]

5.3.2.2) Espesor de alma para no tener reducción de esfuerzos en el patín¹⁰:

A cumplir:

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{6370}{\sqrt{Fb}} \quad \text{tomando un valor } Fb = 0.6Fy = 2109 \text{ Kg / cm}^2$$

$$\frac{6370}{\sqrt{Fb}} = \frac{6370}{\sqrt{2109}} = 138$$

tomando $tw = 1.3$ cm, obtenemos:

$$\frac{h}{tw} = \frac{60}{1.3} = 46.15 < 138$$

por lo cual se acepta placa de 13 mm para alma.

5.3.2.3) Diseño preliminar de placa de patín²⁰ en base a las contribuciones a flexión del alma, proponiendo una placa para patín: $a = 2.54$ cm, y $A = 50$ cm, por lo cual $(a)(A) = 127 \text{ cm}^2$

$$Af = \frac{M}{Fb \cdot h'} - \frac{1}{6} \cdot tw \cdot d = \frac{52.34 \times 10^5}{2109 \cdot (60 - 2.54)} - \frac{1}{6} \cdot (1.3 \cdot 54.92) = 31.29$$

donde Af [cm²]

Concluyendo que: $31.29 \text{ cm}^2 \ll 133 \text{ cm}^2$ entonces se acepta placa.

5.3.2.4) Comprobando que el patín se totalmente efectivo como elemento a compresión no atiesado:

A cumplir:

$$\frac{b}{2 \cdot tf} \leq \frac{800}{\sqrt{Fy}} \quad \text{entonces:} \quad \frac{50}{2 \cdot 2.54} = 9.84 < \frac{800}{\sqrt{3515}} = 13.49$$

por lo cual:
se acepta placa para patín.

5.3.2.5) Propiedades geométricas generales para la sección armada (1):

Sí: $A = 50$ cm; $B = 60$ cm; $C = 25$ cm; $a = 2.5$ cm; $b = 1.3$ cm; $c = 3.8$ cm.

Tendremos:

$$I_{xx} = 193\,072.63 \text{ cm}^4 > 178\,392 \text{ cm}^4 \Rightarrow \text{se acepta sección.}$$

$$I_{yy} = 30\,999.42 \text{ cm}^4 > 8\,947 \text{ cm}^4 \Rightarrow \text{se acepta sección.}$$

$S_{xxT} = 5\,795.29 \text{ cm}^3$	$As = 289.81 \text{ cm}^2$	$J = 549.13 \text{ cm}^4$
$S_{xxC} = 7174.22 \text{ cm}^3$	$bf = 50 \text{ cm.}$	$d = 60 \text{ cm.}$
$S_{yyT/C} = 1239.98 \text{ cm}^3$	$r_t = 13.87 \text{ cm.}$	$S_{wo} = 22\,207.03 \text{ cm}^4$
$S_{yyT/C} = 2479.95 \text{ cm}^3$	$W_{no} = 710.63 \text{ cm}^2$	$S_{w1} = 8\,438.67 \text{ cm}^4$

²⁰ Según referencia 1.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\begin{aligned} C_w &= 25\,046\,931 \text{ cm}^6 \\ Q_{wX0} &= 3511.96 \text{ cm}^3 \\ Q_{FX1} &= 1493.64 \text{ cm}^3 \\ Q_{wY} &= 1089.47 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

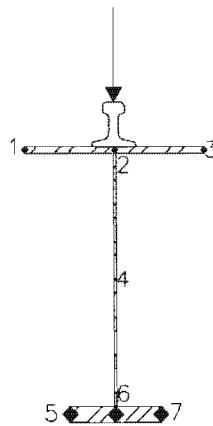
$$\begin{aligned} W_{n1} &= 355.31 \text{ cm}^2 \\ Q_{wX1} &= 3554.71 \text{ cm}^3 \\ Q_{FY1} &= 296.88 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 343.67 \text{ cm.} \\ Q_{FX0} &= 1587.81 \text{ cm}^3 \\ Q_{FY0} &= 1187.5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 1,2 y 3 compresión; 5,6 y 7 tensión.

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 7174.22 = 0 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 5795.29 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

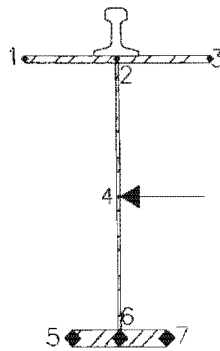
Para puntos: 1,2 y 3 compresión; 5,6 y 7 tensión.

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.336 \times 10^5 / 7174.22 = 729.56 \text{ Kg / cm}^2.$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.336 \times 10^5 / 5795.29 = 903.15 \text{ Kg / cm}^2$$

F.2) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 3 compresión y 1 tensión.

$$f_y = M_{yy} / S_y_{TC} = 0 / 1239.98 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

Para puntos: 7 compresión y 5 tensión.

$$f_y = M_{yy} / S_y_{TC} = 0 / 2479.95 = 0 \text{ Kg / cm}^2$$

SECCIÓN : C''

Para puntos: 3 compresión y 1 tensión.

$$f_y = M_{yy} / S_y_{TC} = 3.418 \times 10^5 / 1239.98 = 275.65 \text{ Kg / cm}^2$$

Para puntos: 7 compresión y 5 tensión.

$$f_y = M_{yy} / S_y_{TC} = 3.418 \times 10^5 / 2479.95 = 137.83 \text{ Kg / cm}^2$$

F.3) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{14101(3511.96)}{193072.63(1.3)} = 198.05 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 2

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx0}}{I_{xx} \cdot A} = \frac{14101(1587.81)}{193072.63(50)} = 2.27 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 6

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx1}}{I_{xx} \cdot C} = \frac{14101(1493.64)}{193072.63(25)} = 4.36 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{9702(3511.96)}{193072.63(1.3)} = 137.41 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 2

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx0}}{I_{xx} \cdot A} = \frac{9702(1587.81)}{193072.63(50)} = 1.59 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 6

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx1}}{I_{xx} \cdot C} = \frac{9702(1493.64)}{193072.63(25)} = 3.00 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

F.4) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_{yy} \cdot (B - a - c)} = \frac{899(1089.47)}{30999.42(60 - 3.8 - 2.5)} = 0.59 \quad \text{donde} \quad \tau_{wy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 2

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot a} = \frac{899(1187.5)}{30999.42(2.5)} = 13.77 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot c} = \frac{899(296.88)}{30999.42(3.8)} = 2.27 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_{yy} \cdot (d - 2t_f)} = \frac{651 \cdot (1089.47)}{30999.42(60 - 3.8 - 2.5)} = 0.43 \quad \text{donde} \quad \tau_{wy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

Para punto: 2

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot a} = \frac{651(1187.5)}{30999.42(2.5)} = 9.98 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$$

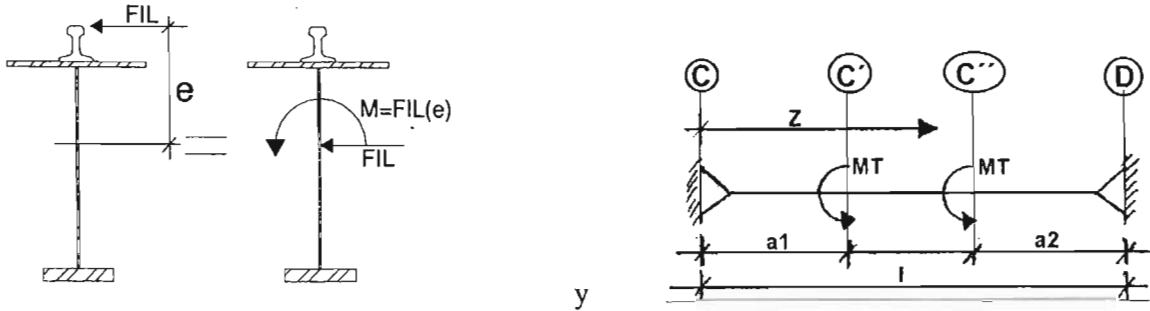
Para punto: 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot c} = \frac{651(296.88)}{30999.42(3.8)} = 1.64$$

donde τ_{fy} [Kg / cm²]

F.5) ESFUERZOS POR TORSIÓN.

Debidos a:



Determinando el momento torsionante (M_T):

$$e = (B - E.N.) + h_R = (60 - 33.34) + 10.795 = 37.46 \text{ cm} = 14.75 \text{ in.}$$

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (W_c + C_u)}{\text{NoRUEIDAS}} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton} = 1708.55 \text{ lb}$$

$$\therefore M_T^{21} = +14.75 (1708.55) = + 25\ 201 \text{ lb in}$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \frac{L - a_2}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58 \quad ; \quad \frac{\alpha \cdot L}{a} = \frac{0.58 \cdot (492.13)}{135.3} = 2.109 \quad \frac{L}{a} = \frac{492.12}{135.3} = 3.64 \quad \frac{a}{L} = \frac{135.3}{492.13} = 0.275$$

$$\frac{M}{GJ} = \frac{25.20}{(11.2 \times 10^3) \cdot 13.19} = 1.71 \times 10^{-4}$$

F.5.1) VALORES DE: θ , θ' , θ'' y θ'''

Para la sección: C'' ($Z = 7.25 \text{ m} = 285.2 \text{ in}$)

$$\frac{Z}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{285.2}{135.3} = 2.108$$

²¹ Momento torsionante positivo según convención de signos establecido en capítulo anterior.

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(L - Z) \cdot \frac{\alpha}{L} + \frac{a}{L} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right] \right]$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(492.13 - 285.2) \cdot \frac{0.58}{492.13} + 0.275 \cdot \left(\frac{\sinh 2.108}{\tanh 3.64} \cdot \sinh 2.108 - \sinh 2.109 \cdot \cosh 2.108 \right) \right] = 0.1098 \cdot \frac{ML}{GJ}$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) - \alpha \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} \cdot \cosh 2.108 - (\sinh 2.109) \cdot (\sinh 2.108) - 0.58 \right] = -0.081 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\cosh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} \cdot \sinh 2.108 - (\sinh 2.109) \cdot (\cosh 2.108) \right] = -0.487 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} \cdot \cosh 2.108 - (\sinh 2.109) \cdot (\sinh 2.108) \right] = 0.499 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2}$$

Para la sección: C (Z = 0)

$$\frac{Z}{L} = \frac{0.00}{12.50} = 0.00 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{0}{135.3} = 0.00$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) \cdot \frac{Z}{L} + \frac{a}{L} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \sinh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta = \frac{MJ}{GI} \left[(1.0 - 0.58) \cdot \frac{0.00}{492.13} + (0.275) \cdot \left(\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} - \cosh 2.109 \right) \cdot \sinh 0 \right] = 0$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) + \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - 0.58) + \left(\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} - \cosh 2.109 \right) \cdot \cosh 0.00 \right] = 0.306 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot \sinh \frac{Z}{a} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot \sinh 0.00 \cdot \left(\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} - \cosh 2.109 \right) = 0.00$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \left(\frac{\sinh 2.109}{\tanh 3.64} - \cosh 2.109 \right) \cdot \cosh 0.00 = -0.1139 \cdot \left(\frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \right)$$

F.5.2) ESFUERZOS NORMALES POR ALABEO.

$$\sigma_w = E W_{ns} \theta''$$

SECCIÓN: C ($\theta'' = 0.00$)

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(110.15)(0.00) = 0.00 \text{ ksi} = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(55.07)(0.00) = 0.00 \text{ ksi} = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot (-0.487)$

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(110.15)(1.71 \times 10^{-4})(1/135.3)(-0.487) = -1.97 \text{ ksi} = -138.24 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(55.07)(1.71 \times 10^{-4})(1/135.3)(-0.487) = -0.983 \text{ ksi} = -69.11 \text{ Kg/cm}^2$

F.5.3) ESFUERZOS CORTANTES POR TORSION PURA.

$$\tau = G t \theta'$$

SECCIÓN: C $\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (0.306)$

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.50)(1.71 \times 10^{-4})(0.306) = 0.293 \text{ ksi} = 20.603 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín superior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(0.50)(1.71 \times 10^{-4})(0.306) = 0.293 \text{ ksi} = 20.603 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín inferior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.50)(1.71 \times 10^{-4})(0.306) = 0.879 \text{ ksi} = 61.808 \text{ Kg / cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (-0.081)$

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.50)(1.71 \times 10^{-4})(-0.081) = -0.078 \text{ ksi} = -5.45 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín superior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(0.50)(1.71 \times 10^{-4})(-0.081) = -0.078 \text{ ksi} = -5.45 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín inferior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.50)(1.71 \times 10^{-4})(-0.081) = -0.233 \text{ ksi} = -16.361 \text{ Kg / cm}^2$

F.5.4.) ESFUERZOS CORTANTES POR ALABEO.

$$\tau_w = - (E S_w \theta''')(1 / t)$$

SECCIÓN: C $\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (-0.1139)$

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(533.53)(1.71 \times 10^{-4})(1 / 135.3^2)(-0.1139)(1/1.00)$
 $\tau_w = 0.0165 \text{ ksi} = 1.157 \text{ Kg / cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(202.74)(1.85 \times 10^{-4})(1 / 135.3^2)(-0.1139)(1/1.50)$
 $\tau_w = 0.0042 \text{ ksi} = 0.293 \text{ Kg / cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (0.499)$

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(533.53)(1.85 \times 10^{-4})(1 / 135.3^2)(0.499)(1/1.00)$
 $\tau_w = -0.072 \text{ ksi} = -5.07 \text{ Kg / cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(202.74)(1.71 \times 10^{-4})(1 / 135.3^2)(0.499)(1/1.50)$
 $\tau_w = -0.018 \text{ ksi} = -1.295 \text{ Kg / cm}^2$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

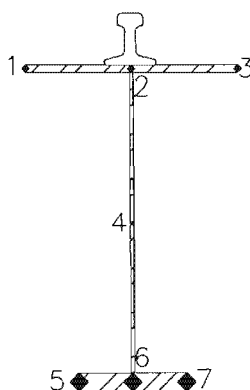
RESUMEN DE ESFUERZOS.

LOCALIZACIÓN	ESFUERZOS NORMALES (Kg/cm ²)			ESFUERZOS CORTANTES (Kg/cm ²)			
	TORSION (σw)	FLEXION "X" (f x)	FLEXION "Y" (f y)	TORSION (τt)	TORSION (τw)	FLEXION "X" (τx)	FLEXION "Y" (τy)
SECCION C							
PATIN (sup)	0	0	0	61.81	1.16	2.27	13.77
PATIN (inf)	0	0	0	61.81	0.29	4.36	2.27
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	20.6	NA	198.05	0.59
SECCION C''							
PATIN (sup)	138.24	729.56	275.65	16.36	5.07	1.59	9.98
PATIN (inf)	69.11	903.15	137.83	16.36	1.29	3	1.64
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	5.45	NA	137.41	0.43

NA: Esfuerzo no aplicable para esa sección.

ESFUERZOS ACTUANTES EN DIFERENTES PUNTOS.

Tomando como referencia la siguiente figura:



PUNTO	SECCION C								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σw	f x	f y	Σ	τt	τw	τx	τy	Σ
1	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	61.81
2	0	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	79.01
3	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	61.81
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	219.24
5	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	61.81
6	0	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	68.73
7	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	61.81
PUNTO	SECCION C''								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σw	f x	f y	Σ	τt	τw	τx	τy	Σ
1	C	C	C	1143.45	A	0.00	0.00	0.00	16.36
2	0.00	C	0.00	729.56	A	A	A	A	33.00
3	T	C	T	315.67	A	0.00	0.00	0.00	16.36
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	143.29
5	T	T	C	-834.43	A	0.00	0.00	0.00	16.36
6	0.00	T	0.00	-903.15	A	A	A	A	22.29
7	C	T	T	-971.87	A	0.00	0.00	0.00	16.36

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

Donde:

Para esfuerzos normales:

C: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a compresión. \Rightarrow (+) esf. a comp.

T: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a tensión. \Rightarrow (-) esf. a ten.

Para esfuerzos cortantes:

A: indica que el esfuerzo cortante actúa en ese punto.

NA: indica que ese tipo de esfuerzo no aplica en ese punto.

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x ²²

Simplificando criterios que estipula la sección 1.5.1.4.1²³ (debido a que no cumple con el criterio "e").

Por sección 1.5.1.4.5²⁴

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

Parámetros a cumplir:

$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

Donde: $\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$ y $\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$

Para calcular rt tomaremos:

²² Según referencia 1

²³ Igual a nota 22.

²⁴ Igual a nota 22.

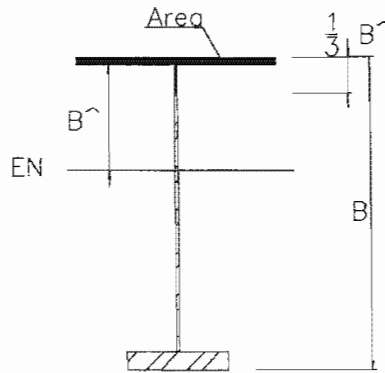


Fig.5.3.16 Área a considerar para el cálculo de r_t .

De la cual resulta: $r_t = 13.81$ cm, teniendo por lo tanto : $\frac{l}{r_t} = \frac{1250}{13.81} = 90.53$

como: $45.16 < 90.53 < 101.6$ se acepta criterio

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{l}{r_t} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (90.53)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1405.7 \text{ Kg/cm}^2$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{127} \right)} = 1429.17$$

y $\text{donde } F_{xc2}$ [Kg / cm²] EL CUAL RIGE

Tomando cargas accidentales:

tenemos: $F_{xc} = 1.33 F_{xc1} = (1.33)1429.17 = 1900.79 \text{ Kg / cm}^2$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{25}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

²⁵ Según referencia 1

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\left(\frac{A}{2a}\right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2}\right) = \left(\frac{50}{2.5}\right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

$$\left(\frac{A}{2}\right) < \frac{797}{\sqrt{F_y}} \quad \text{donde ahora} \quad \frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44 \quad \text{por lo cual} \quad 10.00 < 13.44, \text{ entonces } \underline{\text{cumple criterio.}}$$

Así:

$$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a}\right) \cdot \sqrt{f_y} \right] \quad \text{donde} \quad F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left[\frac{50}{2 \cdot (2.5)}\right] \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$$

Por lo cual; $F_y = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) TORSIÓN ALREDEDOR DEL EJE LONGITUDINAL DE TRABE CARRIL: F_w^{26}

$$F_w = 0.6F_y = 0.6(3515) = 2109 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_w = 0.6F_y(1.33) = 0.6(3515)(1.33) = 2804.97 \text{ Kg / cm}^2$$

G.4) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_v = 0.40F_y(1.33) = 0.40(3515)(1.33) = 1869.98 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN²⁷.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{1900.79} + \frac{0.00}{3373.66} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00$$

⇒ cumple criterio.

²⁶ Según referencia 2.

²⁷ Para el punto más esforzado según tabla de esfuerzos actuantes.

$$P_{perm} = 31\,575.98 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/4 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712\text{Kg.}$$

como $Pact < P_{perm}$ por lo tanto no hay problemas de pandeo en el alma.

5.3.3 ANALISIS DE SECCIÓN ARMADA (2)

Tomando los primeros apartados para la sección 5.3.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que las placas para este tipo de trabe armada serán de A50-Gr72 con un esfuerzo de fluencia $f_y=3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a sollicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 266\,949 \text{ cm}^4 \qquad y: \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

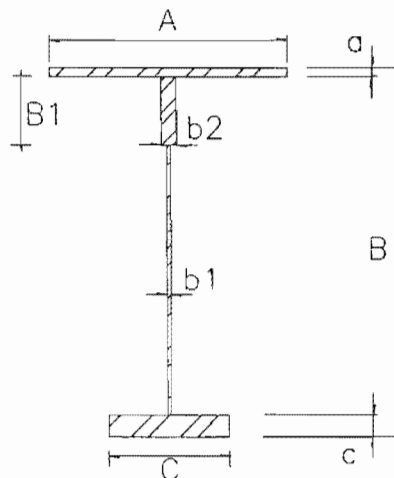


Fig. 5.3.17 Sección asimétrica armada (2).

5.2.3.1) Estableciendo el espesor mínimo del alma para la condición de evitar el pandeo bajo esfuerzos verticales de compresión en el plano de la misma, resultado de la curvatura por flexión en la viga³⁰:

$$\text{A cumplir: } \frac{h}{tw} \leq \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} \text{ por lo cual } \frac{984000}{\sqrt{F_y \cdot (F_y + 1160)}} = \frac{984000}{\sqrt{3515 \cdot (3515 + 1160)}} = 242.74$$

³⁰ Parámetros necesarios para el diseño de traveses armados.

Tomando como base las siguientes propiedades preliminares (en base a la Fig. 5.14):

Sí: $A = 50 \text{ cm}$; $B = 60 \text{ cm}$; $C = 25 \text{ cm}$; $a = 2.5 \text{ cm}$; $b_1 = 1.3 \text{ cm}$; $b_2 = 2.5 \text{ cm}$; $c = 3.8 \text{ cm}$.

Del primer criterio tendremos: $B1i \cong 1/6 B$, redondeando el valor obtenido, optamos por : $B1i \cong 10 \text{ cm}$.

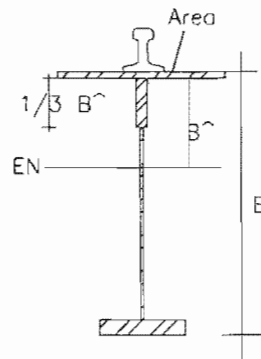


Fig. 5.3.18 Primer criterio para la determinación de B1.

Del segundo criterio y tomando como base que $b_2 \cong 2b_1$, es decir $b_2 \cong 2.5 \text{ cm}$; tenemos:

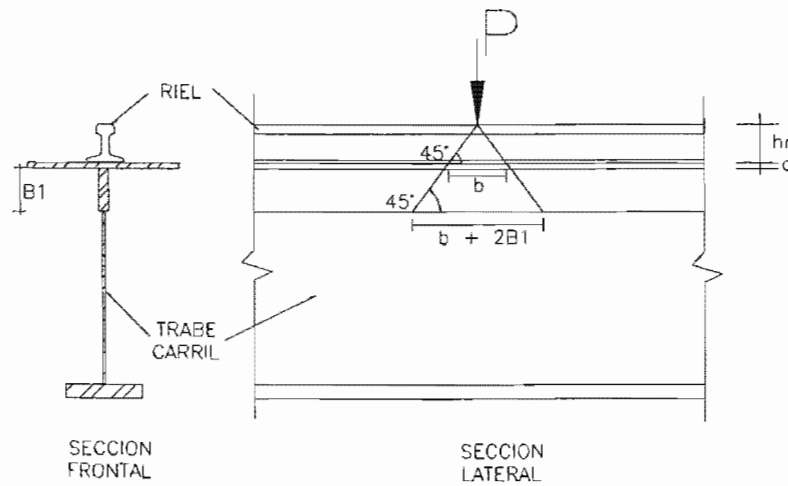


Fig. 5.3.19 Segundo criterio para la determinación de B1.

Por lo tanto: $b = 2 (hr + a)$

Sí: $P = b_2(b + 2B1)(0.75F_y)^{33}$ (1)

$$B1 = \frac{P}{2 \cdot b_2 \cdot 0.75 \cdot F_y} - \frac{b}{2} \dots \dots \dots (2)$$

De la ecuación (1), obtenemos:

³³ Esfuerzo permisible a compresión debido a cargas concentradas no soportadas por atiesadores.

SECCIÓN : C''

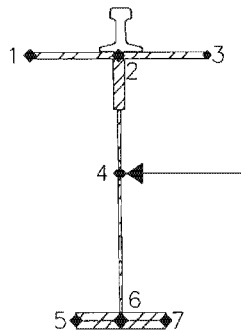
Para puntos: 1,2 y 3 compresión; 5,6 y 7 tensión.

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 7583.1 = 690.22 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 5736.27 = 912.44 \text{ Kg / cm}^2$$

F.2) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 3 y 7 compresión; 1 y 5 tensión.

Punto: 1 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 0 / 1240.78 = 0 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 3 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 0 / 1240.78 = 0 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 5 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 0 / 2481.56 = 0 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 7 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 0 / 2481.56 = 0 \text{ Kg / cm}^2$

SECCIÓN : C''

Para puntos: 3 y 7 compresión; 1 y 5 tensión.

Punto: 1 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 3.418 \times 10^5 / 1240.78 = 275.63 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 3 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 3.418 \times 10^5 / 1240.78 = 275.63 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 5 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 3.418 \times 10^5 / 2481.56 = 137.74 \text{ Kg / cm}^2$

Punto: 7 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy_{T/C}} = 3.418 \times 10^5 / 2481.56 = 137.74 \text{ Kg / cm}^2$

F.3) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx}t_w} = \frac{14101(3657.96)}{196402.97(1.3)} = 202.02$$

donde $\tau_{wx} \text{ [Kg / cm}^2\text{]}$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_{yy} \cdot (B - a - c)} = \frac{651(1091)}{31011.42(60 - 2.5 - 3.8)} = 0.43 \quad \text{donde} \quad \tau_{wy} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

Para punto: 2

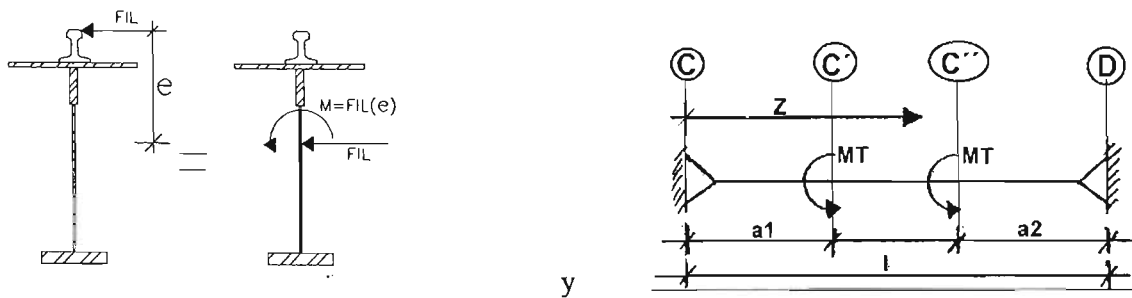
$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (a)} = \frac{651(781)}{31011.42(2.5)} = 6.56 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

Para punto: 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (c)} = \frac{651(296.88)}{31011.42(3.8)} = 1.64 \quad \text{donde} \quad \tau_{fy} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

F.5) ESFUERZOS POR TORSIÓN.

Debidos a:



Determinando el momento torsionante (M_T):

$$e = (B - E.N.) + h_R = (60 - 34.1) + 10.795 = 36.695 \text{ cm} = 14.45 \text{ in.}$$

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (W_c + C_u)}{\text{NoRUEDAS}} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton} = 1708.55 \text{ lb}$$

$$M_T^{34} = +14.45 (1708.55) = +24\,687 \text{ lb in.}$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \frac{L - a_2}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58 \quad ; \quad \frac{\alpha \cdot L}{a} = \frac{0.58 \cdot (492.13)}{131.48} = 2.171 \quad ; \quad \frac{L}{a} = \frac{492.12}{131.48} = 3.743 \quad ; \quad \frac{a}{L} = \frac{131.48}{492.13} = 0.267$$

$$\frac{M}{GJ} = \frac{24.69}{(11.2 \times 10^3) \cdot 13.98} = 1.58 \times 10^{-4}$$

³⁴ Momento torsionante positivo según convención de signos establecido en capítulo anterior.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

F.5.1) Valores de: θ , θ' , θ'' y θ'''

Para la sección: C'' (Z = 7.25 m = 285.2 in)

$$\frac{Z}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{285.2}{131.48} = 2.169$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(L - Z) \cdot \frac{\alpha}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right] \right]$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(492.13 - 285.2) \cdot \frac{0.58}{492.13} + 0.267 \cdot \left(\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} \cdot \sinh 2.17 - \sinh 2.17 \cdot \cosh 2.17 \right) \right] = 0.1185 \cdot \frac{ML}{GJ}$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) - \alpha \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.7} \cdot \cosh 2.17 - (\sinh 2.17) \cdot (\sinh 2.17) - 0.58 \right] = -0.065 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\cosh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} \cdot \sinh 2.17 - (\sinh 2.17) \cdot (\cosh 2.17) \right] = -0.473 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} \cdot \cosh 2.17 - (\sinh 2.17) \cdot (\sinh 2.17) \right] = 0.515 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2}$$

Para la sección: C (Z = 0)

$$\frac{Z}{L} = \frac{0.00}{12.50} = 0.00 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{0}{131.48} = 0.00$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) \cdot \frac{Z}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \sinh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta = \frac{MJ}{GI} \left[(1.0 - 0.58) \cdot \frac{0.00}{492.13} + (0.267) \cdot \left(\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} - \cosh 2.17 \right) \cdot \sinh 0 \right] = 0$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - \alpha) + \frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a}$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[(1.0 - 0.58) + \left(\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} - \cosh 2.17 \right) \cdot \cosh 0.00 \right] = 0.314 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot \sinh \frac{Z}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot \sinh 0.00 \cdot \left(\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} - \cosh 2.17 \right) = 0.00$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot \left(\frac{\sinh 2.17}{\tanh 3.74} - \cosh 2.17 \right) \cdot \cosh 0.00 = -0.1102 \cdot \left(\frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \right)$$

F.5.2) ESFUERZOS NORMALES POR ALABEO.

$$\sigma_w = E W_n s \theta''$$

SECCIÓN: C ($\theta'' = 0.00$)

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(110.15)(0.00) = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(55.07)(0.00) = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \cdot (-0.473)$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(110.15)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48)(-0.473) = -1.82 \text{ ksi} = -127.66 \text{ Kg/cm}^2$

Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(55.07)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48)(-0.473) = -0.91 \text{ ksi} = -63.82 \text{ Kg/cm}^2$

F.5.3) ESFUERZOS CORTANTES POR TORSION PURA.

$$\tau = G t \theta'$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (0.314)$$

SECCIÓN: C

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.51)(1.58 \times 10^{-4})(0.314) = 0.283 \text{ ksi} = 19.92 \text{ Kg/cm}^2$

Patín superior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.00)(1.58 \times 10^{-4})(0.314) = 0.556 \text{ ksi} = 39.07 \text{ Kg/cm}^2$

Patín inferior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.50)(1.58 \times 10^{-4})(0.314) = 0.833 \text{ ksi} = 58.60 \text{ Kg/cm}^2$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (-0.065)$$

SECCIÓN: C''

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.51)(1.58 \times 10^{-4})(-0.065) = -0.059 \text{ ksi} = -4.125 \text{ Kg/cm}^2$

Patín superior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.00)(1.58 \times 10^{-4})(-0.065) = -0.115 \text{ ksi} = -8.09 \text{ Kg/cm}^2$

Patín inferior: $\tau_r = (11.2 \times 10^3)(1.50)(1.58 \times 10^{-4})(-0.065) = -0.173 \text{ ksi} = -12.131 \text{ Kg/cm}^2$

F.5.4.) ESFUERZOS CORTANTES POR ALABEO.

$$\tau_w = - (E S_w \theta''')(1/t)$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (-0.1102)$$

SECCIÓN: C

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(533.32)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48^2)(-0.1102)(1/1.00)$
 $\tau_w = 0.0156 \text{ ksi} = 1.09 \text{ Kg/cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(202.75)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48^2)(-0.1102)(1/1.50)$
 $\tau_w = 0.004 \text{ ksi} = 0.278 \text{ Kg/cm}^2$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (0.515)$$

SECCIÓN: C''

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(533.32)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48^2)(0.515)(1/1.00)$
 $\tau_w = -0.073 \text{ ksi} = -5.12 \text{ Kg/cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(202.75)(1.58 \times 10^{-4})(1/131.48^2)(0.515)(1/1.50)$
 $\tau_w = -0.0185 \text{ ksi} = -1.298 \text{ Kg/cm}^2$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

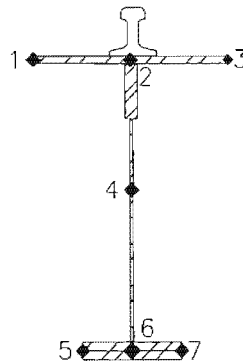
RESUMEN DE ESFUERZOS.

LOCALIZACIÓN	ESFUERZOS NORMALES (Kg/cm ²)			ESFUERZOS CORTANTES (Kg/cm ²)			
	TORSION (σw)	FLEXION "X" (f x)	FLEXION "Y" (f y)	TORSION (τt)	TORSION (τw)	FLEXION "X" (τx)	FLEXION "Y" (τy)
SECCION C							
PATIN (sup)	0	0	0	39.07	1.09	2.21	9.06
PATIN (inf)	0	0	0	58.60	0.28	4.52	2.26
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	19.92	NA	202.02	0.59
SECCION C''							
PATIN (sup)	127.66	690.22	275.63	8.09	5.12	1.52	6.56
PATIN (inf)	63.82	912.44	137.44	12.13	1.29	3.11	1.64
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	4.13	NA	139.00	0.43

NA: Esfuerzo no aplicable para esa sección.

ESFUERZOS ACTUANTES EN DIFERENTES PUNTOS.

Tomando como referencia la siguiente figura:



PUNTO	SECCION C								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σw	f x	f y	Σ	τt	τw	τx	τy	Σ
1	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	39.07
2	0.00	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	12.36
3	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	39.07
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	222.71
5	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	58.60
6	0.00	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	7.06
7	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	58.60
PUNTO	SECCION C''								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σw	f x	f y	Σ	τt	τw	τx	τy	Σ
1	C	C	C	1093.51	A	0.00	0.00	0.00	8.09
2	0.00	C	0.00	690.22	A	A	A	A	9.17
3	T	C	T	286.93	A	0.00	0.00	0.00	8.09
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	143.56
5	T	T	C	-838.52	A	0.00	0.00	0.00	12.13
6	0.00	T	0.00	-912.44	A	A	A	A	5.03
7	C	T	T	-986.36	A	0.00	0.00	0.00	12.13

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

Donde:

Para esfuerzos normales:

C: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a compresión. ⇒ (+) esf. a comp.

T: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a tensión. ⇒ (-) esf. a ten.

Para esfuerzos cortantes:

A: indica que el esfuerzo cortante actúa en ese punto.

NA: indica que ese tipo de esfuerzo no aplica en ese punto.

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X " : F_x^{35}

Simplificando criterios que estipula la sección 1.5.1.4.1³⁶ (debido a que no cumple con el criterio "e").

Por sección 1.5.1.4.5³⁷

Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

A cumplir :
$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

Donde:
$$\sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16$$
 y
$$\sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

Para calcular rt tomaremos:

³⁵ Según referencia 1

³⁶ Igual a la nota 35.

³⁷ Igual a la nota 35.

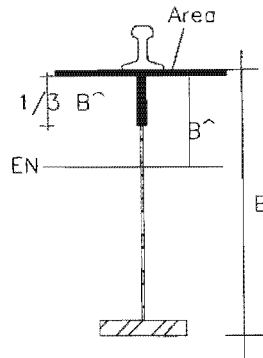


Fig. 5.3.20 Área a considerar para calcular r_t .

De la cual resulta: $r_t = 12.39$ cm, teniendo por lo tanto :

$$\frac{l}{r_t} = \frac{1250}{12.39} = 100.8$$

como: $45.16 < 100.89 < 101.6$ se acepta criterio

Por lo cual:

$$F_{xc1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{l}{r_t} \right)^2}{1080 \times 10^5 \cdot C_b} \right] \cdot F_y = \left(\frac{2}{3} - \frac{3515 (100.89)^2}{1080 \times 10^5 \cdot 1.00} \right) \cdot 3515 = 1178.88$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f} \right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 60}{125} \right)} = 1406.6$$

y F_{xc2} [Kg / cm²] EL CUAL RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc2} = (1.33)(1406.6) = 1870.78 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y ³⁸

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados:

$$\left(\frac{A}{2} \right) < \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad \text{de donde} \quad \left(\frac{A}{2} \right) = \left(\frac{50}{2} \right) = 10.00 \quad \text{y} \quad \frac{545}{\sqrt{F_y}} = \frac{545}{\sqrt{3515}} = 9.193$$

³⁸ Según referencia I.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

10.00 > 9.19 por lo cual no cumple criterio.

Cumpliendo ahora:

P donde ahora $\frac{797}{\sqrt{F_y}} = \frac{797}{\sqrt{3515}} = 13.44$ por lo cual 10.00 < 13.44, entonces cumple criterio.

Así:

$F_y = f_y \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left(\frac{A}{2a} \right) \cdot \sqrt{f_y} \right]$ donde $F_y = 3515 \cdot \left[1.075 - 0.000596 \cdot \left[\frac{50}{2 \cdot (2.5)} \right] \cdot \sqrt{3515} \right] = 2536.59$

Por lo cual; $F_{yc} = F_{yt}$ tomando cargas accidentales; resulta:

$$F_{yc} = F_{yt} = 2536.6 \times 1.33 = 3373.66 \text{ Kg / cm}^2$$

G.3) TORSIÓN ALREDEDOR DEL EJE LONGITUDINAL DE TRABE CARRIL: F_w ³⁹

$$F_w = 0.6F_y = 0.6(3515) = 2109 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_w = 0.6F_y(1.33) = 0.6(3515)(1.33) = 2804.97 \text{ Kg / cm}^2$$

G.4) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_v = 0.40F_y(1.33) = 0.40(3515)(1.33) = 1869.98 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE RESISTENCIA.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN⁴⁰.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{1870.78} + \frac{0.00}{3373.66} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{690.22}{1870.78} + \frac{275.63}{3373.66} + \frac{127.66}{2804.97} = 0 + 0.369 + 0.082 + 0.046 = 0.497 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

³⁹ Según referencia 2.

⁴⁰ Para el punto más esforzado según tabla de esfuerzos actuantes.

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN⁴¹.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{2805} + \frac{0.00}{3373.66} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{912.44}{2805} + \frac{275.63}{3373.66} + \frac{63.82}{2804.97} = 0 + 0.325 + 0.082 + 0.023 = 0.430 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE⁴².

SECCIÓN : C

Sí: $F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 222.71 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$

SECCIÓN : C''

Sí: $F_{\text{cort}} > f_{\text{cort}} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 143.56 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{\text{perm}} = \frac{6800}{(d - a - c)} \cdot b^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{B - (a + Ww) - (c + (Ww))}{b} \right]^3 \right] \quad P_{\text{perm. [Kips]}}$$

$$P_{\text{perm}} = \frac{6800}{(23.62 - 1.0 - 1.5)} \cdot 0.51^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{23.62 - \left(1 + \frac{3''}{8}\right) - \left(1.5 + \frac{3''}{8}\right)}{0.51} \right]^3 \right] = 69.91$$

$$P_{\text{perm}} = 31\,575.98 \text{ Kg}$$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

⁴¹ Igual a la nota 40.

⁴² Igual a la nota 40.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\text{Pact} = \text{RA}/2 (\% \text{IMPV}) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10\,712 \text{ Kg.}$$

como $\text{Pact} < \text{Pperm}$ por lo tanto PASA CRITERIO

5.3.4 ANÁLISIS DE SECCIÓN COMPUESTA “T”.

Tomando los primeros apartados para la sección 5.3.1, como son: A) Esquemas, B) Datos, tomando en cuenta que los elementos tendrán un esfuerzo de fluencia $f_y=3515 \text{ Kg / cm}^2$, C) Criterios de revisión, D) Elementos mecánicos con sus respectivos diagramas y E) de donde las propiedades preliminares de sección debido a solicitaciones, sin tomar en cuenta el peso de la trabe carril son:

$$I_{xx} \cong 133\,474.39 \text{ cm}^4 \qquad \text{y:} \qquad I_{yy} \cong 8\,040 \text{ cm}^4$$

Tomando:

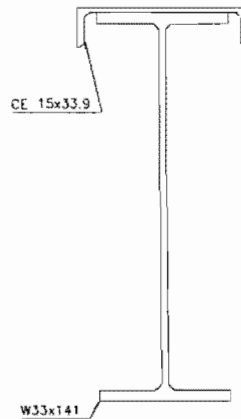


Fig. 5.3.21 Sección asimétrica compuesta.

Propiedades geométricas generales para la sección compuesta, proponiendo las siguientes secciones:

W33x141 y CE 15x33.9

$$I_{xx} = 386\,902.43 \text{ cm}^4 > 133\,474.39 \text{ cm}^4 \quad \Rightarrow \quad \text{se acepta sección.}$$

$$I_{yy} = 23\,240 \text{ cm}^4 > 8\,040 \text{ cm}^4 \quad \Rightarrow \quad \text{se acepta sección.}$$

$$A_s = 332.84 \text{ cm}^2$$

$$S_{yy_{CT}} = 1586.35 \text{ cm}^3$$

$$S_{yy_{TC}} = 609.98 \text{ cm}^3$$

$$d = 85.62 \text{ cm.}$$

$$t_{f0} = 3.46 \text{ cm.}$$

$$S_{w1} = 260.99 \text{ in}^4.$$

$$C_w = 20\,723\,028 \text{ cm}^6$$

$$Q_{wy} = 859.34 \text{ cm}^3$$

$$Q_{fy0} = 566.66 \text{ cm}^3$$

$$S_{xx_T} = 7\,655.38 \text{ cm}^3$$

$$S_{yy_{TC}} = 1219.95 \text{ cm}^3$$

$$bf = 38.1 \text{ cm.}$$

$$a = 218.71 \text{ cm} = 86.11 \text{ in.}$$

$$t_{f1} = 2.44 \text{ cm.}$$

$$W_{no} = 122.51 \text{ in}^2$$

$$J = 1121.83 \text{ cm}^4$$

$$Q_{fx0} = 2187.3 \text{ cm}^3$$

$$Q_{fy1} = 261.84 \text{ cm}^3$$

$$S_{xx_C} = 11\,029.15 \text{ cm}^3$$

$$S_{yy_{CT}} = 793.18 \text{ cm}^3$$

$$r_1 = 6.18 \text{ cm.}$$

$$t_w = 1.54 \text{ cm} = 0.61 \text{ in.}$$

$$S_{wo} = 625.84 \text{ in}^4.$$

$$W_{n1} = 91.89 \text{ in}^2$$

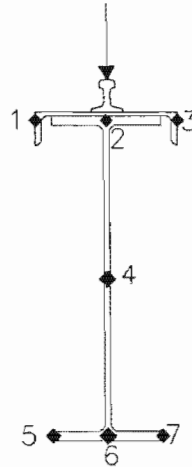
$$Q_{wx} = 5329.97 \text{ cm}^3$$

$$Q_{fx1} = 2187.3 \text{ cm}^3$$

F) ESFUERZOS ACTUANTES.

F.1) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos : 1, 2, y 3 a compresión, 5, 6, y 7 a tensión.

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 0 / 11\ 029.15 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 0 / 7655.38 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

SECCIÓN : C''

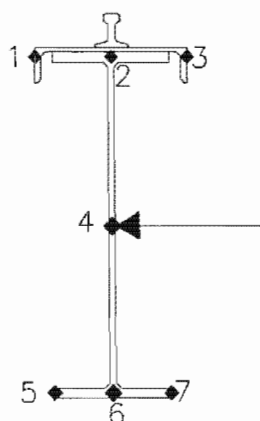
Para puntos : 1, 2, y 3 a compresión, 5, 6, y 7 a tensión.

$$f_{x_c} = M_{xx} / S_{xxc} = 52.34 \times 10^5 / 11\ 029.15 = 474.56 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$f_{x_t} = M_{xx} / S_{xxt} = 52.34 \times 10^5 / 7655.38 = 683.7 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

F.2) ESFUERZOS NORMALES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "Y".

Debidos a:



SECCIÓN : C

Para puntos: 3 y 7 compresión; 1 y 5 tensión.

- Punto: 1 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 0 / 1219.95 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 3 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 0 / 1219.95 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 5 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 0 / 1586.35 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 7 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 0 / 1586.35 = 0 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

SECCIÓN : C''

Para puntos: 3 y 7 compresión; 1 y 5 tensión.

- Punto: 1 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 3.418 \times 10^5 / 1219.95 = 280.18 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 3 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 3.418 \times 10^5 / 1219.95 = 280.18 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 5 $f_{y_t} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 3.418 \times 10^5 / 1586.35 = 215.46 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
 Punto: 7 $f_{y_c} = M_{yy} / S_{yy} T/C = 3.418 \times 10^5 / 1586.35 = 215.46 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

F.3) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE "X":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{14101(5329.97)}{386902.43(1.54)} = 126.14 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

Para punto: 2

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx}}{I_{xx} \cdot d_{ce}} = \frac{14101(2187.3)}{386902.43(3.46)} = 23.03 \quad \text{donde} \quad \tau_{fx} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

$$\tau_{wx} = \frac{VQ_{wx}}{I_{xx} \cdot t_w} = \frac{9702(5329.97)}{386902.43(1.54)} = 86.79 \quad \text{donde} \quad \tau_{wx} [\text{Kg} / \text{cm}^2]$$

Para punto: 2

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx}}{I_{xx} \cdot d_{ce}} = \frac{9702(2187.3)}{386902.43(3.46)} = 15.85$$

donde τ_{fx} [Kg / cm²]

Para puntos: 6

$$\tau_{fx} = \frac{VQ_{fx}}{I_{xx} \cdot b_{fw}} = \frac{9702(2187.3)}{386902.43(2.44)} = 22.48$$

donde τ_{fx} [Kg / cm²]

F.4) ESFUERZOS CORTANTES POR FLEXION ALREDEDOR DEL EJE "Y":

SECCIÓN : C

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_{yy} (d - t_{wce} - 2t_f)} = \frac{899(859.34)}{23240(85.62 - 1.02 - 2 \times 2.44)} = 0.42$$

donde τ_{wy} [Kg / cm²]

Para punto: 2

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (t_{fo})} = \frac{899(566.66)}{23240(3.46)} = 6.34$$

donde τ_{fy} [Kg / cm²]

Para punto: 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (t_{f1})} = \frac{899(261.84)}{23240(2.44)} = 4.15$$

donde τ_{fy} [Kg / cm²]

SECCIÓN : C''

Para punto: 4

$$\tau_{wy} = \frac{VQ_{wy}}{I_{yy} (d - t_{wce} - 2t_f)} = \frac{651(859.34)}{23240(85.62 - 1.02 - 2 \times 2.44)} = 0.302$$

donde τ_{wy} [Kg / cm²]

Para punto: 2

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (t_{fo})} = \frac{651(566.66)}{23240(3.46)} = 4.59$$

donde τ_{fy} [Kg / cm²]

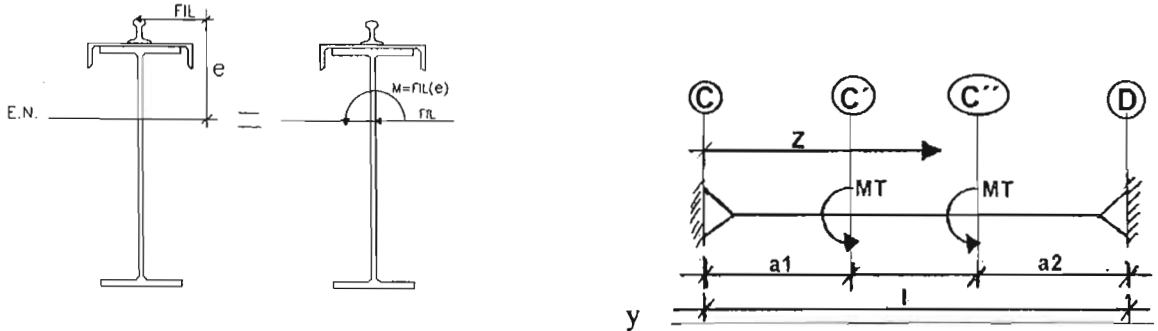
Para punto: 6

$$\tau_{fy} = \frac{VQ_{fy}}{I_{yy} \cdot (t_{f1})} = \frac{651(261.84)}{23240(2.44)} = 3.00$$

donde τ_{fy} [Kg / cm²]

F.5) ESFUERZOS POR TORSIÓN.

Debidos a:



Determinando el momento torsionante (M_T):

$$e = (B - E.N.) + h_R = (85.62 - 50.54) + 10.795 = 45.88 \text{ cm} = 18.06 \text{ in.}$$

$$FIL = \frac{\%IMPL \cdot (W_c + Cu)}{\text{NoRUEDAS}} = \frac{0.20 \cdot (3 + 12.5)}{4} = 0.775 \text{ ton} = 1708.55 \text{ lb}$$

$$\therefore M_T^{43} = +18.06 (1708.55) = +30\,856.41 \text{ lb in.}$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \frac{L - a_2}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58; \quad \frac{\alpha \cdot L}{a} = \frac{0.58 \cdot (492.13)}{86.11} = 3.315; \quad \frac{L}{a} = \frac{492.12}{86.11} = 5.72; \quad \frac{a}{L} = \frac{86.11}{492.13} = 0.175$$

$$\frac{M}{GJ} = \frac{30.856}{(11.2 \times 10^3) \cdot 26.95} = 1.022 \times 10^{-4}$$

F.5.1) Valores de: $\theta, \theta', \theta''$ y θ'''

Para la sección: C'' ($Z = 7.25 \text{ m} = 285.2 \text{ in}$)

$$\frac{Z}{L} = \frac{7.25}{12.50} = 0.58; \quad \frac{Z}{a} = \frac{285.2}{86.11} = 3.312$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(L - Z) \cdot \frac{\alpha}{L} + \frac{a}{L} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \sinh \frac{\alpha L}{a} \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right] \right]$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \left[(492.13 - 285.2) \cdot \frac{0.58}{492.13} + 0.175 \cdot \left(\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.72} \cdot \sinh 3.312 - \sinh 3.315 \cdot \cosh 3.312 \right) \right] = 0.1571 \cdot \frac{ML}{GJ}$$

⁴³ Momento torsionante positivo según convención de signos establecido en capítulo anterior.

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha \cdot L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) - \alpha \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \left[\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.72} \cdot \cosh 3.312 - (\sinh 3.315) \cdot (\sinh 3.312) - 0.58 \right] = 0.0755 \cdot \frac{M}{GJ}$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \sinh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\cosh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.72} \cdot \sinh 3.312 - (\sinh 3.315) \cdot (\cosh 3.312) \right] = -0.496 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a}$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \cdot \cosh \frac{Z}{a} - \left(\sinh \frac{\alpha L}{a} \right) \cdot \left(\sinh \frac{Z}{a} \right) \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.72} \cdot \cosh 3.312 - (\sinh 3.315) \cdot (\sinh 3.312) \right] = 0.505 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2}$$

Para la sección: C (Z = 0)

$$\frac{Z}{L} = \frac{0.00}{12.50} = 0.00 \quad ; \quad \frac{Z}{a} = \frac{0}{86.11} = 0.00$$

$$\theta = \frac{ML}{GJ} \cdot \left[(1.0 - \alpha) \cdot \frac{Z}{L} + \frac{a}{L} \cdot \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \sinh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta = \frac{MJ}{GJ} \cdot \left[(1.0 - 0.58) \cdot \frac{0.00}{492.13} + (0.174) \cdot \left(\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.715} - \cosh 3.315 \right) \cdot \sinh 0 \right] = 0$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot \left[(1.0 - \alpha) + \left[\frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \cosh \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \cosh \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot \left[(1.0 - 0.58) + \left(\frac{\sinh 3.315}{\tanh 5.72} - \cosh 3.315 \right) \cdot \cosh 0.00 \right] = 0.384 \cdot \frac{M}{GJ}$$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\operatorname{senh} \frac{Z}{a} \left[\frac{\operatorname{senh} \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \operatorname{cosh} \frac{\alpha L}{a} \right] \right]$$

$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \left[\operatorname{senh} 0.00 \cdot \left(\frac{\operatorname{senh} 3.315}{\tanh 5.72} - \operatorname{cosh} 3.315 \right) \right] = 0.00$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\left[\frac{\operatorname{senh} \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} - \operatorname{cosh} \frac{\alpha L}{a} \right] \cdot \operatorname{cosh} \frac{Z}{a} \right]$$

$$\theta''' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \left[\left(\frac{\operatorname{senh} 3.315}{\tanh 5.72} - \operatorname{cosh} 3.315 \right) \cdot \operatorname{cosh} 0.00 \right] = -0.036 \cdot \left(\frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \right)$$

F.5.2) ESFUERZOS NORMALES POR ALABEO.

$$\sigma_w = E W_{ns} \theta''$$

SECCIÓN: C ($\theta'' = 0.00$)

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(122.51)(0.00) = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(91.89)(0.00) = 0.00 \text{ Kg/cm}^2$

SECCIÓN: C'' $\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} (-0.496)$

Para puntos: 1 y 7 a compresión, 3 y 5 a tensión.

Patín superior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(122.51)(1.022 \times 10^{-4})(1/86.11)(-0.496) = -2.089 \text{ ksi} = -147.05 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\sigma_w = (29 \times 10^3)(91.89)(1.022 \times 10^{-4})(1/86.11)(-0.496) = -1.589 \text{ ksi} = -110.29 \text{ Kg/cm}^2$

F.5.3) ESFUERZOS CORTANTES POR TORSION PURA.

$$\tau = G t \theta'$$

SECCIÓN: C $\theta' = \frac{M}{GJ} (0.384)$

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.61)(1.022 \times 10^{-4})(0.384) = 0.268 \text{ ksi} = 18.85 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín superior: $\tau_f = (11.2 \times 10^3)(1.36)(1.022 \times 10^{-4})(0.384) = 0.598 \text{ ksi} = 42.03 \text{ Kg/cm}^2$
 Patín inferior: $\tau_f = (11.2 \times 10^3)(0.96)(1.022 \times 10^{-4})(0.384) = 0.422 \text{ ksi} = 29.67 \text{ Kg/cm}^2$

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

SECCIÓN: C''
$$\theta' = \frac{M}{GJ} \cdot (0.0755)$$

Alma: $\tau_w = (11.2 \times 10^3)(0.61)(1.022 \times 10^{-4})(0.0755) = 0.0523 \text{ ksi} = 3.71 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín superior: $\tau_t = (11.2 \times 10^3)(1.36)(1.022 \times 10^{-4})(0.0755) = 0.118 \text{ ksi} = 8.26 \text{ Kg / cm}^2$
 Patín inferior: $\tau_t = (11.2 \times 10^3)(0.96)(1.022 \times 10^{-4})(0.0755) = 0.083 \text{ ksi} = 5.83 \text{ Kg / cm}^2$

F.5.4.) ESFUERZOS CORTANTES POR ALABEO.

$$\tau_w = - (E S_w \theta'')(1 / t)$$

SECCIÓN: C
$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (-0.036)$$

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(625.84)(1.022 \times 10^{-4})(1 / 86.11^2)(-0.036)(1/1.36)$
 $\tau_w = 0.0066 \text{ ksi} = 0.466 \text{ Kg / cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(260.99)(1.022 \times 10^{-4})(1 / 86.11^2)(-0.036)(1/0.96)$
 $\tau_w = 0.00391 \text{ ksi} = 0.275 \text{ Kg / cm}^2$

SECCIÓN: C''
$$\theta'' = \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2} \cdot (0.505)$$

Patín superior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(625.84)(1.022 \times 10^{-4})(1 / 86.11^2)(0.505)(1/1.36)$
 $\tau_w = - 0.093 \text{ ksi} = - 6.53 \text{ Kg / cm}^2$

Patín inferior $\tau_w = - (29 \times 10^3)(260.99)(1.022 \times 10^{-4})(1 / 86.11^2)(0.505)(1/0.96)$
 $\tau_w = - 0.0549 \text{ ksi} = - 3.86 \text{ Kg / cm}^2$

RESUMEN DE ESFUERZOS.

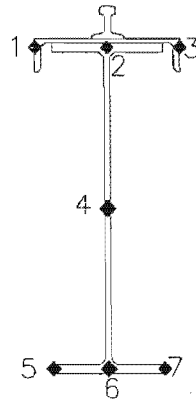
LOCALIZACIÓN	ESFUERZOS NORMALES (Kg/cm ²)			ESFUERZOS CORTANTES (Kg/cm ²)			
	TORSION (σw)	FLEXION "X" (f x)	FLEXION "Y" (f y)	TORSION (τt)	TORSION (τw)	FLEXION "X" (τx)	FLEXION "Y" (τy)
SECCION C							
PATIN (sup)	0	0	0	42.03	0.47	23.03	6.34
PATIN (inf)	0	0	0	29.67	0.28	32.67	4.15
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	18.85	NA	126.14	0.42
SECCION C''							
PATIN (sup)	147.05	474.56	280.18	8.26	6.53	15.85	4.59
PATIN (inf)	110.29	683.7	215.46	5.83	3.86	22.48	3.00
ALMA (MAX)	NA	NA	NA	3.71	NA	86.79	0.30

NA: Esfuerzo no aplicable para esa sección.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

ESFUERZOS ACTUANTES EN DIFERENTES PUNTOS.

Tomando como referencia la siguiente figura:



PUNTO	SECCION C								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σ_w	f_x	f_y	Σ	τ_t	τ_w	τ_x	τ_y	Σ
1	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	42.03
2	0.00	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	70.12
3	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	42.03
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	145.41
5	T	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	29.67
6	0.00	0.00	0.00	0.00	A	A	A	A	65.62
7	C	0.00	0.00	0.00	A	0.00	0.00	0.00	29.67

PUNTO	SECCION C''								
	ESF. NORM. [Kg/cm ²]				ESF. CORT. (Kg/cm ²)				
	σ_w	f_x	f_y	Σ	τ_t	τ_w	τ_x	τ_y	Σ
1	C	C	C	1082.78	A	0.00	0.00	0.00	8.26
2	0.00	C	0.00	679.49	A	A	A	A	35.23
3	T	C	T	276.20	A	0.00	0.00	0.00	8.26
4	NA	0.00	0.00	0.00	A	NA	A	A	90.80
5	T	T	C	-838.52	A	0.00	0.00	0.00	5.83
6	0.00	T	0.00	-912.44	A	A	A	A	35.17
7	C	T	T	-986.36	A	0.00	0.00	0.00	5.83

Donde:

Para esfuerzos normales:

C: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a compresión. \Rightarrow

(+) esf. a comp.

T: indica que el esfuerzo actuante en ese punto es a tensión. \Rightarrow

(-) esf. a ten.

Para esfuerzos cortantes:

A: indica que el esfuerzo cortante actúa en ese punto.

NA: indica que ese tipo de esfuerzo no aplica en ese punto.

G) ESFUERZOS PERMISIBLES.

G.1) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " X" : F_x ⁴⁴

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. PASA CRITERIO.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica
- c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$$

se tomará: $b = d_{CE}$ y $t_f = t_{WCE}$
 por lo cual: $bf = 38.1$ cm y $t_f = 1.02$ cm

Por lo tanto: $\left(\frac{bf}{2}\right) = \frac{38.1}{2} = 18.68$ y $\frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$

Entonces : $18.68 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

d) Relación peralte / espesor de alma:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{d}{t} \quad \text{de donde} \quad \frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{f_a}{F_y}\right) \quad \text{y} \quad \frac{d}{t_w} = \frac{d_w}{t_w}$$

Considerando $f_a = 0$ como ya se citado al inicio del capitulo, tendremos:

$$\frac{d}{t} = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} = \frac{5370}{\sqrt{3515}} = 90.567 \quad \text{y} \quad \frac{d}{t_w} = \frac{84.6}{1.54} = 54.94$$

entonces: $54.94 < 90.567$ por lo cual PASA CRITERIO

e) Relación de longitud sin soporte lateral (LSSL) del patín a compresión.

LSSL = 1250 cm.

A cumplir:

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} \leq LSSL \leq \frac{1410000}{\left(\frac{d}{A_f}\right) \cdot F_y}$$

De donde :

⁴⁴ Según referencia 1.

$$\frac{637 \cdot bf}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot dce}{\sqrt{F_y}} = \frac{637 \cdot (38.1)}{\sqrt{3515}} = 409.36 \quad \text{y} \quad \frac{1410000}{\left(\frac{d}{Af}\right) \cdot F_y} = \frac{1410000}{\left(\frac{85.62}{135.49}\right) \cdot 3515} = 634.78$$

Como LSSL = 1250 cm > 634.78
 Por sección 1.5.1.4.5⁴⁵
 Para esfuerzos a tensión:

$$F_{x_t} = 0.6F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{x_t} = 0.6F_y(1.33)$$

$$F_{x_t} = 0.6 \times 3515 \times 1.33 = 2805 \text{ Kg / cm}^2$$

Para esfuerzos a compresión:

$$\text{A cumplir : } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} \leq \frac{1}{rt} \leq \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}}$$

$$\text{Donde: } \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{717 \times 10^4 \cdot 1.00}{3515}} = 45.16 \quad \text{y} \quad \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{3590 \times 10^4 \cdot 1.0}{3515}} = 101.06$$

Para calcular rt tomaremos:

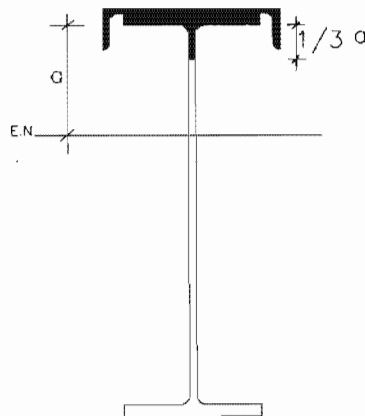


Fig. 5.3.22 Área a considerar para calcular rt .

De la cual resulta: $rt^{46} = 10.93 \text{ cm}$, teniendo por lo tanto :

⁴⁵ Según referencia 1.

⁴⁶ Ver propiedades en apéndice correspondiente.

CAPITULO V.- COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE UN ANALISIS DEPURADO Y LOS MÉTODOS PRÁCTICOS DE ANALISIS RECOMENDADOS.

$$\frac{l}{rt} = \frac{1250}{10.93} = 114.39$$

como: $114.39 > 101.06$ por lo cual

$$F_{xc1} = \frac{120 \times 10^5 \cdot C_b}{\left(\frac{l}{rt}\right)^2} = \frac{120 \times 10^5 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250}{10.93}\right)^2} = 917.4$$

donde F_{xc1} [Kg / cm²]

$$F_{xc2} = \frac{844 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{l \cdot d}{A_f}\right)} = \frac{844 \times 10^3 \cdot 1.00}{\left(\frac{1250 \cdot 85.62}{135.49}\right)} = 1068.48$$

y

donde F_{xc2} [Kg / cm²]EL CUAL RIGE

Tomando cargas accidentales tenemos:

$$F_{xc} = 1.33 F_{xc} = (1.33)(1068.48) = 1421.07 \text{ Kg / cm}^2$$

G.2) FLEXIÓN ALREDEDOR DEL EJE " Y " : F_y^{47}

Criterios:

- a) Continuidad alma-patín. cumple criterio.
- b) Relación ancho / espesor de elementos no atiesados: no aplica criterio.
- c) Relación ancho / espesor de elementos atiesados:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$$

se tomará: $b = d_{CE}$ y $t_f = t_{wCE}$
 por lo cual: $b_f = 38.1 \text{ cm.}$ y $t_f = 1.02 \text{ cm.}$

$$\text{Por lo tanto: } \left(\frac{b_f}{t_f}\right) = \frac{38.1}{1.02} = 18.68 \quad \text{y} \quad \frac{1590}{\sqrt{F_y}} = \frac{1590}{\sqrt{3515}} = 26.82$$

Entonces : $18.68 < 26.82$ y PASA CRITERIO.

$$F_{yc} = F_{yt} = 0.75 F_y; \text{ tomando cargas accidentales, } F_{xt} = 0.75 F_y (1.33)$$

$$F_{yt} = 0.75 \times 3515 \times 1.33 = 3506.21 \text{ Kg / cm}^2$$

⁴⁷ Según referencia 1

G.3) TORSIÓN ALREDEDOR DEL EJE LONGITUDINAL DE TRABE CARRIL: F_w^{48}

$$F_w = 0.6F_y = 0.6(3515) = 2109 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_w = 0.6F_y(1.33) = 0.6(3515)(1.33) = 2804.97 \text{ Kg / cm}^2$$

G.4) CORTANTE: F_v

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2; \quad \text{tomando cargas accidentales:}$$

$$F_v = 0.40F_y = 0.40(3515) = 1406.0 \text{ Kg / cm}^2$$

H) REVISANDO CRITERIOS DE REVISIÓN.

H.1) ESFUERZOS A COMPRESIÓN⁴⁹.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{1421.07} + \frac{0.00}{3506.21} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{474.56}{1421.07} + \frac{280.18}{3506.21} + \frac{147.05}{2804.97} = 0 + 0.334 + 0.080 + 0.052 = 0.466 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

H.2) ESFUERZOS A TENSIÓN⁵⁰.

SECCIÓN : C

$$\frac{0.00}{F_a} + \frac{0.00}{2805} + \frac{0.00}{3506.21} + \frac{0.00}{2804.97} = 0 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

SECCIÓN : C''

$$\frac{0}{F_a} + \frac{912.44}{2805} + \frac{275.63}{3506.21} + \frac{63.82}{2804.97} = 0 + 0.244 + 0.08 + 0.052 = 0.376 \leq 1.00 \quad \Rightarrow \quad \underline{\text{cumple criterio.}}$$

⁴⁸ Según referencia 2.

⁴⁹ Para el punto más esforzado según tabla de esfuerzos actuantes.

⁵⁰ Para el punto más esforzado según tabla de esfuerzos actuantes.

H.3) ESFUERZOS A CORTANTE⁵¹.

SECCIÓN : C

Sí: $F_{cort} > f_{cort} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 145.41 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$

SECCIÓN : C''

Sí: $F_{cort} > f_{cort} \Rightarrow 1406 \text{ Kg/cm}^2 > 90.80 \text{ Kg/cm}^2 \Rightarrow \text{PASA CRITERIO.}$

I) REVISANDO PANDEO LATERAL DE ALMA.

$$P_{perm} = \frac{6800}{(d - 2t_f - t_{wce})} \cdot t_w^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{dc}{tw} \right]^3 \right] = \frac{6800}{(33.3 - 2 \times 0.96 - .402)} \cdot 0.61^3 \cdot \left[0.40 \cdot \left[\frac{29.8}{0.61} \right]^3 \right] = 29.96$$

$dc = d - 2k$

$P_{perm.} \text{ [Kips]}$

$P_{perm} = 13\,589 \text{ Kg}$

Obteniendo la máxima carga de rueda con impacto (Pact):

$Pact = RA/2 (\%IMPV) = 17.139/2 (1.25) = 10.712 \text{ ton.} = 10712 \text{ Kg.}$

como $Pact < P_{perm}$ por lo tanto PASA CRITERIO

REFERENCIAS.

1. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). 2001. Manual de Construcción en Acero -Diseño por Esfuerzos Permisibles. Limusa Noriega Editores. Vol. 1, 3ª Edición. México, D.F.
2. American Institute of Steel Construction. 2003. "Industrial Buildings: Steel Design Guide Series No. 7". AISC. 103 pag. Chicago, Ill.

⁵¹ Idem.

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

6.1 DETALLES GENERALES EN LA CONSTRUCCION DE UNA TRABE CARRIL.

El desarrollo que se sigue para lograr la correcta ejecución de un elemento de acero (por ejemplo una trabe carril) se puede bosquejar en el siguiente desglose de etapas¹:

- 1.- Proyecto estructural.
 - 1.1.- Selección del tipo de trabe.
 - 1.2.- Evaluación de cargas.
 - 1.3.- Análisis particulares.
 - 1.4.- Diseño estructural.
- 2.- Ingeniería de proyecto.
 - 2.1.- Planos de diseño.
 - 2.2.- Planos de taller.
 - 2.3.- Conexiones.
 - 2.4.- Lista avanzada de materiales.
 - 2.5.- Planos de montaje.
- 3.- Abastecimiento de material.
- 4.- Fabricación.
 - 4.1.- Enderezado.
 - 4.2.- Cortes.
 - 4.3.- Trabes soldadas.
 - 4.3.1 Preparación del material.
 - 4.3.2 Armado.
 - 4.3.3 Precaentado.
 - 4.3.4 Inspección.
 - 4.4.- Trabes atomilladas.
 - 4.4.1 Armado.
 - 4.4.2 Tolerancia en las dimensiones.
 - 4.4.3 Pintura.
- 5.- Embarque.
- 6.- Montaje.
 - 6.1.- Consideraciones generales.
 - 6.2.- Anclajes.
 - 6.3.- Conexiones provisionales.
 - 6.4.- Tolerancias.
 - 6.5.- Alineado y plomeado.
- 7.- Supervisión.

¹ Esta lista de procedimientos no tiene un carácter exhaustivo, ya que el desarrollo de cada elemento de acero tiene procedimientos que no son aplicables para otros.

1. PROYECTO ESTRUCTURAL.

1.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE TRABE CARRIL.

El tipo de trabe se selecciona con bases funcionales, económicas y de servicio. En algunos casos, el tipo de trabe que se adopta depende de otras consideraciones, tales como los deseos del cliente, las preferencias del diseñador o algún precedente ya establecido. Frecuentemente, es necesario investigar varios tipos de trabes diferentes, y la selección final se hace después de que se ha avanzado bastante en varios diseños comparativos.

Al seleccionar un tipo de trabe surgen las siguientes preguntas: ¿Cuál es la naturaleza, magnitud, distribución y frecuencia de las fuerzas que transmitirá la grúa puente?, ¿Cuál es el efecto sobre el comportamiento de la trabe las variaciones de temperatura, o de los hundimientos de la cimentación?. Una vez seleccionada una trabe, ¿Qué se puede hacer si el análisis descubre que bajo algunas combinaciones particulares de cargas, el elemento resulta sobreesforzado?, ¿Cuál es la mejor manera de remediar lo anterior: cambiar las dimensiones del elemento o reforzar dicha trabe?. Al contestar estas preguntas, el ingeniero de estructuras debe estar consciente de su papel creativo como diseñador. El cual frecuentemente comparte con sus colaboradores en el trabajo como son: el arquitecto, el fabricante y el contratista.

1.2 EVALUACIÓN DE CARGAS.

Una vez preseleccionada el tipo de trabe carril, o cuando menos al haberse definido varias alternativas, puede hacerse ya una identificación del tipo de cargas que obrarán sobre ésta. Las cargas pueden ser estáticas o dinámicas, temporales o permanentes, ocasionales o repetitivas. A ellas debe agregarse el peso propio de la estructura, el cual es integrado en la etapa de obtención para elementos mecánicos, con base a la preselección del tipo de trabe carril. Puede ser estimado con bastante aproximación para trabes carril convencionales, por medio de tablas y fórmulas que se han establecido con este propósito, las cuales pueden encontrarse en publicaciones técnicas y manuales para estos propósitos.

Las cargas dinámicas, tales como impacto son difíciles de definir, pero que por información de proveedores de grúas puentes se adopta un porcentaje de las cargas que estarán actuando en la grúa puente. El procedimiento convencional ha sido remplazar las cargas no-estáticas por cargas estáticas "equivalentes". Se definen entonces las condiciones de cargas que actúan simultáneamente, a las que se les agrupa recibiendo el nombre de "combinaciones de carga" y se utilizan éstas para el cálculo de los esfuerzos en los miembros.

1.3 ANÁLISIS PARTICULARES.

Cuando se realiza el análisis estructural de cualquier tipo de estructura, o elementos secundarios para ella, este debe ser que por medio de análisis adecuados para obtener la manera más aproximada posible a las solicitaciones que la trabe carril va a estar sometida en la vida real. Estas solicitaciones, como ya se ha citado anteriormente, varían para cada tipo de trabe carril, el contorno que las rodea, suelo sobre el cual se desplantara, etc.,

Por lo cual, ante los parámetros que dicten el diseño estructural se tendrán que hacer análisis especiales ó de tipo particular para cada trabe carril. Dentro de los análisis de este tipo los más comunes a realizar en estas trabes o en sus elementos de conexión, se puede citar, por ejemplo:

- Análisis por fatiga.

Siendo este análisis regido por el reglamentos o dictámenes que tenga cada región donde será utilizada la trabe, o ante la falta de estos, considerar parámetros de dominio común o parámetros estandarizados por instituciones dedicadas al estudio de cada de estas.

1.4 DISEÑO ESTRUCTURAL.

El diseño estructural requiere la aplicación del criterio del ingeniero para definir una trabe carril que satisfaga de manera adecuada las necesidades de servicio. Como un análisis convencional nunca representa con exactitud lo real, otra vez es necesaria la habilidad del ingeniero para evaluar la validez del análisis a fin de poder aplicar las tolerancias apropiadas a la incertidumbre.

Con base en las propiedades de los materiales, la función estructural, las consideraciones de apoyo, etc., se efectúan modificaciones geométricas en el análisis de la trabe carril, si es que se trata de una trabe armada, y se repiten los procesos de resolución hasta obtener una solución que produce un equilibrio satisfactorio entre la selección del material, la economía, las necesidades de servicio, etc. Rara vez, excepto quizás en las trabes más comunes, se obtiene una única solución; única en el sentido de que dos compañías de ingeniería estructural obtendrían exactamente la misma solución.

En la práctica de la ingeniería estructural, el diseñador dispone, para su posible uso, de numerosos materiales estructurales, que incluyen acero, concreto, madera, y posiblemente plásticos y/o algunos otros metales, como aluminio y hierro colado. A menudo, el empleo o uso de diferente tipo de material estará nuevamente bajo las consideraciones del ingeniero.

Se procede entonces a efectuar el análisis estructural requerido, se hace la selección del tipo de trabe y el diseño de la conexión, que sea apropiada al asunto en estudio.

2. INGENIERIA DE PROYECTO.

2.1 PLANOS DE DISEÑO.

Estos han de contener el diseño completo con medidas, secciones y localización relativa de las diversos trabes carril, si es que en un mismo proyecto se requieren más de un tipo. Se acotarán los niveles, centros de columnas y proyecciones. Han de dibujarse a una escala suficientemente grande para mostrar en forma adecuada la información. En ellos se indicará el tipo o tipos de trabes según su servicio, y contendrán los datos de las cargas supuestas, de las fuerzas cortantes, momentos y fuerzas axiales que han de ser resistidos por todos los miembros y conexiones. Asimismo, contendrán todos los datos requeridos para la preparación adecuada de los planos de taller .

En el caso de juntas ensambladas con tornillos de alta resistencia, requeridos para resistir esfuerzos cortantes entre las partes unidas, los planos deben precisar el tipo de conexión: de fricción o de aplastamiento.

2.2 PLANOS DE TALLER.

Antes de iniciar propiamente la fabricación de traveses, deberán prepararse los planos de taller. Estos deberán contener la información completa para la fabricación, incluyendo la localización, tipo y tamaño de todos los remaches, tornillos y soldaduras. Se hará la distinción entre sujetadores y soldaduras de taller y de campo. Se elaborarán de acuerdo con las más modernas prácticas y se tendrá en cuenta la rapidez y economía en la fabricación y en el montaje.

2.3 CONEXIONES.

Las conexiones deben ser capaces de transmitir los elementos mecánicos para las traveses que soporten, satisfaciendo al mismo tiempo, las condiciones de restricción y continuidad supuestas en análisis de la trabe. Las conexiones están formadas por elementos de unión (atiesadores, placas, ángulos, ménsulas), y conectores (soldaduras y tornillos). Los elementos componentes se dimensionan de manera que su resistencia de diseño sea igual o mayor que solicitación de diseño correspondiente, determinada, a) por medio un análisis de la estructura bajo cargas de diseño, y b) como un porcentaje especificado de la resistencia de diseño de los miembros conectados.

Cuando una conexión se considere flexible se diseñará, en general, para transmitir únicamente fuerza cortante. En ese caso, se utilizarán elementos de unión que puedan aceptar las rotaciones que se presentarán en el extremo del miembro conectado, para lo que se permiten deformaciones inelásticas en los elementos de unión, y se dejarán holguras en los bordes, con la misma finalidad. Cuando sea el caso, se tendrán en cuenta las flexiones ocasionadas por excentricidades en los apoyos.

Las conexiones en los extremos del claro, traveses o armaduras que forman parte de traveses continuos se diseñarán para el efecto combinado de las fuerzas y momentos originados por la rigidez de las uniones.

2.4 LISTA AVANZADA DE MATERIALES.

La obtención del acero necesario para la fabricación de una trabe carril es un proceso que no debe presentar problemas, como ocasionar demoras de consideración. Todo taller de estructuras debe mantener acero de existencia normal en sus bodegas, pero debido a la gran variedad de dimensiones existentes, y con el objeto de reducir el capital inmovilizado, las existencias deben reducirse al mínimo necesario para no entorpecer la producción.

Con el objeto de ganar tiempo, antes de preparar planos de taller, y tomando como base los planos de diseño, es conveniente preparar listas de materiales, denominadas "listas avanzadas"; en las cuales se indican, en forma lo más aproximada posible, las cantidades, dimensiones de los diversos elementos, etc. Dichas listas son utilizadas para efectuar las compras de material.

Las diferencias que resultan después de obtenidas las listas definitivas de materiales tomadas de los planos de taller, se ajustan con el acero de existencia normal (stock), que en esta forma desempeña el papel de un regulador.

La forma precisa y detallada del arreglo de esta lista de materiales puede ser diferente de acuerdo a cada fabricante, esencialmente son similares a la mostrada en la Tabla 6.1.

TABLA 6.1. FORMA TÍPICA DE LISTA AVANZADA DE MATERIALES.

LISTA DE AVANCE												
CLIENTE: _____						TRABE CARRIL: _____						
DEPARTAMENTO DE DIBUJO						DEPARTAMENTO DE COMPRAS						
Lin	No. de piezas	Perfil	Descripción	Long.			Marcas	No. de piezas	Descripción	Long.		Part.
1												
2												
.												
.												
.												
Especificación:						Elaborada por:			Contrato No.:			
Inspección:						A cargo de:			Fecha:			

Refiriéndose a la Tabla 6.1., los renglones numerados consecutivamente son para identificar cualquier material o cualquier partida directamente. Cada línea es dividida en columnas que serán llenadas por el departamento de dibujo como sigue:

- a) Número total de piezas incluidas en cada partida.
- b) Una descripción completa de cada partida requerida dando dimensiones finales.
- c) Una indicación de la longitud extra que deberá ser provista para el corte de terminado o ajuste si es requerido.
- d) Marcas de identificación y notas de ayuda.

La forma también deberá tener columnas que deberán ser llenadas por el departamento de compras. Estos espacios son usados para mostrar las dimensiones y el número de piezas de cada partida de cómo fueron ordenadas.

2.5 PLANOS DE MONTAJE.

La fabricación y el montaje de las traveses carril se basarán en dibujos de taller y de montaje, preparados de antemano, en los que se proporcionará toda la información necesaria para la fabricación de los elementos que las componen, incluyendo la posición, tipo y tamaño de todas las soldaduras, tornillos. Se distinguirán claramente los elementos de conexión que se colocarán en taller de los que se pondrán en obra.

Los planos de montaje se harán siguiendo la práctica más moderna, y en su elaboración se tendrán en cuenta los factores de rapidez y economía en fabricación y montaje que sean significativos en cada caso.

3. ABASTECIMIENTO DE MATERIAL

Respecto a la distribución del acero estructural usado en la construcción, la posición geográfica de las compañías siderúrgicas permite atender adecuadamente a los usuarios de todo el país. Una prueba es la expansión de algunas empresas en puntos estratégicos o corredores industriales, que permiten abastecer determinados mercados. Entre las que más destacan se encuentran AHMSA, HYLISA, IMEXSA, SICARTSA, TAMSA, ACERIAS, VILLACERO, Compañía Siderúrgica de Guadalajara, Siderúrgica Tultitlán, Siderúrgica de Mexicali e Industrias CH.

VILLACERO	Principal productor nacional de productos no planos.
IMSA	Mayor productor de acero recubierto del país.
Industrias CH	Uno de los mayores fabricantes de aceros especiales, tubos con costura y perfiles comerciales.

Para hablar de eficiencia en la entrega resulta necesario referirse a una correcta planeación de los procesos constructivos.

En muchos casos, los problemas de aprovisionamiento de acero se deben a la falta de información de la producción disponible, asunto que debiera considerarse desde las primeras etapas del proyecto. De ahí la importancia de promover un canal de comunicación más directo entre quienes diseñan, fabrican y construyen. Sin embargo, a pesar de contar con la información necesaria es muy importante considerar la calidad con que cambia el escenario de aprovisionamiento y tomar las decisiones con oportunidad y en coordinación con las partes involucradas, para así evitar modificaciones que se reflejan en tiempo y por ende en costo.

4. FABRICACIÓN.

4.1. ENDEREZADO.

Todo el material que se vaya a utilizar en elementos componentes para una estructura debe enderezarse previamente, excepto en los casos en que por las condiciones del proyecto tenga forma curva. El enderezado se hará de preferencia en frío, por medios mecánicos, pero puede aplicarse también calor, en zonas locales. La temperatura de las zonas calentadas, medida por medio de procedimientos adecuados, no debe sobrepasar 650° C.

4.2. CORTES.

Los cortes pueden hacerse con cizalla, sierra o soplete; estos últimos se harán, de preferencia, a máquina. Los cortes con soplete requieren un acabado correcto, libre de rebabas. Se admiten muescas o depresiones ocasionales de no más de 5 mm de profundidad, pero todas las que tengan profundidades mayores deben eliminarse con esmeril o repararse con soldadura. Los cortes en ángulo deben hacerse

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

con el mayor radio posible, nunca menor de 15 mm, para proporcionar una transición continua y suave. Si se requiere un contorno específico, se indicará en los planos de taller.

Las preparaciones de los bordes de piezas en los que se vaya a depositar soldadura pueden efectuarse con soplete.

Los extremos de piezas que transmiten compresión por contacto directo tienen que prepararse adecuadamente por medio de cortes muy cuidadosos, cepillado u otros medios que proporcionen un acabado semejante.

4.3. TRABES SOLDADAS.

4.3.1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL.

Las superficies que vayan a soldarse estarán libres de costras, escoria, óxido, grasa, pintura o cualquier otro material extraño; debiendo quedar tersas, uniformes y libres de rebabas, y no presentar desgarraduras, grietas u otros defectos que puedan disminuir la eficiencia de la junta soldada. Se permite que haya costras de laminado que resistan un cepillado vigoroso con cepillo de alambre. Siempre que sea posible la preparación de bordes por medio de soplete oxiacetilénico se efectuará con sopletes guiados mecánicamente.

4.3.2. ARMADO.

Las piezas entre las que se van a colocar soldaduras de filete deben ponerse en contacto; cuando esto no sea posible, su separación no excederá de 5 mm. Si la separación es de 1.5 mm, o mayor, el tamaño de la soldadura de filete se aumentará en una cantidad igual a la separación. La separación entre las superficies en contacto de juntas traslapadas, así como entre las placas de juntas a tope y la placa de respaldo, no excederá de 1.5 mm, o mayor, el tamaño de la soldadura de filete se aumentará en una cantidad igual a la separación. La separación entre las superficies en contacto de juntas traslapadas, así como entre las placas de juntas de tope y la placa de respaldo, no excederá de 1.5mm.

En zonas de la trabe expuesta a la intemperie, el ajuste de las juntas que no estén selladas por soldaduras en toda su longitud será tal que, una vez pintadas, no pueda introducirse el agua.

Las partes que se vayan a soldar a tope deben alinearse cuidadosamente, corrigiendo faltas en el alineamiento mayores que 1/10 del grueso de la parte más delgada y también las mayores de 3 mm.

Siempre que sea posible, las piezas por soldar se colocarán de manera que la soldadura se deposite en posición plana.

Las partes por soldar se mantendrán en su posición correcta hasta terminar el proceso de soldadura, mediante el empleo de pernos, prensas, cuñas, tirantes, puntales u otros dispositivos adecuados, o por medio de puntos provisionales de soldadura. En todos los casos se tendrán en cuenta las deformaciones producidas por la soldadura durante su colocación.

Los puntos provisionales de soldadura deberán limpiarse y fundirse completamente con la soldadura definitiva o, de no ser así, deberán removerse con esmeril hasta emparejar la superficie original del metal base.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

Al armar y unir partes de una estructura o de miembros compuestos, se seguirán procedimientos y secuencias en la colocación de las soldaduras que eliminen distorsiones innecesarias y minimicen los esfuerzos de contracción. Cuando sea posible evitar esfuerzos residuales altos al cerrar soldaduras en conjuntos rígidos, el cierre se hará en elementos que trabajen en compresión.

4.3.3. PRECALENTADO.

Antes de depositar la soldadura, el metal base debe precalentarse a la temperatura indicada en la Tabla 10.2.1²; donde los dos principales parámetros a considerarse serán: el proceso de soldadura y el grueso máximo del metal base en el punto de colocación de la soldadura.

Se exceptúan los puntos de soldadura colocados durante el armado de la estructura que se volverán a fundir y quedarán incorporados en soldaduras continuas realizadas por el proceso de arco sumergido.

Cuando el metal base esté a una temperatura inferior a 0° C debe precalentarse a 20° C como mínimo, o a la temperatura indicada en la Tabla (10.2.1) si está es mayor, antes de efectuar cualquier soldadura, aun puntos para armado. Todo el metal base situado a no más de 7.5 cm de distancia de la soldadura, a ambos lados y delante de ella, debe calentarse a la temperatura especificada, la que debe mantenerse como temperatura mínima durante el proceso de colocación del metal de aportación.

4.3.4. INSPECCIÓN.

Antes de depositar la soldadura deben revisarse los bordes de las piezas en los que se colocará, para cerciorarse de que los biseles, holguras, etc., son correctos y están de acuerdo con los planos.

Una vez realizadas, las uniones soldadas deben inspeccionarse ocularmente, y se repararán todas las que presenten defectos aparentes de importancia, tales como tamaño insuficiente, cráteres o socavaciones del metal base. Toda soldadura agrietada debe rechazarse.

Cuando haya dudas, y en juntas importantes de penetración completa, la revisión se complementará por medio de radiografías y/o ensayos no destructivos de otros tipos. En cada caso se hará un número de pruebas no destructivas de soldadura de taller suficiente para abarcar los diferentes tipos que haya en la estructura y poderse formar una idea general de su calidad. En soldaduras de campo se aumentará el número de pruebas, y éstas se efectuarán en todas las soldaduras de penetración en material de más de dos centímetros de gruesos y en porcentaje elevado de las soldaduras efectuadas sobre cabeza.

4.4. TRABES ATORNILLADAS.

4.4.1. ARMADO.

Todas las partes de una trabe carril que estén en proceso de colocación de tornillos se mantendrán en contacto entre sí rígidamente, por medio de tornillos provisionales. Durante la colocación de las partes que se unirán entre sí no debe distorsionarse el metal ni agrandarse los agujeros. Una concordancia pobre entre agujeros es motivo de rechazo.

² Según referencia 1.

Las superficies de partes unidas con tornillos de alta resistencia que estén en contacto con la cabeza del tornillo o con la tuerca, tendrán una pendiente no mayor que 1:20 con respecto a un plano normal al eje del tornillo. Si la pendiente es mayor se utilizarán roldanas para compensar la falta de paralelismo. Las partes unidas con tornillos de alta resistencia deberán ajustarse perfectamente, sin que haya ningún material compresible entre ellas. Todas las superficies de las juntas, incluyendo las adyacentes a las roldanas, estarán libres de costras de laminado, exceptuando las que resistan un cepillado vigoroso hecho con cepillo de alambre, así como de basura, escoria, o cualquier otro defecto que impida que las partes se asienten perfectamente. Las superficies de contacto en conexiones por fricción estarán libres de aceite, pintura y otros recubrimientos, excepto en los casos en que se cuente con información sobre el comportamiento de conexiones entre partes con superficies de características especiales.

A todos los tornillos A325 y A490 se les dará una tensión de apriete no menor que la indicada en la Tabla 5.3.1³. Esa tensión se dará por el método de la vuelta de la tuerca o se revisará por medio de un indicador directo de tensión. Cuando se emplea el método de la vuelta de la tuerca no se requieren roldanas endurecidas, excepto cuando se usan tornillos A490 para conectar material que tenga un límite de fluencia especificado menor que 2800 kg / cm² ; en ese caso se colocarán roldanas endurecidas bajo la tuerca y la cabeza del tornillo.

4.2.2. TOLERANCIA EN LAS DIMENSIONES.

Las piezas terminadas en taller deben estar libres de torceduras y dobleces locales, y sus juntas deben quedar acabadas correctamente. En miembros que trabajarán en compresión en la estructura terminada no se permiten desviaciones, con respecto a la línea recta que une sus extremos, mayores de un milésimo de la distancia entre puntos que estarán soportados lateralmente en la estructura terminada.

La discrepancia máxima, con respecto a la longitud teórica, que se permite en miembros que tengan sus dos extremos cepillados para trabajar por contacto directo, es un milímetro. En piezas no cepilladas, de longitud no mayor de diez metros, se permite una discrepancia de 1.5 mm, la que aumenta a 3 mm cuando la longitud de la pieza es mayor que la indicada.

4.4.3. PINTURA.

Después de inspeccionadas y aprobadas, y antes de salir del taller todas las traveses de carril que deben pintarse se limpiarán cepillándolas vigorosamente, a mano, con cepillo de alambre, o con chorro de arena, para eliminar escamas de laminado, óxido, escoria de soldadura, basura y, en general, toda materia extraña. Los depósitos de aceite y grasa se quitarán por medio de solventes.

Las traveses que no requieran pintura de taller se deben limpiar también, siguiendo procedimientos análogos a los indicados en el párrafo anterior. El objeto de la pintura de taller es proteger el acero durante un periodo de tiempo corto, y puede servir como base para la pintura final, que se efectuará en obra. Las superficies que sean inaccesibles después del armado de las piezas deben pintarse antes.

Todas las superficies que se encuentren a no más de 5 cm de distancia de las zonas en que se depositarán soldaduras de taller o de campo, deben estar libres de materiales que dificulten la obtención de soldaduras sanas o que produzcan humos perjudiciales para ellas.

³ Según referencia 1.

Cuando un trabe carril esté expuesta a los agentes atmosféricos, todas las partes que lo componen deben ser accesibles de manera que puedan limpiarse y pintarse.

5. EMBARQUE.

Es lógico que las etapas sigan un orden, pero es particularmente importante en esta etapa que dicho orden se apegue a un programa, esto quiere decir, que la estructura de acero y sus elementos secundarios como las trabes carril, deberá entregarse en la secuencia que permita la ejecución más económica y eficiente en su fabricación y montaje. Esto implica una íntima comunicación entre el departamento de producción, embarques y montaje, ya que este último es quien dicta la secuencia de acuerdo a las necesidades que prevalecen en la obra y siempre de acuerdo con los requerimientos del cliente. Si el propietario desea establecer o controlar la secuencia de entrega en elementos de acero, deberá reservar su derecho y definir los requisitos en los documentos contractuales. Si el propietario contrata con otros la entrega y el montaje, deberá coordinar las actividades de los contratistas.

La solicitud del material hecha por el departamento de montaje genera una lista denominada "lista de embarque", la cual es de utilidad al embarcar el material y al recibirlo en obra. Esta lista debe proporcionar el orden en que se desean recibir las piezas. Esto es importante ya que existe una jerarquía lógica de elementos principales sobre los secundarios. El respetar este listado provoca un montaje continuo y evita ocupar innecesariamente espacios dentro de la obra y todo lo que esto representa. Las cantidades del material mostradas en esta lista generalmente son aceptadas como correctas por el propietario, fabricante y montador. Si se reclama cualquier faltante, el propietario o montador deberá notificar inmediatamente al transportista y al fabricante para que se investigue la reclamación.

Se debe poner particular atención en aquellos materiales que serán empotrados en la obra de albañilería tales como anclajes, y otros similares, los cuales deberán embarcarse a tiempo para estar disponibles cuando se necesiten. Así como los materiales que por su dimensión y cantidad deben de ser dosificados, por ejemplo, tornillos, los cuales generalmente se embarcan en paquetes según su diámetro y largo; las tuercas sueltas y las arandelas, también se envían en paquetes separados según su tamaño. Todos los materiales pequeños se deben empaquetar en cajas en cuyo exterior se pueda leer una lista y descripción del contenido.

El tamaño y el peso de las trabes pueden estar limitados por las instalaciones del fabricante, por los medios de transporte disponibles y por las condiciones en el sitio de la obra. Las siguientes reglas generales se aplican en función de los tres factores recién mencionados:

- a) El peso y longitud máximos que se pueden manejar en taller y en obra son aproximadamente 90 ton y 36 m, respectivamente.
- b) Miembros de hasta 18 m de longitud, pueden embarcarse en camiones sin mayor dificultad, siempre que las cargas sobre los ejes del camión no excedan los valores permitidos en las rutas designadas, que por lo regular en trabes carril su peso como elemento aislado no presenta esta restricción.
- c) Hay pocos problemas en el embarque por ferrocarril si los miembros no son 18 m de largo y no pesan más de 20 toneladas.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

- d) Las rutas deben ser cuidadosamente estudiadas y los transportistas deben ser consultados respecto a los pesos y tamaños que resulten mayores a los indicados en los incisos b y c.

El fabricante determinará el número de uniones de campo para lograr la mayor economía de la estructura.

Si la trabe llega dañada a su destino, la parte responsable de su recepción deberá notificar al fabricante y al transportista antes de la descarga del material o inmediatamente después de descubrir el daño.

6. MONTAJE.

6.1. CONDICIONES GENERALES.

El montaje debe efectuarse con equipo apropiado, que ofrezca la mayor seguridad posible. Durante la carga, transporte y descarga del material, y durante el montaje, se adoptarán las precauciones necesarias para no producir deformaciones ni esfuerzos excesivos. Si a pesar de ello algunas de las piezas se maltratan y deforman, deben ser enderezadas o repuestas, según el caso, antes de montarlas, permitiéndose las mismas tolerancias que en trabajos de taller .

6.2.- ANCLAJES.

Antes de iniciar el montaje de la trabe se revisará la posición de sus anclajes, que habrán sido colocados previamente, y en caso de que haya discrepancias, en planta o en elevación, con respecto a las posiciones mostradas en planos, se tomarán las providencias necesarias para corregirlas o compensarlas.

6.3. CONEXIONES PROVISIONALES.

Durante el montaje, los diversos elementos que constituyen la estructura deben sostenerse individualmente o ligarse entre sí por medio de tornillos, pernos o soldaduras provisionales que proporcionen la resistencia requerida, bajo la acción de cargas muertas y esfuerzos de montaje, viento o sismo. Asimismo, deben tenerse en cuenta los efectos de cargas producidas por materiales, equipo de montaje, etc.

6.4 TOLERANCIAS.

Se considerará que cada una de las piezas que componen una estructura está correctamente plomeada, nivelada y alineada, si la tangente del ángulo que forma la recta que une los extremos de la pieza con el eje de proyecto no excede de 1/500. En vigas teóricamente horizontales es suficiente revisar que las proyecciones vertical y horizontal de su eje satisfacen la condición anterior .

7. SUPERVISIÓN.

La supervisión debe ser oportuna, ordenada y controlada. La falta de una supervisión adecuada, puede ser la causa de deficiencias en la colocación de la trabe carril dentro de una obra en acero o concreto. Una inspección insuficiente, se debe a que no se cuenta con normas, ni recomendaciones para inspeccionar y vigilar las diversas etapas del proyecto. El ingeniero puede y debe apoyarse en

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

documentos, que reglamentan dichas etapas. Tal es el caso de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento del Distrito Federal. Además cuenta con la ayuda y asesoramiento de otras publicaciones como el Manual IMCA; AHMSA, CSG. etc, las cuales poseen información valiosa e interesantes recomendaciones.

Es conveniente, que las empresas supervisen todo el proceso de construcción de una edificación, desde la etapa de proyecto estructural hasta la terminación del montaje. Por ello, se recomienda contar con el apoyo de un laboratorio de control de calidad y equipo de topografía, para detectar las anomalías a tiempo y actuar en consecuencia.

La función que dicho laboratorio desempeña en la planta o taller, es avalar una fabricación de calidad, revisando que los materiales, el personal y los procesos de fabricación sean adecuados para el proyecto específico. Las visitas periódicas y programadas realizadas al sitio de fabricación, aunadas a las observaciones precisas y oportunas producto de ellas, representan un gran apoyo, mismo que conviene tener en la obra a través de incursiones regulares para hacer inspecciones.

En trabes soldadas, la calificación del soldador es de vital importancia. Durante la ejecución de soldaduras, deberán aplicarse alguno de los métodos de inspección siguientes para garantizar la calidad de las soldaduras:

- a) Inspección visual: Método sencillo, efectivo y económico que consiste en observar el proceso de soldadura antes y durante su aplicación.
- b) Inspección con partículas magnéticas: Consiste en la colocación de limaduras de hierro sobre la soldadura y hacer pasar una corriente eléctrica, la configuración u orientación que adoptan las partículas indica la presencia de fisuras.
- c) Inspección con líquidos penetrantes: Se aplica una pintura sobre la superficie del cordón. Si existen fisuras, una parte de la tinta penetra en ellas. Se elimina el sobrante y se coloca un material sobre la soldadura. La cantidad de tinta que brote hacia fuera indica la profundidad de las fisuras.
- d) Inspección ultrasónica. Consiste en hacer pasar ondas de sonido a través de los cordones de soldadura. La presencia de defectos alterará la velocidad de transmisión de ondas.
- e) Inspección radiográfica: Consiste en pasar rayos X o gama a través del cordón y obtener en una película sensible la imagen de la soldadura. Este procedimiento se aplica únicamente a soldaduras a tope, en donde la radiografía mostrará sólo el material de aportación y sus posibles defectos.

El control de calidad en el montaje requiere especial vigilancia en la geometría de los componentes de una estructura, particularmente en lo relativo a ejes, niveles, plomos y juntas. Si bien, es muy importante el conocimiento técnico de las distintas etapas que integran el proceso, así como el estricto cumplimiento de las normas que lo rigen; se debe tener plena conciencia de la participación humana, como constante de dicho proceso. Por lo tanto, el conocer al personal involucrado y saber de sus habilidades, experiencia y confiabilidad de manera más estrecha que haber cumplido con una calificación, definitivamente impacta en la calidad, tiempo y costo de la obra o proyecto.

6.2 CIMENTACION PARA COLUMNAS "APOYO" DE UNA TRABE CARRIL.

En la Fig. 6.1 se muestran detalles típicos de columnas para soporte de traveses carril (dependiendo estas de la capacidad de carga de la grúa). El diseño de estas columnas está gobernado por la condición de carga máxima de la grúa, combinada con la carga máxima en el techo y las fuerzas laterales de viento. La carga de la grúa incluye las cargas de gravedad y los efectos dinámicos verticales y laterales.

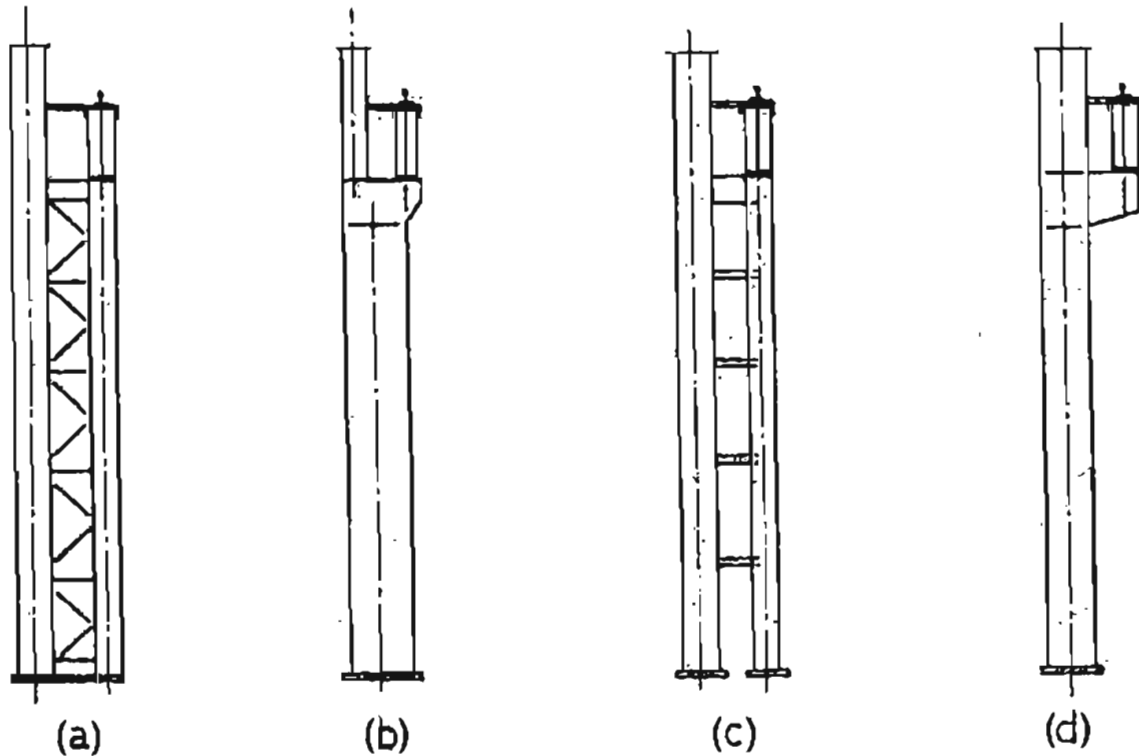


Fig. 6.1 Tipos de columna "apoyo".

(a) Columna con celosía, (b) Columna ampliada, (c) Columna separada para viga, (d) Columna de sección simple con apoyo para viga.

En todas las crujiás del edificio industrial pueden presentarse simultáneamente otras cargas, distintas a las de la grúa, y debe considerarse la rigidez de cada marco, ya que los marcos adyacentes suministran rigidez a estas columnas. Por otro lado, las cargas máximas de la grúa se presentan sólo en una crujiá cada vez, si el edificio está arriostrado completamente en el plano de la cuerda inferior de las armaduras de techo, las crujiás adyacentes contribuyen grandemente a evitar el desplazamiento lateral de la crujiá cargada. En realidad, el diseño de la cimentación para una columna apoyo de traveses carril es relacionado con el comportamiento total del edificio, pero puede obtenerse una solución de cimentación aproximada suponiendo lo siguiente:

- a) La rigidez de la armadura de techo puede suponerse infinita con respecto a la de la columna; por tanto, se puede suponer que está impedida la rotación del extremo superior de la columna, esto es, al nivel de la cuerda inferior de la armadura.

- b) Al actuar las cargas de viento sobre los muros y el techo, además de la carga viva y muerta sobre el techo, puede considerarse que la columna está en libertad de desplazarse lateralmente en su extremo superior.
- c) Cuando están actuando las cargas locales de la grúa, la columna se halla restringida en gran parte contra el desplazamiento lateral por la resistencia de las crujeñas adyacentes, la cual puede utilizarse efectivamente si existe un contraventeo adecuado entre crujeñas.

Estas suposiciones simplifican de alguna manera el cálculo de los momentos en las columnas, al no considerar la acción total de la estructura espacial (tridimensional) del edificio industrial. La columna de la grúa puede aislarse de la estructura espacial y suponer que en ella solo actúan la carga axial y flexión. Para esto se supone que todas las cargas máximas se presentan simultáneamente; aunque las probabilidades de esta coincidencia son pequeñas, pero puede revisarse la cimentación de la columna para dicha condición. Cuando ya se han determinado las cargas axiales y los momentos flexionantes en la columna de la grúa, puede hacerse un diagrama de cuerpo libre para la transmisión de elementos mecánicos en el extremo de ésta (ver Fig. 6.2), y así conocer los elementos mecánicos bajo los cuales va a estar sujeta la cimentación.

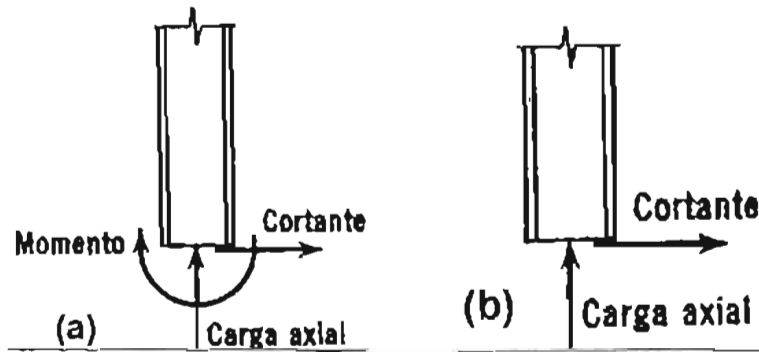


Fig. 6.2 Bases de columnas apoyo para travesaños carril.

Antes de proseguir con el análisis de las fuerzas y momentos que actúan sobre la cimentación, deben establecerse las restricciones en las bases de las columnas. Las fuerzas que pueden desarrollarse en la base de una columna son las reacciones de cortante, de fuerza axial y de momento (Fig. 6.2). Cuando una base se diseña para resistir momento se le llama base "empotrada", y cuando no puede transmitir momento, base "articulada". Aunque la columna esté ligada rígidamente a la cimentación, puede presentarse una cierta rotación, debido al movimiento de la zapata y a la deformación del suelo que la rodea. Por tanto, no puede garantizarse el uso de una base empotrada, a menos que se construya el marco sobre roca firme o alguna otra cimentación extremadamente rígida. La condición de base "articulada" puede obtenerse simplemente suministrando pernos de anclaje sólo en el plano del eje neutro o bien, en marcos pesados, utilizando un pasador de acero.

Dado que en los edificios industriales - donde por lo regularmente están presentes las travesaños carril - son de dimensiones considerables y las distancias entre las columnas "apoyo" para las travesaños carril también lo son, tanto transversalmente como longitudinalmente. Para estas son aconsejables las zapatas aisladas como mejor tipo de cimentación para este tipo de edificios industriales. Esto a ser corroborado por un adecuado estudio de mecánica de suelos, lo cual lleva a involucrar una explicación somera acerca del diseño de este tipo de cimentaciones.

Por lo cual la revisión estructural de una zapata debe comprender por lo menos los siguientes conceptos:

I. PENETRACIÓN.

La revisión por penetración se lleva a cabo calculando el esfuerzo cortante en las cuatro caras de la sección crítica, y verificando que dicho esfuerzo sea menor o igual que el esfuerzo cortante resistente⁴.

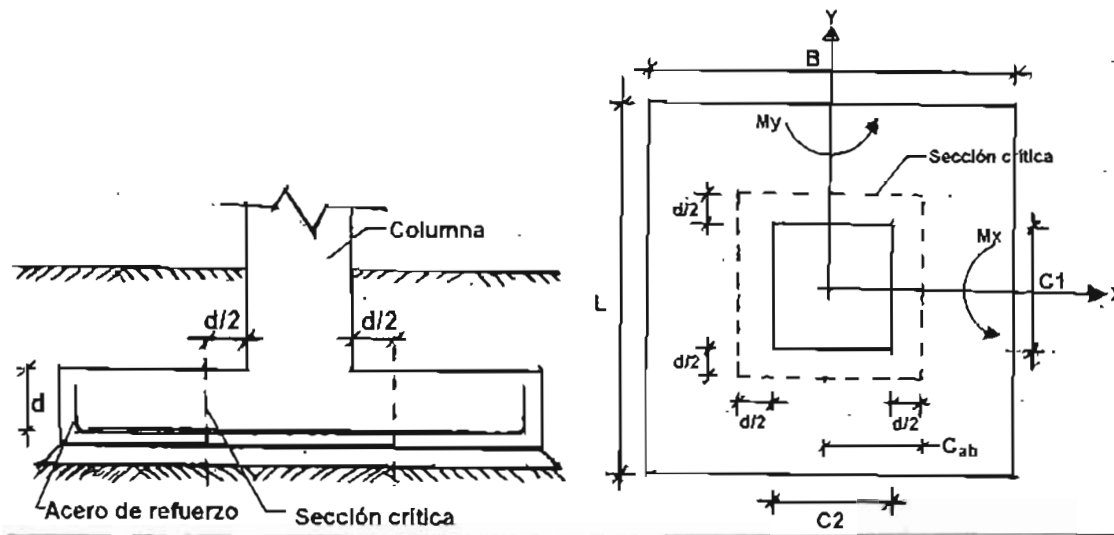


Fig. 6.3 Sección crítica para revisión por penetración.

El esfuerzo cortante resistente se obtiene del menor de los valores de las siguientes expresiones:

$$V_{cr1} = Fr \cdot \left(0.5 + \frac{B}{L} \right) \cdot \sqrt{f'c}$$

donde: Fr: factor de reducción = 0.80

$$V_{cr2} = Fr \cdot \sqrt{f'c}$$

\$f'c\$: resistencia nominal del concreto a compresión = \$0.8f'c\$

\$V_{cri}\$: esfuerzo cortante resistente.

$$B \leq L$$

Cuando haya transferencia de momento de la columna a la zapata, se supondrá que una fracción de dicho momento, dado por la fracción:

$$\alpha = 1 - \frac{1}{1 + 0.67 \cdot \frac{\sqrt{C1 + d}}{\sqrt{C2 + d}}}$$

⁴ Esfuerzo cortante resistente según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

donde:

C1: lado de columna.

C2: lado de columna.

D : peralte de zapata.

Se transmite por excentricidad de la fuerza cortante total con respecto al centroide de la sección crítica. El esfuerzo cortante máximo se obtiene con la siguiente formula:

$$V_{ab} = \frac{V}{A_c} + \frac{\alpha \cdot M \cdot C_{ab}}{J_c}$$

donde:

$$A_c = (C1 + C2 + 2d) \cdot d \quad y \quad C_{ab} = \frac{C2}{2} + \frac{d}{2}$$

$$J_c = \frac{d(C1 + d)^2}{6} + \frac{(C1 + d) \cdot d^3}{6} + \frac{d(C2 + d) \cdot (C1 + d)^3}{2}$$

V: fuerza cortante transmitida por columna.

A_c : área de sección crítica.

M : momento flexionante transmitida por columna.

J_c : momento polar de inercia.

$$\therefore V_{ab,ult} = F.C. V_{ab}$$

2. TENSION DIAGONAL.

Esta revisión por tensión diagonal se lleva acabo calculando la fuerza cortante en la sección crítica por unidad de ancho (ver Fig. 6.4). Para el cálculo de esta fuerza cortante se ha de utilizar la presión neta efectiva que ejerce el suelo sobre la zapata, es decir, la presión que es obtenida al considerar las excentricidades que provocan los momentos flexionantes que actuaran en la cimentación.

La fuerza cortante obtenida será multiplicada por su respectivo factor de carga, para así poder ser comparada con el valor de la fuerza cortante resistente del concreto.

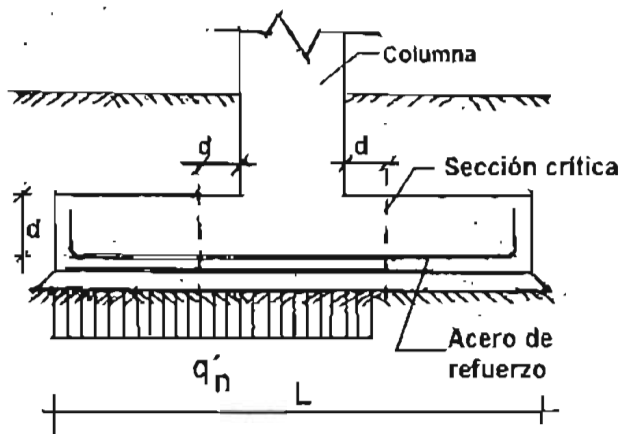


Fig. 6.4 Sección crítica para revisión por tensión diagonal.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

Por lo tanto:

$$q'n = q' - Pvd; \quad q'n = \frac{\Sigma Q}{B L'} - Pvd; \quad B' = B - 2e_x; \quad L' = l - 2e_y$$
$$e_x = M_y / \Sigma Q; \quad e_y = M_x / \Sigma Q$$
$$\Rightarrow \quad V = \left(\frac{L}{2} - \frac{Cl}{2} - d \right) \cdot q'n(b) \quad \text{y} \quad V_u = F.C. * V$$

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto proporcionan las siguientes expresiones para el cálculo de la fuerza cortante resistente del concreto:

$$\text{Sí: } \rho < 0.01 \quad \Rightarrow \quad V_{cr} = F_r \cdot b d (0.2 + 30 \cdot \rho) \cdot \sqrt{f_c}$$

$$\text{ó } \rho > 0.01 \quad \Rightarrow \quad V_{cr} = 0.5 F_r \cdot b d \cdot \sqrt{f_c}$$

De la misma manera las Normas establecen que en elementos anchos como las zapatas, en los que el ancho B no sea mayor que cuatro veces el peralte efectivo ($B \geq 4d$), con espesor de hasta 60 cm y donde la relación M / Vd (en la sección crítica) no exceda de dos, la fuerza resistente del concreto puede tomarse como:

$$V_{cr} = 0.5 F_r \cdot b d \cdot \sqrt{f_c}$$

independientemente de la cuantía de refuerzo.

3. FLEXIÓN.

Al llevar a cabo la revisión por flexión en una zapata, esta se realiza al considerar a una sola ala de la zapata como una viga en cantiliver, suponiendo así que la parte de la columna que se cuela con la zapata le proporciona una restricción similar a la que proporcionaría un empotramiento. De la misma manera, que en la revisión por tensión diagonal, el momento flexionante se calcula con la presión neta efectiva que le somete el suelo a la zapata.

Al considerar al ala de la zapata como una viga en cantiliver, se puede así mismo obtener la cuantía de acero necesaria para resistir la flexión (ver Fig. 6.5); de tal forma que la altura de la viga sería el peralte (d) más el recubrimiento por reglamento, y la base sería el ancho unitario tomado para obtener la presión neta efectiva.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

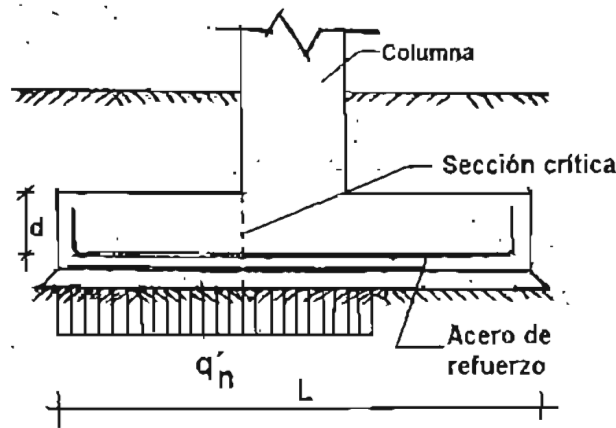


Fig. 6.5 Sección crítica para la revisión por flexión.

De tal forma:

$$M_f = \left(\frac{L}{2} - \frac{C1}{2} \right) \cdot b \cdot q' n \cdot \left(\frac{L}{2} \right) \quad \text{así} \quad M_u = F.C. (M_f)$$

Sí: $M_r = F_r \cdot b \cdot d^2 \cdot f''c \cdot q \cdot (1 - 0.5q)$ donde $q = \rho \cdot \frac{f_y}{f''c}$

$$\Rightarrow q = 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{F_r b d^2 \cdot f''c}} \quad \text{y} \quad \rho = q \cdot \frac{f''c}{f_y}$$

Los porcentajes mínimo y máximo de acero por flexión son respectivamente:

$$\rho_{min} = 0.70 \cdot \frac{\sqrt{f''c}}{f_y} \quad \text{y} \quad \rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b = \frac{f''c}{f_y} \cdot \frac{4800}{f_y + 6000}$$

cuidando y haciendo cumplir, si es necesario:

$$\rho \leq \rho_{min}$$

4. ACERO POR TEMPERATURA.

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto recomiendan la siguiente cantidad de acero por temperatura:

$$A_s = \frac{660X}{f_y(X + 100)} \quad A_s: \text{área de acero (cm}^2 / \text{m)}$$

donde:

X: espesor del elemento que se refuerza por temperatura.

CAPITULO VI.- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA UNA TRABE CARRIL.

Si el elemento de concreto se encuentra a la intemperie o dentro del terreno, se recomienda incrementar el área de acero en un 50%.

Por sencillez, en vez de emplear la fórmula anterior puede suministrarse un refuerzo mínimo de 0.2 por ciento en elementos estructurales protegidos de la intemperie, y 0.3 por ciento en los expuestos a ella, o que estén en contacto con ella.

REFERENCIAS.

1. SISTA. 1989. "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas". SISTA, S.A de C.V. 508 pag. México. D.F.

TESIS:
“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO VII.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

OBSERVACIONES DE EJEMPLO NUMÉRICO PARA MÉTODO QUE IGNORA TOTALMENTE EFECTOS DE TORSIÓN (SECCIÓN 5.1).

- Método de diseño que considera que la trabe carril esta sujeta solamente a flexión biaxial.
- No se toman efectos de torsión ya que se considera que la carga lateral provocada por impacto, frenado, aceleración, etc. del carro de izaje sobre la grúa, pasa por el centroide de la sección; por lo cual se omite la excentricidad existente (que es la altura del riel más la parte superior, según la ubicación del eje neutro para cada una de las opciones de trabe carril) que provoca el momento de torsional o de giro.
- Debido que para el diseño de secciones ante flexión biaxial el esfuerzo normal a compresión es el que por lo regular rige el diseño, es común que se lleguen a construir secciones armadas con simetría en el eje vertical, pero no en el eje horizontal. Resultando de esta manera, secciones con una mayor rigidez para la zona a compresión, como se muestra en los ejemplos numéricos de secciones armadas y compuestas.

OBSERVACIONES DE EJEMPLO NUMÉRICO PARA MÉTODO QUE SIMPLIFICA EFECTOS DE TORSIÓN (SECCIÓN 5.2).

- Método de diseño que considera que la trabe carril esta sujeta a flexión biaxial, donde a diferencia del método anterior, la flexión alrededor del eje débil de la sección es tomada por solo un porcentaje de la resistencia total ante esta sollicitación.
- La idealización realizada para tomar en cuenta los efectos de torsión, es la carga lateral producida por el frenado, la aceleración, etc., que a la vez provoca al momento torsional; es tomada por una sección hipotética con solo el 50% de módulo de sección alrededor del eje débil.
- El asumir que la resistencia de la sección alrededor del eje débil es menor a la real, conlleva a la combinación de secciones roladas y/o fabricación de traveses armadas, las cuales dan como resultado secciones de mayor rigidez ante cargas laterales aplicadas en el patín superior, como se ilustra en los ejemplos numéricos de secciones armadas y compuestas.

OBSERVACIONES DEL EJEMPLO NUMÉRICO PARA MÉTODO DEPURADO QUE TOMA LOS EFECTOS DE TORSIÓN (SECCIÓN 5.3).

- Método de diseño que considera que la trabe carril esta sujeta a flexión biaxial y a efectos de torsión. De tal forma, que la carga lateral aplicada excéntricamente es ahora aplicada en el centroide de la sección con el momento torsional o de giro, que es el resultado de esta “nueva” ubicación de la carga lateral.
- La forma de tomar en cuenta a la torsión, es por medio de los diferentes tipos de esfuerzos que esta provoca, adicionándolos así a los esfuerzos ya presentes por flexión alrededor del eje mayor y

CAPÍTULO 7.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

menor de la sección; estos esfuerzos citados en capítulos anteriores son: esfuerzos cortantes puros, esfuerzos cortantes por alabeo y esfuerzos normales por alabeo.

- Los valores necesarios de θ , θ' , θ'' y θ''' para calcular los esfuerzos originados por torsión pueden ser obtenidos por medio de dos formas: 1^a) la cual es utilizada en el método depurado presentado en la sección 5.3 de este trabajo, que involucra la solución y sus respectivas derivadas a la ecuación diferencial del momento torsional total resistente de una sección, que será utilizada como trabe carril; involucrando en la solución de la ecuación diferencial el planteamiento adecuado de las condiciones de frontera que representen la condición de apoyo para la trabe carril; 2^a) por medio de gráficas, en las cuales intervienen parámetros como son: la forma de aplicación del momento, el tipo de apoyo para la trabe carril y la ubicación del momento torsional.

Utilizar gráficas para la obtención de los valores necesarios al momento de calcular los esfuerzos originados, conlleva una incertidumbre ante la lectura del valor buscado y/o la incertidumbre en la interpolación de valores ante la falta de gráficas para parámetros especiales que se llegan a presentar. Un ejemplo ilustrativo de esto y que es de manera aplicable para el método depurado de diseño, son los valores de θ , θ' , θ'' y θ''' , obtenidos por medio de gráficas y por medio de expresiones matemáticas.

Utilizando como ejemplo la sección rolada W.

Valores obtenidos de: θ , θ' , θ'' y θ''' por medio de gráficas¹:

Para la sección: C''

$$\begin{aligned}\theta \cdot \left(\frac{GJ}{M L} \right) &= 0.12 & \Rightarrow & \theta = 0.12 \cdot \left(\frac{ML}{GJ} \right) \\ \theta'' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \cdot a \right) &= -0.34 & \Rightarrow & \theta'' = -0.34 \cdot \frac{M}{GJa} \\ \theta' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \right) &= -0.10 & \Rightarrow & \theta' = -0.10 \cdot \left(\frac{M}{GJ} \right) \\ \theta''' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \right) \cdot a^2 &= 0.36 & \Rightarrow & \theta''' = 0.36 \cdot \frac{M}{GJa^2}\end{aligned}$$

Para la sección: C

$$\begin{aligned}\theta \cdot \left(\frac{GJ}{M L} \right) &= 0 & \Rightarrow & \theta = 0.00 \\ \theta'' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \cdot a \right) &= 0 & \Rightarrow & \theta'' = 0.00 \\ \theta' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \right) &= 0.37 & \Rightarrow & \theta' = 0.37 \cdot \frac{M}{GJ} \\ \theta''' \cdot \left(\frac{GJ}{M} \right) \cdot a^2 &= -0.13 & \Rightarrow & \theta''' = -0.13 \cdot \frac{M}{GJa^2}\end{aligned}$$

¹ Que pueden encontrarse en textos con análisis de torsión para secciones W.

CAPÍTULO 7.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Valores obtenidos de: θ , θ' , θ'' y θ''' por medio de expresiones matemáticas²:

Para la sección: C''

$$\begin{aligned}\theta &= 0.1126 \cdot \frac{ML}{GJ} \\ \theta'' &= -0.469 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a} \\ \theta' &= -0.062 \cdot \frac{M}{GJ} \\ \theta''' &= 0.517 \cdot \frac{M}{GJ} \cdot \frac{1}{a^2}\end{aligned}$$

Para la sección: C

$$\begin{aligned}\Rightarrow \theta &= 0.00 \\ \Rightarrow \theta'' &= 0.00 \\ \Rightarrow \theta' &= 0.301 \cdot \frac{M}{GJ} \\ \Rightarrow \theta''' &= -0.119 \cdot \left(\frac{MJ}{GL} \cdot \frac{1}{a^2} \right)\end{aligned}$$

Lo cual viene a reiterar que la incertidumbre ante la utilización de gráficas puede conducir a un inadecuado cálculo de esfuerzos actuantes, que para ciertas circunstancias es la diferencia de aprobación ante el criterio de resistencia, y por consecuencia, el peso para la trabe carril.

- Un aspecto importante para el cálculo de esfuerzos actuantes, es el análisis de dos secciones diferentes a lo largo de la trabe carril. Una de las secciones será donde se desarrollen los máximos esfuerzos normales por flexión - alrededor de los dos ejes -, que para el caso de traveses simplemente apoyadas y con un tren de ruedas, el máximo momento flexionante se ubica debajo de la rueda más pesada, cuando esta y la resultante equidistan del centro del claro. La otra sección, es en la cual se presente la máxima fuerza cortante, que para una viga como esta será en los apoyos de las traveses carril que por lo regular son pedestales o columnas según la capacidad de la grúa puente que actúen sobre la trabe carril.

Una ilustración de lo comentado anteriormente, se puede apreciar en el siguiente conjunto de figuras que representan los diferentes esfuerzos actuantes, para dos secciones en la trabe carril:

Secciones a considerar:

Sección C : apoyo para la trabe carril, punto para esfuerzos cortantes máximos.

Sección C'' : punto donde se desarrollan los máximos momentos flexionantes.

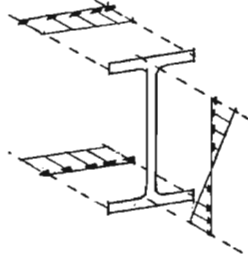
² Expresiones citadas y desarrolladas en su totalidad en el Capítulo 5 Sección 3

CAPÍTULO 7.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

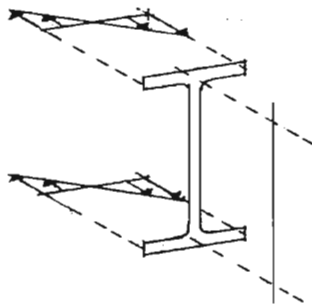
SECCION: C''

ESFUERZOS NORMALES.

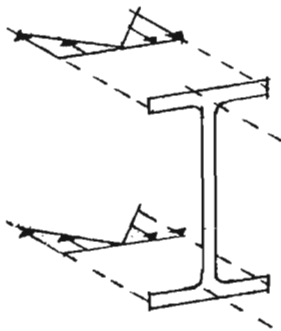
- 1) Esfuerzos normales por flexión máximos alrededor del eje "X".



- 2) Esfuerzos normales por flexión máximos alrededor del eje "Y".



- 5) Esfuerzos normales por torsión.



ESFUERZOS CORTANTES.

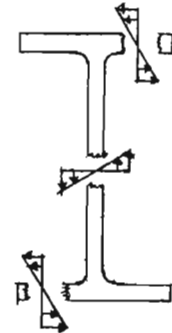
- 2) Esfuerzos cortantes por flexión alrededor del eje "X".



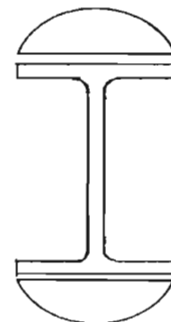
- 4) Esfuerzos cortantes por flexión alrededor del eje "Y".



- 6) Esfuerzos cortantes puros por torsión.



- 7) Esfuerzos cortantes por alabeo debido a torsión.

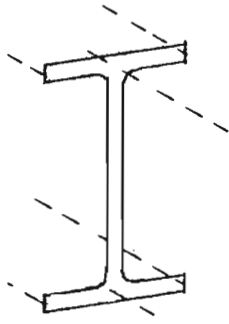


CAPÍTULO 7.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

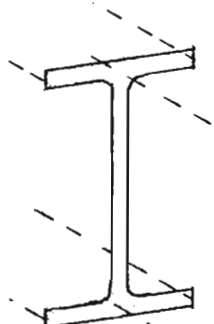
SECCION: C

ESFUERZOS NORMALES.

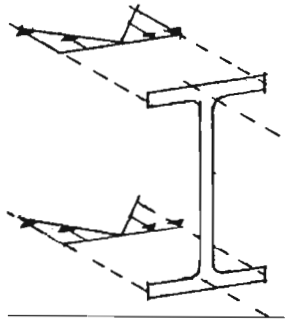
- 1) Esfuerzos normales por flexión alrededor del eje "X".



- 2) Esfuerzos normales por flexión alrededor del eje "Y".

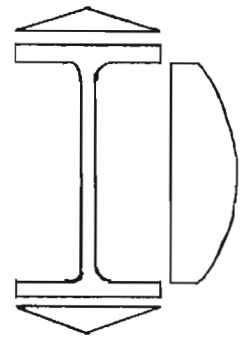


- 5) Esfuerzos normales por torsión.



ESFUERZOS CORTANTES.

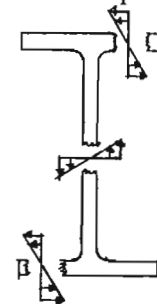
- 2) Esfuerzos cortantes máximos por flexión alrededor del eje "X".



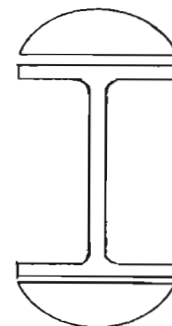
- 4) Esfuerzos cortantes máximos por flexión alrededor del eje "Y".



- 6) Esfuerzos cortantes puros por torsión.



- 7) Esfuerzos cortantes por alabeo debido a torsión.



OBSERVACIONES GENERALES PARA EJEMPLOS NUMÉRICOS CON LOS MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE TRABES CARRIL.

SECCIÓN ROLADA W:

- Resumen de esfuerzos normales principales:

Método 1: Ignorando totalmente la torsión (ver Fig. 7.1).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} = 589.51 + 424.59 = 1014.10 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} = - 589.51 - 424.59 = - 1014.10 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 2: Simplificando efectos de torsión (ver Fig 7.1).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} = 589.51 + 849.19 = 1438.70 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} = - 589.51 - 849.19 = - 1438.70 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 3: Tomando totalmente efectos de torsión (ver Fig. 7.2).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} + f_{Tc} = 589.51 + 424.59 + 200.82 = 1214.92 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} + f_{Tt} = - 589.51 - 424.59 + 200.82 = - 813.28 \text{ Kg / cm}^2$$

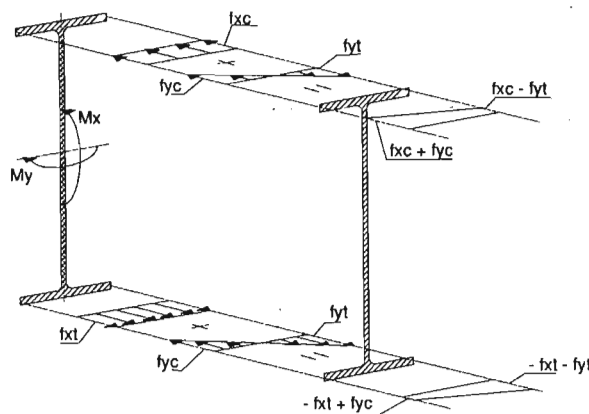


Fig. 7.1 Esfuerzos normales ante flexión biaxial en sección rolada W.

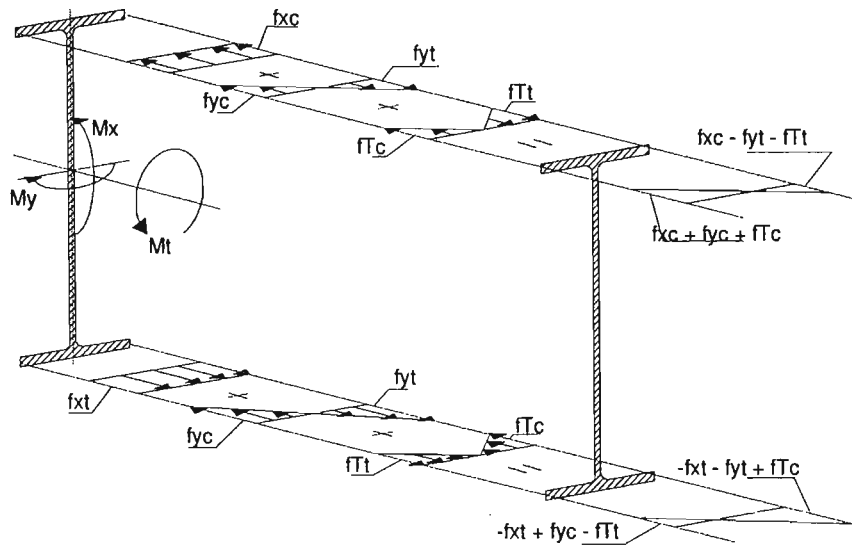


Fig. 7.2 Esfuerzos normales ante flexión biaxial y torsión en sección rolada W.

SECCIÓN ARMADA (1):

- Resumen de esfuerzos normales principales:

Método 1: Ignorando totalmente la torsión (ver Fig. 7.3).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} = 729.56 + 275.81 = 1005.37 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} = - 903.15 - 275.81 = -1178.96 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 2: Simplificando efectos de torsión (ver Fig 7.3).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} = 729.56 + 551.29 = 1280.85 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} = - 903.15 - 551.29 = - 1454.44 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 3: Tomando totalmente efectos de torsión (ver Fig. 7.4).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} + f_{Tc} = 729.56 + 275.65 + 138.24 = 1143.45 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} + f_{Tc} = - 903.15 - 275.65 + 69.11 = - 1109.69 \text{ Kg / cm}^2$$

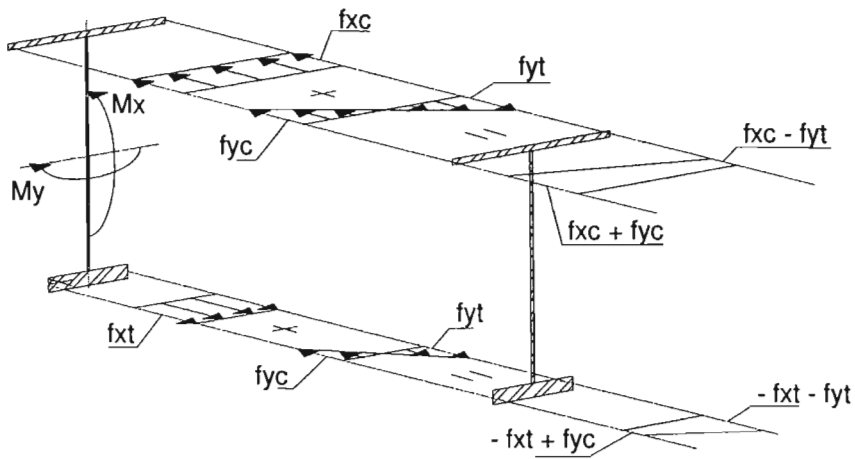


Fig. 7.3 Esfuerzos normales ante flexión biaxial en sección armada (1).

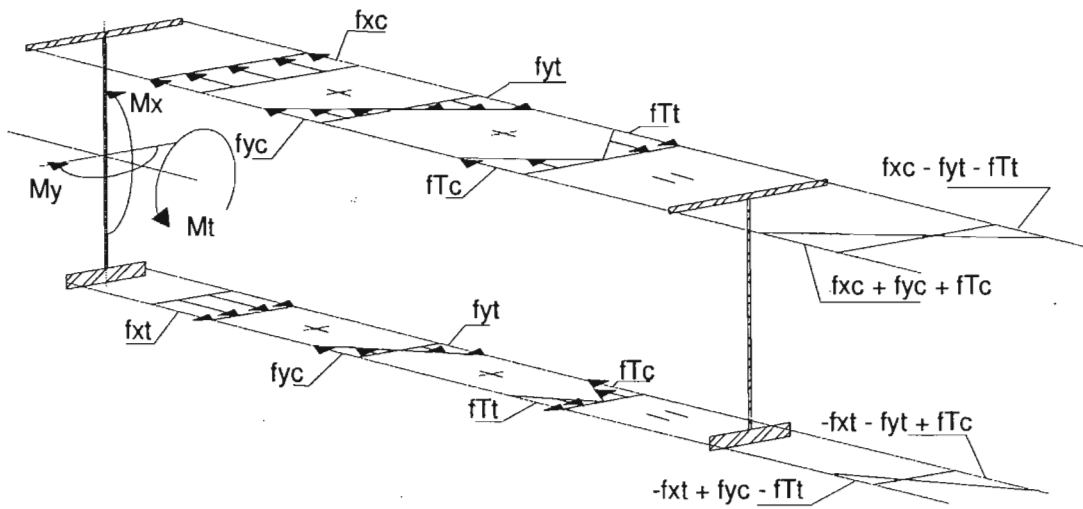


Fig. 7.4 Esfuerzos normales ante flexión biaxial y torsión en sección armada (1).

SECCIÓN ARMADA (2):

- Resumen de esfuerzos normales principales:

Método 1: Ignorando totalmente la torsión (ver Fig. 7.5).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} = 690.22 + 275.81 = 966.03 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} = - 908.74 - 275.81 = -1184.55 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 2: Simplificando efectos de torsión (ver Fig 7.5).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} = 690.22 + 551.62 = 1241.84 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} = - 908.74 - 551.62 = - 1460.36 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 3: Tomando totalmente efectos de torsión (ver Fig. 7.6).

$$f_{c_{MAX}} = f_{xc} + f_{yc} + f_{Tc} = 690.22 + 275.63 + 127.66 = 1093.51 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{t_{MAX}} = - f_{xt} - f_{yt} + f_{Tt} = - 908.74 - 275.81 + 63.82 = - 1120.73 \text{ Kg / cm}^2$$

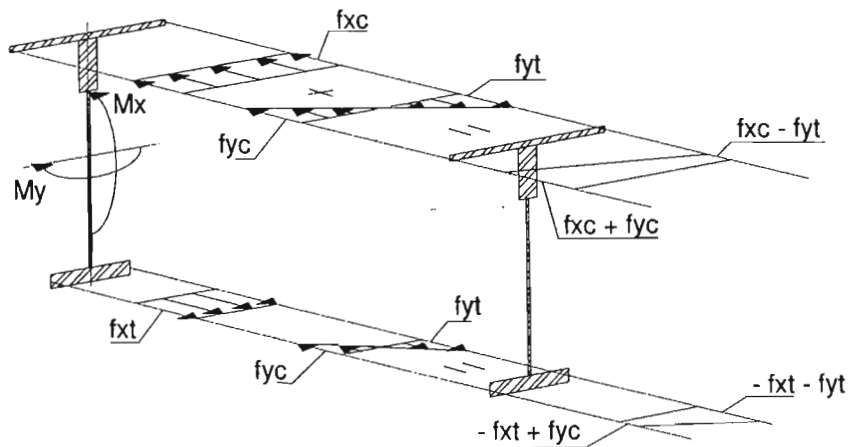


Fig. 7.5 Esfuerzos normales ante flexión biaxial en sección armada (2).

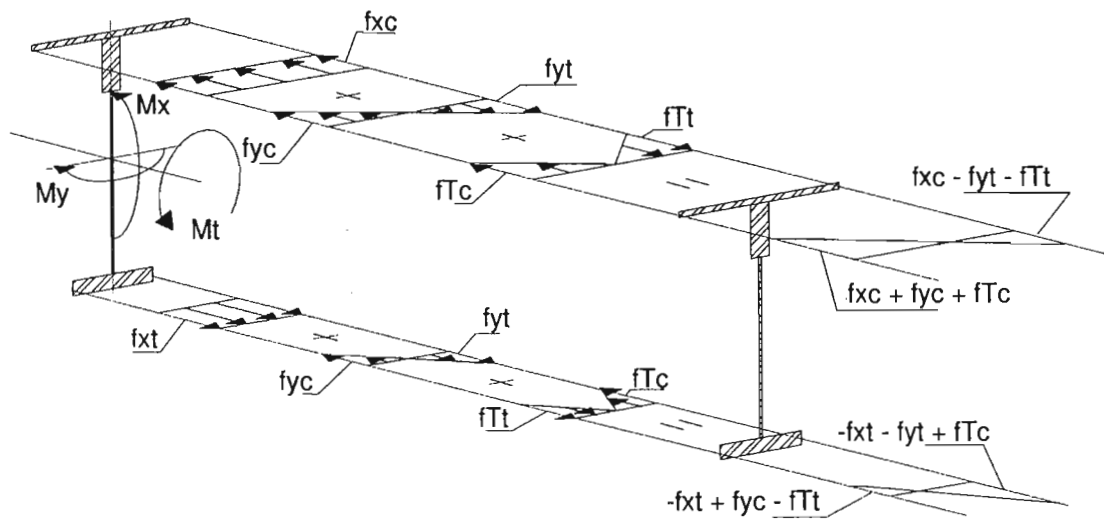


Fig. 7.6 Esfuerzos normales ante flexión biaxial y torsión en sección armada (2).

SECCIÓN COMPUESTA "T":

- Resumen de esfuerzos normales principales:

Método 1: Ignorando totalmente la torsión (ver Fig. 7.7).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} = 474.56 + 280.18 = 754.74 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} = - 683.70 - 280.18 = - 963.88 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 2: Simplificando efectos de torsión (ver Fig 7.7).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} = 474.56 + 560.36 = 1034.92 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} = - 683.70 - 560.36 = - 1244.06 \text{ Kg / cm}^2$$

Método 3: Tomando totalmente efectos de torsión (ver Fig. 7.8).

$$f_{cMAX} = f_{xc} + f_{yc} + f_{Tc} = 474.56 + 280.18 + 147.05 = 901.79 \text{ Kg / cm}^2$$

$$f_{tMAX} = - f_{xt} - f_{yt} + f_{Tc} = - 683.70 - 280.18 + 110.29 = - 853.59 \text{ Kg / cm}^2$$

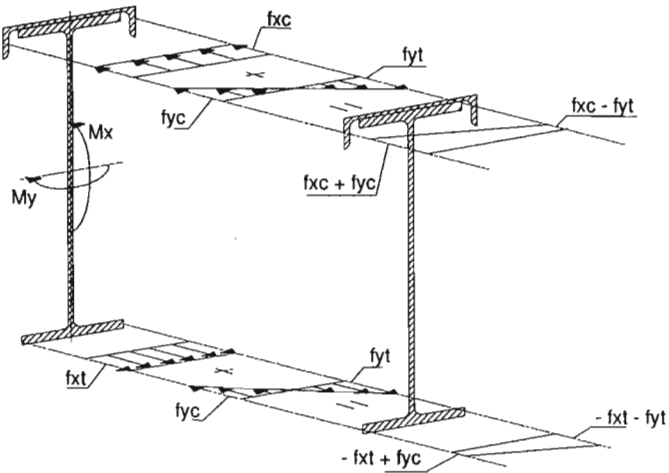


Fig. 7.7 Esfuerzos normales ante flexión biaxial en sección compuesta "T".

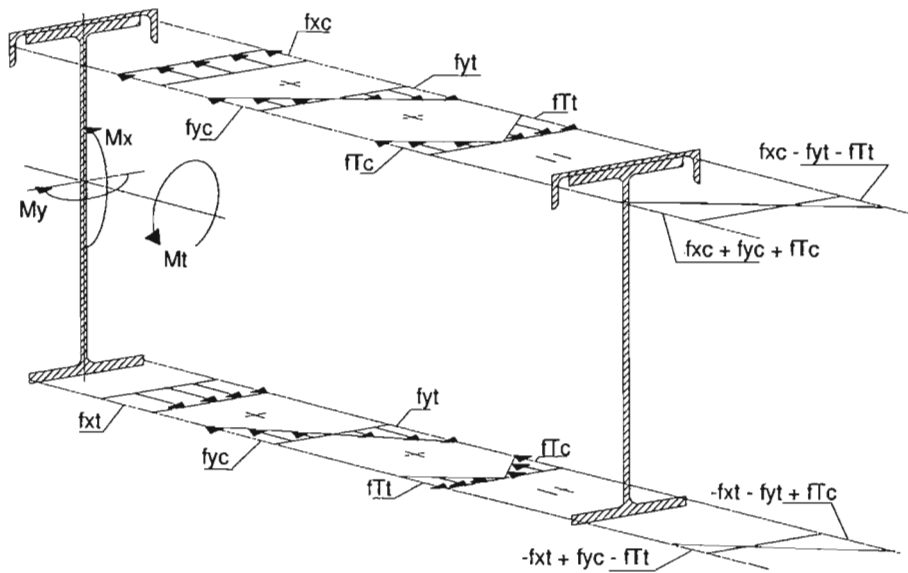


Fig. 7.8 Esfuerzos normales ante flexión biaxial y torsión en sección compuesta "T".

TESIS:

“REVISIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA TRABES CARRIL”

CAPÍTULO VIII.- CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES DE EJEMPLO NUMÉRICO PARA MÉTODO QUE IGNORA TOTALMENTE EFECTOS DE TORSIÓN (SECCION 5.1).

- Método de diseño para obtener un perfil estructural aproximado al perfil que será el definitivo para la trabe carril; para los esfuerzos normales a compresión que son los que comúnmente regulan el diseño del elemento estructural son aproximados. Podemos resumir de manera general, las siguientes diferencias porcentuales entre este método y el método depurado:

Sección Rolada W:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 20 % menores a los obtenidos por el método depurado”.

Sección Armada 1:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 14 % menores a los obtenidos por el método depurado”.

Sección Armada 2:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 13 % menores a los obtenidos por el método depurado”.

Sección Compuesta “T”:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 19 % menores a los obtenidos por el método depurado”.

- El diseño de traveses carril por este método es ya muy poco recomendado, ya que no toma en cuenta el pandeo que provoca la aplicación del momento torsional además que da como resultado secciones antieconómicas con relación a su peso.

CONCLUSIONES DE EJEMPLO NUMÉRICO PARA MÉTODO QUE SIMPLIFICA EFECTOS DE TORSIÓN (SECCION 5.2).

- Método conservador que es usual utilizarlo para el diseño de traveses carril, ya que toma un 50% del módulo de sección del eje débil de la trabe carril, lo cual conlleva de alguna manera a prever los esfuerzos que origina la torsión. Podemos así resumir de manera general, las siguientes diferencias porcentuales entre este método y el método depurado:

Sección Rolada W:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 18 % mayores a los obtenidos por el método depurado”.

CAPITULO 8.- CONCLUSIONES.

Sección Armada 1:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 12 % mayores a los obtenidos por el método depurado”.

Sección Armada 2:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 14 % mayores a los obtenidos por el método depurado”.

Sección Compuesta “T”:

“Los esfuerzos normales son aproximadamente 15 % mayores a los obtenidos por el método depurado”.

- La aplicación de este método es principalmente para cualquier tipo de sección que quisiera ser empleada como trabe carril, como se muestra en las cuatro diferentes secciones analizadas en este trabajo.

CONCLUSIONES GENERALES PARA EJEMPLOS NUMERICOS CON LOS METODOS DE DISEÑO DE TRABES CARRIL.

- Con base al resumen anterior, de diferencias porcentuales para esfuerzos normales actuantes, se puede apreciar que para el cálculo de estos se puede utilizar un valor para el módulo de sección alrededor del eje débil de la sección más precisa, y por lo tanto, más acercado al comportamiento al cual el perfil estructural estará sujeto. Estos porcentajes de módulo de sección pueden ser resumidos de la siguiente manera:

Módulo de sección para secciones roladas W: 58 %

Módulo de sección para secciones armadas del tipo 1: 55 %

Módulo de sección para secciones armadas del tipo 2: 56 %

Módulo de sección para sección compuesta “T” : 56 %

- De esta manera, se puede establecer que el método actualmente utilizado para el diseño de trabes carril, el cual considera un valor de $0.50S_y$ para el cálculo de esfuerzos alrededor del eje débil de la sección resulta ser de alguna manera conservador, ante el cálculo de estos para los cuatro tipos de secciones que pueden ser utilizadas para una trabe carril.
- De igual manera que para los esfuerzos normales a compresión, el considerar un **valor mayor a la unidad** para el módulo de sección alrededor del eje débil, al momento de calcular esfuerzos normales a tensión es más aceptable, ya que refleja de alguna manera la superposición de esfuerzos normales por alabeo que origina el momento torsional o de giro; y obtener así los esfuerzos normales a tensión que en realidad actúan en el perfil estructural debido a la combinación de flexión biaxial y torsión.

CAPITULO 8.- CONCLUSIONES.

Se puede observar que estos casos prototipos, se escogieron de manera aleatoria cuatro como los representativos de la gran variedad de los presentes en la industria de uso mediano. La regla establecida por Salmon y Gaylord en los años 50's (y que tuvo su origen en los años 30's con Grinter, Harris, Williams y John Lorders, entre otros), funciona lo suficientemente bien como para justificar un ahorro significativo en el proceso de diseño.

Se sugiere ampliar este tema con otros tipos de travesaños carril menos típicos, o para grúas de trabajo pesado, categoría que sale de los alcances de esta tesis.

Por lo cual se recomienda el siguiente proceso de diseño:

1. Identificar claro de la viga.
2. Identificar tipo de grúa y condiciones de servicio.
3. Ubicar la grúa en la posición más desfavorable, para obtener los elementos mecánicos.
 - 3.1 Obtener el diagrama de momentos máximos alrededor del eje "X".
 - 3.2 Obtener el diagrama de momentos máximos alrededor del eje "Y" (con el impacto que le corresponde en su condición de servicio).
 - 3.3 Agregar el momento de impacto vertical que corresponda.
 - 3.4 Obtener envolvente de momentos alrededor del los ejes "X" e "Y".
4. Proponer sección tentativa.
5. Revisar por interacción de flexión biaxial la sección, donde se ha aplicado el "nuevo" porcentaje de reducción para el módulo de sección alrededor del eje débil.
6. Revisar deflexiones alrededor del eje mayor y del eje menor, incluyendo para esto el peso propio de la sección y del riel
7. Ya cubiertos los requisitos de resistencia y deflexiones se puede así asumir el tipo de sección, si no fuera así regresar al paso 4 con otra sección tentativa.

9. LITERATURA CONSULTADA

- Ambrose, James. 1997. "Estructuras". Limusa Noriega Editores, 844 pag. México, D.F.
- American Institute of Steel Construction. 2003. "Industrial Buildings: Steel Design Guide Series No. 7". AISC. 103 pag. Chicago, Ill.
- American Institute of Steel Construction. 2003. "Torsional Analysis of Structural Steel Members: Steel Design Guide Series No. 9". AISC. 116 pag. Chicago, Ill.
- Bethlehem Steel. "Torsión Analysis of Rolled Steel Sections". Steel Design File. 78 pag.
- Bresler, B., Lin, T.Y. & Scalzi, J.B. 1980. "Diseño de Estructuras de Acero". Limusa Noriega Editores. 926 pag. México, D.F.
- Cerdán Gonzalez, Mario Francisco 2002. "El proceso constructivo que siguen las estructuras metálicas en la construcción". Tesis de Licenciatura (Ingeniero Civil) Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
- Egor P. Popov, 2000. "Mecánica de Sólidos". Pearson Educación. 864 pag. México, D.F.
- Gorenc, B. E. 1983. "Crane Runway Girders". Australian Institute of Steel Construction (A.I.S.C). 54 pag. Sydney.
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA). 2001. Manual de Construcción en Acero -Diseño por Esfuerzos Permisibles. Limusa Noriega Editores. Vol. 1, 3ª Edición. México, D.F.
- Mcguire, William. 1968. "Steel Structures". Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N. J.
- SISTA. 1989. "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas". SISTA, S.A de C.V. 508 pag. México, D.F.