

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIPLOMADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

PROYECTO FINAL

Ejemplo de aplicación de las normas de diseño para estructuras de acero
(A.I.S.C. - L.R.F.D.).

Alumnos: Hugo Rosales Lamadrid.
Alejandro Hernández Rodríguez.

Agosto del 2001

No. ADQ. 651534

CLASIFI. 624.1821

R788e

29 pag.

11.
biblio

29cm.

U.A.Q. INQ.

TEMA.

Ejemplo de aplicación de las normas de diseño para estructuras de acero (A.I.S.C. - L.R.F.D.).

DESCRIPCIÓN.

Este trabajo muestra la metodología para analizar y diseñar una estructura de acero de acuerdo con las especificaciones del "Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design" que edita el American of Steel Construction (AISC-LRFD), versión 1986.

Para llevar a cabo este trabajo consideraremos el sistema estructural de una nave industrial, tomando en cuenta la practica común que se lleva a cabo en la ciudad de Querétaro para construir este tipo de edificios; todos los comentarios y observaciones están enfocados a este tipo de edificios.

En términos generales el proceso de diseño de una estructura se puede dividir en los siguientes pasos:

I. ESTRUCTURACIÓN.

En esta parte se determinan los materiales, la forma global y el arreglo de los elementos constitutivos de la estructura, de la correcta elección del sistema estructural depende la bondad de los resultados. En esta etapa desempeña un papel, muy importante, la creatividad y el criterio estructural del ingeniero.

II. ANÁLISIS.

La aplicación de cargas a una estructura produce esfuerzos y deformaciones en ella. La determinación de estos esfuerzos y deformaciones se denomina análisis estructural. El análisis estructural se puede subdividir en los siguientes pasos.

II.1. Evaluación de cargas.

II.1.1. Cargas gravitacionales.

Se llaman cargas gravitacionales a todo tipo de cargas que deberá soportar la estructura durante su vida útil, se pueden considerar dos tipos de cargas gravitacionales:

II.1.1.1 Cargas muertas.

Las cargas muertas son de magnitud constante y permanecen en su mismo lugar, para el tipo de estructura que estudiaremos podemos mencionar las siguientes:

- Sistema de cubierta.

El sistema de cubierta que se utiliza en este tipo de edificios es, en su mayoría, hecha con lámina de acero, con o sin aislante térmico y acústico.

- Instalaciones.

Esta carga cubre el peso de las instalaciones de uso común en este tipo de edificios, las instalaciones más comunes que se consideran son: eléctricas, ductos de aire acondicionado, agua, bajadas de agua pluvial, gas, agua contra incendio, etc. en el caso de grúas viajeras, polipastos o instalaciones especiales para maquinaria, es necesario que se consideren por aparte.

- Largueros para soporte del sistema de cubierta.

Se colocan largueros entre cada marco para que se soporte la lámina de cubierta, además ayudan a contraventear los marcos principales; estos largueros pueden ser de canales de acero laminado tipo Monten o armaduras tipo Joist, la decisión de que tipo de larguero colocar depende de los claros a cubrir y de las cargas.

II.1.1.2 Cargas vivas.

Las cargas vivas pueden cambiar su magnitud y su posición, para saber la magnitud de la carga viva se debe considerar la tabla que para su efecto muestra el reglamento de Construcción para el Municipio de Querétaro.

II.1.1.3 Cargas accidentales.

Las cargas accidentales son cargas que eventualmente afectan a una estructura. Los edificios tipo nave industrial son estructuras poco sensibles a los efectos de sismo, ya que no tienen una gran concentración de masas en su cubierta, además de que su relación altura-ancho es muy baja, debido a que sus dimensiones en planta son por lo regular grandes; por otro lado, al tener áreas muy grandes, tanto en muros como en cubierta, están bastante expuestas a los efectos accidentales producidos por el viento.

Para calcular los efectos del viento seguiremos lo establecido en el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.-I.I.E. 1993).

II.2. Combinaciones de carga.

Las combinaciones de carga que consideramos son las establecidas en el manual AISC-LRFD 1986. Dichas combinaciones son:

A4-2.- $1.2 D + 1.6 L$

A4-4.- $1.2 D + 1.3 W + 0.5 L$ Cuando el viento actúa en la misma dirección de la carga muerta.

A4-6.- $0.9 D - 1.3 W$ Cuando el viento actúa en dirección opuesta de la carga muerta.

II.3. Análisis estructural.

En esta parte se determinan las fuerzas internas así como las deformaciones que sufrirá la estructura al aplicarle las cargas anteriormente evaluadas; este paso se realiza varias veces ya que se hacen iteraciones de análisis y diseño hasta llegar a un análisis final donde las secciones geométricas de los elementos consideradas aprueban las consideraciones de diseño y de funcionalidad. Para el análisis nos apoyaremos en el programa de análisis SAP 90.

III. DISEÑO.

En esta parte se define con más detalle la estructura (se determinan las secciones geométricas de los elemento estructurales) y se revisan que se cumplan los parámetros de seguridad que establecen los códigos de diseño. Para el diseño de los elementos estructurales seguiremos las consideraciones que presenta el A.I.S.C. en su manual titulado : Manual of Steel Construction – Load & Resistance Factor Design.

En el Anexo I presentamos una transcripción de las normas, con su referencia.

Otra parte importante en el diseño es revisar que las deformaciones, verticales y horizontales, se encuentren dentro de los rangos de funcionalidad que marcan los reglamentos; para tal efecto se debe de considerar lo establecido en el reglamento de Construcción para el Municipio de Querétaro en el capítulo III (Criterios de diseño estructural).

En estructuras de acero, una de las secciones geométricas más utilizadas para los elementos estructurales, es la sección I. Para el análisis y diseño de este tipo de secciones es importante el cálculo de sus propiedades geométricas; en el Anexo II presentamos las expresiones matemáticas para el cálculo de dichas propiedades.

IV. EJEMPLO.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo analizaremos la estructura que se muestra en las figuras 1 y 2. Se trata de cubrir un área de 20 x 60 m, se opta por colocar marcos estructurales @ 10 m cuyas columna están separadas 20m, además de colocar una cumbrera al centro de cada columna, se propone que las aguas tengan una pendiente mayor al 5% para poder utilizar una carga viva menor.

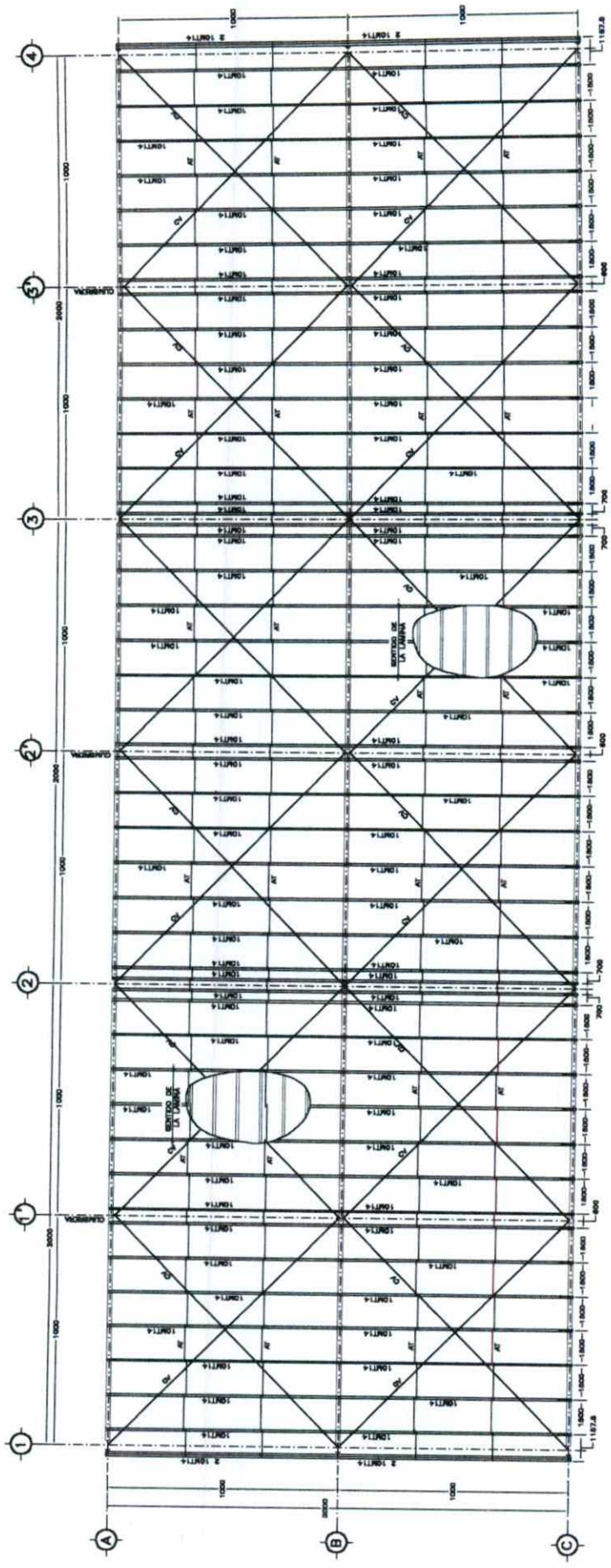


FIGURA 1. PLANTA ESTRUCTURAL
ALTERNATIVAS

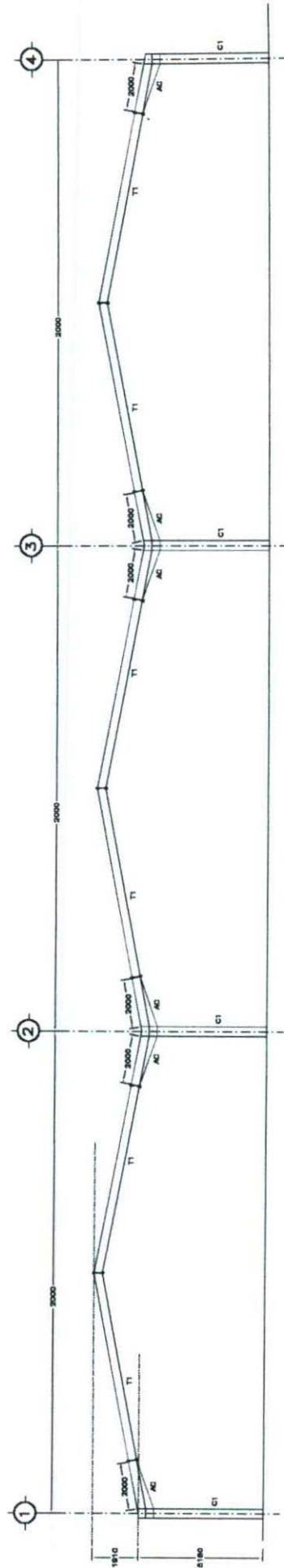


FIGURA 2. MARCO ESTRUCTURAL TIPO

Evaluación de cargas.

- Carga muerta.

Lamina rectangular cal.24	6.00	kg/m ²
Instalaciones	12.00	"
Monten 10 MT 14 @ 1.5 m.	4.60	"
	<hr/> 22.60	kg/m ²

- Carga viva.

Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%	40.00	kg/m ²
---	-------	-------------------

- Carga accidental (viento).

Estructura ubicada en el Parque Ind. Balvanera.
Corregidora, Qro.

Estructura Grupo B y Tipo I

$$*V_D = F_T F_\alpha V_R$$

$$V_R = 118 \text{ km/hr. ; ASNM} = 1842 \text{ m } \Omega = 610 \text{ mm de Hg.}$$

$$\text{Temp. } 18.70^\circ \text{ C.}$$

terreno : categoría dos , $\alpha = 0.131$, $\delta = 315$, estructura tamaño B

$$F_\alpha = F_c F_{r_z}$$

$$F_c = 0.95$$

$$F_{r_z} = 1.56 (10/315)^{0.131} = 0.993$$

$$F_\alpha = 0.5086$$

$$F_T = 1.0 \quad \Rightarrow V_D = 117.15 \text{ km/hr.}$$

$$*q_z = .0048 G V_D^2$$

$$G = (0.392 \times 610 / (243 + 18.7)) = 0.8197 \quad \Rightarrow q_z = 54.00 \text{ kg/m}^2$$

$$*P_e = C_{pe} K_a K_i q_z$$

$$K_a = 1.00$$

$$K_i = 1.00$$

C_{pe} = Coeficiente de presión que se muestra en la figura 3.

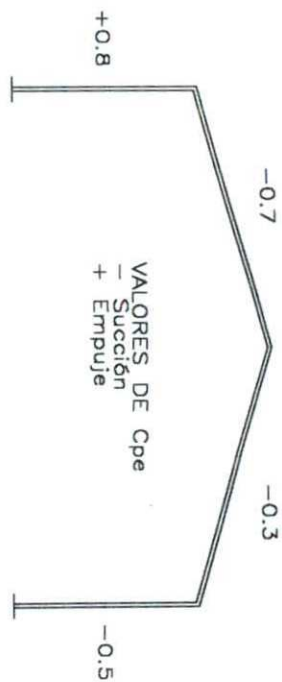
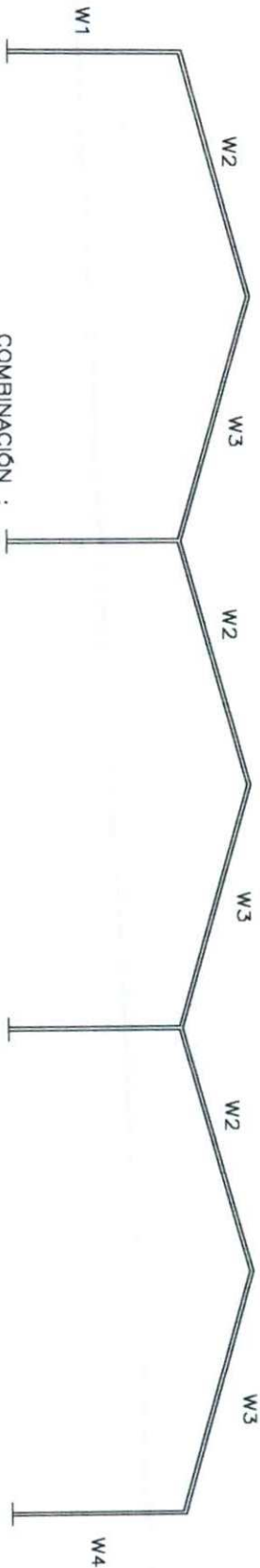


FIGURA 3



COMBINACIÓN :

A4-2 W2=W3=912 kg/m (empuje) - condición de carga 1

A4-6 W1=562 kg/m (empuje) - condición de carga 3

W2=396 kg/m (succión)

W3= 67 kg/m (succión)

W4=351 kg/m (succión)

SERVICIO W2=W3=626 kg/m (empuje) - condición de carga 2

FIGURA 4

En la figura anterior (figura 4) podemos ver la estructura con las cargas discretizadas; podemos observar que se analizara la estructura con tres condiciones de carga, una de ellas son cargas de servicio (no factorizadas) para poder verificar los desplazamientos verticales al centro de los claros y así cumplir con los requerimientos de estados limite de servicio que marca el reglamento de construcciones del Municipio de Querétaro.

Después de realizar algunas iteraciones (análisis-diseño) llegamos a un análisis final con cuyos resultados podemos diseñar los elementos estructurales (siguiendo las expresiones del Anexo I y II), en la corrida final, presentada al final del ejemplo, se remarcaran los resultados que se utilizaron para diseño de los elementos:

Trabe T1:

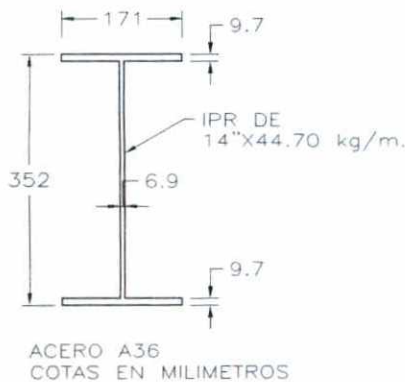
-Mu= 11.860 tn-m.
Vu= 5.858 tn.

fy= 2530 kg/cm²
fb= 2277 kg/cm²

Zxx nec= 520 cm³

Sección propuesta:

IPR 14" x 44.70 kg/m.



A= 56.12 cm²
Zxx= 758 cm³
ryy= 3.58 cm
ΦVn= 52.255 tn

Flecha act.= 4.50 cm
Flecha permisible= 8.8cm

Flecha permisible = (Claro/ 240) + 0.5 (cm).
(artículo 73 del reglamento para construcciones del Municipio de Qro.)

Acodamiento AC1:

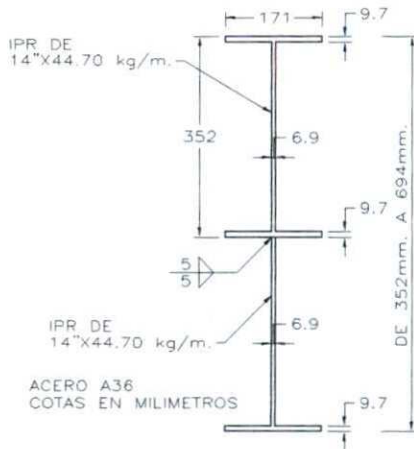
-Mu= 25.410 tn-m.
Vu= 7.756 tn.

fy= 2530 kg/cm²
fb= 2277 kg/cm²

Zxx nec= 1116 cm³

Sección propuesta:

2 IPR 14" x 44.70 kg/m.



A= 79.72 cm²
Zxx= 1920 cm³
ryy= 3.19 cm
ΦVn= 220.00 tn

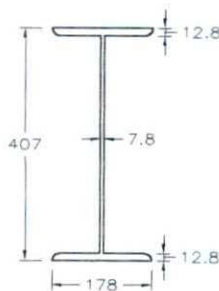
Columna C1:

Mu= 27.037 tn-m.
Pu= 10.028 tn.
L= 503-69.4(acodamiento)=433.6 cm

fy= 2530 kg/cm²

Sección propuesta:

IPR 16" x 59.80 kg/m.



A= 76.10 cm²
Zxx= 1195 cm³
ryy= 4.00 cm

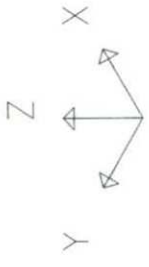
$$Kl/r = 1.0 \times 434 / 4 = 108.50 \Rightarrow Fa = 16.37 \text{ ksi (tabla 3.36 del manual AISC/LRFD)}$$

$$Fa = 1151 \text{ kg/cm}^2$$

$$fa = 10028 / 76.10 = 131.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$fbx = 2703700 / 1195 = 2262 \text{ kg/cm}^2$$

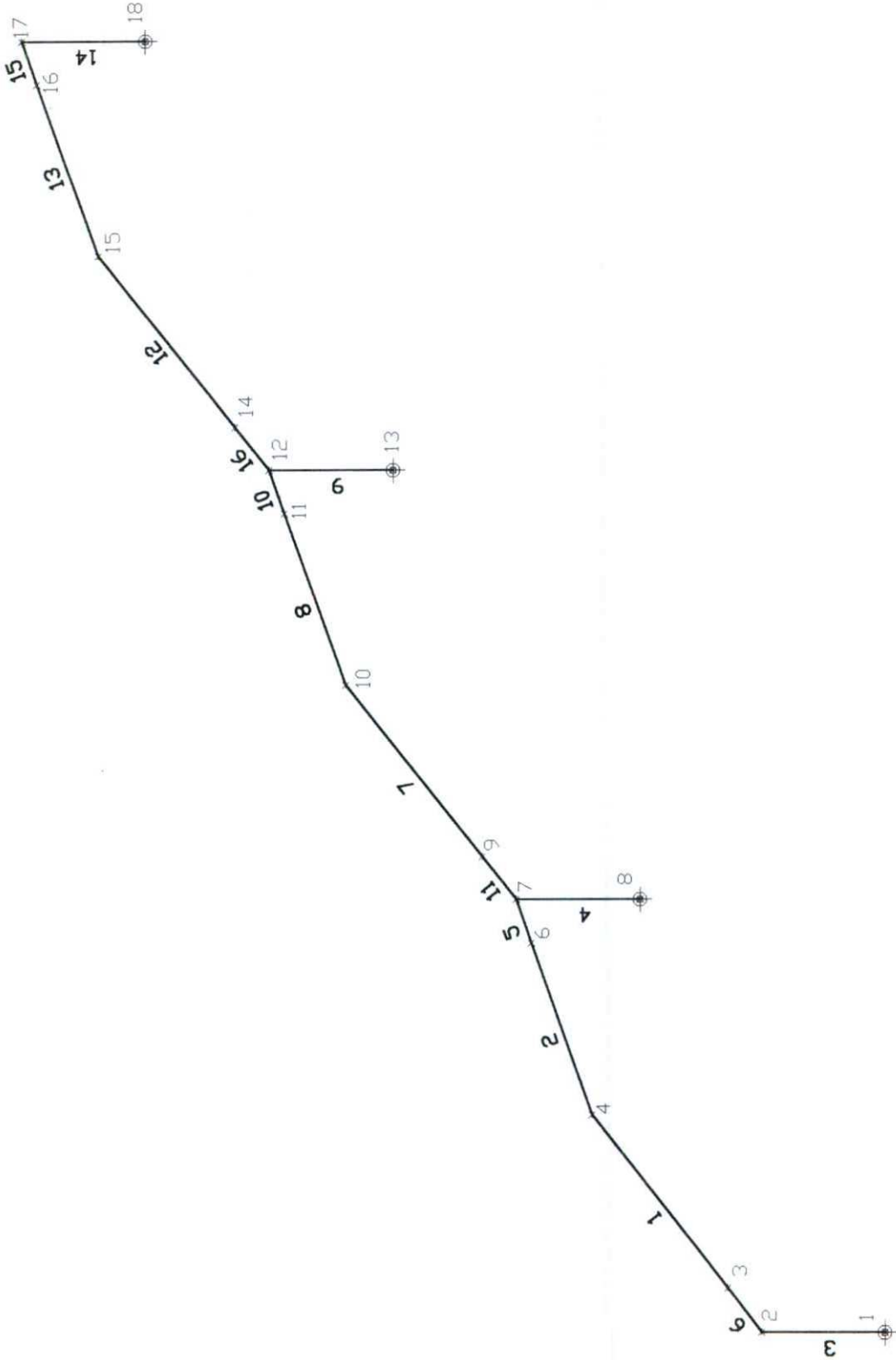
$$\Rightarrow (2262 / 2277) + (131.77 / 1151) = 1.1 \approx 1.0$$



SPAR_03
UNDEFORMED
SHAPE

OPTIONS
JOINT IDS
ALL JOINTS
RESTRAINTS
ELEMENT IDS
WIRE FRAME

SAP90



```

$$$$$$$$  $$$$$$$$$  $$$$$$$$  $$$$$$$$  $$$$$$$$
$$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$
$$          $$          $$          $$          $$          $$
$$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$
$$          $$          $$          $$          $$          $$
$$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$
$$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$ $$$$$$$$$$

```

STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.30

Copyright (C) 1978-1991
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 1
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SAP

SYSTEM DATA

EXECUTION CODE - - - - - 0
NUMBER OF LOAD CONDITIONS - - - - - 3
STEADY STATE LOAD FREQUENCY - - - - - .0000E+00
NUMBER OF EIGENVALUES - - - - - 0
EIGEN CONVERGENCE TOLERANCE - - - - - .1000E-03
EIGEN CUTOFF TIME PERIOD - - - - - .0000E+00
CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 2
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SAP

GENERATED JOINT COORDINATES

JOINT	X	Y	Z
1	.000	.000	.000
2	.000	.000	5.030
3	2.000	.000	5.412
4	10.000	.000	6.940
6	18.000	.000	5.412
7	20.000	.000	5.030
8	20.000	.000	.000
9	22.000	.000	5.412
10	30.000	.000	6.940
11	38.000	.000	5.412
12	40.000	.000	5.030
13	40.000	.000	.000
14	42.000	.000	5.412
15	50.000	.000	6.940
16	58.000	.000	5.412
17	60.000	.000	5.030
18	60.000	.000	.000

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 3
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SAP

RESTRAINT DATA

JOINT	RX	RY	RZ	RXX	RYY	RZZ
1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 4
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SAP

FRAME CONTROL DATA

NUMBER OF MEMBER SECTION PROPERTIES 3
NUMBER OF SPAN LOADING PATTERNS 6
NUMBER OF MEMBER FORCE OUTPUT STATIONS 5

LOAD COND	GRAVITATIONAL MULTIPLIERS			TEMPERATURE MULTIPLIERS	PRESTRESS MULTIPLIERS
	X	Y	Z		
1	.000	.000	-1.000	.000	.000
2	.000	.000	-1.000	.000	.000
3	.000	.000	-1.000	.000	.000

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 5
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SAP

SECTION PROPERTY DATA

PROP ID	AREA	TORSIONAL INERTIA	MOMENTS OF INERTIA		SHEAR AREAS	
			I33	I22	A2	A3
1	.561E-02	.13627E-06	.11836E-03	.80928E-05	.243E-02	.276E-02
2	.797E-02	.17372E-06	.56491E-03	.81021E-05	.479E-02	.276E-02
3	.753E-02	.29714E-06	.21315E-03	.12047E-04	.317E-02	.380E-02

MATERIAL PROPERTY DATA

PROP ID	MODULUS OF ELASTICITY	SHEAR MODULUS	WEIGHT PER UNIT LEN	MASS PER UNIT LEN	THERMAL EXPANSION
1	.2039E+11	.7842E+10	.4396E+02	.4479E+01	.8300E-05
2	.2039E+11	.7842E+10	.6245E+02	.6363E+01	.8300E-05
3	.2039E+11	.7842E+10	.5900E+02	.6011E+01	.8300E-05

SPAN LOADING DATA

UNIFORM LOAD DATA

PATTERN ID	1-DIR	2-DIR	3-DIR	X-DIR	Y-DIR	Z-DIR
1	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-912.0000
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	-626.0000
3	.0000	.0000	.0000	562.0000	.0000	.0000
4	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	396.0000
5	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	67.0000
6	.0000	.0000	.0000	351.0000	.0000	.0000

FRAME ELEMENT DATA

ELT ID	JOINT END-I	JOINT END-J	LOCAL-AXIS N1	LOCAL-AXIS N2	PROPERTY-ID END-I	PROPERTY-ID END-J	VAR	REL CODES	REF TEMP	ELEMENT LENGTH
1	3	4	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
2	4	6	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
3	1	2	-2	0	3	3	1	000000	.00	5.03
4	8	7	-2	0	3	3	1	000000	.00	5.03
5	6	7	-2	0	1	2	1	000000	.00	2.04
6	2	3	-2	0	2	1	1	000000	.00	2.04
7	9	10	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
8	10	11	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
9	13	12	-2	0	3	3	1	000000	.00	5.03
10	11	12	-2	0	1	2	1	000000	.00	2.04
11	7	9	-2	0	2	1	1	000000	.00	2.04
12	14	15	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
13	15	16	-2	0	1	1	1	000000	.00	8.14
14	18	17	-2	0	3	3	1	000000	.00	5.03
15	16	17	-2	0	1	2	1	000000	.00	2.04
16	12	14	-2	0	2	1	1	000000	.00	2.04

BEAM SPAN LOADING PATTERNS

ELT ID	LOAD 1	LOAD 2	LOAD 3
1	1	2	4
2	1	2	5
3	0	0	3
5	1	2	5
6	1	2	4
7	1	2	4
8	1	2	5
10	1	2	5
11	1	2	4
12	1	2	4
13	1	2	5
14	0	0	6
15	1	2	5
16	1	2	4

TOTAL WEIGHTS AND MASSES

PROP	WEIGHT	MASS
1	2416.9721	246.2602
2	381.4674	38.8675
3	1187.0398	120.9494
TOTAL	3985.4792	406.0771

OUTPUT FILES CREATED BY PROGRAM

INPUT DATA ECHO	spar_03.SAP
SOLUTION ERRORS AND WARNINGS	spar_03.ERR
EQUATION NUMBERING	spar_03.EQN
DISPLACEMENTS AND REACTIONS	spar_03.SOL
FRAME ELEMENT FORCES	spar_03.F3F

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	-.029919	.000000	-.000324	.000000	-.000941	.000000
3	-.029385	.000000	-.004052	.000000	.004877	.000000
4	-.018717	.000000	-.064075	.000000	.000976	.000000
6	-.009054	.000000	-.009341	.000000	-.006841	.000000
7	-.007567	.000000	-.000628	.000000	-.001909	.000000
8	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	-.007504	.000000	-.001972	.000000	.003389	.000000
10	.000000	.000000	-.045806	.000000	.000000	.000000
11	.007504	.000000	-.001972	.000000	-.003389	.000000
12	.007567	.000000	-.000628	.000000	.001909	.000000
13	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
14	.009054	.000000	-.009341	.000000	.006841	.000000
15	.018717	.000000	-.064075	.000000	-.000976	.000000
16	-.029385	.000000	-.004052	.000000	-.004877	.000000
17	.029919	.000000	-.000324	.000000	.000941	.000000
18	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	-.020975	.000000	-.000229	.000000	-.000659	.000000
3	-.020600	.000000	-.002844	.000000	.003420	.000000
4	-.013121	.000000	-.044923	.000000	.000684	.000000
6	-.006348	.000000	-.006551	.000000	-.004796	.000000
7	-.005305	.000000	-.000442	.000000	-.001339	.000000
8	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	-.005260	.000000	-.001384	.000000	.002376	.000000
10	.000000	.000000	-.032114	.000000	.000000	.000000
11	.005260	.000000	-.001384	.000000	-.002376	.000000
12	.005305	.000000	-.000442	.000000	.001339	.000000
13	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
14	.006348	.000000	-.006551	.000000	.004796	.000000
15	.013121	.000000	-.044923	.000000	-.000684	.000000
16	.020600	.000000	-.002844	.000000	-.003420	.000000
17	.020975	.000000	-.000229	.000000	.000659	.000000
18	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(X)	U(Y)	U(Z)	R(X)	R(Y)	R(Z)
1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
2	.004979	.000000	.000088	.000000	-.001042	.000000
3	.004328	.000000	.003642	.000000	-.002463	.000000
4	.002236	.000000	.015193	.000000	.001747	.000000
6	-.7073E-03	.0000E+00	-.8160E-03	.0000E+00	.1111E-03	.0000E+00
7	-.5056E-03	.0000E+00	.1152E-03	.0000E+00	-.8974E-03	.0000E+00
8	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
9	-.001050	.000000	.003168	.000000	-.002072	.000000
10	-.002071	.000000	.009356	.000000	.001965	.000000
11	-.004165	.000000	-.002451	.000000	-.000728	.000000
12	-.003641	.000000	.000115	.000000	-.001690	.000000
13	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
14	-.004455	.000000	.004593	.000000	-.002668	.000000
15	-.005531	.000000	.011157	.000000	.002143	.000000
16	-.007868	.000000	-.002013	.000000	-.000485	.000000
17	-.007441	.000000	.000025	.000000	-.001411	.000000
18	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(Y)
1	.1043E+05	.1003E+05	.2704E+05
2	-.3001E-09	-.3638E-10	-.1091E-10
3	.2346E-09	.3183E-10	.3638E-11
4	-.1637E-10	.1094E-10	.0000E+00
6	-.5457E-10	-.6366E-11	-.5457E-11
7	.9277E-10	-.7276E-11	.1819E-10
8	.1047E+04	.1932E+05	.4282E+04
9	.1091E-10	.2365E-10	-.1819E-11
10	-.1637E-10	.2925E-11	.0000E+00
11	.1091E-10	-.2001E-10	.0000E+00
12	.1237E-09	.3456E-10	.7276E-11
13	-.1047E+04	.1932E+05	-.4282E+04
14	-.9459E-10	-.1091E-10	.9095E-11
15	.3638E-11	-.1089E-10	.0000E+00
16	-.1182E-09	.3729E-10	-.1819E-11
17	.2365E-09	-.2910E-10	-.3638E-11

18 -.1043E+05 .1003E+05 -.2704E+05
TOTAL .4366E-10 .5871E+05 -.2328E-09
C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 5
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SOL

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(Y)
1	.7311E+04	.7125E+04	.1896E+05
2	.1110E-09	.3183E-10	.0000E+00
3	-.2310E-09	-.1273E-10	.5457E-11
4	.8095E-10	-.4064E-11	.0000E+00
6	.1182E-10	.5457E-11	.1819E-11
7	.6276E-10	.6366E-11	.0000E+00
8	.7336E+03	.1365E+05	.3002E+04
9	.3638E-11	-.2728E-11	.0000E+00
10	-.4547E-11	.0000E+00	.0000E+00
11	.4911E-10	-.1000E-10	.0000E+00
12	.4002E-10	.1637E-10	-.3638E-11
13	-.7336E+03	.1365E+05	-.3002E+04
14	-.4457E-10	-.3638E-11	.0000E+00
15	-.3092E-10	-.3510E-11	.0000E+00
16	-.7822E-10	.1455E-10	.1819E-11
17	.1746E-09	-.2910E-10	-.3638E-11
18	-.7311E+04	.7125E+04	-.1896E+05

TOTAL .9550E-10 .4155E+05 -.1783E-09
C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 6
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.SOL

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 3 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(X)	F(Z)	M(Y)
1	-4289.4180	-2541.6765	-7517.6802
2	.2888E-10	.1455E-10	.2728E-11
3	-.2319E-10	-.1364E-10	.0000E+00
4	-.1819E-11	.0000E+00	.0000E+00
6	.5230E-11	.0000E+00	-.1364E-11
7	.5457E-11	.0000E+00	.0000E+00
8	-662.7653	-3367.6851	-891.5375
9	-.1546E-10	.1819E-11	.0000E+00
10	.0000	.0000	.0000
11	.6821E-11	-.5116E-11	.0000E+00
12	-.4047E-10	-.5002E-11	.4547E-11
13	-230.7034	-3374.1253	879.9543
14	.1319E-10	.5912E-11	-.2501E-11
15	-.1819E-10	.0000E+00	.0000E+00
16	-.5002E-11	.9322E-11	.1819E-11
17	-.2410E-10	.5002E-11	.4547E-11
18	590.4966	-621.0339	4184.2766

TOTAL -.4592E+04 -.9905E+04 -.3345E+04

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
1								
1		.00			-11704.84			
		.00	5704.43	-11868.84				
		2.04	3824.89	-2167.27				
		4.07	1945.35	3707.28				
		6.11	65.80	5754.78				
		8.14	-1813.74	3975.25				
		8.14			-10268.87			
2		.00			-8206.61			
		.00	3999.06	-8319.96				
		2.04	2681.36	-1518.79				
		4.07	1363.66	2599.36				
		6.11	45.97	4034.47				
		8.14	-1271.73	2786.54				
		8.14			-7199.89			
3		.00			1840.84			
		.00	-1842.12	2507.75				
		2.04	-1152.12	-540.61				
		4.07	-462.11	-2184.01				
		6.11	227.90	-2422.45				
		8.14	917.91	-1255.92				
		8.14			1313.68			
2								
1		.00			-10214.47			
		.00	2098.58	3975.25				
		2.04	219.04	6334.77				
		4.07	-1660.50	4867.26				
		6.11	-3540.04	-427.29				
		8.14	-5419.58	-9548.88				
		8.14			-11650.44			
2		.00			-7161.77			
		.00	1471.34	2786.54				
		2.04	153.65	4440.91				
		4.07	-1164.05	3412.24				
		6.11	-2481.75	-299.46				
		8.14	-3799.45	-6694.20				
		8.14			-8168.49			
3		.00			1559.50			
		.00	369.14	-1255.92				
		2.04	412.83	-459.82				
		4.07	456.52	425.24				
		6.11	500.21	1399.27				
		8.14	543.91	2462.27				
		8.14			1592.88			

FRAME ELEMENT FORCES

ELT ID	LOAD COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
			SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
3								
1		.00			-10028.16			
		.00	-10426.81	27036.85				
		1.26	-10426.81	13925.14				
		2.52	-10426.81	813.42				
		3.77	-10426.81	-12298.29				
		5.03	-10426.81	-25410.00				
		5.03			-9731.40			
2		.00			-7124.78			
		.00	-7310.64	18955.78				
		1.26	-7310.64	9762.65				
		2.52	-7310.64	569.53				
		3.77	-7310.64	-8623.60				
		5.03	-7310.64	-17816.73				
		5.03			-6828.02			
3		.00			2541.68			
		.00	4289.42	-7517.68				
		1.26	3582.70	-2568.08				
		2.52	2875.99	1492.82				
		3.77	2169.27	4665.03				
		5.03	1462.56	6948.54				
		5.03			2838.44			
4								
1		.00			-19324.58			
		.00	-1046.53	4281.73				
		1.26	-1046.53	2965.71				
		2.52	-1046.53	1649.70				
		3.77	-1046.53	333.69				
		5.03	-1046.53	-982.32				
		5.03			-19027.82			
2		.00			-13647.96			
		.00	-733.60	3001.53				
		1.26	-733.60	2079.03				
		2.52	-733.60	1156.54				
		3.77	-733.60	234.04				
		5.03	-733.60	-688.45				
		5.03						

5.03 -13351.20
 3 .00 3367.69
 .00 662.77 -891.54
 1.26 662.77 -58.11
 2.52 662.77 775.32
 3.77 662.77 1608.74
 5.03 662.77 2442.17
 5.03 3664.45
 C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 3
 PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
5 -----							
1	.00			-11650.44			
	.00	-5419.58	-9548.88				
	.51	-5890.62	-12427.45				
	1.02	-6363.97	-15546.38				
	1.53	-6839.63	-18906.86				
	2.04	-7317.61	-22510.05				
	2.04			-12012.96			
2	.00			-8168.49			
	.00	-3799.45	-6694.20				
	.51	-4130.02	-8712.31				
	1.02	-4462.91	-10899.28				
	1.53	-4798.12	-13256.29				
	2.04	-5135.63	-15784.52				
	2.04			-8423.70			
3	.00			1592.88			
	.00	543.91	2462.27				
	.51	553.67	2741.72				
	1.02	561.13	3025.56				
	1.53	566.28	3312.60				
	2.04	569.11	3601.68				
	2.04			1597.70			
6 -----							
1	.00			-12067.36			
	.00	7602.45	-25410.00				
	.51	7124.48	-21661.81				
	1.02	6648.82	-18156.34				
	1.53	6175.47	-14892.41				
	2.04	5704.43	-11868.84				
	2.04			-11704.84			
2	.00			-8461.82			
	.00	5335.24	-17816.73				
	.51	4997.73	-15186.88				
	1.02	4662.53	-12728.26				
	1.53	4329.64	-10439.68				
	2.04	3999.06	-8319.96				
	2.04			-8206.61			
3	.00			1969.10			
	.00	-2513.65	6948.54				
	.51	-2349.23	5710.74				
	1.02	-2182.51	4557.23				
	1.53	-2013.47	3489.18				
	2.04	-1842.12	2507.75				
	2.04			1840.84			

C S I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 4
 PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
7 -----							
1	.00			-12705.59			
	.00	5365.67	-10640.98				
	2.04	3486.13	-1629.18				
	4.07	1606.58	3555.60				
	6.11	-272.96	4913.33				
	8.14	-2152.50	2444.03				
	8.14			-11269.62			
2	.00			-8908.12			
	.00	3761.62	-7459.67				
	2.04	2443.92	-1141.94				
	4.07	1126.23	2492.75				
	6.11	-191.47	3444.40				
	8.14	-1509.17	1713.03				
	8.14			-7901.40			
3	.00			2485.70			
	.00	-1685.62	1921.73				
	2.04	-995.61	-807.98				
	4.07	-305.61	-2132.72				
	6.11	384.40	-2052.50				
	8.14	1074.41	-567.31				
	8.14			1958.53			
8 -----							
1	.00			-11269.62			
	.00	2152.50	2444.03				
	2.04	272.96	4913.33				
	4.07	-1606.58	3555.60				
	6.11	-3486.13	-1629.18				

8.14	-5365.67	-10640.98	
8.14		-12705.59	
2	.00		-7901.40
.00	1509.17	1713.03	
2.04	191.47	3444.40	
4.07	-1126.23	2492.75	
6.11	-2443.92	-1141.94	
8.14	-3761.62	-7459.67	
8.14		-8908.12	
3	.00		2216.64
.00	276.96	-567.31	
2.04	320.65	41.10	
4.07	364.34	738.47	
6.11	408.03	1524.81	
8.14	451.73	2400.11	
8.14		2250.02	

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 5
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
9							
1	.00			-19324.58			
.00		1046.53	-4281.73				
1.26		1046.53	-2965.71				
2.52		1046.53	-1649.70				
3.77		1046.53	-333.69				
5.03		1046.53	982.32				
5.03				-19027.82			
2	.00			-13647.96			
.00		733.60	-3001.53				
1.26		733.60	-2079.03				
2.52		733.60	-1156.54				
3.77		733.60	-234.04				
5.03		733.60	688.45				
5.03				-13351.20			
3	.00			3374.13			
.00		230.70	879.95				
1.26		230.70	1170.06				
2.52		230.70	1460.17				
3.77		230.70	1750.28				
5.03		230.70	2040.39				
5.03				3670.89			
10							
1	.00			-12705.59			
.00		-5365.67	-10640.98				
.51		-5836.71	-13492.10				
1.02		-6310.06	-16583.59				
1.53		-6785.72	-19916.62				
2.04		-7263.69	-23492.37				
2.04				-13068.11			
2	.00			-8908.12			
.00		-3761.62	-7459.67				
.51		-4092.20	-9458.52				
1.02		-4425.09	-11626.24				
1.53		-4760.29	-13964.00				
2.04		-5097.80	-16472.97				
2.04				-9163.33			
3	.00			2250.02			
.00		451.73	2400.11				
.51		461.49	2632.64				
1.02		468.95	2869.55				
1.53		474.10	3109.67				
2.04		476.93	3351.83				
2.04				2254.84			

CSI / SAP90 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 6
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT LOAD ID COND	DIST ENDI	1-2 PLANE		AXIAL FORCE	1-3 PLANE		AXIAL TORQ
		SHEAR	MOMENT		SHEAR	MOMENT	
11							
1	.00			-13068.11			
.00		7263.69	-23492.37				
.51		6785.72	-19916.62				
1.02		6310.06	-16583.59				
1.53		5836.71	-13492.10				
2.04		5365.67	-10640.98				
2.04				-12705.59			
2	.00			-9163.33			
.00		5097.80	-16472.97				
.51		4760.29	-13964.00				
1.02		4425.09	-11626.24				
1.53		4092.20	-9458.52				
2.04		3761.62	-7459.67				
2.04				-8908.12			
3	.00			2613.96			
.00		-2357.15	6043.85				
.51		-2192.73	4885.72				
1.02		-2026.01	3811.87				

	1.53	-1856.97	2823.48	
	2.04	-1685.62	1921.73	
	2.04			2485.70

12	-----			
1	.00			-11650.44
	.00	5419.58	-9548.88	
	2.04	3540.04	-427.29	
	4.07	1660.50	4867.26	
	6.11	-219.04	6334.77	
	8.14	-2098.58	3975.25	
	8.14			-10214.47

2	.00			-8168.49
	.00	3799.45	-6694.20	
	2.04	2481.75	-299.46	
	4.07	1164.05	3412.24	
	6.11	-153.65	4440.91	
	8.14	-1471.34	2786.54	
	8.14			-7161.77

3	.00			2707.37
	.00	-1616.51	1410.83	
	2.04	-926.50	-1178.15	
	4.07	-236.49	-2362.16	
	6.11	453.52	-2141.20	
	8.14	1143.53	-515.28	
	8.14			2180.20

CS I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 7
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
13	-----							
1	.00				-10268.87			
	.00		1813.74	3975.25				
	2.04		-65.80	5754.78				
	4.07		-1945.35	3707.28				
	6.11		-3824.89	-2167.27				
	8.14		-5704.43	-11868.84				
	8.14				-11704.84			
2	.00				-7199.89			
	.00		1271.73	2786.54				
	2.04		-45.97	4034.47				
	4.07		-1363.66	2599.36				
	6.11		-2681.36	-1518.79				
	8.14		-3999.06	-8319.96				
	8.14				-8206.61			
3	.00				2448.18			
	.00		259.51	-515.28				
	2.04		303.20	57.60				
	4.07		346.89	719.45				
	6.11		390.59	1470.26				
	8.14		434.28	2310.03				
	8.14				2481.56			

14	-----							
1	.00				-10028.16			
	.00		10426.81	-27036.85				
	1.26		10426.81	-13925.14				
	2.52		10426.81	-813.42				
	3.77		10426.81	12298.29				
	5.03		10426.81	25410.00				
	5.03				-9731.40			
2	.00				-7124.78			
	.00		7310.64	-18955.78				
	1.26		7310.64	-9762.65				
	2.52		7310.64	-569.53				
	3.77		7310.64	8623.60				
	5.03		7310.64	17816.73				
	5.03				-6828.02			
3	.00				621.03			
	.00		-590.50	4184.28				
	1.26		-1031.88	3164.21				
	2.52		-1473.26	1589.10				
	3.77		-1914.64	-541.05				
	5.03		-2356.03	-3226.23				
	5.03				917.79			

CS I / S A P 9 0 - - FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRUCTURES PAGE 8
PROGRAM:SAP90/FILE:spar_03.F3F

FRAME ELEMENT FORCES

ELT	LOAD	DIST	1-2 PLANE		AXIAL	1-3 PLANE		AXIAL
ID	COND	ENDI	SHEAR	MOMENT	FORCE	SHEAR	MOMENT	TORQ
15	-----							
1	.00				-11704.84			
	.00		-5704.43	-11868.84				
	.51		-6175.47	-14892.41				
	1.02		-6648.82	-18156.34				
	1.53		-7124.48	-21661.81				
	2.04		-7602.45	-25410.00				
	2.04				-12067.36			
2	.00				-8206.61			
	.00		-3999.06	-8319.96				
	.51		-4329.64	-10439.68				

	1.02	-4662.53	-12728.26	
	1.53	-4997.73	-15186.88	
	2.04	-5335.24	-17816.73	
	2.04			-8461.82
3	.00			2481.56
	.00	434.28	2310.03	
	.51	444.05	2533.68	
	1.02	451.50	2761.72	
	1.53	456.65	2992.96	
	2.04	459.49	3226.23	
	2.04			2486.38
16	-----			
1	.00			-12012.96
	.00	7317.61	-22510.05	
	.51	6839.63	-18906.86	
	1.02	6363.97	-15546.38	
	1.53	5890.62	-12427.45	
	2.04	5419.58	-9548.88	
	2.04			-11650.44
2	.00			-8423.70
	.00	5135.63	-15784.52	
	.51	4798.12	-13256.29	
	1.02	4462.91	-10899.28	
	1.53	4130.02	-8712.31	
	2.04	3799.45	-6694.20	
	2.04			-8168.49
3	.00			2835.63
	.00	-2288.03	5392.22	
	.51	-2123.62	4269.27	
	1.02	-1956.89	3230.61	
	1.53	-1787.85	2277.40	
	2.04	-1616.51	1410.83	
	2.04			2707.37

VII. CONCLUSIONES

Del ejemplo realizado podemos observar que el diseño de estructuras de acero con los criterios de diseño al límite no implica mucho trabajo adicional respecto a un diseño por esfuerzos permisibles; por otro lado se pueden obtener secciones de elementos más optimas, lo que lleva a construir estructuras con un costo menor.

Por otro lado también es importante mencionar que las estructuras con elementos de sección variable se comportan, estructuralmente, de manera más optima que las que son de sección constante; esto es debido a que existe mejor distribución de esfuerzos en la estructura, es decir, que los elementos se encuentran en los mismos niveles de esfuerzo, además al colocar elementos de sección variable podemos guiar las zonas donde deseamos que se pudieran presentar las articulaciones plásticas y de esta forma evitar que fallen elementos que pongan en riesgo la seguridad estructural.

ANEXO I

A continuación se muestran las expresiones de diseño así como la referencia del manual.

- Elementos a Flexión.

$$M_p = F_y \cdot Z \quad \text{F1-1}$$

$$M_u = \phi_b M_p = \phi_b F_y \cdot Z \quad \text{F1.2}$$

$$\phi_b = 0.9 \text{ (flexión).}$$

- Revisión por Cortante.

$$V_u = \phi_v V_n \quad \text{F2.2}$$

$$\phi_v = 0.9 \text{ (cortante).}$$

- Si : F2-1

$$\frac{H}{tw} \leq 187 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \Rightarrow V_n = 0.6 \cdot F_{yw} \cdot A_w$$

- Si : F2-2

$$187 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} < \frac{H}{tw} \leq 234 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \Rightarrow V_n = 0.6 \cdot F_{yw} \cdot A_w \frac{187 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}}}{\frac{H}{tw}}$$

- Si : F2-3

$$\frac{H}{tw} > 234 \sqrt{\frac{K}{F_{yw}}} \Rightarrow V_n = A_w \frac{26400 \cdot K}{\left(\frac{H}{tw}\right)^2}$$

- Elementos a Flexocompresión.

$$P_n = A_g \cdot F_c \quad \text{E2-1}$$

$$\phi_c = 0.85$$

- Si : H1-1a

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} \geq 0.2 \Rightarrow \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

- Si : H1-1b

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} < 0.2 \Rightarrow \frac{P_u}{2\phi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

Para facilitar la revisión de los elementos sometidos a flexocompresión el manual presenta una tabla para obtener P_n , dichas tablas se muestran al final de este anexo.

- Revisión de pandeos locales.

La revisión de pandeos locales tanto del alma como de los patines se muestran en la tabla B5.1 del manual. Las revisiones son las siguientes :

- Patines.

$$\frac{b}{2 \cdot t_f} \leq \lambda_p$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_y}}$$

- Almas.

$$\frac{H}{tw} \leq \lambda p$$

-Si :

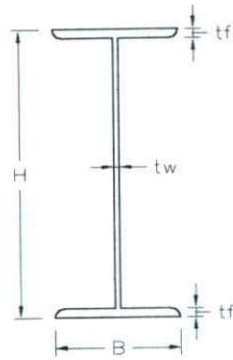
$$\frac{Pu}{\phi b \cdot Py} \leq 0.125 \Rightarrow \lambda p = \frac{640}{\sqrt{Fy}} \left(1 - \frac{2.75 \cdot Pu}{\phi b \cdot Py} \right)$$

- Si :

$$\frac{Pu}{\phi b \cdot Py} > 0.125 \Rightarrow \lambda p = \frac{191}{\sqrt{Fy}} \left(2.33 - \frac{Pu}{\phi b \cdot Py} \right) \geq \frac{253}{\sqrt{Fy}}$$

ANEXO II

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES I



$$A = 2 \cdot B \cdot tf + (H - 2 \cdot tf) \cdot tw$$

$$I_{xx} = 2 \cdot \left[\frac{tw \cdot \left(\frac{H}{2} - tf \right)^3}{3} + \frac{B \cdot tf}{4} \cdot \left(\frac{tf^2}{3} + (H - tf)^2 \right) \right]$$

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I_{xx}}{A}}$$

$$S_{xx} = \frac{2 \cdot I_{xx}}{H}$$

$$Z_{xx} = B \cdot tf \cdot (H - tf) + \frac{tw \cdot (H - 2 \cdot tf)^2}{4}$$

$$I_{yy} = 2 \cdot \left[\frac{tf \cdot B^3}{12} + \frac{tw^3 \cdot (H - 2 \cdot tf)}{24} \right]$$

$$r_{yy} = \sqrt{\frac{I_{yy}}{A}}$$

$$S_{yy} = \frac{2 \cdot I_{yy}}{B}$$

$$Z_{yy} = \frac{B^2}{2} \cdot tf + \frac{tw^2 \cdot (H - 2 \cdot tf)}{4}$$

BIBLIOGRAFÍA

Manual of Steel Construction-Load &Resistance Factor Design (LRFD) 1st.
Edition.
AISC (American Institute of Steel Construction).
Chicago, Illinois , U.S.A.

Estructuras Análisis y diseño tomo II "Estructuras de acero método LRFD".
Mc. Cormac.
Ed. Alfaomega.

Manual de diseño de obras civiles - Diseño por viento.
Comisión Federal de Electricidad - Instituto de Investigaciones Eléctricas 1993.

Reglamento de construcción de servicios urbanos del Municipio de Querétaro.
La Sombra de Arteaga 30 de mayo de 1991.

Mecánica de materiales 2^a edición.
Ferdinand P. Beer - E Russell Johnston Jr.
Ed. Mc. Graw Hill.

Notas del curso "Comportamiento y diseño de estructuras de acero".
Arroyo M.
División de estudios de posgrado, F.I.-U.A.Q.