

Normas de Cálculo de Estructuras Metálicas que usa actualmente la Compañía de Acero del Pacífico

Mientras las normas para el cálculo de estructuras metálicas «Inditecnor» sean aprobadas pasará algún tiempo, de manera que consideramos de interés publicar las que está usando la Compañía de Acero del Pacífico para sus proyectos de esta clase de estructuras.

(En una serie de artículos que irán apareciendo en los próximos números, nos seguiremos ocupando de las estructuras metálicas.)

I.—CARGAS

1. **Clasificación.**—Cargas normales: Cargas permanentes y sobrecargas, incluyendo recargos dinámicos normales.

Cargas transitorias: Viento, temblor, recargos dinámicos transitorios, erección, otras fuerzas.

2. **Combinaciones.**—La estructura deberá resistir la más desfavorable de cualquiera de las combinaciones siguientes:

A. Cargas normales.

B. (Cargas normales + una carga transitoria) $\times 0,75$.

C. (Cargas normales + dos cargas transitorias) $\times 0,67$.

Las cargas de viento y temblor no deben considerarse simultáneamente.

3. **Efecto dinámico.**—Si no se tienen datos más concretos se aplicarán los siguientes valores dinámicos mínimos: (Ver cuadro pág. 228)

Todos los efectos dinámicos anteriores, salvo el efecto de frenajes de grúas, se considerarán como cargas normales. Sin embargo, las combinaciones de carga para grúa se limitarán a las siguientes:

1) Efecto vertical y lateral de una grúa.

2) Efecto vertical solamente de dos o más grúas.

3) 50% del efecto lateral de dos grúas.

Sólo excepcionalmente se considerará el efecto lateral de más de dos grúas, sea en una misma nave o en naves adyacentes.

El frenaje de grúas se considerará como carga transitoria; si hay más de una grúa en una nave, la fuerza total de frenaje se reducirá en 10% por cada grúa en exceso sobre una, con una reducción máxima de 50%.

4. **Cargas alternativas.**—No se considerará el efecto de cargas alternativas en elementos principales.

ELEMENTO	EFECTO DINAMICO					
	VERTICAL		LATERAL		LONGITUDINAL	
	%	Factor	%	Factor	%	Factor
Ascensores	100	Peso	0		0	
Maquinaria liviana	20	»	10	Peso	10	Peso
Maquinaria de movimiento alternativo.....	50	»	10	»	100	Peso parte móvil
Grúas eléctricas:						
Gancho o cuchara:						
0-50 toneladas	25	Carga /rueda	20	Capacidad (1)	10	Carga /rueda
51-100 ton.	20	» »	15	»	10	» »
101-150 ton.	20	» »	15	»	10	» »
151 o más ton.	20	» »	12	» (1)	7,5	» »
Capacho o magneto	100	Capacidad	12	Carga /rueda	10	» »
Horno foso carga horno	100	»	15	» »	10	» »
Desmoldaje, 0-200 ton. cap... ..	100	Lin. +molde	20	» »	10	» »
Grúas a mano	0		10		10	
Motores y generadores eléctricos:						
2 polos	50	Peso	100	Peso rotor	100	Peso rotor
4 o más polos	25	»	50	» »	50	» »

(1) La fuerza lateral actúa simultáneamente a ambos lados de la grúa.

En las conexiones este efecto se considerará como sigue:

Para 100.000 repeticiones o menos: $D = A - 0,5 B$.

Para más de 100.000 repeticiones: $D = 1,33 (A - 0,5 B)$.

D: Carga de diseño.

A: Carga máxima de compresión o tracción.

B: Carga mínima de compresión o tracción.

Para aplicar la fórmula anterior se considerarán las tracciones con signo (+) y las compresiones con signo (-).

II.—FATIGAS ADMISIBLES

1. Tracción.

Acero A42S	1.400 Kg/cm ²
Acero A54S	2.000
Remaches corrientes	1.400
Pernos corrientes	1.400
Soldadura a tope, corriente	1.400
Soldadura de alta resistencia	2.000

2. Compresión.

Acero A42S	λ menor que 50	$f = 1.400 - 0,06 \lambda^2$	Kg ² /cm ²
	λ entre 50 y 120	$f = 1.643 - 7,85 \lambda$	
Acero A54S	λ menor que 50	$f = 2.000 - 0,12 \lambda^2$	
	λ entre 50 y 120	$f = 2.412 - 14,23 \lambda$	
Acero A42S y A54S	λ entre 120 y 250	$f = 1.148 \frac{(1,48 - \frac{\lambda}{250})}{1 + (\frac{\lambda}{150})^2}$	

Acero A42S y A54S, entre 120 y 250, arriostramiento y elementos secundarios	$F = \frac{1.148}{\lambda} \cdot 1 \left(\frac{\quad}{150}\right)^2$
---	--

Soldadura a tope, corriente	1.400 Kg/cm ²
» » de alta resistencia	2.000 Kg/cm ²

Atiesadores, acero A42S.....	1.400
» » A54S	2.000

3. Flexión.

Tensión en la fibra extrema, A42S.....	1.400
» » » A54S	2.000
Compresión en la fibra extrema:	
Acero A42S: para λ' hasta 600	1.400 Kg/cm ²
» » » λ' sobre 600	840.000 / λ'
Acero A54S: para λ' hasta 420	2.000
» » » λ' sobre 420	840.000 / λ'
Flexión en fibra extrema soldadura a tope	1.400
» » » » de alta resistencia	2.000

Cizalle.

Remaches corrientes	1.000 Kg/cm ²
Pasadores y pernos calibrados.....	1.000
Pernos corrientes	700
Alma de vigas, promedio en sección bruta:	
A42S	900
A54S	1.300
Soldadura corriente, filetes y tapones	1.000
» » » a tope	900
» de alta resistencia, filete y tapón.....	1.400
» » » a tope	1.300

5. Aplastamiento.

Superficies cepilladas, A42S	2.000 Kg/cm ²
» » A54S	2.900
Remaches corrientes al cizalle simple	2.200
» » » doble	2.800
Pernos calibrados al cizalle simple	2.200
» » » doble	2.800
» corrientes al cizalle simple	1.400
» » » doble	1.800

Pasadores de acero A42S	2.200
» » A54S	3.200
Alma de perfiles laminados o soldados automáticamente en la raíz del filete: A42S	1.700
Alma de perfiles laminados o soldados automáticamente en la raíz del filete: A54S	2.400
Rodillos de soporte de diámetro d, cm: A42S	40 d Kg/cm
» » » A54S	60 d

6. **Esbelteces.**—En las fórmulas anteriores:

$\lambda = 1/r$ esbeltez en compresión.

$\lambda' = l'/r'$ esbeltez en flexión.

$l =$ longitud libre entre soportes laterales de la columna.

$l' =$ longitud libre entre soportes laterales del ala comprimida de vigas.

$r =$ radio de giro en la dirección considerada.

$r' =$ radio de giro lateral del ala comprimida de vigas.

r' se define como sigue:

$r' = bt/h$.

$h =$ altura máxima de la viga.

$b =$ ancho máximo del ala comprimida.

$t =$ espesor medio del ala comprimida.

En alas compuestas t vale:

$t = 12 I / b^3$ para vigas soldadas.

$t = 10 I / b^3$ para vigas remachadas.

$I =$ momento de inercia lateral del ala comprimida.

En caso de vigas con platabandas que se interrumpen a medida que se hacen innecesarias, se recomienda tomar:

$$t = t_{\min} + \frac{2}{3} (t_{\max} - t_{\min})$$

7. **Combinación de fatigas axiales y de compresión.**—Debe cumplirse la relación:

$$\frac{f_o}{F_o} + \frac{f_x}{F_x} + \frac{f_y}{F_y} \leq 1$$

Siendo f_o, f_x, f_y las fatigas de compresión, flexión en el eje x y flexión en el eje y F_o, F_x, F_y las respectivas fatigas admisibles.

8. **Combinación de fatigas axiales y de cizalle.**—Las fatigas máximas de combinación calculadas según la teoría elástica no deben exceder los valores límites anteriores.

III.—DEFORMACIONES

1. **Vigas.**—Las vigas no deben sobrepasar los límites de deformación dados en la tabla siguiente. No será necesario verificar la deformación si la altura de la viga no es menor que la fracción de la luz indicada en la misma tabla:

ELEMENTOS	Relación flecha /luz	Relación altura /luz	
		A42S	A54S
Enrejados y cerchas.....	1/700	1/10	1/7
Vigas compuestas portagrúa.....	1/600	1/12	1/8
Vigas laminadas portagrúa, vigas o soportes de máquinas y cargas móviles.....	1/450	1/16	1/11
Vigas que soportan cielos de yeso.....	1/350	1/20	1/14
Vigas de piso y cambios.....	1/300	1/24	1/17
Vigas verticales de muro y costaneras de techo.....	1/200	1/35	1/25

2. **Cargas vibratorias periódicas.**—En caso de cargas vibratorias periódicas y en la ausencia de métodos más exactos, se verificará que la deformación de cualquier elemento sea diferente de la deformación de resonancia dada por la relación

$$\Delta = 90.000/n^2$$

Δ = deformación debida a fuerzas verticales u horizontales iguales al peso propio de la maquinaria y construcción, en cm.

n = velocidad de vibración en revoluciones por minuto.

3. **Efecto dinámico.**—Las deformaciones mencionadas anteriormente se calcularán sin incluir efectos dinámicos.

4. **Módulo de elasticidad.**—Para los efectos de calcular deformaciones se tomará:

$$E = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G = 840.000 \text{ Kg/cm}^2$$

IV.—ESBELTECES

1. **Esbelteses.**—La esbeltez de elementos sometidos a cargas axiales no debe sobrepasar los siguientes valores:

Elementos en compresión: 250

Elementos en tracción: 350

Se exceptúan elementos en tracción con dispositivos para regular la tensión (p. ej.: barras redondas con unión de tuerca o pernos tensores).

2. **Longitud libre.**—Se tomará como longitud libre la distancia entre dos soportes en una dirección determinada. No se modificará dicha longitud por las condiciones de apoyo.

En dos miembros que se cruzan, uno de los cuales está en tensión y el otro en compresión, se considerará que el punto de cruce limita la longitud en dos planos, siempre que la unión tenga por lo menos dos pernos, remaches o soldaduras.

3. **Altura.**—La altura de elementos en tracción no deberá, en lo posible, ser menor que $1/90$ de la proyección horizontal de su longitud.

V.—AREA UTIL

1. **Tracción.**—Se considerará la sección neta, tomando en cuenta la reducción de área por agujero. En el caso de una cadena de agujeros en diagonal o zig-zag, el ancho neto se obtendrá restando del ancho real la suma de los diámetros de los agujeros en la cadena y agregando por cada espacio entre agujeros la cantidad

$$p^2/4c \quad p: \text{paso entre remaches.}$$

$$c: \text{distancia entre filas.}$$

2. **Compresión.**—No se considerará reducción por agujeros en elementos comprimidos; sin embargo, en elementos sometidos a compresión directa o por flexión, la relación entre el ancho efectivo de cálculo y el espesor no debe sobrepasar los siguientes valores:

Elementos proyectantes:	16
Otros elementos:	40

El ancho de elementos proyectantes se tomará entre el borde libre y la raíz del filete o la primera línea de remaches o soldadura. En otros elementos se tomará entre raíces de filetes y líneas de remaches o cordones de soldadura.

El área en exceso de las relaciones anteriores no se considerará para el cálculo.

3. **Flexión.**—En vigas en flexión la reducción de área por agujeros se hará de acuerdo con las siguientes reglas:

- No se descontarán agujeros en el alma.
- Si los agujeros en el ala tendida son menos del 15% del área de dicha ala, no se descontarán agujeros, y el cálculo se hará sobre la base del área total.
- Si los agujeros en el ala tendida son más del 15% del área del ala, se descontará el exceso sobre 15%. En caso de haber agujeros en el ala de compresión, se aplicará también la deducción correspondiente a esta ala. El eje neutro se considerará en la posición correspondiente a la sección total.

VI.—ESPESORES MINIMOS

Planchas, barras o perfiles no expuestos a corrosión y de fácil conservación
4 mm.

Otros elementos, 6 mm.

Placas de apoyo de vigas, 10 mm.

Placas de apoyo de pilares, 12 mm.

Gussets con esfuerzos superiores a 15.000 Kg., 8 mm.

Elementos de acero cobreado, 75% de los valores anteriores.

Se exceptúan los suples, almas de perfiles laminados, elementos que no transmiten esfuerzos, estructuras galvanizadas y perfiles de latón doblado.

VII.—EFECTO TERMICO

El efecto térmico debe considerarse con un coeficiente de dilatación igual a $0,00012^{\circ}\text{C}$ y, salvo indicación en contrario, una diferencia de temperatura de 30°C para la zona comprendida entre Arica y Puerto Montt, en el valle central y la costa.

En las condiciones anteriores no es necesario considerar el efecto térmico en estructuras de menos de 15 m.

VIII.—ELEMENTOS SECUNDARIOS

Los elementos secundarios cuya única función es limitar la longitud de pandeo de otros elementos se calculará para una fuerza igual al 1,25% del producto del área bruta del elemento principal por la fatiga máxima de tracción, aplicada perpendicularmente al eje del elemento principal.

IX.—COLUMNAS COMPUESTAS

1. Esbeltez.

Esbeltez equivalente de la columna: $\lambda' = \sqrt{\lambda^2 + \frac{n}{2} \lambda_c^2}$

λ = esbeltez considerando la sección homogénea.

λ_c = esbeltez mínima de un perfil componente entre dos nudos.

n = número de perfiles componentes.

Esbeltez de perfiles componentes:

$$\lambda_c \leq 0.75 \lambda$$

$$\lambda_c \leq 50 \text{ para columnas en compresión solamente}$$

$$\text{Piezas de celosía simple: } \lambda \leq 250$$

$$\text{Piezas de celosía doble: } \lambda \leq 350$$

2. **Número mínimo de uniones.**—En los extremos y puntos tercios.

3. **Esfuerzos en piezas de unión.**—Esfuerzo de corte igual a 1,25% del producto del área bruta de la columna por la fatiga máxima en tracción.

4. **Celosías de diagonales.**—En celosías simples la inclinación mínima respecto al eje de la columna es 60° , y en celosías doble 45° . Se recomienda usar celosía simple para una distancia "d" entre ejes de remache o soldadura de los perfiles compuestos no mayor de 400 mm.

5. Celosías de planchuelas:

	Columnas en compresión	Columna en tracción
Espesor mínimo.....	d/50	d/50
Ancho mínimo planchuelas intermedias.....	0.5d	0.33d
Ancho mínimo planchuelas extremas.....	d	0.67d
Número mínimo de remaches, planchuelas intermedias.....	2	2
Número mínimo de remaches, planchuelas extremas.....	3	3

6. **Celosía de planchas perforadas.**—La sección neta se podrá suponer como colaborando con los elementos principales.

La longitud de la perforación no debe sobrepasar el doble de su ancho, y la distancia libre entre dos perforaciones no debe ser menor que "d". El espesor menor que $d/50$.

Las esquinas de las perforaciones tendrán un radio mínimo de 40 mm.

X.—VIGAS COMPUESTAS

1. **Area.**—Se aplicará el artículo V párrafo III.
2. **Alas.**—Se aplicará el artículo V, párrafo II.
3. **Alma.**—La relación entre la distancia libre entre las alas y el espesor del alma no debe sobrepasar el siguiente valor:

$$170 \sqrt{F/f}$$

F: Fatiga admisible en compresión

f: Fatiga real en compresión

4. **Atiesadores de carga.**—Se colocarán en pares en los extremos y puntos de carga concentrada, cuando sea necesario, para evitar aplastamiento en el alma (ver art. 2.º, párrafo V). Dichos atiesadores deben extenderse lo más cerca posible al borde de las alas, y no deben ser acodillados.

La unión entre el ala saliente de los atiesadores y únicamente el ala cargada de la viga debe calcularse para transmitir el total de la carga concentrada o de la reacción, ya sea por contacto directo o soldadura.

Los atiesadores deben verificarse al pandeo. Para estos efectos se considerará una longitud de pandeo igual al 75% de la real, y se incluirá en el área una porción del alma igual a 25 espesores para atiesadores intermedios y 12 espesores para atiesadores extremos.

5. **Atiesadores de rigidez.**—Cuando la relación entre la distancia libre entre las alas y el espesor del alma es igual o mayor que 70, se colocarán atiesadores de rigidez, en pares o alternados, en todos los puntos en que la fatiga media de cizalle en el alma exceda el valor:

$$A42S: \frac{4.400.000}{(h/t)^2} \text{ Kg. / cm}^2 \quad \begin{array}{l} h: \text{ altura libre entre las alas} \\ t: \text{ espesor del alma} \end{array}$$

$$A54S: \frac{6.400.000}{(h/t)^2} \text{ Kg. / cm}^2$$

La distancia libre entre atiesadores no debe exceder 2.000 mm. ni el valor siguiente:

$$\frac{3.000 t}{\sqrt{f}} \text{ mm.} \quad \begin{array}{l} t: \text{ espesor del alma en mm.} \\ f: \text{ fatiga media de cizalle en Kg. / cm}^2 \end{array}$$

El ancho sobresaliente de los atiesadores tendrá un ancho no menor del siguiente:

$$50 + h/30 \text{ mm.} \quad h: \text{ altura libre entre las alas en mm.}$$

El espesor del atiesador no será menor de 1/16 de su ancho. Los atiesadores intermedios se extenderán lo más cerca de las almas que sea posible.