



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL MENDOZA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL

CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

ACCIONES Y COMBINACIONES

Preparó:

Revisó:

Dirigió: Ing. Daniel A. García Gei

2004

ACCIONES Y COMBINACION DE ACCIONES SOBRE LAS ESTRUCTURAS

Ing. DANIEL A. GARCIA GEI - Profesor Titular Ordinario

1ª Versión Marzo/94 - 1ª Revisión Abril/01 - 2ª Revisión Mar/04

2. ACCIONES A CONSIDERAR EN LAS CONSTRUCCIONES METALICAS

2.1. Consideraciones generales

Las acciones consideradas en el proyecto de una estructura metálica son responsabilidad del proyectista estructural.-

Conviene acotar que tal responsabilidad debe asumirse en forma realista, racional y equilibrada. Evitando caer en extremos "optimistas" por el que los materiales y las construcciones son naturalmente "nobles y confiables" por lo que las fallas sólo sobrevienen en casos extremos (pe: porque coinciden varios fenómenos o hechos perniciosos) o sólo porque Dios lo permite; o "pesimistas" por el que a la menor acción sobre la construcción ocurrirá el colapso.-

Deberán considerarse todas las acciones posibles de actuar sobre la construcción o sobre sus elementos constitutivos. Evaluando consciente y minuciosamente la naturaleza y magnitud de las acciones y las posibles combinaciones tanto en oportunidad como en participación.-

¿Qué acciones podrán existir sobre la construcción?

¿Cuáles son los valores característicos, frecuentes y normales que pueden alcanzar?

¿Cuáles acciones pueden actuar simultáneamente?

¿Qué magnitud alcanza cada acción en el momento de combinarse?

¿Qué valor del coeficiente de seguridad conviene adoptar frente a determinadas combinaciones?

¿Cuál es el grado de incertidumbre del análisis de cargas?

Las normas brindan una guía que debe considerarse en forma "crítica", esto es, haciendo uso del criterio personal.-

Por una parte los reglamentos no pueden considerar TODAS las posibles acciones sobre TODAS las construcciones, sólo se regulan aquellas situaciones más repetidas o habituales. Naturalmente, existirán casos no contemplados que habrá que resolver por analogía, empleando criteriosamente el factor "J" (Juicio).-

Otro caso posible es aquel que, regulado en las normas, ofrece cambios por nuevas condiciones tecnológicas o mejor conocimiento de la naturaleza de las acciones o sus combinaciones y entonces es permitido considerar valores distintos (en más o en menos) a los ya establecidos. Nuevamente será el buen criterio del proyectista que defina la controversia.-

Es posible considerar también casos de cargas y sobrecargas que no dependen "directamente" de la responsabilidad del Proyectista, o al menos esa responsabilidad debe ser compartida (v.g.: ¿Cuál es la carga de diseño de un puente o de un viaducto?). La Autoridad competente deberá fijar, en estos casos, los límites aceptables a considerar a fin de limitar las responsabilidades inherentes. ¡ ATENCIÓN: En algún caso, puede que seamos "parte" o "asesores" de esa Autoridad ! En cuyo caso nuestra participación deberá resultar consciente, firme y prudente.-

2.3.2.2. Recomendación CIRSOC 105 – Combinación de acciones

En el estado actual del conocimiento (1980), la tecnología y los valores estadísticos, el criterio resulta semiprobabilístico pues se fija coeficientes de mayoración de cargas y de minoración de resistencia de los materiales sobre la base de criterios empíricos y no absolutamente estadísticos.

Este modo de encarar el problema resulta razonable atento la escasez de datos que se tienen tanto sobre los valores de las acciones como los de las resistencias, frente al universo que ellos representan.

La aplicación frecuente de estos criterios demandará consecuentemente, la necesidad de obtener datos cada vez más elaborados y fidedignos, con lo que se arribará a la aplicación rigurosa de procedimientos estadísticos. Como ya se dijo, se trata de relevar un universo consistente en todos los edificios de toda naturaleza construidos y en condiciones de uso.

La RECOMENDACION CIRSOC 105 presenta algunas reglas prácticas de combinación de acciones basada en una CLASIFICACION de ellas y en el uso de COEFICIENTES DE COMBINACION.

2.3.2.2.1. Clasificación de las acciones

Para establecer sus valores representativos y luego establecer reglas de combinación, se clasifican las acciones según su variación en el tiempo:

a) **ACCIONES PERMANENTES:** variaciones pequeñas o despreciables respecto al valor medio y tiempos de aplicación prolongados respecto de la vida útil de la construcción. Ejemplos: peso de los elementos constructivos, empujes de suelos, fuerzas de pretensado, deformaciones impuestas durante la construcción, cedimiento de vínculos, acción de líquidos en general, fuerzas reológicas del hormigón y la soldadura,...

b) **ACCIONES VARIABLES:** con variaciones notables, frecuentes y continuas tanto en características como en el tiempo de aplicación respecto de los valores medios. Ejemplos: cargas útiles, acciones climáticas (viento, nieve, hielo, etc.), acciones por cargas móviles y sus efectos, empuje de materiales a granel, acciones debidas a variaciones de temperatura, sismos de ocurrencia normal, ...;

c) **ACCIONES ACCIDENTALES:** son aquellas que tienen pequeña probabilidad de actuación, aunque de magnitud o valor significativo durante la vida útil de la construcción. La intensidad puede llegar a ser muy importante para algunas estructuras. Ejemplos: impacto de vehículos terrestres o aéreos, explosiones, movimientos del suelo, avalanchas de nieve o piedras, acciones debidas a vientos huracanados o tornados, sismo de ocurrencia excepcional,-

2.3.2.2.2. Valores representativos:

Corresponden a intensidades que las acciones pueden tomar durante la vida útil de la construcción. Se utilizarán en las distintas combinaciones.

a) **VALOR CARACTERISTICO** - F_k : se deducen de registros estadísticos, confiables en que sólo son superados por el 5% de los casos registrados. Cuando no se tengan datos estadísticos suficientes, se tomarán como valores característicos los valores nominales consagrados por la práctica o sean fijados por Reglamentos.

b) **VALOR DE USO o DE SERVICIO** - F_{serv} : generalmente coinciden con los valores anteriores, aunque pueden ser sustituidos por valores nominales que el usuario se compromete formalmente a no superar durante la vida de la construcción.

$$F_{\text{serv}} = F_k$$

c) VALOR DE COMBINACION - F_{comb} : valor menor que el característico, de modo que actuando junto a otra acción da, para la combinación, una probabilidad de actuación de la misma magnitud que la segunda acción. Se procede afectando el valor característico de un coeficiente de combinación Ψ_0

$$F_{\text{comb}} = \Psi_0 * F_k$$

d) VALOR FRECUENTE - F_{frec} : son los que se consideran en las combinaciones al estado de servicio. Tienen una probabilidad de ocurrencia mayor, durante un tiempo más prolongado, y con menor intensidad. Se procede afectando el valor característico de un coeficiente Ψ_1

$$F_{\text{frec}} = \Psi_1 * F_k$$

e) VALOR CASI PERMANENTE - F_{cp} : valor muy inferior al valor característico, muy próximo al valor medio, actúa con una frecuencia mayor que el valor frecuente y con intensidades menores. Se procede afectando el valor característico de un coeficiente Ψ_2

$$F_{\text{cp}} = \Psi_2 * F_k$$

En Tabla 1 de la Recomendación CIRSOC 105, se indican valores de Ψ_0 Ψ_1 Ψ_2 .

2.3.2.2.3. Superposición de acciones según CIRSOC 105:

Estado límite: es aquel que se produce en una estructura cuando deja de cumplirse alguna función para la que fue proyectada;

Estado límite último: aquel para el cual se agota la CAPACIDAD RESISTENTE de la estructura o la de alguno de sus miembros;

Estado límite de uso o de servicio: aquel para el cual se producen deformaciones, vibraciones o agrietamientos que afectan el funcionamiento de la construcción, sin comprometer su resistencia o estabilidad.

Superposición de acciones: en la superposición de acciones se considera el siguiente esquema:

$$\text{COMBINACION} = \sum \text{ACC.PERMANENTES} + \text{ACC.VAR. "básica"} + \sum \text{ACC.VAR. "acompañamiento"}$$

Acciones permanentes: los valores que se consideran son "característicos" G_k . Estas acciones deben considerarse en la situación que produzcan las sollicitaciones más comprometi-

das. Esto es, con el mayor valor G_{\max} cuando su acción resulta desfavorable y con el valor menor minorado $0.80 G_{\min}$ cuando ella es favorable (provocan una disminución de secciones o de solicitaciones).

Solicitaciones: Denominamos S_{Ak} a las Solicitaciones provocadas por la acción característica A_k .

a) COMBINACIONES PARA ESTADOS LIMITES ULTIMOS:

a1) Combinación fundamental = Acc. Permanentes + Acc. Útiles + Acc. de Combinación ó Sobrecargas.

a2) Combinación accidental = Acc. Perm. + Acc. Util de Combinación + Acc. Casi Perm.+ Acc. Accidental

$$S_u = \gamma \cdot \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_o \cdot S_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{2i} \cdot S_{ki} \right]$$

b) ESTADO LIMITE DE USO o DE SERVICIO:

$$S_{acc} = \gamma_{acc} \cdot \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_{acc} \cdot S_{kacc} + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i} \cdot S_{ki} \right]$$

b1) Combinación poco frecuente = Acc. Permanentes + Acc. Útiles + Acc. Casi Permanentes

b2) Combinación frecuente = Acc. Permanentes + Acc. Uso Frecuentes + Acc. Casi Permanentes

$$S_{serv} = \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_1 \cdot S_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{2i} \cdot S_{ki} \right]$$

b3) Combinación casi permanente = Acc. Permanentes + Acc. Casi Permanentes

$$S_{\infty} = \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \sum_{i=1}^n \Psi_{2i} \cdot S_{ki} \right]$$

2.3.2.2.4. COMBINACIONES INDICADAS EN OTROS REGLAMENTOS

En los reglamentos particulares se consideran algunos coeficientes de mayoración o reducción de las acciones o de las solicitaciones por ellas provocadas. Dichos coeficientes, aplicados sobre las acciones variables, responden a tres criterios:

a) Para considerar hechos físicos propios de las acciones o de las estructuras. Estos coeficientes no tienen relación con los valores $\Psi_{0,1,2}$ por lo que sus efectos se adicionan a los considerados en los casos anteriores. En general:

Ejemplos: coeficientes de impacto, de fatiga, de presión de viento, condiciones de cubiertas frente a la nieve,...

$$S_u = \gamma \cdot \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_o \cdot \varphi_1 \cdot S_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{2i} \cdot \varphi_i \cdot S_{ki} \right]$$

b) Para considerar en forma probabilística cuantitativa coeficientes de combinación de algunas acciones. Estos valores implican fijar valores a $\Psi_{0,1,2}$ para esos determinados casos particulares, denominando Ψ_{ri} a estos coeficientes, tendremos:

$$S_u = \gamma \cdot \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_{r1} \cdot S_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{ri} \cdot S_{ki} \right]$$

Ejemplos: CIRSOC 104 combinaciones de viento y nieve alternativamente al 50%; Código de Construcciones Sismorresistentes y CIRSOC 103, participación de sobrecargas;...

c) Casos de coeficientes de seguridad diferenciados para distintas solicitaciones o combinaciones:

$$S_u = \gamma_e \cdot \left[(1 \text{ ó } 0.8) \cdot S_{gk} + \Psi_{r1} \cdot S_{k1} + \sum_{i=2}^n \Psi_{ri} \cdot S_{ki} \right]$$

Ejemplos: CIRSOC 201 casos de dimensionamiento para rotura "con aviso" y "sin aviso"; CIRSOC 350 Aceros para estructuras metálicas, el coeficiente "m" de mayoración del coeficiente de seguridad considera la mayor dispersión de las propiedades del acero; CIRSOC 103 y Código de Construcciones Sismorresistentes modifican el coeficiente de seguridad $\gamma_{sis} = 1,00$ para las combinaciones que tienen sismo; CIRSOC 305 fija el coeficiente de seguridad $\gamma \geq 1,60$;...

BIBLIOGRAFIA:

Hacemos referencia a los títulos indicados en
 I: 1 - 3 - 4 - 5 - 16 - 22 - 23 - 26 - 27 - 31 - 37 - 38 -
 III: 10
 IV: 1 - 2 - 3
 del listado bibliográfico dado por la Cátedra.-

ANEXO 1

TABLA 1.- Recomendación CIRSOC 105

ACCIONES	Coeficientes		
	de Combinación	Frecuentes	Casi Permanentes
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1.- CARGAS PERMANENTES			
Acción desfavorable	1.00	1.00	1.00
Acción favorable	0.80	0.80	0.80
2.- UTILES o DE SERVICIO			
Viviendas	0.50	0.70	0.40
Oficinas	0.60	0.80	0.40
Comercios	0.60	0.90	0.40
Garajes o cocheras	0.60	0.70	0.60
3.- CLIMATICAS			
Viento	0.60	0.20	0.00
Nieve	0.60	Según cada región	
4.- SISMOS ("normales")	0.60	0.00	0.00

ANEXO 2

EJEMPLOS

Los ejemplos que se presentan se han desarrollado en clase, los coeficientes de participación de sobrecargas fueron elegidos por los alumnos, en un proceso continuo: elección -> análisis -> revisión -> ...

EJEMPLO 1: Correa de techo, 10 m de luz, separación 2.00 m

Acción		Valor	Reacciones	Momento Unitario	Total
Cargas permanentes	g_o	40	800	400	1000
Nieve	p_n	30	600	300	750
Viento	w_z	50	1000	500	1250
Montaje	P_m	120	120	120	300

Combinaciones:

$$C1 = 1.0 * g_o + 1 * p_n + 0 * w_z + 0 * P_m$$

$$C2 = 0.8 (1) * g_o + 0 * p_n + 1 * w_z + 0 * P_m$$

$$C3 = 1 (0.8) * g_o + 1 * p_n + 0.5 * w_z + 0 * P_m$$

$$C4 = 1 (0.8) * g_o + 0.5 * p_n + 1 * w_z + 0 * P_m$$

$$C5 = 1.0 * g_o + 0 * p_n + 0 * w_z + 1 * P_m$$

Los esfuerzos se combinarán aplicando en cada caso los coeficientes de participación correspondientes.

EJEMPLO 2: Soporte de un pórtico de un edificio destinado a educación, que se desarrolla en 5 pisos. El área de influencia es $10^2/2 = 10 \text{ m}^2$.

Se admiten las siguientes acciones unitarias gravitatorias:

Cargas permanentes	g_o	200	$200 * 10 = 2000$
Nieve en azotea	p_n	30	$30 * 10 = 300$
Carga de uso en pisos	p_i	500	$500 * 10 = 5000$

1era. Combinación:

$$N5 \quad 1 * 2000 + 0 * 5000 + 1 * 300 = 2300$$

$$N4 \quad 1 * 2000 + 0.3 * 5000 = 3500$$

$$N3 \quad 1 * 2000 + 0.2 * 5000 = 3000$$

$$N2 \quad 1 * 2000 + 0.25 * 5000 = 3250$$

$$N1 \quad 1 * 2000 + 0.3 * 5000 = 3500$$

$$S = 15.550$$

Análisis: si bien se observa vemos que los coeficientes 0.2 ~ 0.3 responden a valores relativamente bajos de las sobrecargas: 100 a 150 kg/m^2 , con sobrecarga útil nula en azotea.

Este caso sería una situación casi permanente de la construcción: aulas más o menos completas, alumnos en pasillos, bibliotecas ordenadas, etc.

¿Podrán superarse estas cargas durante la vida útil de la construcción? Evidentemente Sí.

2da. Combinación:

$$N5 \quad 1 * 2000 + 0 * 5000 + 1 * 300 = 2300$$

N4	$1 * 2000 + 0.4 * 5000$	$= 4000$
N3	$1 * 2000 + 0.5 * 5000$	$= 4500$
N2	$1 * 2000 + 0.6 * 5000$	$= 5000$
N1	$1 * 2000 + 0.6 * 5000$	$= 5000$
		$S = 20.800$

Análisis: los coeficientes participación adoptados se traducen en valores medios de las sobrecargas: 200 a 350 kg/m², con sobrecarga útil nula en azotea, pero con la presencia de nieve.

Este caso sería una situación posible, con cierta frecuencia, durante la vida útil de la construcción: aulas más o menos completas, alumnos en pasillos, bibliotecas, reuniones, etc.

¿Podrán superarse estas cargas durante la vida útil de la construcción en más del 5% de sus días? Si la construcción dura 20000 días, ¿se podrá superar el valor de esta combinación en más de 1000? Es probable que sí.

Situaciones tales como simposios, seminarios, inscripción e ingreso de alumnos, reuniones sociales, etc. congregarán importante número de personas.

Busquemos una combinación de coeficientes y cargas que nos asegure, prima facie, que tal esfuerzo no será superado en más del 5% de los días útiles de la construcción.

3ra. Combinación:

Se presentan 3 variantes:

Variante 1:

N5	$1 * 2000 + 0 * 5000 + 1 * 300$	$= 2300$
N4	$1 * 2000 + 0.8 * 5000$	$= 6000$
N3	$1 * 2000 + 0.8 * 5000$	$= 6000$
N2	$1 * 2000 + 0.8 * 5000$	$= 6000$
N1	$1 * 2000 + 0.8 * 5000$	$= 6000$
		$S = 26.300$

Variante 2:

N5	$1 * 2000 + 0 * 5000 + 1 * 300$	$= 2300$
N4	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
N3	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
N2	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
N1	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
		$S = 30.300$

Variante 3:

N5	$1 * 2000 + 0.4 * 5000 + 0 * 300$	$= 4000$
N4	$1 * 2000 + 0.6 * 5000$	$= 5000$
N3	$1 * 2000 + 0.8 * 5000$	$= 6000$
N2	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
N1	$1 * 2000 + 1 * 5000$	$= 7000$
		$S = 29.000$

Análisis: los coeficientes participación adoptados se traducen en valores elevados de las sobrecargas: 300 a 500 kg/m² en los entresijos, y un valor medio en azotea, sin la

presencia de nieve.

Las variantes cubren la posibilidad que las sobrecargas alcancen valores superiores en menos del 5% de la vida útil de la construcción. Se trata, entonces, de valores característicos.

Eventualmente, durante la vida útil de la construcción se alcanzarían tales valores: aulas muy completas, alumnos en pasillos, bibliotecas, reuniones, congresos, exposiciones, etc.

La Variante 1, no considera que en algún entrepiso podrán alcanzarse las sobrecargas máximas. Esto puede resultar peligroso y nos hace preguntar también si hemos elegido bien el valor de la sobrecarga. Tiene además en cuenta la nieve, despreciando la carga útil en azotea.

La Variante 2, no discrimina efectivamente la real combinación de cargas, llegando casi a la situación límite (la suma de todas las acciones). ¿Es posible que 4 niveles estén cargados con toda la sobrecarga simultáneamente?

Es más probable que, habiendo 1 ó 2 niveles completamente ocupados, en otros tal ocupación sea gradualmente menor.

Mendoza, Abril de 1995.-