estructuras metálicas ligeras **III**

Conferencias pronunciadas en el aula de Costillares por el profesor
 Dr. HERMANN BEER, GRAZ - AUSTRIA

846-1

**La primera y segunda partes se publicaron, respectivamente,
 en los números 193 y 194 de esta Revista**

n

Estructuras con elementos tubulares

Observamos en los últimos años una aplicación creciente de las estructuras reticuladas compuestas de tubos. Esto se debe, en primer término, al comportamiento favorable para el pandeo de las barras de sección tubular. Teniendo diferentes tipos de barras con igual área de sección, pero formadas por chapas relativamente gruesas, y considerando la barra articulada en sus extremos, obtenemos las curvas de cargas admisibles en función de la longitud de pandeo $S_k = f(l_k)$ de la figura 53, en la cual pueden observar que la curva que corresponde al tubo se encuentra por encima de la familia de curvas, perteneciendo al perfil angular la curva más baja. Esto se debe a la forma muy favorable del anillo circular respecto al radio de giro.

Con perfiles formados de chapas delgadas, esta diferencia es todavía más grande. La figura 54 muestra claramente la reducción de la carga admisible de los perfiles $\perp$ y $\angle$, debida al pandeo por torsión, mientras que la sección en cajón y la sección tubular no están influidas por el pandeo por torsión. Reduciendo más aún el espesor de pared, debe pensarse también en el pandeo local de la chapa en la sección en cajón, mientras que en el tubo no existe prácticamente este peligro, aun teniendo espesores muy delgados (para $\lambda > 30$, la relación d/t puede crecer

hasta 100). Es claro que se puede dimensionar muy económicamente la estructura tomando tubos para constituir las barras comprimidas.

En la figura 55 está representada la relación σ_B/σ_F en función del valor λ , dependiente de E/σ_F y t/d . Ya para $d/t = 100$ se obtiene una tensión crítica de abolladura que se encuentra muy cerca del límite de fluencia.

Se ha calculado la curva de tensiones admisibles de pandeo de la DIN 4114, suponiendo un perfil $\perp$, con una excentricidad de la carga de $i/20$ y una curvatura de la barra de $l/500$, y considerando también la reserva plástica contra el pandeo por flexión. Sin embargo, es necesario aprovechar la mayor reserva plástica del tubo para llegar a un dimensionado más económico. K. Klöppel y W. Goder investigaron este problema teóricamente, y por medio de ensayos, con tubos de esbelteces y relaciones d/t diversas. Ellos encontraron las curvas $\sigma_k = f(\lambda)$ y compararon estas curvas con la DIN 4114 (fig. 56). Se ve que el aumento de la tensión admisible de pandeo de los tubos llega a un 15 por 100, lo que significa que los tubos se destacan favorablemente de los otros perfiles. Laminando el tubo a partir de una barra redonda, según la patente de Mannesmann, se obtiene no solamente un límite de fluencia más elevado, sino también un tubo prácticamente sin tensiones residuales, lo cual aumenta aún más la resistencia al pandeo.

Pueden formarse de manera muy simple los nudos de las vigas reticuladas, soldando los tubos de las diagonales, con los extremos adaptados, al tubo del cordón. Se hace la preparación de los extremos mediante una máquina que trabaja automáticamente cuando se la ajusta a las coordenadas correspondientes. Se ejecutan los cortes con soplete, no necesitándose trabajar posteriormente las aristas (fig. 57). Puede ejecutarse también, con esta máquina, la intersección de las diagonales entre sí [fig. 57 b)]. En este caso la transmisión de las fuerzas en el nudo es más eficiente, debida a la acción de membrana de los cilindros. Ensayos ejecutados en Graz comprobaron que para tubos con relaciones de diámetro a espesor de pared < 40 no se necesita ningún refuerzo en el nudo. Para tubos de pared más delgada pueden colocarse mamparos circulares [fig. 57 c)] o, mejor, reforzar el tubo del cordón en la zona del empalme con las diagonales [fig. 57 d)].

La unión de los tubos de igual diámetro se hace mediante bridas atornilladas con tornillos de alta resistencia [fig. 58 a) y b)], o por soldadura a tope contra un manguito interior [fig. 58 c) y d)]. Si es necesario cambiar de diámetro puede intercalarse un cono [fig. 58 e)], soldándolo en ambos extremos a los cilindros. Pero es también posible colocar un disco para variaciones pequeñas del diámetro soldando los tubos con costuras en K [fig. 58 f)].

Puede unirse también un tubo perpendicularmente a otro, sin empleo de cartelas (fig. 59). Por cierto, los ensayos ejecutados por W. Kloth comprobaron que se aumentó la tensión normal en el tubo horizontal como consecuencia de la introducción del esfuerzo del montante, pero este aumento queda dentro de límites razonables. No obstante, cuando se intercala una cartela (fig. 60) se produce una acumulación de tensiones cerca de la intersección de la chapa con el tubo, siendo este valor el doble en comparación con el caso anterior.

El cruce de dos tubos se ejecuta también sin emplear cubrejuntas de continuidad (fig. 61). Ensayos ejecutados en Graz comprobaron que, teniendo una cubrejunta, se presentan las primeras fisuras en el tubo en la zona del extremo de la cubrejunta, sin aumentar la resistencia de la unión. Esto se debe al efecto de entalladura causado por el cambio brusco de la sección.

tando paulatinamente la fuerza de tracción en el tubo vertical, se observó que las deformaciones permanecieron reducidas y completamente elásticas hasta llegar a la tensión admisible del acero σ_{ad} . Las primeras deformaciones plásticas aparecieron al alcanzarse el valor de $1,35 \cdot \sigma_{ad}$ y la rotura se produjo a la tensión de $2,70 \cdot \sigma_{ad}$, por fisuración del tubo horizontal. Otros ensayos (fig. 63) mostraron también fisuras en la costura de ángulo cuyo espesor era solamente igual al espesor de pared del tubo. Sin embargo, en tubos soldados con un pequeño exceso del espesor de la costura o con una costura en K, fueron fisuras en la superficie del cilindro las que causaron la rotura de la unión.

El ensayo con un cruce de tubos sin cubrejunta está representado en la figura 62. Aumen-

Naves con estructuras tubulares

Se ha construido en Graz una nave para las ferias de primavera y otoño, empleando para la construcción del techo un emparrillado de vigas reticuladas, de sección triangular, formadas por tubos (fig. 64). La idea del arquitecto fue crear una construcción ligera y visible, que simbolizara la elegancia y la tersura de la construcción de acero. Por esto se colocaron las cuatro columnas que soportan el techo en el interior de la nave (fig. 65), de forma que los montantes de las paredes no tuvieran cargas verticales. La estructura de las paredes resulta así muy ligera (fig. 66). Se construyeron las vigas reticuladas de sección triangular (dos cordones superiores y un cordón inferior) mediante tubos, soldando todo el emparrillado en el piso y levantándolo de una vez a sus apoyos sobre las columnas. Los tubos se prestan muy bien para formar estructuras espaciales, porque el empalme de las diagonales con los cordones puede ejecutarse con ángulos arbitrarios, no necesitándose ningún elemento auxiliar, como, por ejemplo, cubrejuntas, cartelas, etc. (fig. 67).

Los apoyos del emparrillado sobre las cuatro columnas están formados solamente por una esfera maciza a la cual acometen los tubos de las vigas (figs. 68 y 69). Esta esfera se apoya en una placa gruesa ahuecada en forma de plato; lleva como anclaje un perno vertical para resistir la succión del viento sobre el techo.

La cubierta está constituida por chapas de scobalite (resina de poliéster) onduladas en forma de greca, que engranan en un peine dentado sin necesitar tornillos de fijación. Es una variación del techo FURAL que emplea chapas muy delgadas de aluminio.

El aeropuerto de Innsbruck (fig. 70) tiene una estructura metálica ligera completamente soldada en taller y en obra. El edificio principal de dos pisos y de 68×40 m en planta, tiene una estructura tubular con jácenas y correas reticuladas de sección triangular (fig. 71). La gran rigidez a la torsión hizo posible soldar las jácenas en toda su longitud de 40 m en el suelo, levantándolas mediante dos plumas hasta sus apoyos sobre las columnas, empotradas en las cimentaciones. Las correas, construidas también con tubos muy delgados, forman con las jácenas un emparrillado rígido, que no necesita arriostramientos transversales. El deta-

62

63

64

65

66

67

68

70

71

69

72

73

[illegible]

El aeropuerto de Innsbruck es un buen ejemplo de una estructura metálica ligera. Las secciones triangulares de las jácenas y correas y las columnas empotradas en las dos direcciones, posibilitan la omisión de todos los arriostrados, dando así al arquitecto plena libertad en la explotación del espacio y permitiendo un cambio futuro en la subdivisión interna si fuera necesario. Pero las secciones triangulares de vigas y correas permiten también la conducción de los tubos de la instalación eléctrica, de la calefacción, de agua y gas, etc., por el interior de estas estructuras, lo que ahorra muchos gastos. La economía en peso de acero en las estructuras tubulares es relativamente grande. Ello se debe a su comportamiento muy favorable frente al pandeo, a la disposición sencilla de los nudos y a la posibilidad de una buena adaptación del diámetro y del espesor a las leyes de esfuerzos. Si se dispone de una máquina moderna para trabajar y adaptar los extremos, no se aumentan los costes de taller en relación con los de la construcción tradicional.

[illegible]

76

77

78

79

80

81

82

función estructural; y también para reducir el volumen del espacio cubierto (fig. 79). Para este caso se prestan muy bien los pórticos de dos articulaciones, de sección triangular y formados por tubos. Se colocan, generalmente, dos cordones inferiores y un cordón superior, acortando así la luz de las correas. El entramado que soporta las placas del techo está suspendido del dintel del pórtico, por tubos que atraviesan la cubierta en la vertical de los nudos. Los cerramientos se apoyan de igual manera en los montantes del pórtico. La sección triangular de la estructura principal, garantiza una gran rigidez contra el pandeo lateral, durante el montaje y bajo la carga útil, no necesitándose arriostramientos en el cordón comprimido. Se intercala una esfera en el nudo correspondiente al ángulo del pórtico, soldando a ella los tubos que a dicho nudo acometen mediante cordones de ángulo. En la figura 80 puede verse el detalle de unión del entramado secundario con el pórtico. Puesto que los tubos de suspensión atraviesan la cubierta, debe prestarse mucha atención a una buena impermeabilización, la que se puede lograr con relativa facilidad al tratarse de tubos en vez de perfiles con aristas.

El empalme del dintel reticulado de un pórtico de varios pisos con un soporte de perfil I está representado en la figura 81. Con vigas formadas por tubos pueden lograrse económicamente luces relativamente grandes, no necesitándose disponer columnas en el interior del edificio.

Si se tienen arriostramientos verticales en un edificio de varios pisos, los columnas están solicitadas preferentemente a compresión. En este caso pueden materializarse estas columnas mediante tubos (fig. 82). La unión del tubo con el dintel se ejecuta mediante tornillos de alta resistencia o bien soldándola en la obra.

p

Vigas reticuladas con diagonales de redondo

Se usa frecuentemente la viga «R» para correas y viguetas de forjado [fig. 33 (pág. 123, Parte I, núm. 193 de esta Revista)]. Se han desarrollado varios tipos, a saber: la viga de alma simple con cordones de perfiles $\perp$ (o I cortado longitudinalmente), la viga de doble alma con cordones de perfiles $\sqsubset$ (o chapas plegadas), la viga de cajón con cordones de perfiles angulares. En todos estos casos las diagonales están formadas por redondos. Ustedes ven las dos posibilidades de disposición del redondo. En el segundo caso se obtiene una longitud de pandeo más corta para la barra comprimida, pero con una longitud total mayor del zigzag de reticulado.

Se mejora la soldadura entre diagonal y cordón, recortando en el alma un pequeño segmento de círculo que se adapta a la curvatura de la diagonal (fig. 84). En la figura 85 se ve la correa de una estructura en diente de sierra que se ha ejecutado de esta manera. Los extremos se han aguzado para facilitar la unión con el cordón de la viga reticulada transversal.

84

85

86

87

88

89

En las figuras 86, 87 y 88 se ven algunos ejemplos de construcciones ejecutadas con vigas del tipo «R». Un desarrollo relativamente nuevo es la viga «R» mixta (fig. 89). En este caso trabaja la placa del forjado conjuntamente con la viga «R», necesitándose como cordón superior sólo un redondo para transmitir los esfuerzos a la placa de hormigón.

Las construcciones del sistema "Hösch"

Pueden formarse, mediante una prensa, chapas embutidas que poseen también resistencia a la flexión (fig. 90). Se consiguen así chapas metálicas aptas para cubiertas o forjados. Para lograr una protección muy eficaz contra la corrosión, se aplica en caliente una capa de resina de poliéster que tiene una adherencia muy firme con la superficie del acero, permitiendo también trabajar posteriormente la placa. En la figura 91 se ven vigas de alma llena de distintas alturas proyectadas para apoyo de aquellas chapas, mientras que en la figura 92 está representada la unión correspondiente.

Con este tipo de forjado denominado «Tektal-Dach» (cubierta Tektal) pueden cubrirse económicamente superficies muy grandes con un peso propio reducido, así como también suspender de las vigas un falso-techo aislante (fig. 93). La figura 94 muestra la vista desde arriba de un techo Tektal.

Naturalmente, también es posible montar forjados de piso con placas del tipo Tektal (fig. 94). Observen ustedes las placas ya colocadas y, desde abajo, las placas con las vigas de borde apoyadas en los dinteles de los pórticos. Pueden formarse, mediante plegado en frío, elementos de cerramiento (fig. 96), de aproximadamente 1 m de ancho. La chapa se galvaniza en caliente y la superficie exterior tiene, además, una capa de resina de poliéster. La figura 97 muestra naves industriales con estas placas de cerramiento.

La empresa Hösch ha desarrollado también vigas con cabeza del tipo cajón que tienen una gran rigidez a la torsión. En la figura 98 está representada la viga «Hösch», formándose las cabezas mediante chapas plegadas de tal manera, que se originan perfiles huecos soldados por puntos al alma. Comparando las vigas «Hösch» con vigas comunes del mismo peso de acero, se obtiene con las primeras una seguridad al pandeo lateral cinco veces mayor. Es por esto muy económico aplicar la viga «Hösch» si no se tiene apoyo lateral para los cordones comprimidos. El aumento de la resistencia es

PERFIL	RT 150	RT 200	RT 250	
CORTE TRANSVERSAL				
PESO	kp/m	4,5	5,1	7,50

93

94

95

96

97

17

1	2	3
St.37	St.37	St.37K
p = 155 kp/m	p = 515 kp/m	p = 775 kp/m

98

100

MEDIDAS DE NAVES TRANSVERSALES

TIPO	ALTURA (m)	LUZ (m)	SEPARACION ADMISIBLE EN mm PARA UNA CARGA DE CUBIERTA DE
125/4 S	4.00	12.50	10.00
125/5 S	5.00	12.50	10.00
125/6 S	6.00	12.50	10.00
150/4 S	4.00	15.00	7.00
150/5 S	5.00	15.00	7.00
150/6 S	6.00	15.00	7.00
175/4 S	4.00	17.50	8.50
175/5 S	5.00	17.50	7.75
175/6 S	6.00	17.50	7.00
200/4 S	4.00	20.00	6.25
200/5 S	5.00	20.00	6.25
200/6 S	6.00	20.00	6.25
225/4 S	4.00	22.50	8.50
225/5 S	5.00	22.50	8.50
225/6 S	6.00	22.50	8.50
250/4 S	4.00	25.00	6.75
250/5 S	5.00	25.00	6.75
250/6 S	6.00	25.00	6.75
280/4 S	4.00	28.00	7.00
280/5 S	5.00	28.00	7.00
280/6 S	6.00	28.00	7.00

MEDIDAS DE NAVES CON PUENTE GRUA

TIPO	ALTURA UTIL DEL GANCHO (m)	LUZ (m)
125 K	4.00 m	12.50 m
150 K	5.00 m	15.00 m
175 K	6.00 m	17.50 m
200 K	7.00 m	20.00 m
225 K	8.00 m	22.50 m
250 K	9.00 m	25.00 m

FORMA DE LA SECCION: LOS PORTICOS HOESCH NORMALES ESTAN PROYECTADOS CON SECCION I DE CABEZAS EN CAJON

99

aún más acentuado, tomando en cuenta la elevación del límite de fluencia debida al proceso de laminación y plegado en frío. En el esquema inferior está indicada la carga admisible para la viga clásica, la viga «Hösch» con el límite de fluencia del acero St 37 y, finalmente, la viga «Hösch» con el límite de fluencia elevado, debido al proceso de estirado en frío. Se nota que la viga puede soportar en el último caso cinco veces más carga que en el primero, si su cordón comprimido no está apoyado lateralmente.

Con la viga «Hösch» de tres alturas distintas (fig. 99), pueden formarse pórticos prefabricados desde 12 hasta 25 m de luz (figura 100). Se hace la unión entre dintel y montante mediante chapas frontales, empleando como medios de unión tornillos de alta resistencia (fig. 101). Bajo el apoyo de las correas (vigas de borde de las placas «Tektal») están soldados, en la cabeza de la viga «Hösch», cuatro pernos, que encajan en agujeros de las alas del perfil (fig. 102), colocándose después las tuercas de los per-

nos. En la figura 103 puede verse una nave construida con estos elementos prefabricados, durante la fase de montaje, que se puede hacer en un lapso de tiempo muy corto.

Otro sistema para estructuras de naves industriales, escuelas, viviendas y otras construcciones mediante elementos prefabricados de chapa delgada, se ha desarrollado en Norteamérica. Es el sistema «Butler», que tiene ya una difusión muy grande en U.S.A. (fig. 104). Consta de muy pocos elementos completamente iguales, que se fabrican mediante máquinas automáticas. La figura muestra los pórticos de dos articulaciones tipo «Butler» con las correas y travesaños, durante el montaje. Pueden lograrse con este sistema luces desde 7,3 hasta 36,6 m y distancias entre pórticos de 5,5 a 7,7 m. Se ve la forma del dintel y de los montantes (figura 105), que se adapta muy bien a los momentos flectores para lograr un mínimo de peso de acero. La figura 106 muestra la estructura de la unión del dintel con el montante y la colocación de los elementos de cerramiento, formados con chapa plegada, en los travesaños. La nave terminada, que necesitó un tiempo de construcción de solamente una semana, está representada en la figura 107.

Finalmente, quisiera mostrar a ustedes un sistema de cubierta cuyas correas están formadas de alambres o cables de acero de alta resistencia, pretensados en uno de sus extremos (fi-

101

102

103

104

105

gura 108). En estos alambres están fijadas barras dentadas que soportan chapas plegadas de aluminio de sólo 0,8 mm de espesor. Estas chapas engranan en los dientes de la barra, formando así la estructura resistente y simultáneamente la capa aislante de la cubierta. Este sistema es conocido bajo el nombre «Fural-Maculan», siendo las chapas plegadas con su sistema de engranaje, una invención del ingeniero suizo Furrer, y la combinación de alambres pretensados con el techo «Fural», un desarrollo del ingeniero austriaco Maculan. El peso de la cubierta, incluida la estructura resistente, es solamente de 8 kg/m². Debido al engranaje muy firme de la placa plegada en la barra dentada se obtiene una gran resistencia a la succión del viento, sin necesitar tornillos de fijación. Es claro que el sistema descrito se presta muy bien para cubrir edificios largos o para marquesinas en estaciones ferroviarias. La figura 109 muestra la estructura para un andén de más de 200 m de longitud en Viena. Ustedes pueden notar la estructura del anclaje en un extremo y el detalle del apoyo de los alambres pretensados que soportan la cubierta: una foto de esta construcción con el paño de anclaje se ve en la figura 110.

S

Naves redondas, cubiertas de membranas cónicas colgadas

Voy a terminar mis dos conferencias sobre construcciones metálicas ligeras con un tipo de construcción desarrollado en los últimos años en Austria, cuya cubierta consiste solamente en una chapa de 4 mm de espesor para

106

107

108

A black and white photograph showing a low-angle view of a modern architectural structure. The structure features a series of parallel, curved metal beams that create a rhythmic pattern. The perspective is from underneath the structure, looking up and along its length as it curves into the distance. The background shows a clear sky and some distant trees and buildings.

cubrir naves circulares de hasta 85 m de diámetro. Esto era posible solamente con una membrana metálica en forma de cono, suspendida de un anillo en compresión (fig. 111). Puede emplearse este sistema para naves industriales, así como también para salas de deporte.

El esquema de los medios de transporte interior y exterior está representado en la figura 112. Tres puentes-grúa están suspendidos de un pivote, apoyándose en otro extremo en una viga carril circular. Estos puentes giran alrededor del pivote, levantando la carga mediante carros que puedan pasar de un puente a otro, pero también a través de un portal a un puente-grúa del almacén al aire libre. La nave principal (diámetro 52 m) está rodeada de un anexo anular más bajo, de estructura clásica, que contiene las materias primas, los talleres y los elementos ya preparados.

La foto del interior de la nave principal (fig. 113) muestra la pared, con sus montantes muy finos, los puentes-grúa y la lámina cónica con refuerzos radiales y anulares, en cuya superficie se ha aplicado una capa de mortero de amianto, de un peso específico muy bajo.

Para el montaje de la lámina se usan cables de acero que se extienden desde el anillo de compresión hasta el borde del cono central (figs. 114 y 115). Se ha denominado «araña» esta red de alambres radiales sobre la que se ponen sectores de chapa con refuerzos, soldándolos contra una cubrejunta estrecha.

Se ha construido otra nave industrial (fig. 116) con un disco central de hormigón armado que contiene los aparatos de calefacción y aire acondicionado, formando simultáneamente el lastre para dar una tensión a la lámina cónica. En la figura 117 se ve la estructura muy fina, uno de los cuatro arriostrados verticales y el anillo de compresión compuesto de segmentos prefabricados de hormigón armado. Para unir los segmentos se sueldan las armaduras y se hormigona la junta como muestra la figura 118, en la cual pueden observar una faja de la chapa, unida firmemente con el segmento de hormigón, soldándola posteriormente con los primeros sectores de la lámina cónica.

Sin embargo, este sistema de nave de planta circular con cáscara cónica suspendida encontró una mayor aplicación para salas de deporte. En la figura 119 puede verse un proyecto para una planta deportiva cubierta con una lámina cónica, cuyo círculo de base tiene un diámetro de 56 m. Los montantes inclinados soportan al anillo de compresión; la chapa del cono es sólo de 4 mm de espesor. En este caso puede prescindirse de refuerzos contra el pandeo local de la chapa, debido a cargas asimétricas y succión del viento, a causa de la colocación de un disco de hormigón en el centro que actúa como contrapeso, dando un pretensado a la lámina. La distribución de las tribunas (figura 120) demuestra claramente

112

113

114

115

116

118

117

119

que se puede colocar en este caso, con ventajas, una pista rectangular para poder practicar deportes muy diversos. En la última diapositiva (figura 121) se ve una nave construida recientemente en Viena para juegos de pelota. Se han construido en este caso los montantes de hormigón armado y ustedes pueden observar cómo se pierde la tersura de la estructura, comparándola con otra de montantes de acero.

En Alemania, las autoridades superiores del deporte normalizaron las naves de planta circular para deportes en pista cubierta.

Observaciones finales

Señores: estoy llegando al fin de mis exposiciones sobre construcciones metálicas ligeras. Fue mi intención el señalar que este tipo de estructura difiere en puntos esenciales de la estructura metálica clásica, encontrándose estas diferencias tanto en el concepto de la teoría y el dimensionamiento, como en la fabricación de los elementos estructurales.

En el próximo futuro se espera una economía creciente mediante el aprovechamiento completo de la elevación del límite de fluencia del acero, debida al proceso del estirado en frío (laminar o plegar). La A.I.P.C. está desarrollando un programa internacional de ensayos con el fin de dilucidar este problema. El límite de fluencia elevado en las aristas por el proceso de plegado puede ser muy ventajoso para resistir a las tensiones, elevadas en esta zona, como consecuencia del pandeo de la parte vecina de la chapa. En las Normas americanas se usa un poco de esta reserva; pero estoy seguro de que es posible ampliar su utilización, si se dispone de suficientes resultados de ensayos.

La teoría de las estructuras metálicas ligeras y su cálculo práctico deben basarse en el estado postcrítico, exigiendo una cierta seguridad contra la rotura de la construcción, porque el estado de tensiones bajo la carga de servicio no puede servir como criterio de la resis-

tencia. Se ha comprobado teóricamente, y por ensayos, que la reserva postcrítica depende esencialmente del sistema y del estado de tensiones considerado. Pero esta reserva puede ser bastante grande, permitiendo un dimensionado más económico.

En estructuras metálicas ligeras se trabaja casi siempre con chapas muy delgadas. Es por esto muy importante desarrollar máquinas para confeccionar los elementos estructurales, pero debe prestarse mucha atención a emplear pocos elementos diferentes en la construcción.

Es evidente que se prefiere soldar —con muy pocas excepciones— las uniones en el taller, mientras que en la obra se aplica la soldadura, pero también los tornillos de alta resistencia. Las uniones clásicas con remaches o tornillos, solicitados al corte y a la presión contra la pared del agujero, tienen la desventaja de que esta última sollicitación es decisiva para el número de los remaches o tornillos cuando se trata de chapas muy delgadas, mientras que la unión con tornillos de alta resistencia trabaja al rozamiento, siendo la carga admisible independiente, generalmente, del espesor de las chapas. En estructuras con chapas delgadas tiene una aplicación creciente la soldadura por puntos, reduciéndose así no solamente el volumen de la soldadura, sino también la incurvación de las chapas, evitándose así deformaciones antes de la carga del elemento. Esto es muy importante para el peligro de pandeo de las chapas bajo sollicitaciones de compresión o de esfuerzo cortante.

Con chapas plegadas, tubos, acero redondo y cables pueden crearse también estructuras nuevas, que difieren esencialmente de las estructuras clásicas. Quisiera recalcar aquí las vigas reticuladas sin cartelas de nudo. Las estructuras de celosía espacial formadas por tubos, soldando los nudos a pie de la obra o utilizando tornillos de alta resistencia para esta unión, y, finalmente, las láminas metálicas de chapas muy delgadas, empleándolas para formar elementos o cubiertas enteras.

Debe pensarse siempre en el hecho indiscutible de que la economía de peso no significa necesariamente un ahorro de costes. Es por ello indispensable el buscar el punto óptimo entre peso de acero, costes de fabricación y de montaje y, por último, mantenimiento y duración de vida de la obra, sin dejar de lado las exigencias estéticas de una edificación moderna.