

CONSTRUCCIONES EN MADERA

COSTILLAS DE ALA por Carlos A. Lorenzo

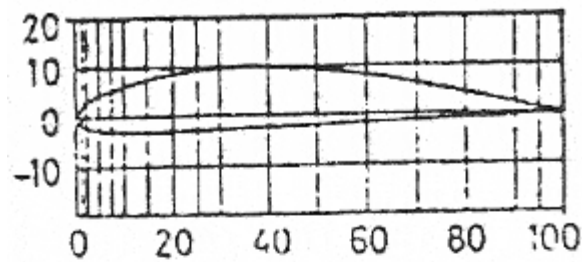
1) DIBUJO DE LAS COSTILLAS (Perfil)

Para comenzar a construir las costillas debemos primero tener los dibujos de las mismas al tamaño natural. En algunos juegos de planos ya viene(n) la(s) costilla(s) dibujada(s) al tamaño natural o se venden por separado dichos dibujos. Otros diseñadores incluyen en los planos solamente la "Tabla" para dibujar el perfil, con costillas dibujadas a escala indicando los detalles constructivos. En ese caso, o en caso de ser uno mismo el que elige un determinado perfil, la forma de llevarlo al tamaño real es relativamente sencilla. Encontraremos por lo menos tres sistemas o formas diferentes de brindar los datos para dibujarlo:

1.1) Sistema N.A.C.A. (actual N.A.S.A.) U.S.A.

Este sistema, quizá el más difundido, se basa en un sistema de ejes coordenados, tomando la cuerda del ala como eje de las abscisas con origen en el borde de ataque, donde cada punto de referencia tendrá una abscisa "X" y una ordenada "Y", que se toma sobre la perpendicular de la línea, por encima y por debajo de la abscisa "X", correspondiendo uno al extradós y el otro al intradós.

Todos los perfiles están acotados con valores que representan porcentajes de lo que mide la cuerda. Para dar un ejemplo, tomemos el perfil NACA 4412 (que es uno de los mejores de los NACA de cuatro cifras, y el más semejante al legendario "Clark Y") donde vemos, en la fig. 32 la tabla de porcentajes correspondiente.



NACA 4412

(Stations and ordinates given in
per cent of airfoil chord)

Upper surface		Lower surface	
Station	Ordinate	Station	Ordinate
0	0	0	0
1.25	2.44	1.25	- 1.43
2.5	3.39	2.5	- 1.95
5.0	4.73	5.0	- 2.49
7.5	5.76	7.5	- 2.74
10	6.59	10	- 2.86
15	7.89	15	- 2.88
20	8.80	20	- 2.74
25	9.41	25	- 2.50
30	9.76	30	- 2.26
40	9.80	40	- 1.80
50	9.19	50	- 1.40
60	8.14	60	- 1.00
70	6.69	70	- 0.65
80	4.89	80	- 0.39
90	2.71	90	- 0.22
95	1.47	95	- 0.16
100	(0.13)	100	(- 0.13)
100		100	0

L.E. radius: 1.58
Slope of radius through L.E.: 0.20

Fig.32

Lo primero que tenemos que hacer es confeccionamos la(s) tabla(s) donde figuren directamente los valores correspondientes a las(s) medida(s) de la(s) cuerda(s) del ala de nuestro avión. Utilizando una calculadora, ponemos como constante la medida de nuestra cuerda y multiplicando por los porcentajes que indica en cada columna, obtenemos los valores para armar nuestra(s) tabla(s).

Quizá lo más práctico (por lo menos lo es para mí) sea usar el centímetro como unidad y trabajar con dos decimales, dado que, si consideramos que el trazo de la mina de nuestro lápiz (o lapicera, o "Rotring") es como

mínimo de 0,02 cm, con más decimales no ganaremos en exactitud. Con todos los números ya encolumnados y verificados, procederemos entonces a comenzar a dibujar el perfil.

Pero antes debemos determinar sobre qué material vamos a dibujarlo: si sobre un papel o sobre una madera. Si lo hacemos sobre un papel (que luego deberemos pegarlo sobre una madera), que sea un papel relativamente grueso, por lo menos como el de los juegos de planos.

También es bueno hacerla sobre un papel tipo "Contact" o autoadhesivo, ya que nos facilitará luego el pegado en la madera.

Si lo dibujamos sobre la madera, nos conviene hacerla directamente sobre la definitiva: en el caso que las costillas sean del tipo de las armadas con varillas y "pañuelitos", elegiremos una madera maciza plana de unos 18 mm de espesor, o terciada o un aglomerado del mismo grosor, que utilizaremos luego para construir el molde. Si las costillas son caladas en terciada, nos conviene dibujarla directamente sobre dicha terciada, la que posteriormente nos servirá como plantilla. Una vez elegida la madera que corresponda, lijaremos una de sus caras, terminándola con lija muy fina hasta que quede una superficie bien lisa y suave, para que la mina del lápiz o lapicera pueda deslizarse sin tropiezos.

Ya sea sobre papel o sobre la madera elegida, comenzaremos el dibujo trazando una línea horizontal del largo de la medida de la cuerda, sobre la que ubicaremos los puntos a partir del borde de ataque, a las distancias especificadas en la primera columna ("Station": punto de marca) por las cuales trazaremos líneas perpendiculares.

Iniciando el proceso para determinar los puntos que delinearán el perfil, tomemos los valores de la segunda columna ("Upper Surface": extrados) y lo transportaremos sobre las verticales trazadas, hacia arriba de la línea horizontal.

Luego, con los valores dados en la cuarta columna ("Lower Surface": intradós), haremos el mismo procedimiento pero hacia abajo (números negativos). Claro está que si el perfil tiene un intradós muy convexo, puede haber puntos con valores positivos, o sea hacia arriba de la línea, como en el caso del perfil FX 61-163, del tema siguiente.

Recomiendo que tanto los valores obtenidos de la tabla, como las medidas trasladadas al dibujo, las controle por lo menos una vez más, para estar absolutamente seguro de no haber cometido algún error. Entonces ahora sí, uniendo todos los puntos marcados queda delineado el perfil.

Para dibujar curvas muy suaves y alargadas podemos valemos de una varilla de madera, preferentemente de balsa, aunque lo más práctico es utilizar un pistolete flexible, (Fig. 33), que nos permite también dibujar las curvas cercanas al borde de ataque que son un poco más cerradas o, si no disponemos, nos podemos arreglar con un trozo de alambre dulce, dándole la forma de a poco. Por último, para las curvas muy cerradas, donde curvar el pistolete flexible podría llegar a estropearlo, podemos recurrir al uso de diferentes pistoletes.

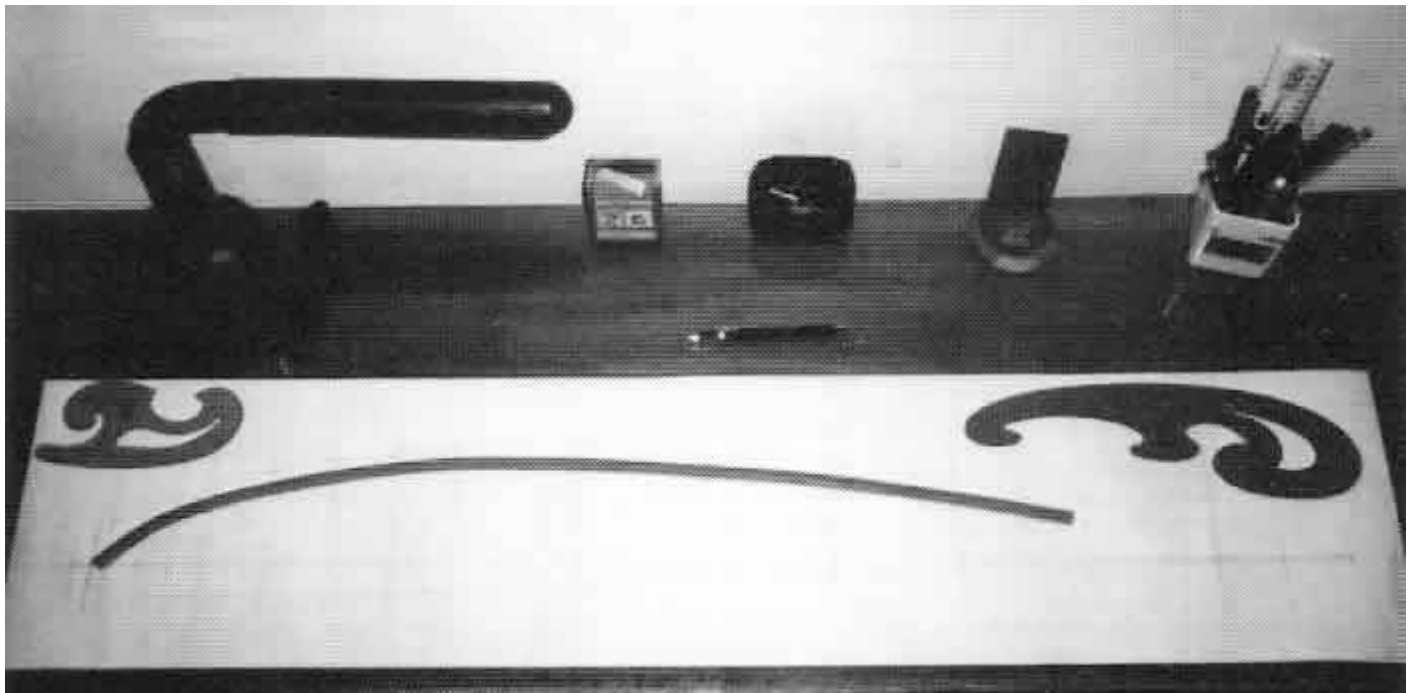


Fig.33

A esta altura del dibujo habrá observado que el borde de ataque queda "abierto", sin delinear. Para completarlo, primero debemos dibujar un arco de círculo cuyo centro se determina con los datos que figuran al pie de la tabla, en este caso: "L.E. Radius" (radio del borde de ataque): 1 ,58 Y "Slope of radius through L.E." (pendiente del radio a través del borde de ataque) : 0,20. El radio del borde de ataque de un perfil es el radio de un círculo que dibuja la "nariz" del perfil. Si suponemos que por ejemplo nuestra cuerda mide (para facilitar esta explicación) 100 cm, el 1 ,58 % de 100 nos dará un radio de 1 ,58 cm y la pendiente de la línea sería 0,2 % de la cuerda, lo que significa que la pendiente será 0,2 cm cada centímetro o sea 0,32 cm para 1,58 cm. Para determinar el centro del arco de circunferencia procederemos de la siguiente manera: trazamos una recta inclinada que nazca en la intersección de las coordenadas y a 1,58 cm sobre X se elevará 0,32 cm. Y ahora midiendo sobre la pendiente, marcaremos un punto a 1,58 cm donde quedará determinado el centro del círculo. ver Fig 34

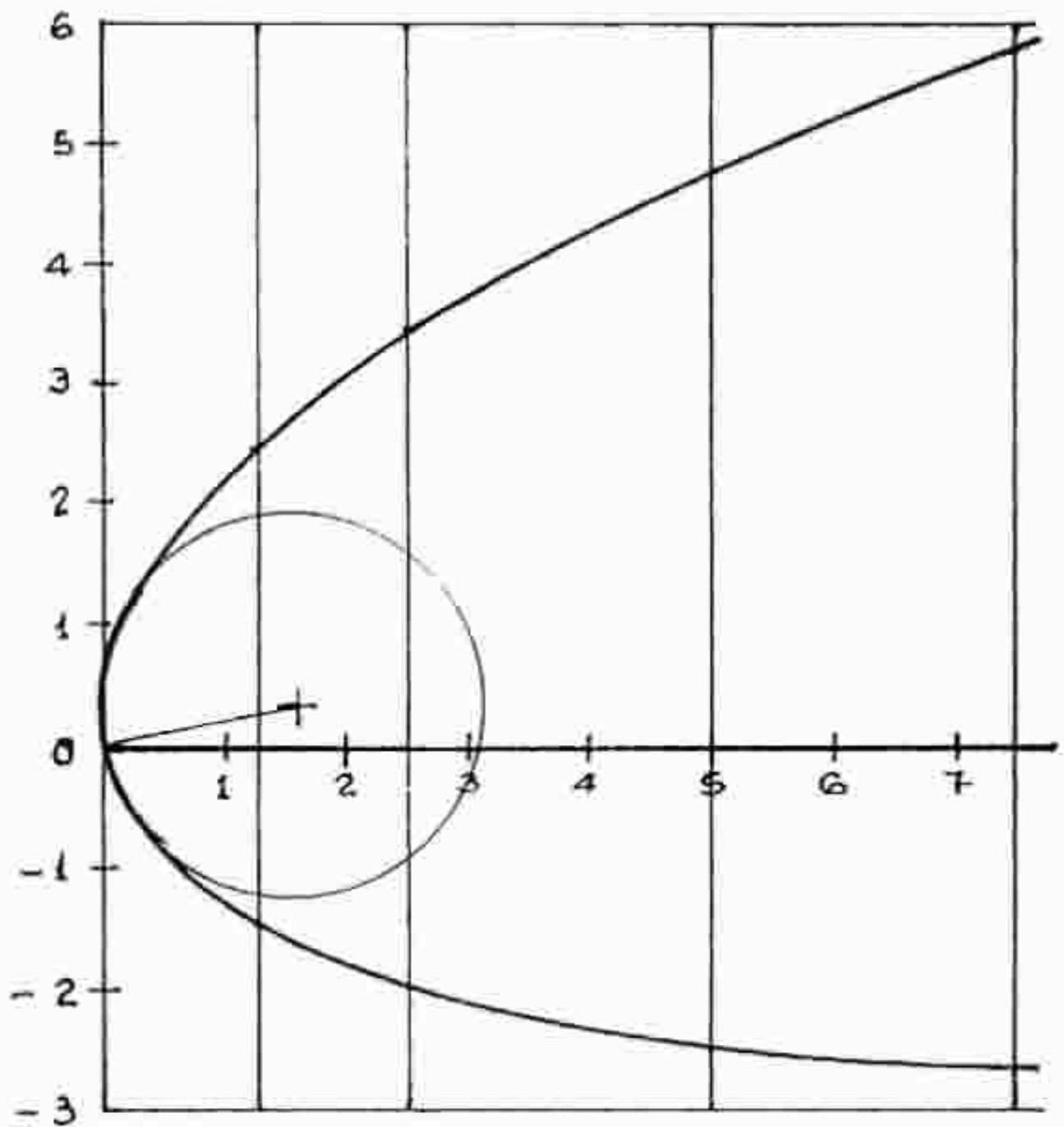


Fig.34

Le parecerá un error que este método haga que el arco del círculo se proyecte levemente delante de la línea del borde de ataque, pero es lo correcto, dado que así está especificado en la página 113 del libro "Theory of wing sections"

Una vez trazado el círculo deberemos luego con un pistoleta hacer las pequeñas líneas que terminan de cerrar el borde de ataque.

Como dato adicional, debemos agregar que el radio del borde de ataque de un perfil tiene un fuerte efecto, tanto en sus características de pérdida

como en su máximo coeficiente de sustentación. En general, se puede afirmar que incrementando el radio del borde de ataque debe incrementar su coeficiente de sustentación y hacer que la pérdida sea más suave. Esta delicada propiedad de la "nariz" del perfil, hace que debamos poner cuidado para dibujarla y construirla correctamente.

Hasta aquí hemos dibujado el contorno del perfil. Ahora hay que completar el dibujo de la costilla. Si son costillas armadas, comenzaremos trazando una línea interna paralela al contorno, con el espesor de la varilla que vamos a usar. Luego hay que marcar la ubicación de los largueros y a partir de allí, trazamos la línea de todos los travesaños y pañuelitos de refuerzos de terciados, quedando así completado el dibujo de la costilla.

Si las costillas son caladas en terciadas, dibujaremos primero (al igual que en la anterior) la ubicación de los largueros y luego los huecos de alivianamiento, ya sean triangulares o redondos.

Es obvio aclarar que si el ala del avión es de forma trapezoidal, deberemos confeccionar las tablas de medidas y el dibujo de cada costilla de acuerdo a las diferentes cuerdas que conforman el ala.

1.2) Sistema Universidad de Stuttgart, Alemania: Perfiles Eppler y Wortman:

También se basan en el mismo sistema de ejes de coordenadas, por lo que el método es similar al de los N.A.CA, pero con la diferencia que, como podemos observar en la tabla del perfil Wortman, FX 61-163 de la fig. 35, en vez de tener como origen el borde de ataque, comienza por el borde de fuga.

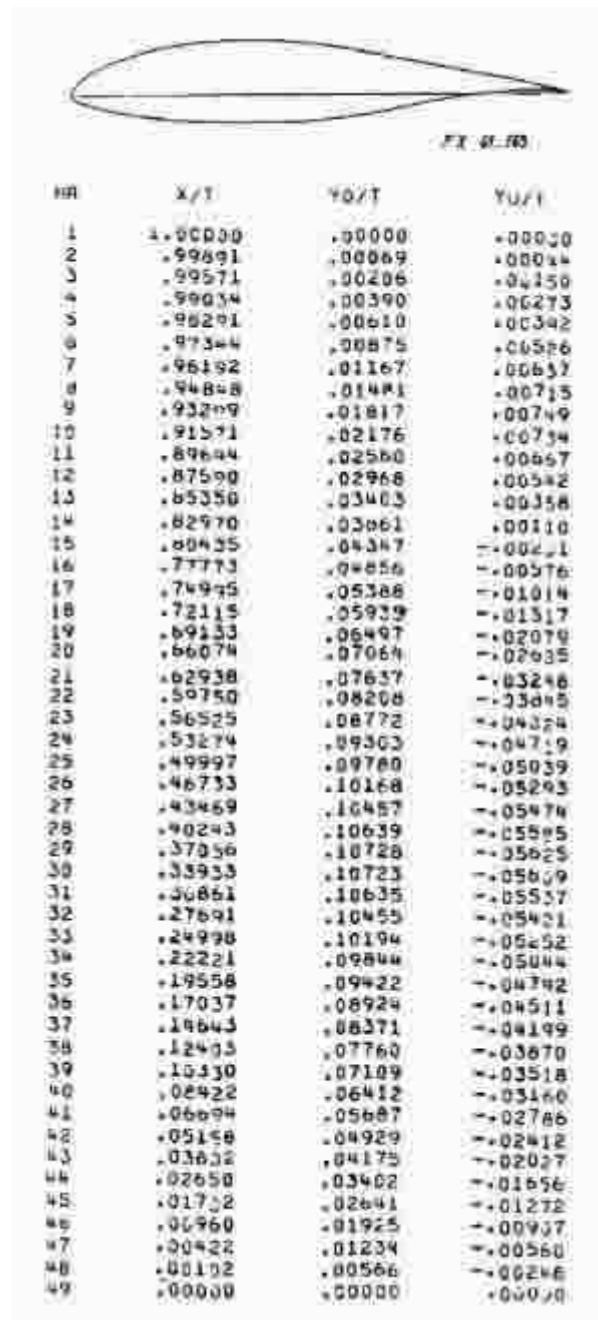


Fig.35

Así mismo observamos que en vez de delinear el borde de ataque por medio de un radio de curvatura, lo hace intercalando muchos valores cerca de esa zona, conformando la nariz del perfil en forma detallada. En general, los perfiles FX (Wortman) y E (Eppler) son configurados con una mayor cantidad de puntos que los N.A.C.A, pudiendo contar entre 44 y 49 puntos sobre el eje de las "X" en los primeros y sólo entre 18 v 28 puntos en los segundos. Como dato adicional diré que todos los perfiles Wortman y Eppler son diseñados eminentemente para ser usados en planeadores y este perfil en particular, que posee un espesor máximo de 17% al 30% de la cuerda fue usado en nuestro añorado planeador ASW 15, en el Argentino Lenticular, en los Schreder "HP -14 y en los Lark IS-28; IS-29 e IS-30 entre otros.

1.3) Sistema Universidad de Glasgow, Escocia, perfiles GU:

Esta vez el procedimiento de delinear el perfil difiere levemente, siempre dentro del sistemas de ejes de coordenadas. Para que sea más sencillo de explicar tomemos como ejemplo el perfil "GU 25-5(11)8, cuya forma y tabla respectiva puede verse en la Fig 36

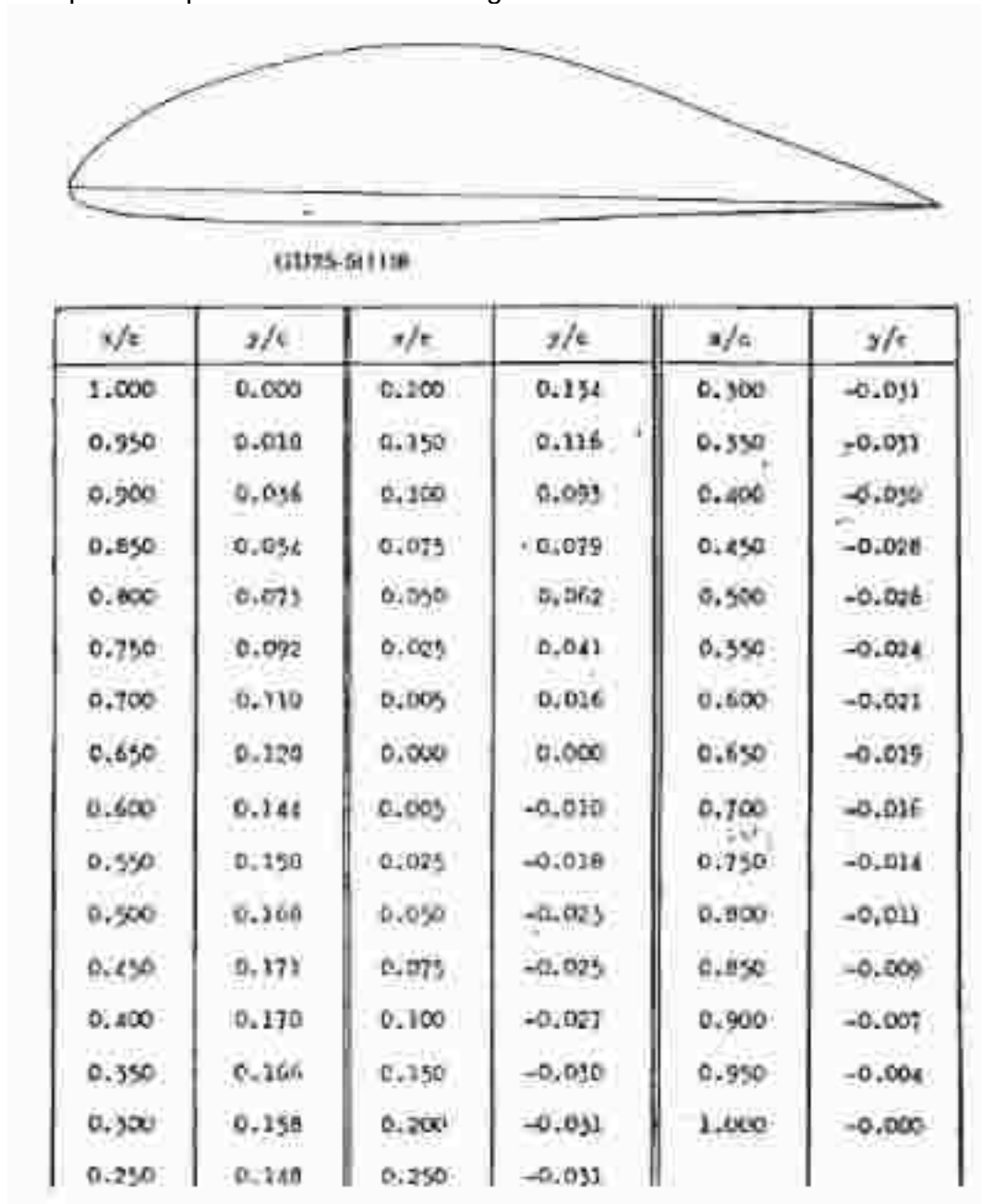


Fig.36

Como se observará en la tabla (que tiene la particularidad de tener solo dos columnas), también comienza desde el borde de fuga al igual que los de la Universidad de Stuttgart, con la particularidad de determinar primero todos los puntos del extradós y luego pasando por el borde de ataque, comienza a determinar todos los puntos del intradós hacia el borde de fuga, como en una "envolvente".

Este perfil laminar con un espesor del 20% al 41 % de la cuerda, de excelente coeficiente de sustentación y con muy baja resistencia al avance fue usado en el estabilizador de los aviones canard Vary-Eze, Long

Ez, Quickie, Q2 y Dragonfly, también fue el elegido por el diseñador Valentín Alfonso para su motovelero Libelus, presentado en la 15 Convención de la EAA. Argentina 1997.

Es interesante conocer que el GU 25-5-(11) 8 fue desarrollado en Escocia por la Universidad de Glasgow para ser usado en aviones potenciados por fuerza humana.

Si bien es cierto que tiene excelentes cualidades, lamentablemente, como ocurre siempre en aeronáutica, nunca se consigue algo por nada, también tiene un defecto: no es muy tolerante a los errores de fabricación, ya que sufre una serie de pérdidas de performance, si su superficie no es extremadamente lisa. Por el mismo motivo, también sufre una degradación en su performance en presencia de lluvia o insectos pegados en su borde de ataque, comportándose en esa situación como un perfil común.

CONSTRUCCIÓN DE LAS COSTILLAS

Una vez que tenemos el dibujo de la(s) costilla(s) al tamaño natural, ya sea porque lo dibujamos nosotros o porque ya haya(n) venido impresa(s) en el juego de planos, comenzaremos la construcción de las mismas. Existen dos formas básicas para construir costillas: las costillas armadas y las costillas de terciada. Haré una descripción detallada de cada una:

2) COSTILLAS ARMADAS:

A su vez, dentro del grupo genérico de "costillas armadas", encontramos dos sistemas diferentes de construir costillas armadas: Sistema clásico y sistema "geodésico".

2.1) Sistema clásico: Es el tipo de costilla que armamos eminentemente con varillas y pañuelitos de terciada como refuerzo de las juntas (ver Uniones de Tope). Esta técnica de construir las costillas no ha variado desde 1903 y aún hoy representa el tipo de armado más resistente y liviano que se conoce (aunque no el más rápido de hacer).

En el caso que la(s) costilla(s) venga(n) dibujada(s) en el plano, lo primero que hay que hacer es verificar las medidas, ya que al hacer las copias heliográficas o fotocopias, puede haber corrimientos entre el original y la copia, debido al deslizamiento de los rodillos de la copiadora, y variar así sensiblemente su longitud. Si llega a detectar variaciones, no le queda otro camino que dibujarlas íntegramente, como se explicó.

2.1.a) Armado del molde: El primer paso consiste en pegar dichos dibujos sobre la madera elegida. En este punto es interesante tener en cuenta dos detalles importantes para no malograr el trabajo:

1°) Corte una tira paralela de papel que contenga la costilla, para facilitar la tarea de pegado, porque si recorta el papel con la forma de la costilla, una vez aplicado el adhesivo le será prácticamente imposible pegarlo bien, sobre todo en la zona triangular del borde de fuga, que se deforma.

2°) Use cemento de contacto para pegar todo tipo de plantillas de papel sobre madera o metal. Nunca utilice colas que contengan agua, ya que además de dejar sin consistencia el papel, la humedad hace que se dilate y pueda llegar a diferir en varios e importantes milímetros con respecto al original (sobre todo si es una plantilla larga como la de una costilla).

Una vez que tenemos la plantilla pegada (o hecho el dibujo de la costilla) sobre la madera elegida, procedemos a construir el molde. Desde ya, si el ala es de planta trapezoidal, deberemos armar tantos moldes como costillas diferentes necesite el ala.

Para comenzar, la cubrimos con un nylon transparente para evitar que el trabajo se pegue a la madera.

En cuanto a este tema, el constructor y autor Tony Bingelis (en un artículo de la revista «Sport Aviation» de febrero del '94), comenta que prefiere eliminar la necesidad de cubrir toda la tabla con polietileno o nylon, para lo cual perfora en la misma un agujero de 25 mm en cada una de las uniones, aduciendo que luego la costilla sale más fácil del molde. Esto efectivamente previene que se pegue el trabajo al molde, pero también comenta que como la resina escurre hacia abajo y se endurece sobresaliendo en la superficie inferior, se hace necesario, antes de pegar los pañuelitos de esa cara, emparejar cada junta con una lija o una lima, lo cual representa un trabajo extra.

Tenga preparados muchos taquitos de madera (unos 40 a 70, de acuerdo al tamaño y tipo de perfil) de aproximadamente 5 x 1 o 6 x 2 cm, los que conformarán el molde y que servirán de guía para construir las costillas. Comience clavando o atornillando los taquitos del lado exterior de la costilla, que son los delimitantes del perfil, bien "arrimados" a la línea del dibujo. Luego cortamos las dos varillas que harán de extradós e intradós y tomando una de ellas, la vamos colocando apretadamente contra los bloqueitos ya puestos, clavando los del lado interior en lugares estratégicos, con el objetivo que la varilla vaya copiando las curvas del perfil o sólo para guiar las partes rectas y para mantenerlas firmes en su lugar, tal como muestra la Fig. 37.

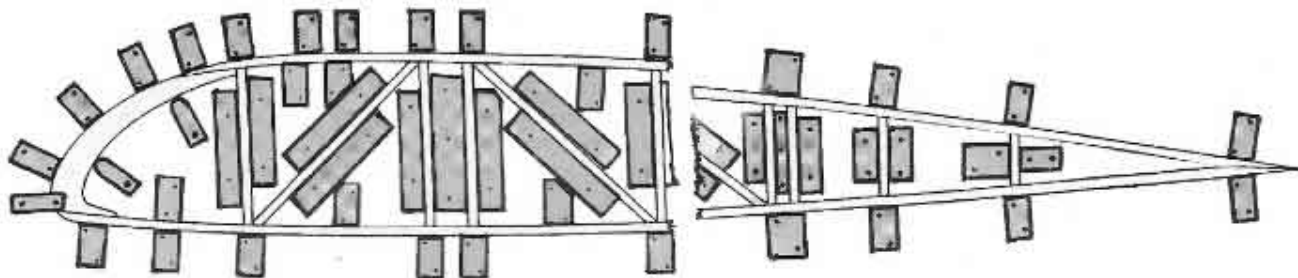


Fig.37 Ejemplo de molde clásico para construir costillas

Con respecto a estos taquitos podemos mencionar cuatro detalles importantes a tener en cuenta:

- 1) La ubicación de los mismos: No hay ninguna «regla» para esto, pero sí tenga en cuenta que exteriormente debe colocarse por lo menos uno sobre cada unión de los travesaños, para evitar que el contorno se «abra» deformando el perfil.
- 2) Lejos de las uniones: Los taquitos internos y los que guían a los travesaños y diagonales hay que evitar que lleguen cerca de las uniones, para que el adhesivo no se pegue a ellos y nos impida retirar luego la costilla de su molde.
- 3) La altura o espesor de los mismos: Debe ser ligeramente inferior al de la varilla de las costillas, para permitirnos pegar luego todos los pañuelitos

de esa cara sobre el mismo molde. Personalmente para fabricar los taquitos utilizo restos de terciada de 6 mm si trabajo con varillas de 8 mm de espesor, y para varillas de 6 mm uso trozos de terciada de 4 mm.

4) El hueco para el larguero: Debemos cortar un taquito (o dos, si el ala es bilarguera) con el ancho exacto del larguero, para dar cabida a éste en forma correcta (observar Fig. 37). Proseguimos clavando o atornillando primero el o los taquitos que «rellenan» el hueco del o los largueros y luego, usando como guía un trocito de varilla de las costillas, vamos poniendo los taquitos para guiar los travesaños adyacentes al larguero principal, siguiendo ahora con las diagonales y verticales hacia su derecha e izquierda. Por último, ponemos el correspondiente al del borde de ataque, si éste necesitara alguno especial.

Con respecto a la conformación de los bordes de ataque, cada diseñador, de acuerdo a la forma del perfil o a la dificultad de su curvatura, elige el sistema de conformarlo, el cual tiene efecto sobre las características del perfil.

En algunos casos observará que la varilla del extradós llega hasta muy cerca de la «nariz» del perfil (como la de la Fig. 41), formando una curva relativamente cerrada como para que la varilla no se rompa al tratar de arquearla. De ser así, los primeros 20 o 30 cm de la misma hay que embeberla en agua caliente y ponerla en el molde hasta que se seque totalmente (a veces hay que esperar hasta 24 hs).

En otras oportunidades la «nariz» del borde de ataque está compuesta por una terciada con su forma exacta (observar Fig. 37), en la cual la varilla del extradós forma una curva suave. En ambos casos hay que tener previamente cortadas las piezas de terciada del borde de ataque, antes de comenzar a armar las costillas.

El próximo paso consiste en cortar todos los travesaños y diagonales con el largo exacto, poniéndolas en su lugar para probar que entren bien y no haya que hacer retoques.

Casualmente, el trabajo de cortar los numerosos travesaños y diagonales que conforman las costillas, se puede aliviar y acelerar construyendo una guía para cortes.

El constructor Arthur W. Ord-Hume, en una serie de artículos escritos en la revista «Sport Aviation» de los años 60/61, nos da la idea de armar esta sencilla guía (Fig. 38) con dos tablitas de madera dura de 25 x 6 mm por el largo necesario, pegadas a los costados de una de las varillas que usaremos para construir las costillas.

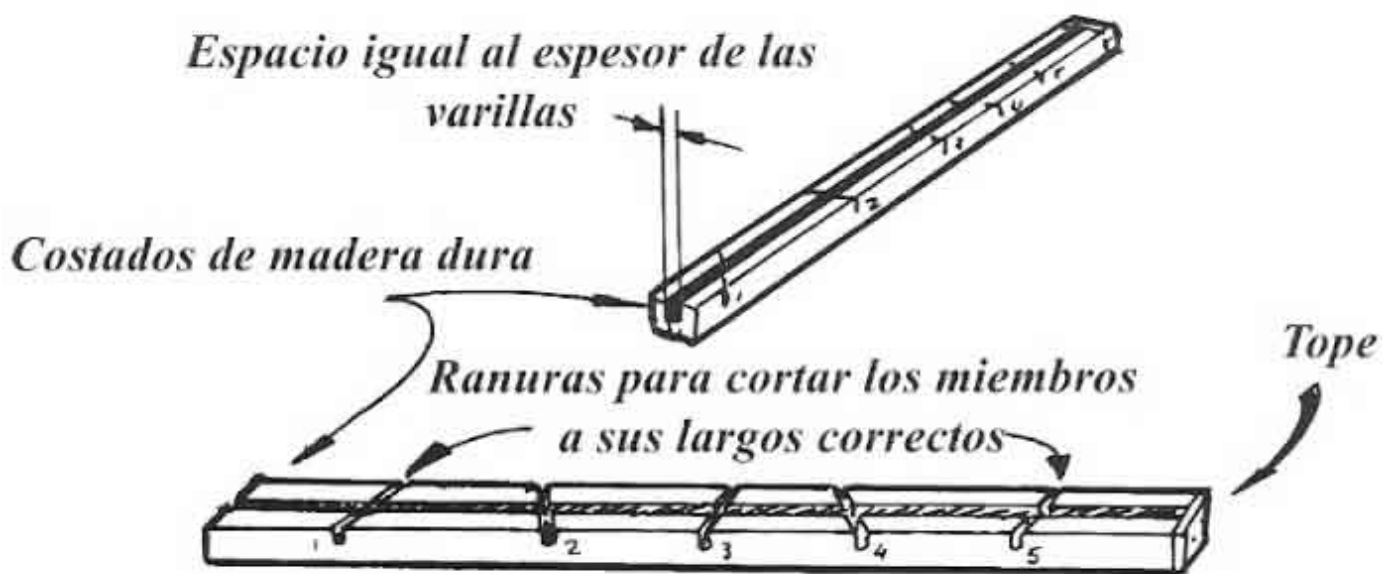


Fig.38 Práctica guía para cortar los miembros de las costillas

En un extremo se pone una «tapa» y, a partir de allí, marcamos cuidadosamente todos los largos necesarios con sus respectivos ángulos, donde haremos el corte con un serrucho de costilla, transformando la guía en una pequeña «caja de ingletes». Podemos numerar cada corte (en el dibujo figuran sólo cinco, pero podemos hacer todos los que necesitemos) y, según sugiere Ord-Hume, hasta podemos darle un código de colores, pintando por ejemplo del 1 al 5 de rojo, del 6 al 9 de azul, del 10 al 14 de amarillo, etc. Numere cada una de esas piezas (con números que previamente hemos puesto en nuestra plantilla) y haga pilitas individuales de ellas, o sepárelas en vasos descartables o latas vacías de gaseosa. Existen dos «escuelas» de cómo cortar las diagonales de las costillas: una sostiene que hay que cortar sus extremos con el o los ángulos correctos. La otra afirma que se pueden cortar en escuadra, porque si bien no cubren perfectamente el ángulo, el pañuelito de terciada refuerza convenientemente dicha unión (Fig. 39). Haga su elección o aplique la que le indica el plano, porque las dos son válidas.

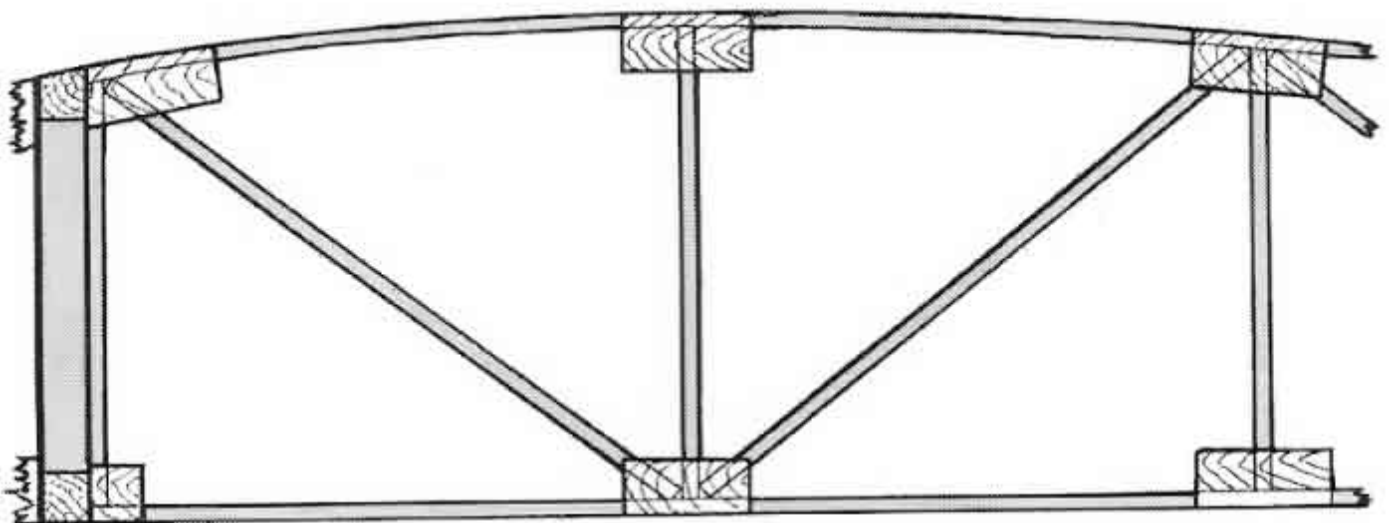


Fig.39 Ejemplo de diagonales cortadas en ángulo recto

2.1.b) Construcción de las costillas: Una vez que estén todas las piezas cortadas y numeradas, comenzamos a «cargar» el molde poniendo todas las varilla en su lugar y luego de verificar que está todo bien, «vaciamos» el molde y recién ahora mezclamos el adhesivo y comenzamos a pegarlas.

Por último, se pegan sobre las uniones los pañuelitos de terciada, los que le conviene cubrir totalmente su cara interior con resina, para eliminar la necesidad de barnisarlos luego intemamente, que es más engorroso. Estos pañuelitos puede asegurarlos con broches (como se observa en Uniones de Madera, Fig.22) o con clavitos pequeños que no rajen la madera.

También recordemos que los pañuelitos, si no son semicirculares, los podemos cortar en una «cajita de ingleses», y si son semicirculares los cortaremos con una sierra de copa Fig.21.

No "gaste" tiempo en darle a cada pañuelito la forma definitiva del contorno de la costilla. dejeló en "burdo" y luego de costruida lo lleva a su forma correcta Fig.40.

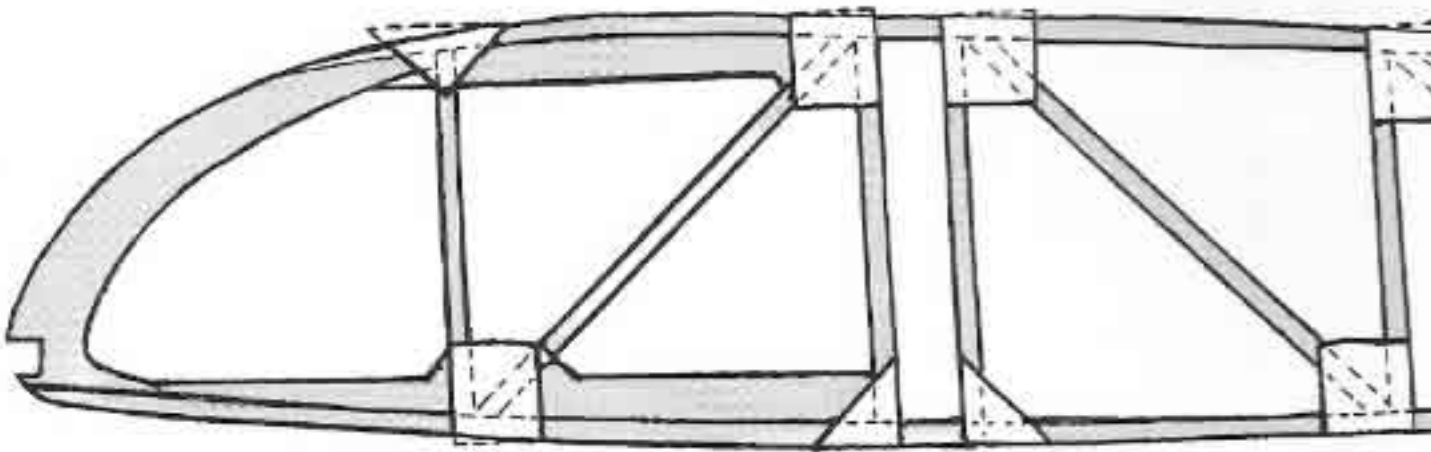


Fig.40 La forma definitiva de los bordes de los pañuelitos de una costilla es dada después de construida

Una vez polimerizado el adhesivo retiramos la costilla del molde y armamos otra, mezclando un poco de más de cola, para que también nos alcance para pegar los pañuelitos de la cara opuesta de la primera que hicimos.

Por último, una vez secado el adhesivo de los pañuelitos de la segunda cara de la primer costilla, extraemos todos los broches o clavitos (leer "Clavos temporarios o permanentes?" en "Uniones de Madera") y, con mucho cuidado, le damos la forma definitiva a los pañuelitos que sobresalen por encima del perfil (Fig. 40), utilizando un disco lijador, una lima, o un taco de lija. De esta forma tenemos construida completamente nuestra primer costilla.

2.2) Sistema «geodésico»: Este tipo de construcción de las costillas (también denominada construcción «triangulada» o «enrejada») fue

concebido en la década del '20 y actualmente es utilizado también en algunos ULM y aviones livianos.

Constructiva mente este método de armar las costillas es similar al anterior, con la diferencia que no lleva pañuelitos de refuerzo (Fig. 41), eliminando el costo, el peso y el trabajo de cortarlos. En este caso, las varillas que conforman el contorno de las costillas (de 8 x 8 mm) son un poco más gruesas que las clásicas, porque las «debilitamos» al tenerlas que pasar sobre una sierra circular a lo largo y en el centro de la misma, para que «labre» una ranura de (en este caso) 3 mm de ancho por 3 mm de profundidad (ver detalle en la Fig. 41).

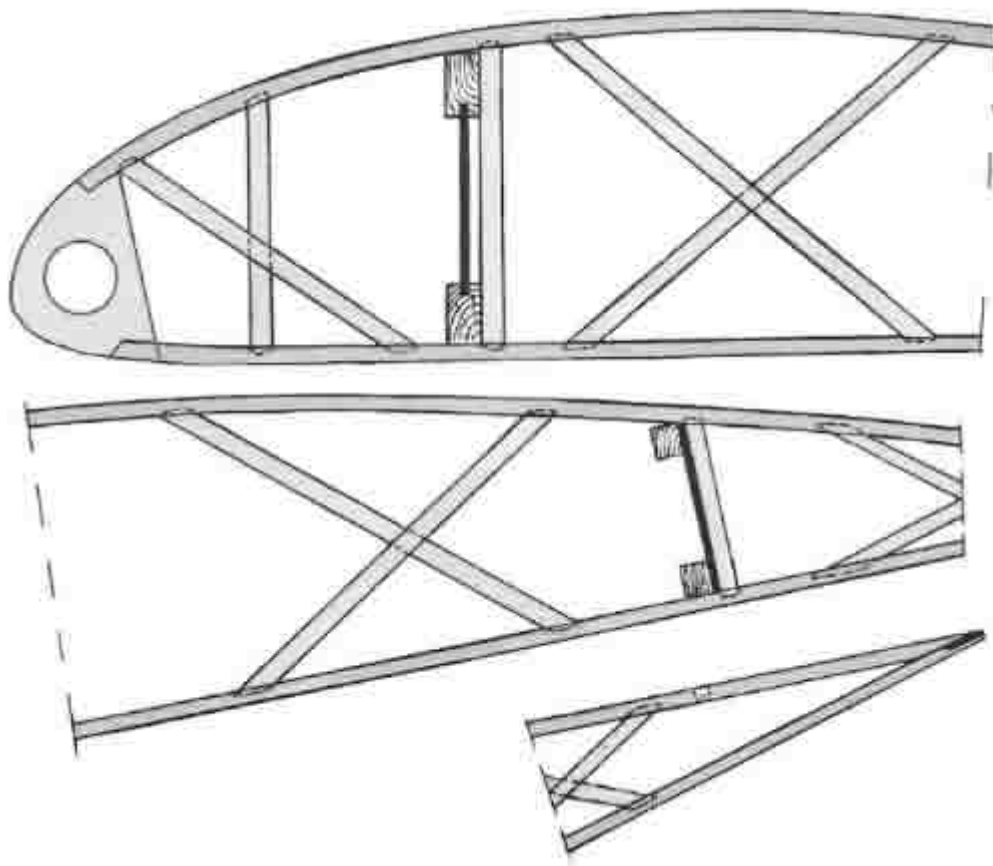


Fig.41 Ejemplo de costilla construida con el sistema "geodésico"

2.2.a) Armado del molde: Igual que en el caso anterior, comenzamos clavando o atornillando los taquitos exteriores al perímetro de la costilla y luego, tomando como guía una de las varillas, ponemos los interiores. Los de las diagonales deben ser más cortitos y los deberemos posicionar después de poner éstas, dado que para colocarlas tenemos que deslizarlas dentro de la ranura, por lo que necesitamos moverlas lateralmente. En reemplazo de los taquitos también podemos inmovilizar las diagonales, después de puestas, con clavos en sus costados que ayuden a mantenerlas en su correspondiente lugar.

2.2.b) Construcción de las costillas: Comenzamos posicionando las varillas «ranuradas» del extradós e intradós con el corte hacia adentro, y luego les vamos insertando y pegando dentro de sus ranuras, las varillas diagonales (en este caso de 3 x 9 mm) que previamente hemos cortado con sus ángulos correctos. Observe que las «x» formadas por las

diagonales van cruzadas alternadamente y van pegadas en sus cruces. También constatemos que haya buena cantidad de pegamento en la ranura de cada junta. para aseguramos un correcto pegado de las diagonales y la continuidad de resistencia de las varillas del contorno. Por último, pegamos la pieza de terciada que conforma el borde de ataque y verificamos que todo esté en orden.

Una vez que se haya polimerizado el adhesivo, sacamos la costilla del molde ya definitivamente terminada.

Ahora veamos las costillas de terciada las cuales, como todo en la vida (y más en aeronáutica), tiene sus pro y sus contras.

3) COSTILLAS DE TERCIADA:

Nuevamente, y a su vez, las costillas de terciada pueden subdividirse en dos grandes grupos: las costillas caladas y las costillas combinadas.

3.1) Costillas caladas: Estas costillas, muy sencillas de hacer, están cortadas directamente de una hoja de terciada, generalmente de las utilizadas para uso marino, cuyo espesor puede variar entre 3 y 6 mm, y son convenientemente aliviadas mediante huecos calados.

3.1a) Construcción de las costillas: Contrariamente a las costillas armadas, este tipo de costilla no necesitan molde o conformador, dado que, como se dijo anteriormente, son cortadas directamente de una hoja de terciada con el espesor que indique el plano. El primer paso consiste entonces en dibujar la costilla sobre la terciada, como se trató al final del cuarto párrafo debajo de la Fig.32, o pegar el dibujo de la misma sobre ella, teniendo en cuenta los dos detalles explicados en el Tema 2.1.a.

Luego se la recorta por su periferia, dejando un margen de aproximadamente 1 o 2 mm de la línea del contorno, para después darle la forma final con un taco de lija o, si dispone de ella, con una lijadora de disco, que es la herramienta ideal para hacer este trabajo.

Una vez cortada esta primer costilla y lijada perfectamente hasta su línea de contorno, la utilizamos como plantilla para dibujar las demás, dándonos la chance de poder distribuirla sobre la hoja de terciada en forma eficiente, para que entren la mayor cantidad posible, siempre respetando la orientación de la veta y dejando entre ellas un margen de 3 a 5 mm (de acuerdo a la herramienta que se use) para dejar paso a la hoja de corte. Indudablemente, la herramienta ideal para realizar este trabajo es la caladora portátil, que con un poco de habilidad y práctica podemos cortar casi sobre la línea para luego tener muy poco trabajo de lijado. En este punto vale la pena recordar que el sentido de corte debe hacerse siempre "resbalando" sobre la veta y no "en contra" de la veta, para evitar que se astille en forma muy desprolija. Para esto los cortes deben hacerse en lo posible desde la parte más alta de la costilla hacia el borde de ataque y luego desde allí hacia el borde de fuga.

Otra herramienta que puede realizar este trabajo con eficiencia es la sierra sinfin, utilizando una cinta angosta para permitir curvas relativamente cerradas y siempre efectuando los cortes "resbalando" sobre la veta.

Si nuestro avión tiene todas las costillas del ala iguales (cuerda constante), podemos apilar 3 o 4 terciadas (dependiendo del espesor de las mismas) asegurándolas entre sí con clavos no muy gruesos y/o con gotas de cola blanca, ubicados/as en lugares que luego sean de descarte, pudiendo hacer de un solo corte 3 o 4 costillas por vez, lo que agiliza enormemente el trabajo y acorta tiempos.

También, si disponemos de una "router" o tupí portátil puede resultarnos una herramienta práctica para recortar las costillas, tomando como plantilla-guía la primera. Para ello debemos contar con una fresa provista con una guía a rulemancito, el que se apoya sobre la plantilla para copiar perfectamente la costilla.

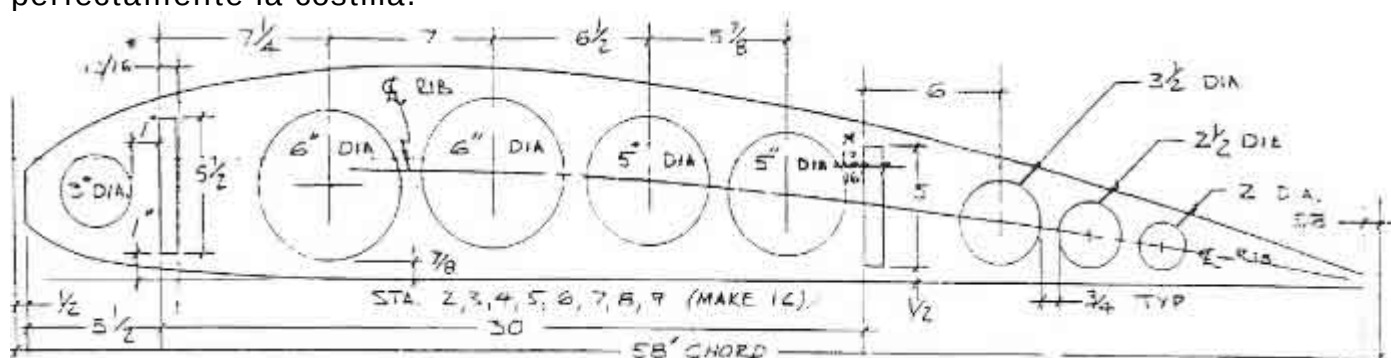


Fig 42

Ejemplo de costilla alivianada con agujeros redondos, extraído del juego de planos del "Volksplane II" (perfil NACA 4312).

El próximo paso consiste en cortar los huecos de los largueros y los de alivianamiento. En el caso que estos últimos sean redondos (Fig. 42), se hacen rápidamente con un taladro provisto con una sierra de copa. En el caso que las caladuras sean trapezoidales o triangulares (Fig. 43), la herramienta ideal es la caladora y si desea hacer un trabajo prolijo, cada vértice redondeado de los huecos puede hacerla con una broca de paleta del diámetro correspondiente, para luego terminar de cortar los "catetos" con la caladora, iniciando los cortes desde esos agujeros. Por último, si es necesario, se los empareja con un taquito de lija y las partes curvas se las puede repasar con un trozo de palo de escoba o de plumero (según el diámetro de la curva) envuelto con una lija.

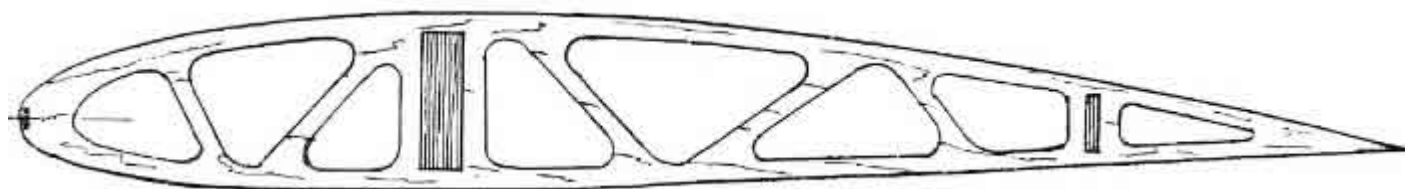


Fig 43

Ejemplo de costilla alivianada con agujeros triangulares y trapezoidales, efectuados sobre un perfil NACA 2412 Modif.

También puede calar esos huecos con una fresadora portátil, debiendo cortar primero todos los agujeros de alivianamiento en forma muy prolija

en la primer costilla, porque la utilizaremos de guía para calar los de las demás y la fresa "copiará" todas las imperfecciones si las hubiera.

3.1b) Nunca se consigue algo por nada: Como se puede deducir fácilmente, la enorme ventaja de construir las costillas caladas es su gran rapidéz de construcción, comparadas con las costillas armadas, las que hay que comenzar haciendo el molde o conformador y luego cortar cientos de piezas pequeñas, para por fin poder armarlas. La gran desventaja de las costillas de terciada es que pueden llegar a ser hasta el doble más pesadas que las armadas (dependiendo del espesor y tipo de terciada), haciendo que uno "lleve a pasear" algunos kilos de más en su avión. La elección siempre está en manos del diseñador (o constructor) que sopesa a cual de las dos virtudes le da más preponderancia: liviandad o rapidéz de construcción.

3.2) Costillas combinas o mixtas: En este caso estas costillas son una "combinación" entre las costillas de terciada y las costillas armadas, y su sección es similar al de un pequeño larguero con alma de terciada (vea Fig 44).

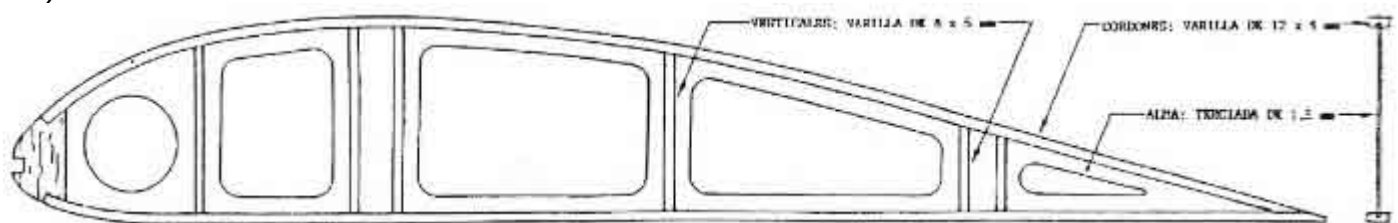


Fig 44

Ejemplo de costilla combinada, efectuada sobre un perfil NACA 4415.

3.2.a) Construcción de las costillas: Se comienza recortando las costillas en una terciada generalmente un poco más fina (entre 1 y 3 mm), y se calan los huecos de los largueros y los de alivianamiento exactamente como se describió en el paso anterior. También se recortan los "rellenos" del borde de ataque, que pueden ser de una tabla fina de pino o de una terciada del espesor adecuado para llegar al nivel de las varillas del contorno.

Luego preparamos dichas varillas, a las que le efectuaremos en el medio y a lo largo de la misma, con una sierra circular, un corte de unos 3 mm de profundidad, similar al de las varillas de las costillas construídas con el sistema geodésico, debiendo ser el ancho de la "ranura" lo más exacto posible al espesor de la terciada de la costilla, para que encastre sin demasiada holgura, ni tampoco demasiada ajustada que pueda rajar la varilla. Esto lo logramos seleccionando la sierra adecuada, cuyos dientes realicen el corte con el espesor deseado.

Hay dos métodos básicos para mantener apretadamente sujetas las varillas alrededor de las costillas de terciada durante el polimerizado de la resina:

Uno de ellos consiste en tener preparado un molde muy sencillo, ya que sólo debemos dibujar el contorno del perfil y en cual se ponen fijos

únicamente los tacos exteriores del intradós, mientras que los del extradós son móviles (como se muestra en la Fig. 45) mediante un solo clavo puesto en el primer tercio de su longitud, que sea lo suficientemente grueso como para soportar la carga de apretar la varilla contra la costilla.

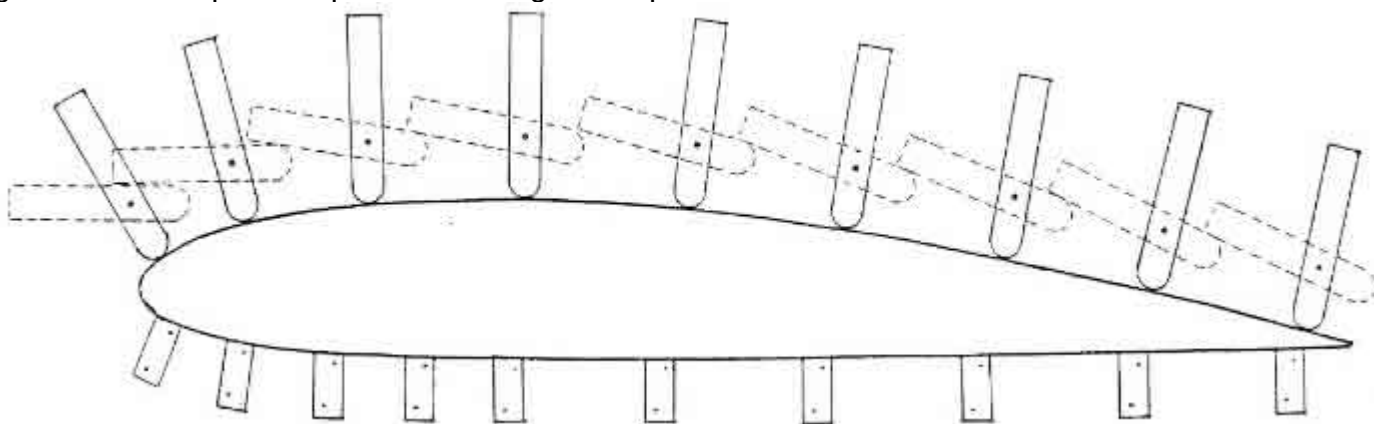


Fig 45

Molde muy sencillo, donde los tacos exteriores del intradós son fijos, mientras los del extradós son móviles.

Luego de cortar las varillas a su largo correcto y de haber le puesto suficiente resina dentro de la ranura, se encastran ambas en el intradós y extradós de la costilla de terciada y se la coloca en el molde, tratando de curvar las varillas para que entre dentro del espacio entre los taquitos, a los que previamente hemos puesto los móviles en forma casi horizontal. Luego los vamos girando, hasta que queden perpendiculares a la línea de contorno, quedando así convenientemente aprisionada la varilla contra la costilla. En muchos casos vamos a encontrar que estos tipos de costillas no tienen diagonales, en ese caso, para finalizar habría que pegar sólo los travesaños, los cuales podemos sujetarlos mediante clavitos en sus costados, o con cinta de empaquetar, o con una tablita del largo de la costilla, con algún peso arriba que apriete a todos a la vez. Así mismo, en determinados planos de construcción podemos encontrar que los travesaños de estas costillas son de sección triangular, con el objeto de ahorrar algunos gramos.

El otro método, que elimina la necesidad de hacer el molde, consiste simplemente en mantener las varillas apretadas contra la costilla de terciada mediante resistentes bandas de goma, o enrollándolas con cinta de empaquetar, o con prensitas provista con zapatas de plástico para que no se resbalen, pero siempre verificando que se ajusten perfectamente a lo largo de todo el contorno de la costilla de terciada y teniendo mucho cuidado que no queden inclinadas, dado que luego, cuando se recubran con tela o con terciada el apoyo sobre éstas no va a ser el adecuado. Luego se pegan los travesaños como en el caso anterior y por último, en cualquiera de los dos casos, se le encola a cada lado los "rellenos" del borde de ataque, que además de servir como tales, cumplen la función de darle más área de pegado a las varillas en esa zona.

Es de hacer notar que estas costillas combinadas, si bien son todavía más rápidas de hacer que las armadas y pueden llegar a ser tan livianas como éstas, la contra que tienen es que como son construídas con terciadas de calidad aeronáutica y consumen mucha terciada, por lo que se encarece considerablemente su construcción.

3.2.b) Costillas de compresión: Estas costillas de compresión son las que soportan el esfuerzo de compresión entre el larguero principal y el secundario, y que se encuentran habitualmente entre las "X" de cables o los elementos diagonales de compresión. Es bastante común que estas costillas sean del tipo combinadas, aunque en su construcción prevalezca más el tipo de las armadas. A pesar que hay diversos tipos de costilla de compresión, voy a detallar la construcción de una de ellas (Fig.46), las demás son "variaciones de un mismo tema".

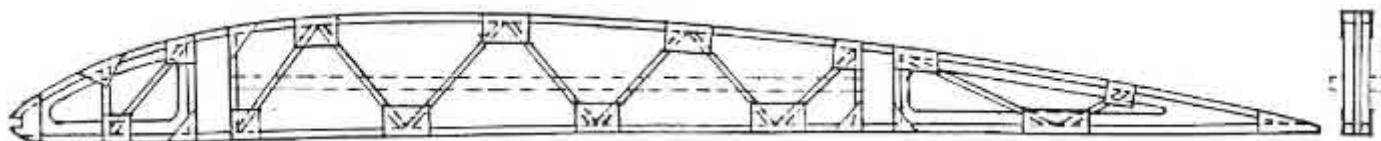


Fig 46

Ejemplo de uno de los tipos de costilla de compresión. En línea de puntos figura el listón opcional de refuerzo.

Para comenzar, en una terciada del espesor adecuado, se recortan las costillas por su periferia con un margen de 1 o 2 mm y se las deja en burdo, sin llegar a la línea con lija. Luego se calan los huecos de los largueros, el del borde de ataque y el de fuga, siendo éste todo el trabajo en la faz terciada. El próximo paso consiste en construir en un molde clásico una costilla armada, pero en vez de pegarle los pañuelitos, se la cubre completamente pegándole encima una de las costilla de terciada que previamente hemos recortado. Una vez "secada" la resina, se la saca del molde y armamos en él otra costilla con sus pañuelitos correspondientes. Mientras esperamos que se polimerice esa segunda costilla, aprovechamos para recortar y/o lijar la terciada de la primera hasta su forma correcta (que coincida con el contorno de las varillas) y le pegamos los pañuelitos en la otra cara. Cuando sacamos del molde la segunda costilla la pegamos sobre la de terciada, completando el "sandwich de costillas". Luego (de ser necesario) con una suave lijada dejamos emparejadas la superficie de las "tres costillas".

En algunos casos, según el tipo de avión y su velocidad, para reforzar su tarea de resistencia a la compresión, en su sección central, a estas costillas se les encola a cada lado un listón de madera.