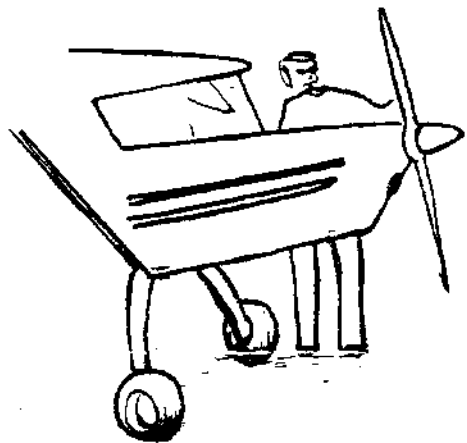
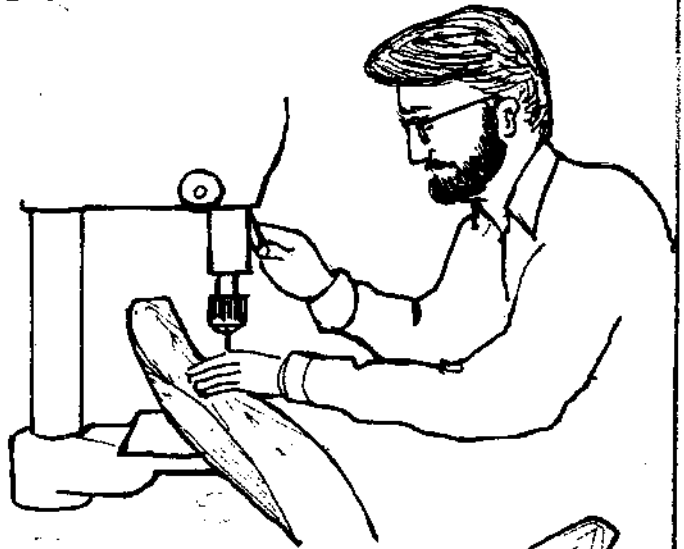


# HELICES

## Diseño y Construcción

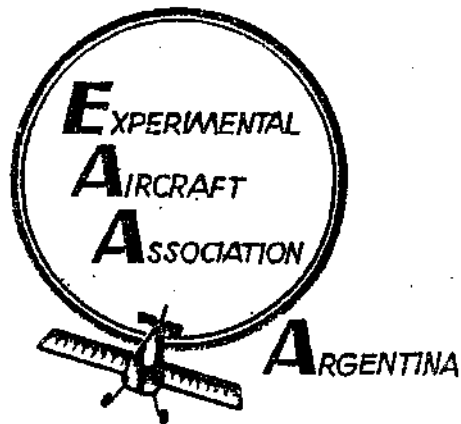


Este trabajo continúa la tarea de la EAA-Argentina de divulgación de los aspectos técnicos de la construcción de aeronaves.

Sabe que no es todo cuanto puede decirse sobre el tema. Sabe también y así lo espera, sea valioso aporte para quien tiene que, poniendo manos a la obra, crear la hélice de su aeronave.

Esta obra es continuación de una serie ya iniciada y que se incrementará en el futuro con nuevos títulos.

Sería útil que todo usuario, haga llegar al editor, las sugerencias que en su aplicación encuentre, lo que servirá para sucesivamente incrementar el beneficio que su lectura signifique.



## 1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Cuando se diseña una hélice, se deben tener en cuenta tres factores:

- 1º Potencia a transmitir.
- 2º Velocidad de la aeronave.
- 3º Revoluciones por minuto (rpm).

Para evitar que un motor gire con exceso de vueltas, es importante que la potencia sea absorbida por la hélice, lo cual determina su área de palas, que está condicionada al diámetro de la hélice. Si el diámetro está condicionado por problemas de espacio, o de velocidad de punta de pala, el área se alcanzará aumentando el ancho de la pala o el número de palas. La velocidad de la aeronave determinará el paso de la hélice y una aeronave rápida requiere más paso que una lenta. El paso aumentado también absorbe potencia. Nunca debe elegirse el paso de la hélice para condiciones extremas. Si el mismo está elegido para una rápida aceleración inicial (despegue y/o ascenso), en el momento de llegar la aeronave a velocidad de crucero, el rendimiento será muy pobre y el motor podrá pasarse de vueltas ya que a medida que la aeronave toma velocidad, la carga inicial del motor se va reduciendo.

Un paso demasiado grande dará como resultado una aceleración demasiado pobre con un despegue incómodo y aún peligroso y una variación considerable de las rpm en condiciones de turbulencias.

La mejor manera de «diseñar» una hélice es copiar una que haya sido usada satisfactoriamente para una aplicación similar. ( Ver Fig 1 )

Fig Nº 1

AVION	MOTOR	PULGADAS	
		DIAMETRO	PASO
K R 2	VW 1853 - 2100	52	40 - 73
JODEL D 9	VW 1600	54	33
CASSUT	CONTINENTAL	60	40 - 73
TAIL WIND	LYCOMING 135	64	62
TURBULENT	VW 1600	60	34
AUTOGIRO	VW 2180	52	28
TEENIE TWO	VW	50	40

AVION	MOTOR	PULGADAS	
		DIAMETRO	PASO
VARI EZE	Q 200	70	56
VARI EZE	Q 200	64	58
THORP T 18	LYCOMING	67	62
B D 4	LYCOMING 180	74	65
ZENITH	Q 290	74	48
FLY BABY	CONT 85	70	47
PIPER CUB J3	CONT 65	72	48
PIPER CUB J4	LYCOMING 65	69	44
JODEL F 11	Q 290	74	56
TAYLOR TICH	VW 1600	54	40
VP 2	VW 2100	60	32
RV 3	LYCOMING	72	63

EL PASO ESTA MEDIDO AL 75% DE LA PALA

No es siempre posible realizar una copia perfecta, por lo que hay que anotar el paso y el diámetro, medidas estas generalmente marcadas en el cubo de la hélice. También se medirá el ancho máximo de la pala.

Los factores realmente críticos son los ya mencionados. La forma de la pala en la mayoría de los casos no es demasiado importante, aunque sin embargo debe ser tomada en cuenta cuando se trata de hélices muy probadas. Las puntas de las palas, pueden ser redondeadas o rectas.

#### Eficiencia (Fig N° 2)

La hélice es un elemento que convierte la potencia al freno del motor, en un empuje usado por la aeronave, teniendo en este traspaso un poco de pérdida, poseyendo la mayoría de las hélices una eficiencia entre el 60 y 85 %.

Con una hélice de paso fijo, la eficiencia está relacionada a dos circunstancias, ascenso o crucero.

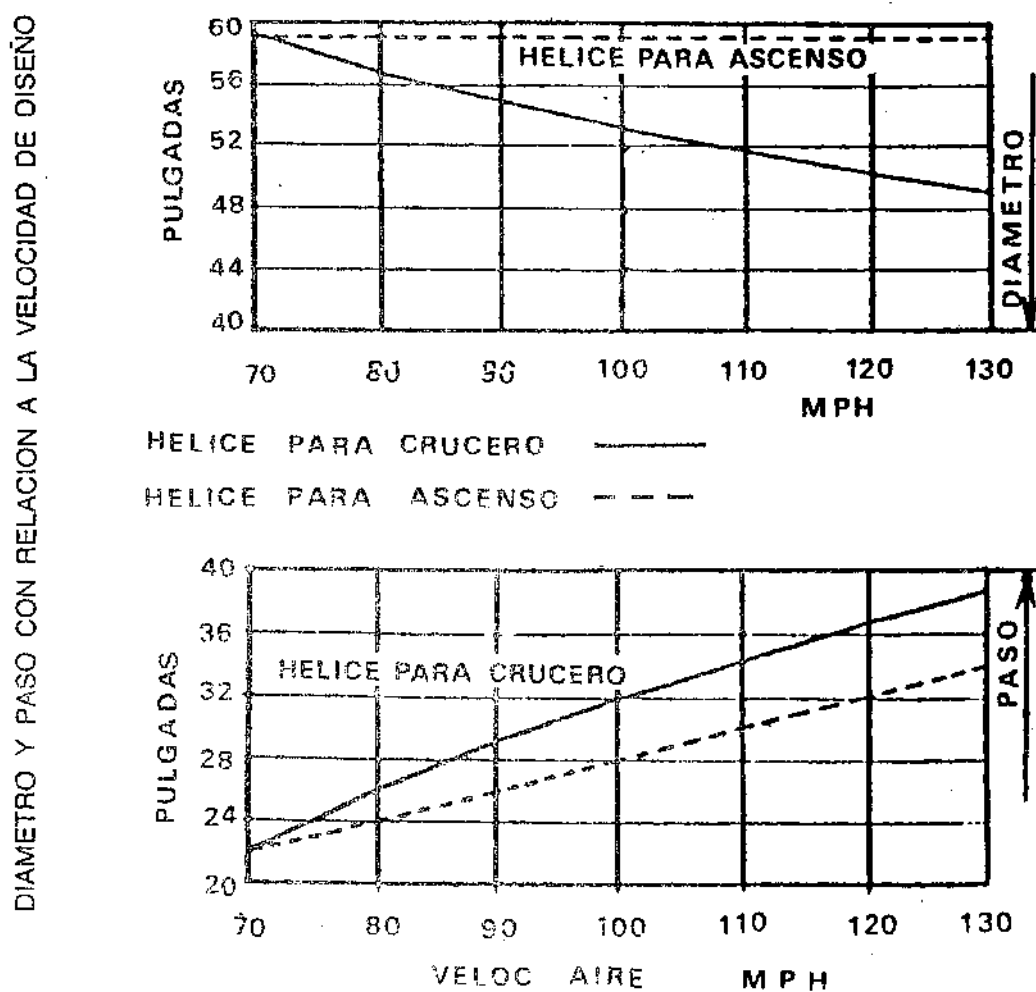
Otra parte que tampoco es crítica es la sección de la pala. Es conveniente que el radio del borde de ataque no sea agudo y que el borde de fuga no sea demasiado delgado, por las tensiones y desgaste provocados por el arranque a «pala» del motor. El requerimiento más importante es que las palas sean iguales y suficientemente rígidas lo que se logra mediante un adecuado espesor. Básicamente no existe ninguna razón para que una hélice se use como tractora o propulsora. La diferencia reside en que el motor debe acondicionarse para resistir la carga axial que le producirá la hélice.

Fig. Nº 2

	Air Speed mph	Est. H.P.	Cs	J	Diam Inches	P/D	Pitch Inches	% Effic.
Continental A-65	70	45	1.05	0.49	72	0.57	41	71.0
Continental A-65	100	60	1.4	0.74	68	0.82	56	79.0
1500 V.W.	70	35, 40	1.27	0.413	56	0.5	28	66.5
1500 V.W.	100	40	0.85	0.65	54	0.725	39	77.0

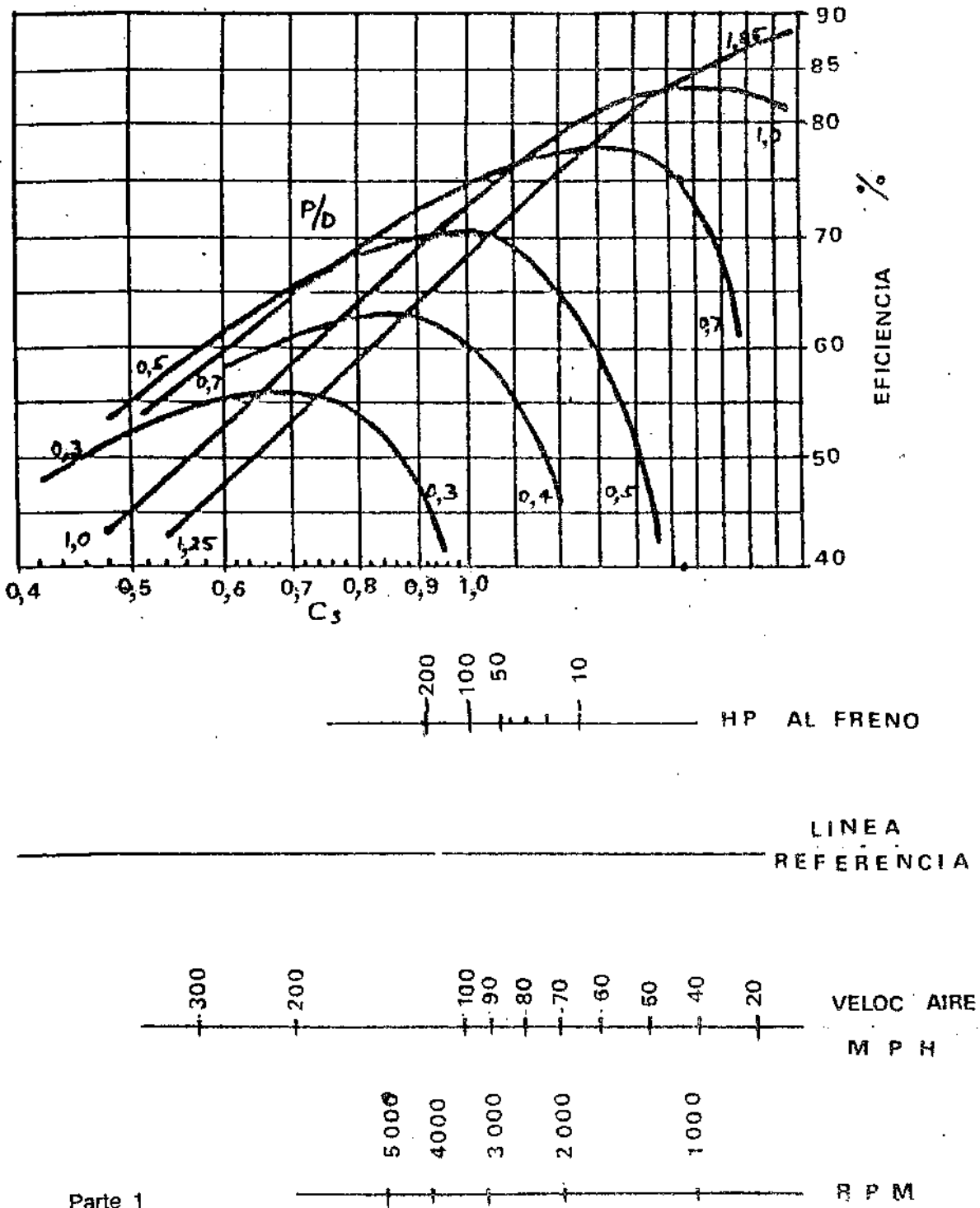
Si nosotros comparamos hélices diseñadas para «ascensos», con otras diseñadas para crucero, observamos que las primeras tienen mayor empuje estático, el que comienza a disminuir rápidamente, apenas la aeronave comienza a moverse. Esto nos da la pauta, que para un diseño normal, la hélice debe calcularse para condiciones de vuelo «crucero». (Fig Nº 3)

Fig. Nº 3



Las matemáticas involucradas en el diseño de hélices pueden evitarse usando nomogramas.

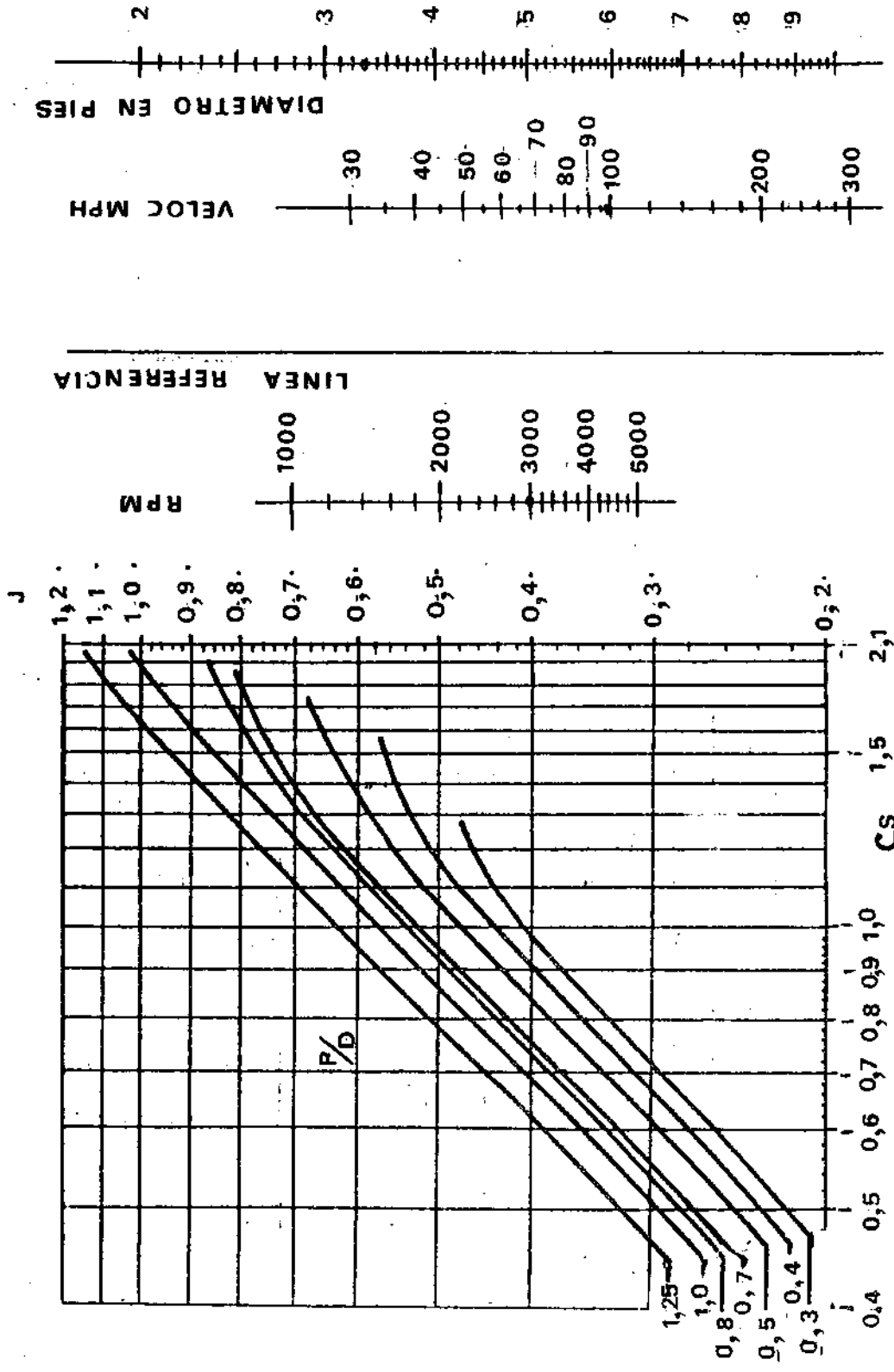
NOMOGRAMA Fig N° 4



Parte 1

**COMO USAR:**

UNIR LA LINEA DE RPM Y VELOCIDAD DEL AIRE, CONTINUAR HASTA LA LINEA DE REFERENCIA, DESDE ESE PUNTO TRACE UNA RECTA PASANDO POR LA POTENCIA EN HP Y LLEGUE A LA BASE DEL CUADRO. SIGA VERTICALMENTE HASTA INTERCEPTAR LA CURVA  $P/D$  DE MAYOR EFICIENCIA, HORIZONTALMENTE LEA LA EFICIENCIA DE LA HELICE.



Partez

COMO USAR: TOME EL MISMO VALOR DE CS, SUBA HASTA EL MISMO VALOR DE P/D USADO EN PARTE 1, VEA QUE VALOR DE J LE CORRESPONDE Y DESDE ALLI, TRACE UNA LINEA QUE PASE POR RPM HASTA LA LINEA DE REFERENCIA, DE ALLI, TRACE UNA LINEA QUE PASE POR SU VELOCIDAD EN MILLAS POR HORA Y TENDRA EL DIAMETRO (EN PIES) MULTIPLICANDO EL DIAMETRO (EN PIES) POR EL VALOR P/D OBTENDRA EL PASO (EN PIES)

Por ejemplo, Ver en página 34 y 35

Tampoco se requiere una gran precisión, pues los resultados se redondean a la pulgada (25 mm) más próxima. La regla general es que el diámetro decrece al incrementarse la velocidad de la aeronave y viceversa.

Los símbolos empleados son:

- V Velocidad de la aeronave en mph (millas por hora)
- N rpm (Revoluciones por minuto de la hélice)
- P/D Relación Paso a Diámetro
- J Relación de avance
- Cs Coeficiente Velocidad/Potencia

Los problemas se originan al asignar erróneamente al motor, más potencia de la que realmente puede dar, por ejemplo un VW 1500 cm<sup>3</sup> estándar da según el fabricante 45 bhp a 3800 rpm.

Esta potencia se logra bajo condiciones ideales en banco de prueba. El mismo motor, debiendo impulsar dos magnetos y un tacómetro a 3.000 rpm, bajo condiciones no tan ideales, dará menos de 35 bhp. Si se calcula con este valor en lugar de los 45 bhp, los resultados serán muchos más adecuados a la realidad y esto es aplicable a cualquier motor. Desafortunadamente, generalmente no se dispone de las curvas de bhp versus rpm y en algunos casos es conveniente trabajar a la inversa, partiendo entonces de un diámetro obtenido de alguna aplicación similar a la que se desea averiguar o calcular.

En la figura Nº 6 tenemos los valores bhp/rpm para algunos motores conocidos. El cálculo dará el paso, eficiencia, etc.

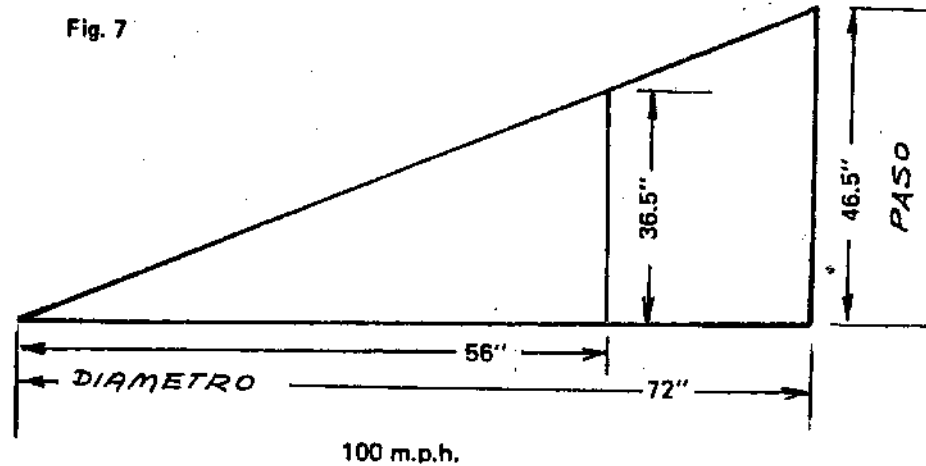
Eficiencia es la parte de la potencia al freno de un motor que se ha transformado en empuje útil.

VW	MOTORES		DESPEGUE			CRUCERO	
	BHP	RPM	CONTIN	HP	RPM	HP	RPM
1100	25	3300	A 50	50	1900	-	1800
1300	40	4000	A 65	65	2300	53	2100
1500	44	4000	A 75	75	2600	-	2350
1500 S 2 CARBUR	54	4200	A 80	80	2700	-	2450
1500 COMERCIAL	42	3800	C 75	75	2275	58	2150
1600 T 3 2 CARB	54	4000	C 85	85	2573	63	2400
1600 COMERCIAL	47	4000	C 90	90	2475	68	2250
411 TIPO 4	68	4500	C 125	125	2550	98	2400
411 E INYECCION	80	4900	C 145	145	2700	105	2410

Fig Nº 6



En la figura N° 7 vemos como dos hélices diseñadas para 100 mph, una con motor VW y otra para un motor de menos rpm, pueden tener el mismo ángulo de pala, pero su paso puede ser muy distinto. Una medida es que la velocidad de la punta de hélice, debe ser 3,98 veces (redondeando 4) la velocidad de la aeronave y con esos valores se podrá obtener la máxima eficiencia.



## 2. TRAZADO

Una vez definido el paso y el diámetro se puede dibujar el diagrama de ángulo de pala. El dibujo debe ser lo más grande posible para evitar errores por la dimensión de la escala.

Se dibuja una línea que representa el diámetro  $\times 3,14$  y en un extremo de la misma y perpendicularmente, se traza otra que representa el paso. La unión de este triángulo da el ángulo de la punta de pala. (Ver Fig N° 8)

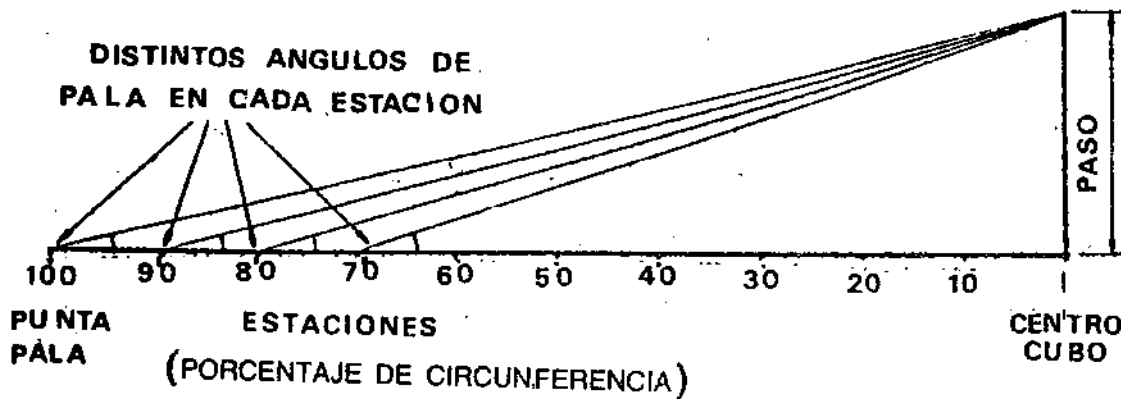


Fig. 8

Si trazamos las estaciones, y repetimos la operación obtendremos todos los ángulos de cada estación. En la figura N° 9 hay una lista de ángulos de paso para hélices y es importante marcar las estaciones al 25% - 40% - 55% - 75% - 90% y 100%, para dibujar las secciones que corresponden a esa posición y estas secciones determinarán el ancho de la pala.

ESTACIONES	% Rad	VELOCIDAD AIRE M P H						
		70	80	90	100	110	120	130
	20	31.2	33.6	35.8	37.8	39.6	40.9	42.5
	30	25.7	27.9	30.0	32.0	33.6	34.9	36.5
	40	21.1	23.3	25.3	27.0	29.6	29.9	31.4
	50	16.8	19.0	20.9	22.8	24.3	25.6	27.0
	60	13.6	15.6	17.6	19.4	21.0	22.1	23.7
	70	10.9	13.0	14.8	16.7	18.1	19.3	20.8
	80	9.0	11.1	13.0	14.7	16.2	17.4	18.8
	90	7.9	9.9	11.8	13.6	15.0	16.2	17.6
	95	7.4	9.5	11.4	13.2	14.6	15.7	17.2
	100	6.9	9.2	10.9	12.9	14.1	14.8	15.8

Fig. 9

ANGULOS  
DE PALA

GRADOS

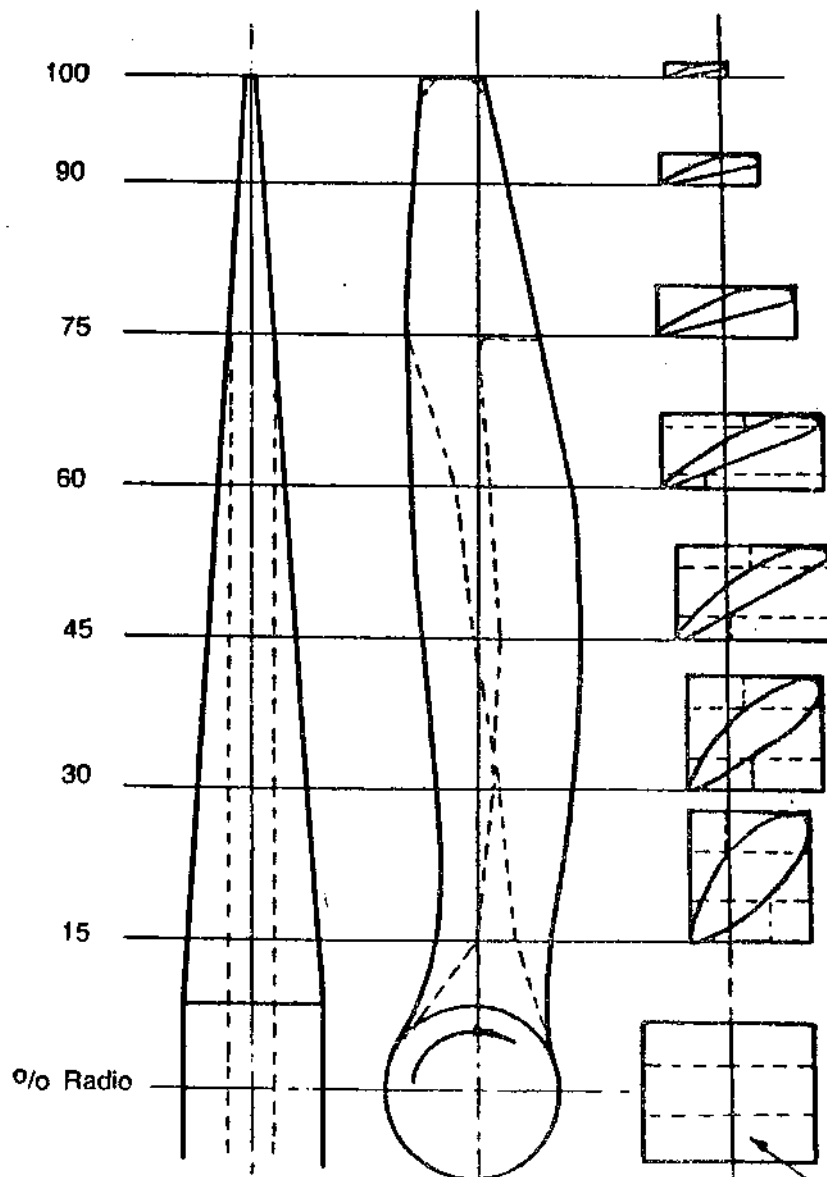
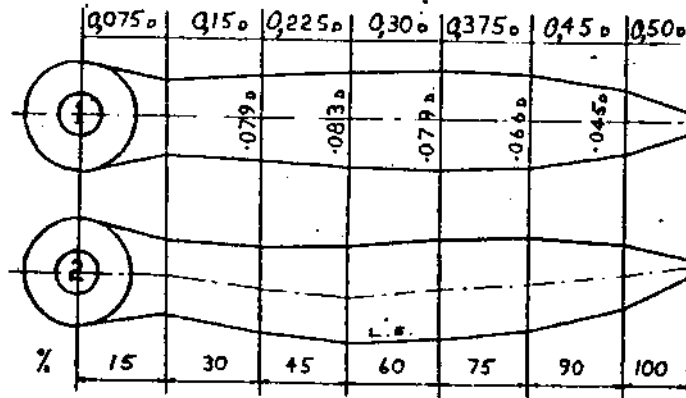


Fig. 10

La pala puede ser derecha vea Fig 11

Diámetro que ajusta en el eje del motor

Fig. 11



Efecto de la curva de la Línea Central

Los anchos de estas formas de pala son idénticos

El ancho de la punta de la pala puede variar

D = Diámetro en relación al tamaño requerido

Fig. 12

% RADIO	RELACION CUERDA ESPESOR	% ESPESOR
20	2.50	40.00
30	2.69	37.17
40	5.23	19.12
50	6.67	14.99
60	7.35	13.60
70	7.69	13.00
80	8.06	12.41
90	8.40	11.90
95	8.55	11.70
100	8.00	12.50

La figura N° 12 muestra una tabla para calcular el espesor, el que puede ser aplicado de acuerdo a la figura N° 13, según el deseo del constructor.

Normalmente es conveniente usar tres láminas de madera encolada, como mínimo para hacer una hélice, pero quien da la medida final es el espesor de la hélice proyectada. El promedio de una hélice VW estará formada por tres laminaciones de 19 mm cada una, lo cual dará un espesor de 57 milímetros. En la figura Nº 14 tenemos una expresión dibujada de lo dicho.

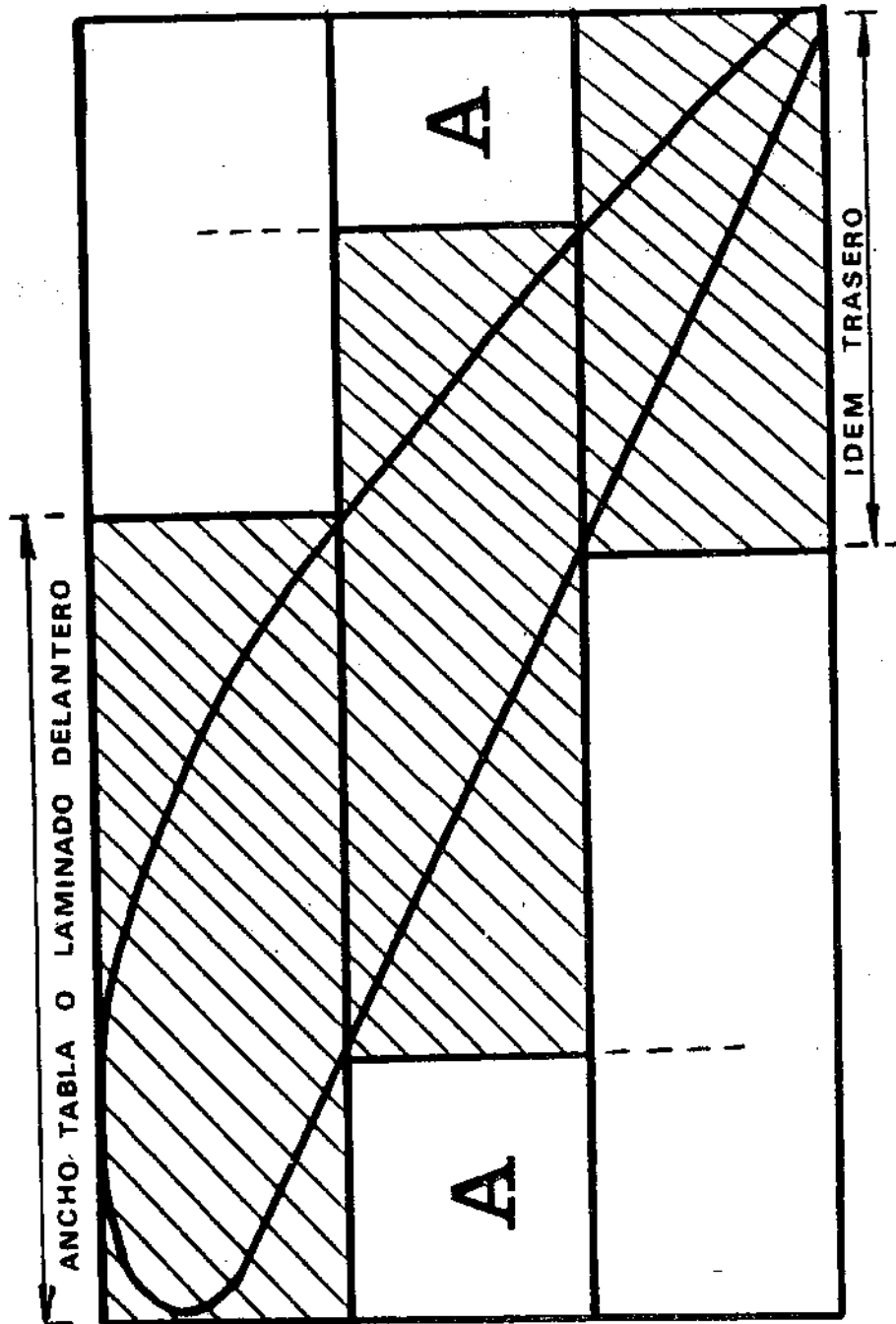


Fig. 14

En la figura Nº 15 tenemos una serie de valores para una gran gama de velocidades y rpm y lo único que se requiere es determinar el diámetro.

Tabla PASO VERSUS RPM

Paso Pitch Inches	HELICE -- PROPELLER RPM																			
	2250	2300	2350	2400	2450	2500	2550	2600	2650	2700	2750	2800	2900	3000	3200	3400	3600	3800		
28	52	53	55	56	57	58	59	60	62	63	64	65	67	70	74	79	83	89		
30	56	57	59	60	61	62	64	65	66	67	69	70	72	75	80	85	90	95		
32	59	61	63	64	65	66	68	69	70	72	73	74	77	80	85	90	96	101		
34	64	65	66	68	69	71	72	73	75	76	78	79	82	85	90	96	102	108		
36	67	69	71	72	73	75	76	78	79	81	82	84	87	90	96	102	108	114		
38	71	73	74	76	77	79	81	82	84	85	87	88	92	95	101	108	114	120		
40	75	77	78	80	82	83	85	87	88	90	92	93	96	100	107	113	120	126		
42	79	81	82	84	86	88	90	91	93	95	96	98	101	105	112	119	126	133		
44	82	84	86	88	90	91	93	95	97	99	101	103	105	110	117	125	132	139		
46	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	112	116	123	131	139	147		
48	90	92	94	96	98	101	102	104	106	108	110	112	114	118	122	130	138	147		
49	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	118	122	130	138	147	155		
50	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	115	117	121	125	133	142	150	158		
52	97	99	102	104	106	108	110	112	115	117	119	121	126	130	139	147	156	165		
54	101	104	106	108	110	112	115	117	119	121	124	126	130	135	144	153	162	171		
56	105	107	110	112	114	117	119	121	124	126	128	131	135	140	149	159	168	177		
58	109	111	113	116	118	121	123	126	128	131	133	135	140	145	155	165	174	184		
60	112	115	117	120	122	125	127	130	133	135	137	140	145	150	160	170	180	190		
62	116	119	121	124	126	129	132	134	137	139	142	145	150	155	165	176	186	196		
64	120	122	125	128	131	133	136	139	141	144	147	150	155	160	171	181	192	202		
66	124	127	129	132	135	138	140	143	146	149	151	154	160	165	176	187	198	205		
67	125	128	131	134	137	140	142	145	148	151	154	157	162	168	179	190	200	211		
68	127	130	133	136	139	142	145	147	150	153	156	159	164	170	181	192	204	215		
70	131	134	137	140	143	146	149	152	155	158	161	164	169	175	187	198	210	222		

Fig. 15

ESTA TABLA TIENE EN CUENTA UN 12% DE DESLIZAMIENTO Y ES VÁLIDA PARA TODAS LAS COMBINACIONES DE AVIONES MOTORES

VELOCIDAD MPH

TELEGRAMS

### 3. HERRAMIENTAS, MATERIALES Y ADHESIVOS

#### Herramientas

La siguiente lista debe considerarse como mínima:

- 1º Mesa o banco de trabajo (para sujetar la hélice)
- 2º Sierra mediana
- 3º Cepillo de carpintero
- 4º Formón de 25 mm (1") y una maza
- 5º Cuchilla de desbaste, provista de doble mango
- 6º Escofina o lima gruesa
- 7º Papel de lija en varios grados de grano
- 8º Acceso a una agujereadora de banco (Para perforar el agujero central y los de los bulones de sujeción al cubo)
- 9º Acceso a una sierra sin fin (No es imprescindible, pero puede ahorrar mucho trabajo)
- 10º Agujereadora o pulidora manual a la que se le coloca disco lijador
- 11º Prensas para encolar
- 12º Escuadra plegable
- 13º Calibres de perfiles o secciones (Construídos por uno mismo)

#### Materiales

Muchos tipos de madera son aptos para la construcción de una hélice. Es preferida la Caoba, en sus tipos: Utile; Makore; Sapele; Iroko. También puede usarse Abedul; Abeto o Pino Blanco. Siempre debe cuidarse que las maderas elegidas no sean oleosas y tengan afinidad a los encolados. Igualmente puede optar por Cedro; Lengua; Guindo; Petirybi; Pino Paraná; Haya o Nogal que son maderas que pueden obtenerse en el país. Las dos últimas están consideradas para masoquistas, en base a su dureza para trabajarla.

Si en los laminados, se usa madera de dos tonos, cuando se talla la hélice esta adquiere una hermosa presentación por los contrastes del laminado.

El cuidado en la selección es importante, observando que las vetas sean continuas, sin defectos o nudos y rajaduras. Si se selecciona Caoba o Pino Paraná, se observará que estas maderas poseen pequeñas espiras en las vetas o pequeñas cavidades. Estas no deben eliminarse porque son detalles naturales de esa madera, no defectos y no afectan a la calidad de la hélice.

También es importante controlar la humedad y si es alta hacerla secar o ponerla al sol hasta que tenga la humedad adecuada.

Cualquier madera fallará normalmente debido a la fatiga, pero encontramos que la tensión de rotura estática está casi a los mismo valores que la resistencia a la fatiga. Por consiguiente, si hacemos una hélice suficientemente rígida como para resistir las oscilaciones aeroelásticas, estará adecuadamente sobredimensionada para resistir los esfuerzos de flexión.

## Adhesivos

Es recomendable una buena cola, resistente al agua. Aerolite 306, que es una resina formaldehida a la que no afecta la humedad, se mezcla con agua y se aplica sobre una cara de la madera, el endurecedor se aplica sobre la otra cara y se junta y puede ser usada hasta con 10°C de temperatura.

Otro adhesivo recomendado es el FLP 16A, un producto de Ciba Geigy. Son dos partes de Epoxy blanca siendo un adhesivo no solo para madera, sino para madera-metal, metal-metal y una gran variedad de encolados.

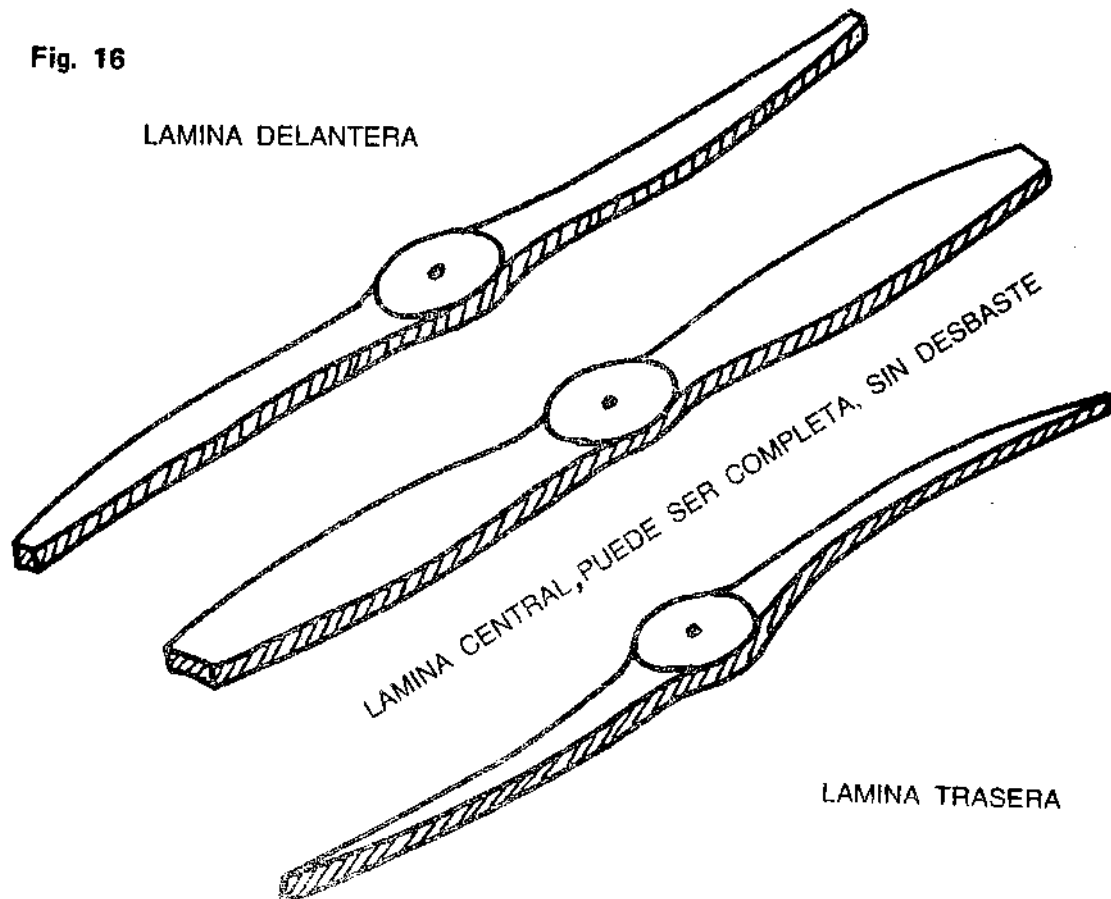
La resina plástica Welwood y el Resorcinol son adhesivos aprobados para la aviación y cumplen las especificaciones oficiales para esos usos.

Se recomienda ser generoso cuando se lamina una hélice y debe chorrear un poco de adhesivo al apretarla. Eso evita dudas sobre si estará bien adherida

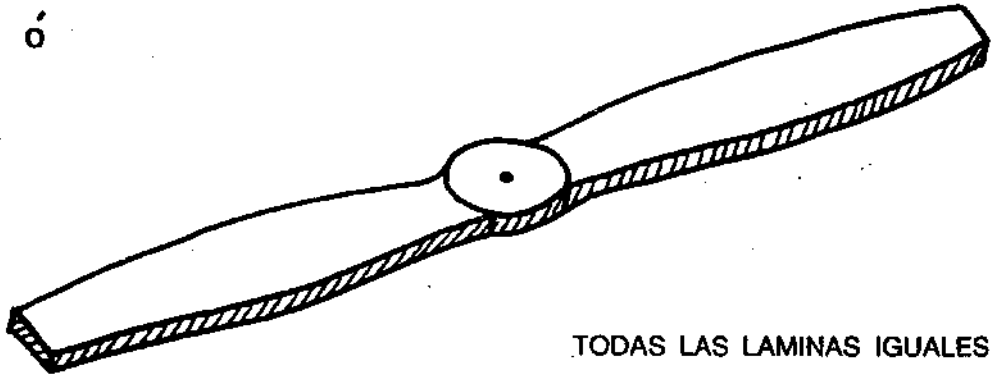
## 4. PREPARACION DEL LAMINADO

Una forma de preparar el bloque de la hélice es hacerlo de manera que cada lámina lleve ya la forma más cercana a su forma posterior. Esto evitará más tarde el tallado de mucho material, pero debe hacerse con sumo cuidado para que al armar el encolado, no darle paso contrario a las láminas. Este sistema que ahorra trabajo de tallado (Fig 16) sin embargo gasta más tiempo en hacer las plantillas. La sección central o cubo de la hélice debe dejarse completa y servirá como guía, para las otras tablas (figura N° 14).

Fig. 16



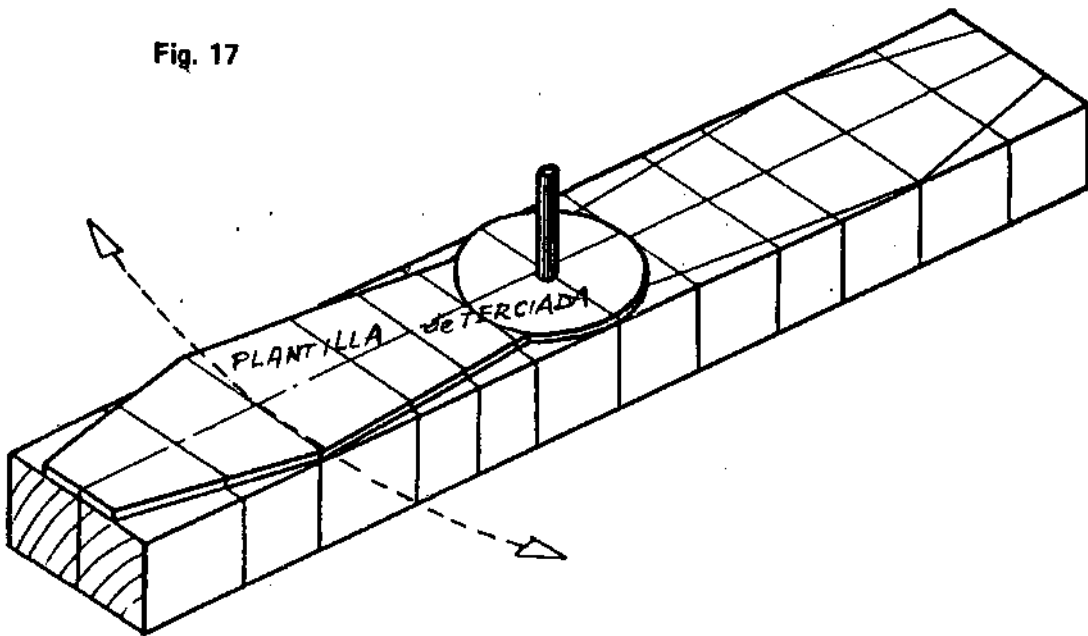
6



TODAS LAS LAMINAS IGUALES

La figura N° 17 es suficientemente clara, para mostrar la forma de marcar cada lámina de madera a encolar.

Fig. 17



Una vez cortadas, pueden ser encoladas juntas y la figura N° 18 muestra un tipo de mordaza o prensa que es construída con maderas de 50 mm por 25 mm, las que se colocan cada 20 cm y deben quedar apretadas durante toda la noche.



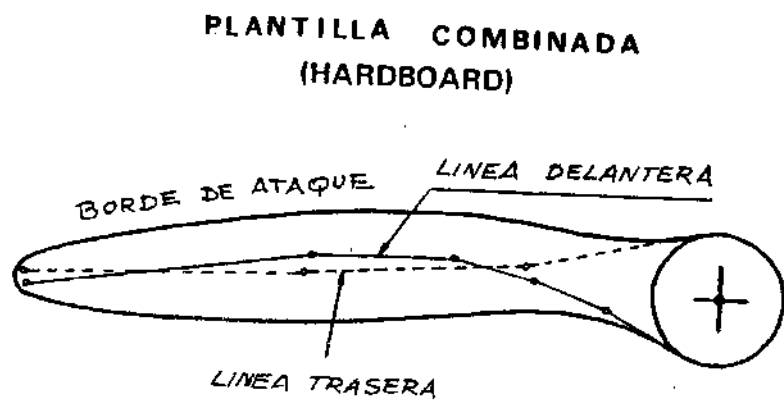
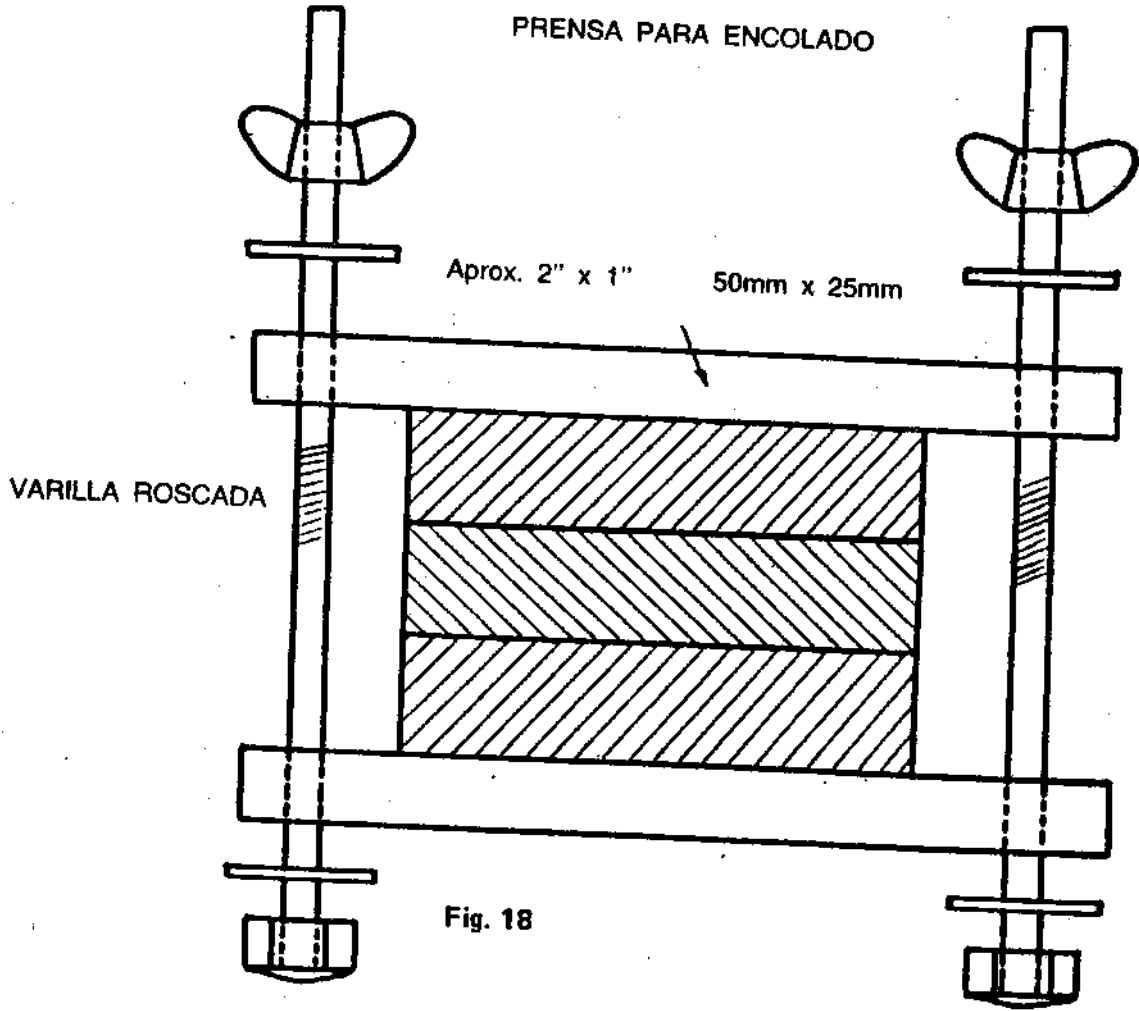


Fig. 19

USAR LOS AGUJEROS  
PARA MARCAR

## 5. MARCADO PARA TALLAR

Sobre el laminado se dibuja la parte ahusada, en cada una de las vistas laterales (figura N° 20) usando una regla lo suficientemente flexible para que acompañe la curva de la cara. Una vez dibujada, con una sierra se elimina el sobrante, y se arrima con la cuchilla de desbaste, escofina o lima gruesa. La precaución en esta operación, es no tocar las caras del cubo y que las secciones del laminado sean rectangulares. Realizada esta operación la siguiente es marcar las estaciones y en cada estación tallar las secciones de pala calculadas. Se usan como referencia las líneas de centro trazadas a cada lado y las caras superior e inferior del laminado.

Fig. 20

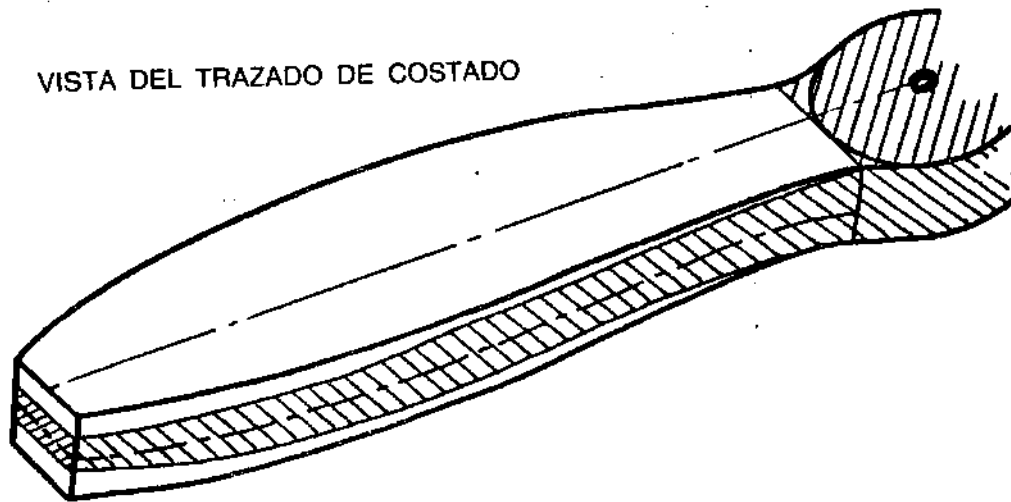
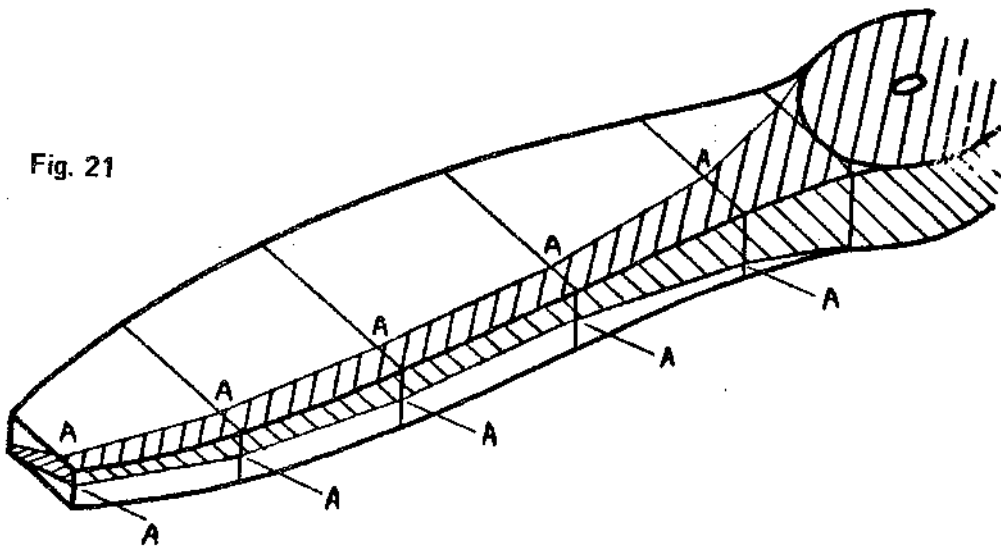


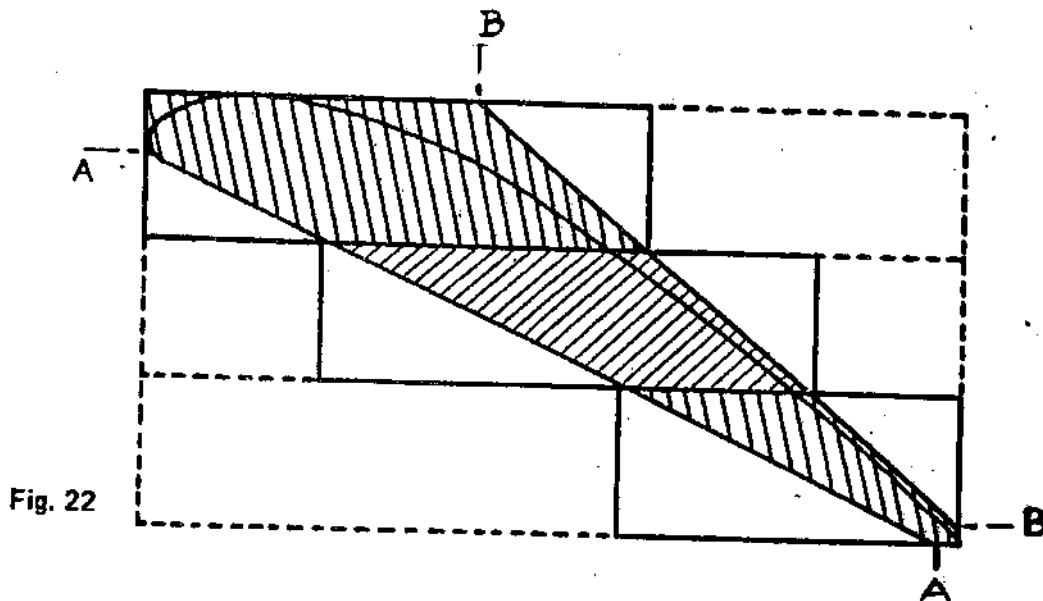
Fig. 21



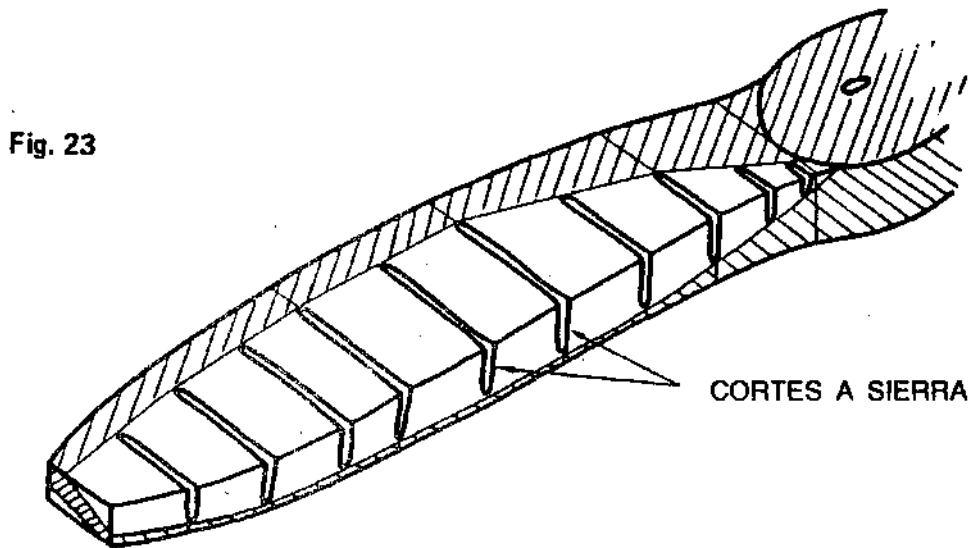
PREPARADO PARA PRIMER DESBASTE

## 6. DESBASTE Y TALLADO FINAL

Es conveniente dar ángulo a la parte plana de la hélice y una vez obtenido esto correctamente, dar la parte convexa a la otra cara. (Ver Fig 22)



El problema de la madera es que tiene tendencia a partirse en direcciones no deseadas cuando el desbaste es en grandes trozos. Un simple remedio es realizar una serie de cortes a sierra separados unos 25 mm, (ver figura Nº 23) lo cual limita cualquier grieta y luego el desbaste se puede hacer con formón y maza.

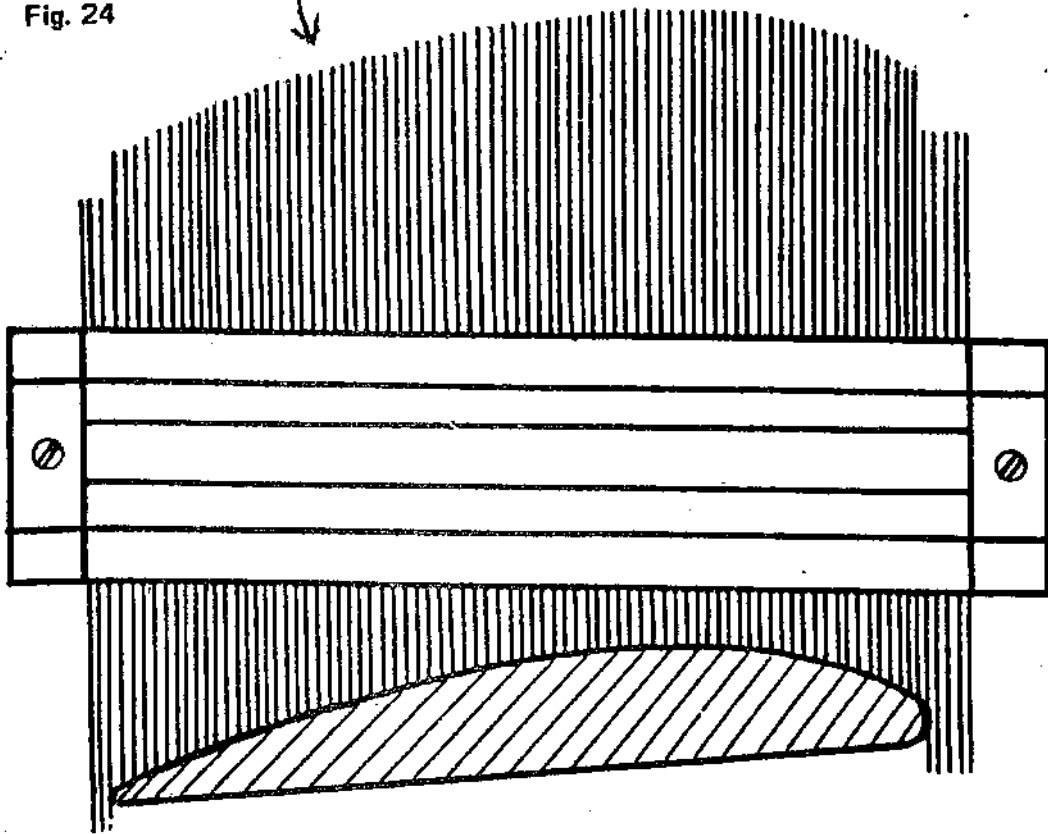


Si el laminado se ha hecho con el método de laminado con forma, aquí tendrá su ventaja por el ahorro de tiempo.

El terminado de las partes planas de una hélice pueden ser hechas a cepillo y las partes curvas, con escofina. Si se usa un disco lijador, se debe tener mucho cuidado, dejando una cierta tolerancia o espesor, para no pasarse, en la medida. Luego de esta aproximación ya se debe medir con la plantilla metálica.

PLANTILLA CON IMAGEN MACHO DEL PERFIL

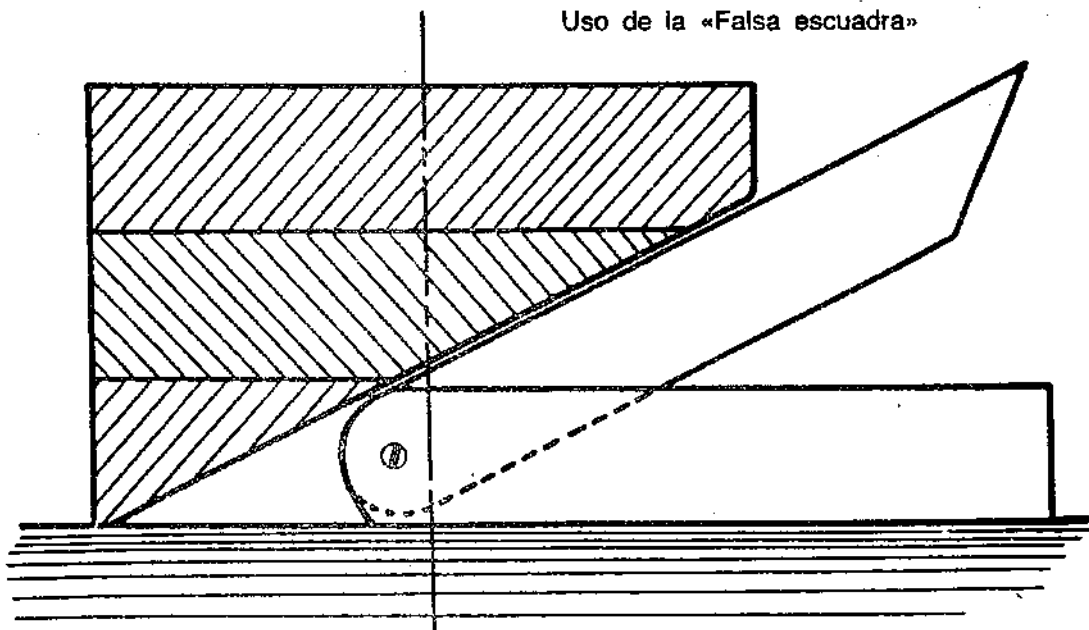
Fig. 24



HERRAMIENTAS UTILES

Fig. 25

Uso de la «Falsa escuadra»



Ahora el trabajo es unir los puntos ya arrimados de desbaste, de manera que las líneas coincidan suavemente entre las estaciones y el cubo. No se debe remover demasiado material. Es conveniente mirar una hélice terminada para ver como se trabaja. Luego se lija con grano grueso y poco a poco se disminuye el grano hasta que la madera quede perfecta. Si se desea pueden redondearse las puntas, pero si hace esto haga una plantilla, para que las dos puntas queden parejas. A partir de este momento la hélice está lista para el primer balanceo.

La figura N° 26 da un esquema de pintado, que hace a la seguridad para que se vea como «pulsando», lo cual es más fácil de observar que un disco estático, sobre todo a bajas revoluciones.

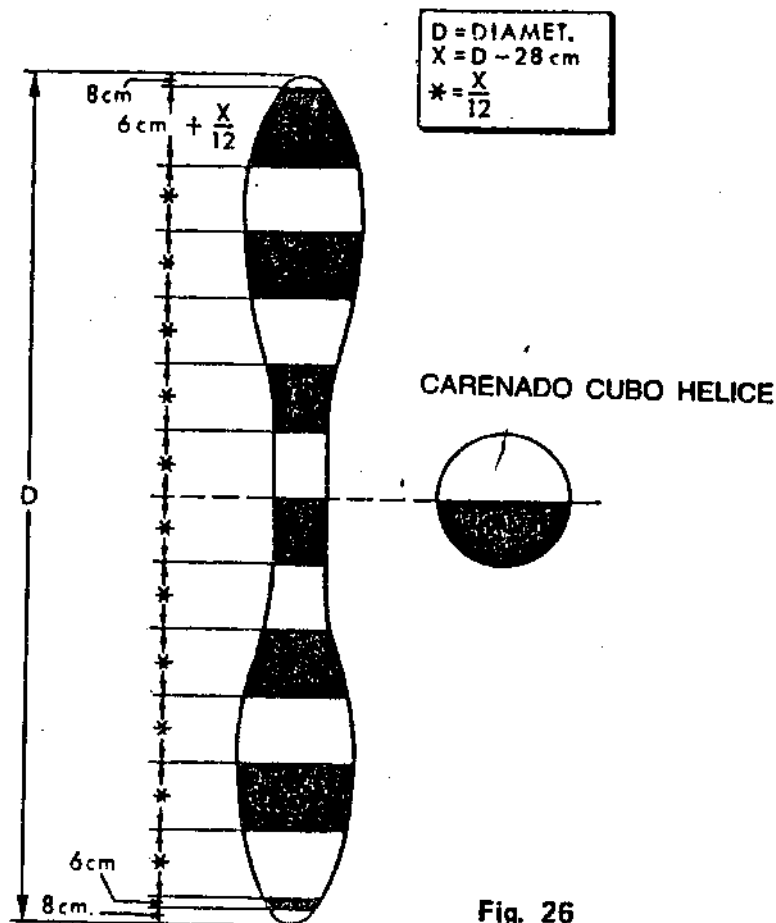


Fig. 26

ESQUEMA HELICE

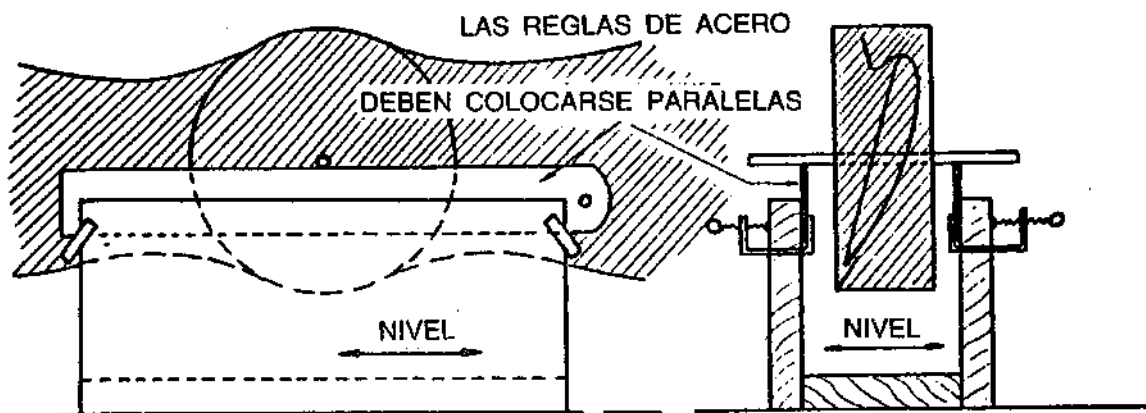
En el cubo de la hélice hay que grabar: Diámetro-Paso y tipo motor.  
 Una hélice bien balanceada, solo requiere control en caso de reparaciones.

## 7. BALANCEO Y PROTECCION FINAL

Las palas de hélice deben protegerse contra la intemperie, especialmente contra la lluvia. El solo barnizado no es protección en caso de volar con lluvia o aún en caso de carretear con pasto mojado pero sí ayuda a evitar que la madera absorba humedad.

Se puede dar una cierta protección a las palas removiendo una sección de 6 a 8 mm del borde de ataque, rellenándolo con resina epoxy o poliéster y luego de lijada, esta capa dará mayor resistencia al borde de ataque que es el que sufre los impactos de las gotas.

Hay otra protección basada en un laminado de tela de vidrio con resina epoxy o poliéster sobre las caras de la hélice. La precaución es no dejar aire bajo la tela. Luego de fraguada la mezcla se lija, hasta lograr un buen acabado y con una tela de grano 400 se obtiene esta terminación.



SISTEMA PARA HELICES QUE TENGAN UN AGUJERO CENTRAL Fig. 27

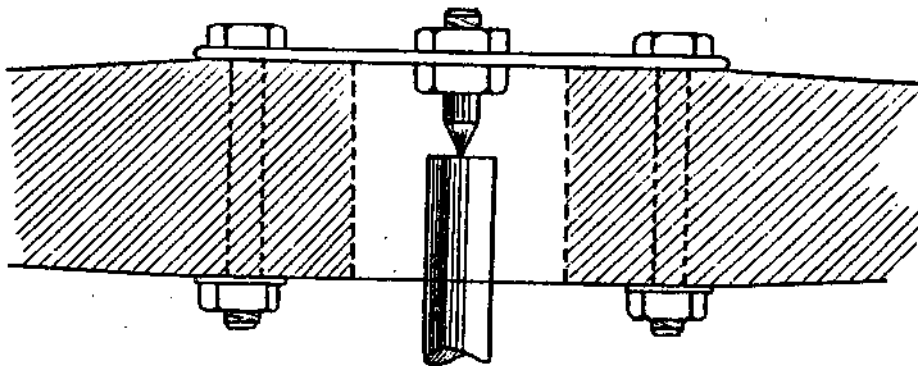
Luego de esta operación el próximo paso es el balanceo y allí la tarea es sacar material de la pala más pesada, hasta que las dos se equilibren. Las figuras N° 27, N° 28 y N° 29 dan una idea de los dispositivos para realizar esta operación. Hasta que la hélice no esté debidamente balanceada, no se debe encerrar, pues la cera no deja adherir al material si hay que hacer un agregado de resina o tela para compensar una mayor disminución del peso de pala.



Fig. 28 POSICIONES DE BALANCEO PARA DISPOSITIVO QUE NO PERMITE EL GIRO COMPLETO DE LA HELICE



Fig. 29



DISPOSITIVO PARA BALANCEO LATERAL

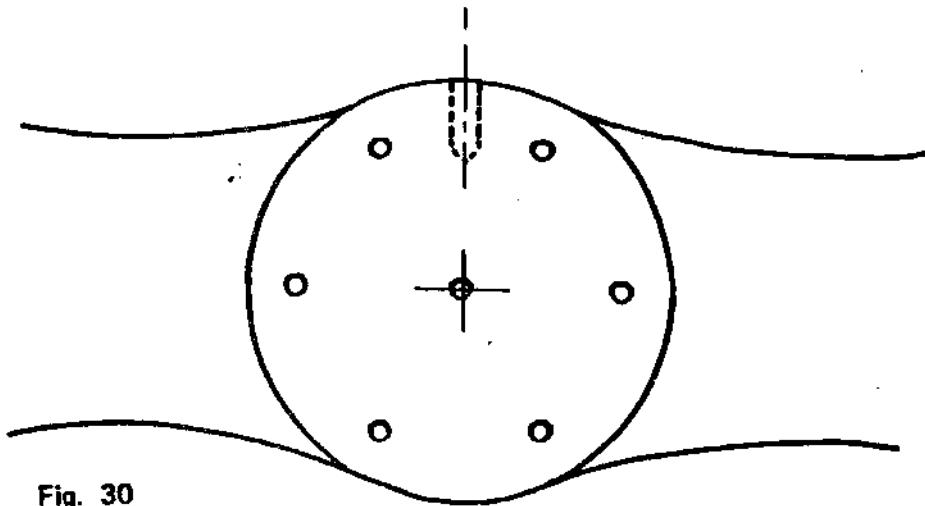
Hay hélices en que se recubre el borde de ataque con una lámina de latón, pero es muy difícil de aplicar y si queda humedad debajo de la aplicación, puede dañar la madera. En la práctica no tiene ninguna ventaja sobre la recubierta con resina y tela de vidrio (fiberglass)

Los bordes de ataque recubiertos con fibra de vidrio pueden ser protegidos con un laminado de PVC de ancho 13 a 19 milímetros, aplicado desde un 30% del radio hasta la punta de pala. Esta cinta se renueva cuando sea necesario o cada año.

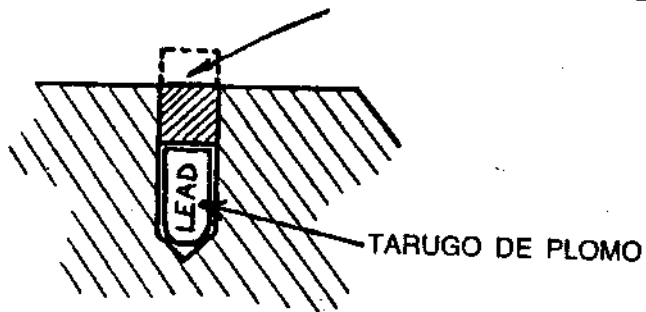
### Medidas «desesperadas» de balanceo

Si una hélice está balanceada en posiciones 1 y 2 pero no en 3 y 4, significa que está fuera de balance lateral.

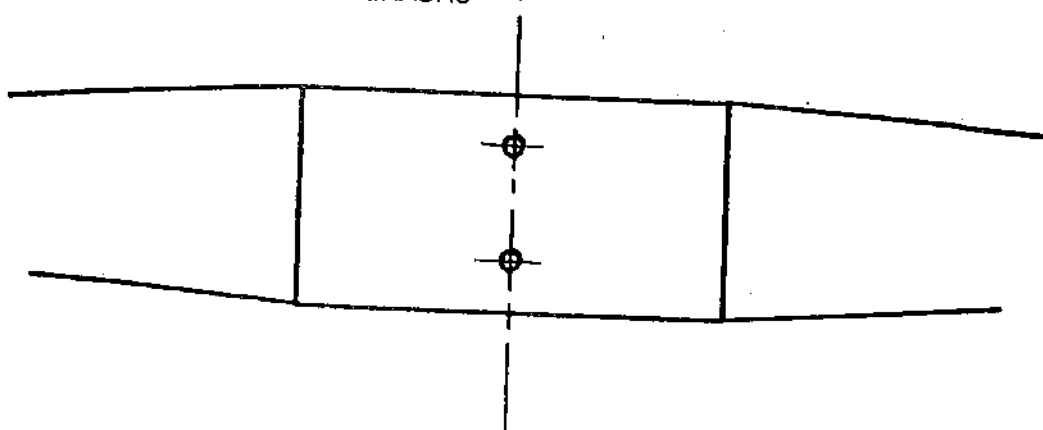
Su corrección es agregando epoxy sobre el borde de ataque de una de las pa-las y sobre el borde de fuga de la otra. Si con eso no se logra remediarto, otro método es colocar tapones de plomo, sobre el lado más liviano del cubo y en perforaciones de 6 a 8 mm de diámetro y hasta una profundidad de 19 a 20 mm, tapándolos luego con tarugo de madera. Los mismos no afectan al balan-ceo por eso se deben colocar luego de balanceada (figura Nº 30).



TARUGO MADERA PARA TERMINACION A NIVEL



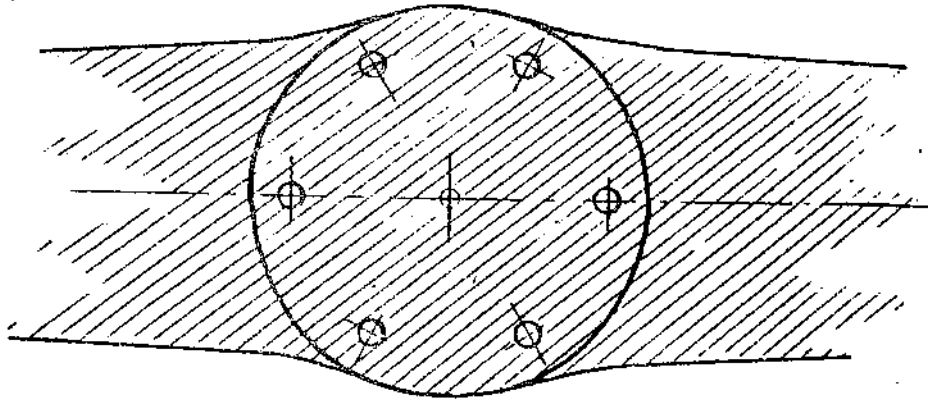
MEDIDAS DESESPERADAS





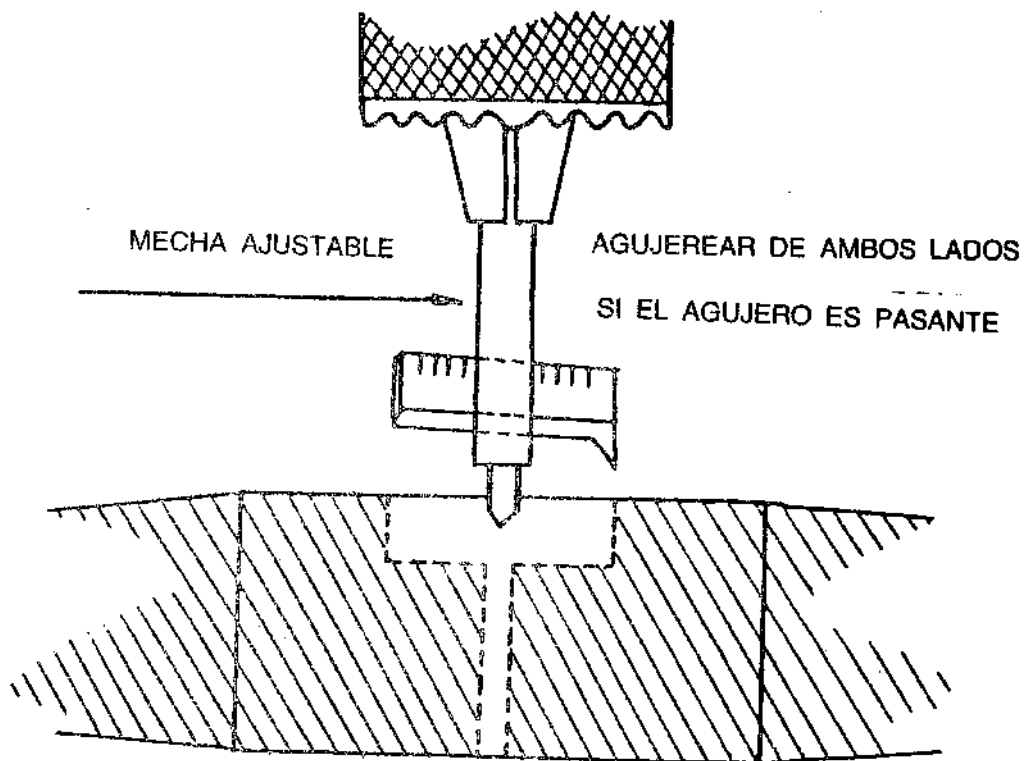
## 8. PERFORADO

Para realizar esta operación se requiere una agujereadora de banco de cierta precisión. La cara posterior es la que da el nivel, pues es la que va tomada al cubo de la hélice y debe estar en contacto con la mesa de la agujereadora. La figura Nº 31 da una idea de los seis agujeros que normalmente se realizan para aeronaves Experimentales. Es recomendable hacer los agujeros con una plantilla de hierro con un espesor mínimo de 3 mm. El alineado se realiza



TOMA NORMAL DE CUBO CON 6 BULONES

Fig. 31



AGUJERADO DEL CUBO PARA EL CIGUEÑAL

Fig. 32

usando el agujero central de la hélice donde pasa el cubo y los agujeros son normalmente de 8 mm pero el agujero en la madera debe ser un poco mayor para que los bulones no tengan dificultad al colocarse. Las figuras Nros 31 y 32 son suficientemente demostrativas del perforado

## 9. FIJACION AL CUBO

La hélice se sujeta al cubo con bulones, apretándolos en forma cruzada, al igual que si fuera una tapa de cilindros y debe apretarse bien, pero no tanto que deforme la madera o la aplaste.

Se debe usar una placa frontal metálica de 6 mm de espesor a fin de distribuir uniformemente la presión y es conveniente al apretar, usar una llave de no más de 160 mm de largo, lo que hará que la presión no sea excesiva.

La verificación de la colocación se hará de la manera que indica la figura N° 33, salvo que el diseño exija otra forma de comprobar el pasaje de ambas caras a la misma medida.

La diferencia entre las palas no debe superar los 3 mm y apretando nuevamente se pueden hacer pequeños ajustes para lograr la mayor exactitud. La ubicación de la pala debe estar relacionada con la compresión del motor, lo que facilita la puesta en marcha a mano, correctamente, dándole pala. La última comprobación es mirarla de costado con el motor en marcha tomando algún punto fijo, como referencia.

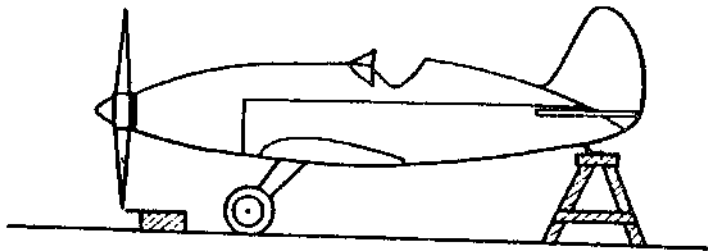


Fig. 33

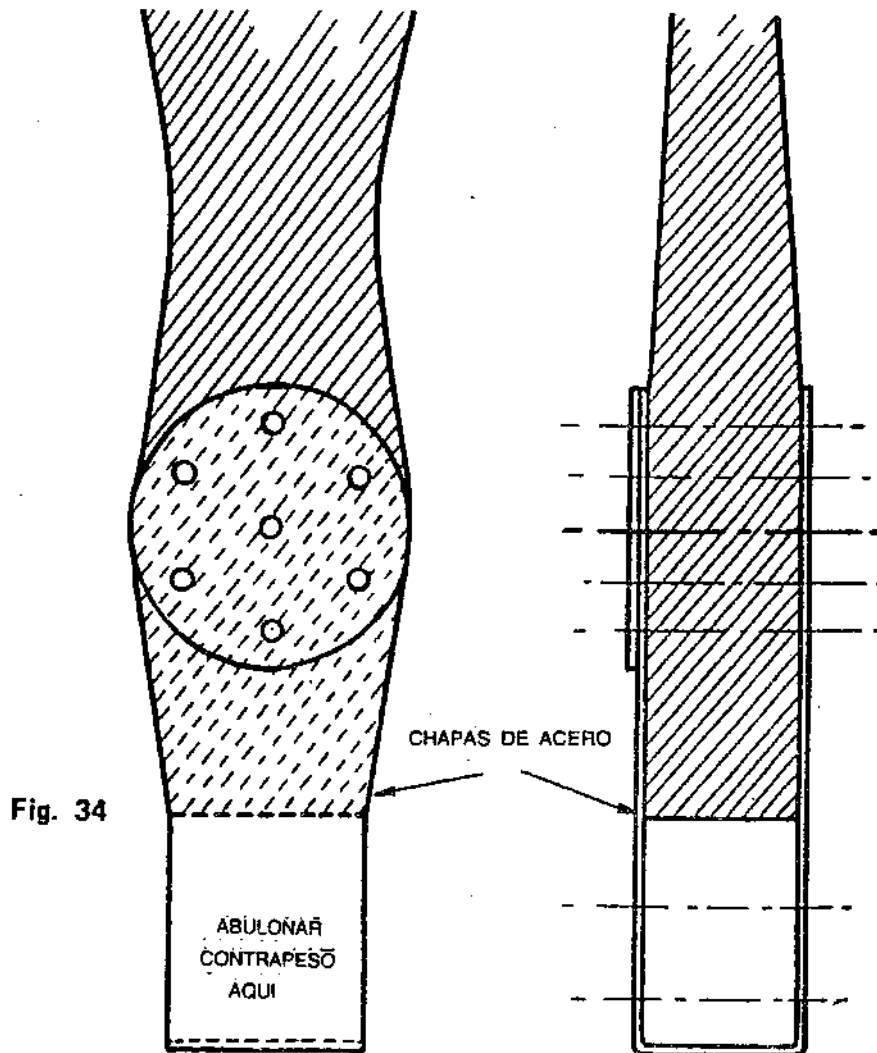
CONTROL DE GIRO DE LA HELICE

## 10. DISEÑOS ESPECIALES

Hay otras alternativas, aparte de las clásicas bipalas de paso fijo y son:

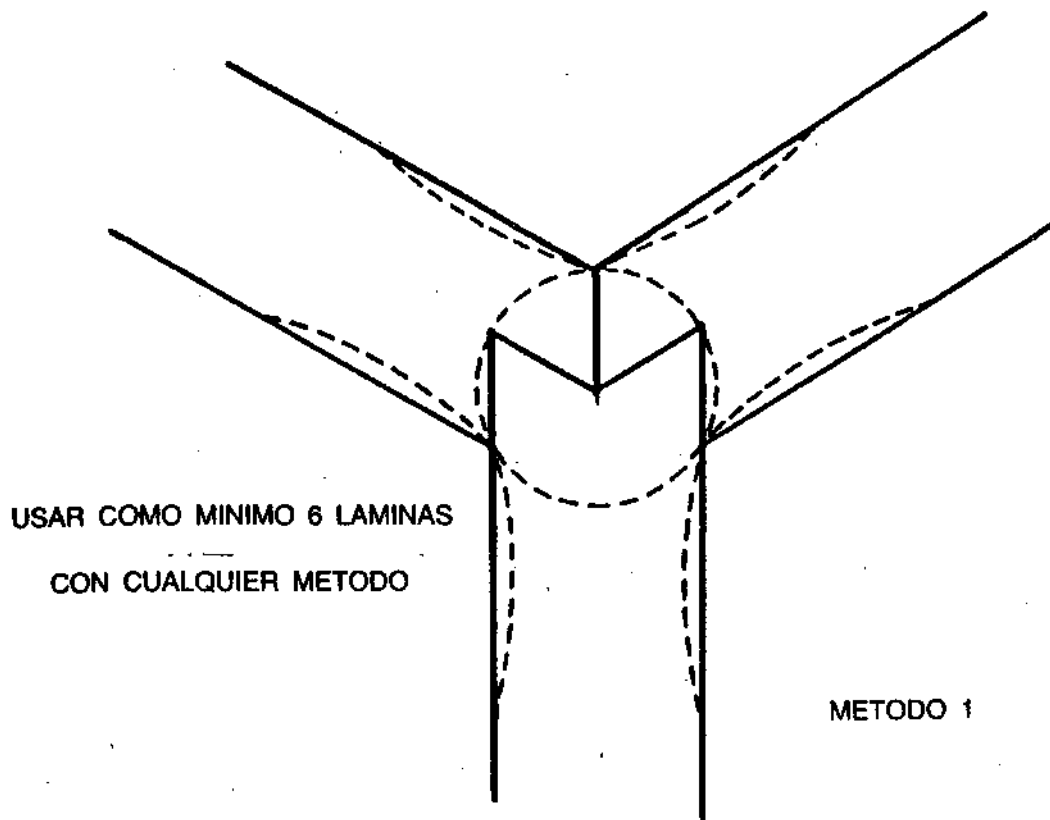
- A) Monopala
- B) Tripala
- C) Cuatripala
- D) Paso variable
- E) Cimitarra

A) **Monopala.** Teóricamente esta hélice es la más eficiente, pues una sola pala origina un disco de aire menos perturbado que el de dos o tres palas. Sin embargo, cuando la aeronave se desplaza, pierde esta ventaja teórica. El balanceo no será, especialmente difícil, pero por la cercanía del peso de equilibrado, la hélice será más pesada que una bipala equivalente. Además, para aprovechar la potencia deberá poseer más superficie y el diámetro deberá ser mayor, lo que puede incidir en la separación al suelo. El balanceo dinámico es innecesario e imposible en una pala única. Multiplicando el diámetro (en pulgadas) de una bipala, por 1,167 se obtiene el diámetro equivalente (en pulgadas) de una hélice de una sola pala.



CUBO PARA HELICE MONOPALA

B) Tripala. Multiplicando el diámetro de una bipala (en pulgadas) por 0,933 se obtiene el diámetro equivalente para una tripala. El paso no se ve afectado. El método de diseño es exactamente igual que para dos palas, pero es conveniente usar seis laminados en lugar de tres, como se había dicho para la bipala. Eso es para que en el cubo haya mayor entrecruzamiento al construir el laminado (la figura N° 35 muestra lo expresado). El balanceo hay que hacerlo en un dispositivo que permita el giro completo de la hélice y la tarea es más sencilla que con una bipala.



LAMINACION HELICE TRIPALA

Fig N° 35 (a)

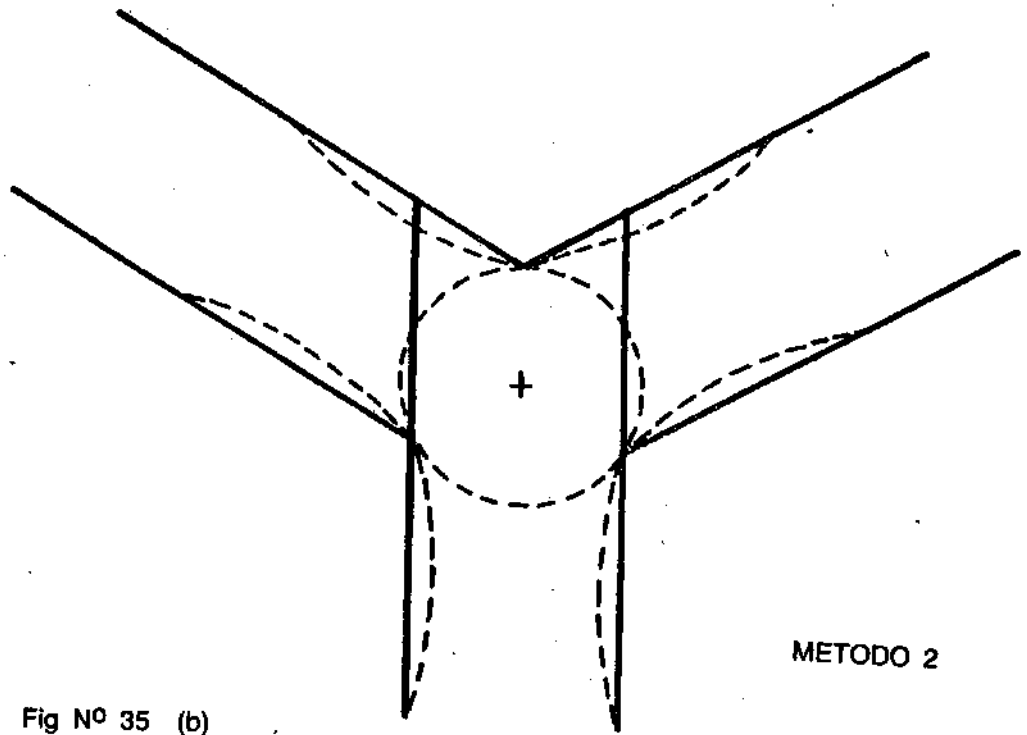


Fig N° 35 (b)

C) **Cuatripala.** Es posiblemente la más sencilla multipala de construir y el diámetro en pulgadas es 0,891 veces el de una bipala. Aquí conviene usar seis laminaciones, la primera capa es como si fuera bipala, luego se van intercalando, de manera que en cada fargo quede una capa completa de madera (la figura N° 36 da una idea del trabajo).

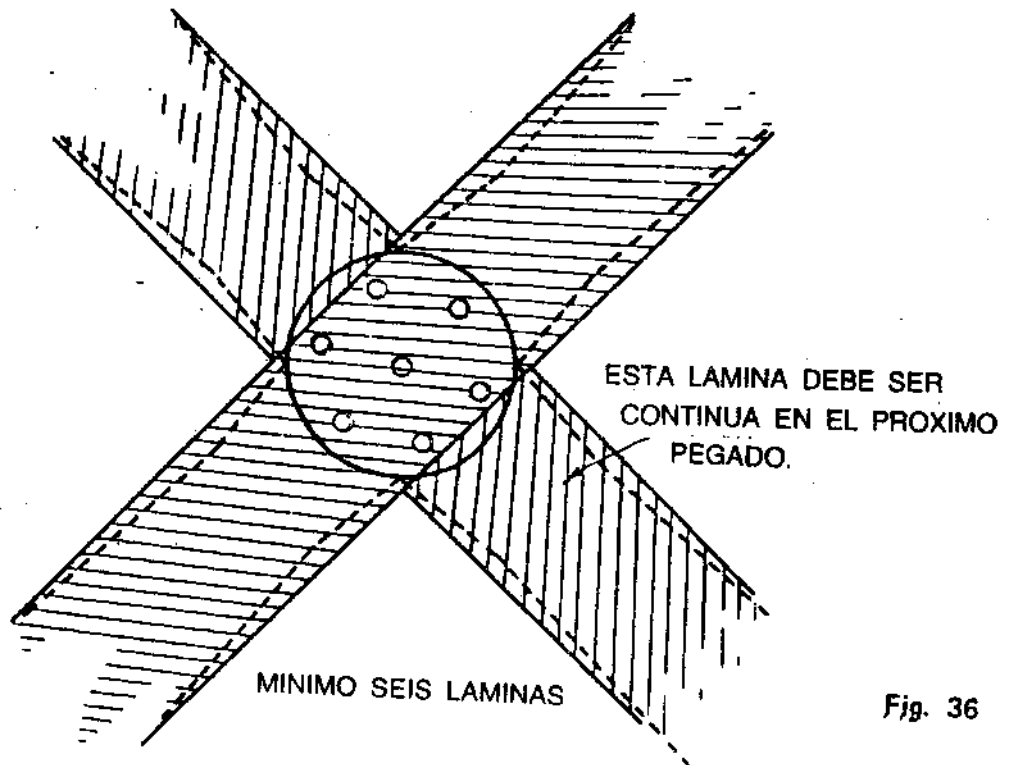
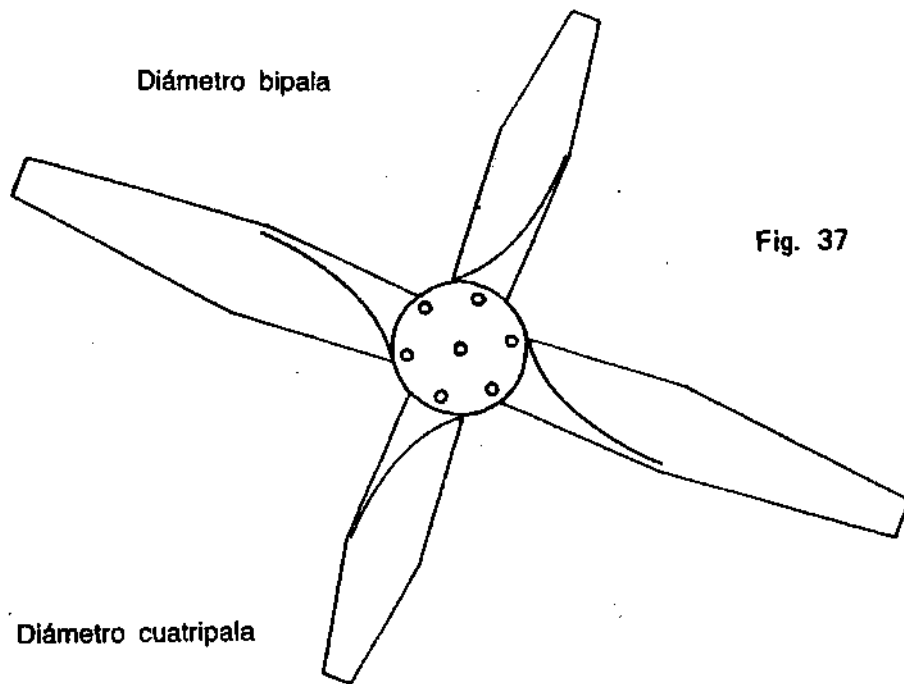
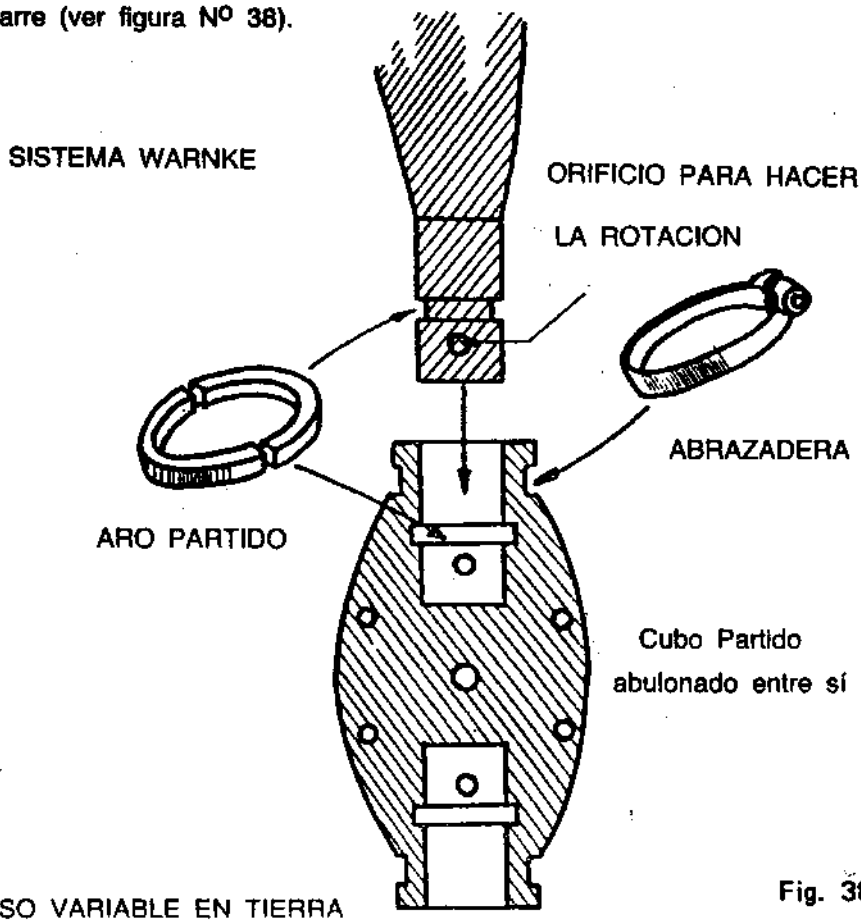


Fig. 36



Visualización del diámetro de una hélice cuatripala, en relación a la bipala original

D) **Paso variable.** Las hélices que poseen paso ajustable en tierra, tienen su etapa de diseño y cálculo, igual a la común de dos palas. Siempre hay que usar madera más dura, por la tensión que deberá soportar el cubo en su agarre (ver figura Nº 38).



E) **Cimitarra.** La hélice cimitarra, o semi cimitarra, tiene una apariencia agradable y como está curvada hacia atrás posee una reducción en cuanto al ruido, aparte de una variación automática del paso aunque este efecto es sin embargo pequeño. (figura Nº 39)

La verdadera cimitarra, tiene tanta curvatura en sus palas, que las placas deben ser lo suficientemente delgadas, para permitir que se curven.

En esta hélice al girar, las palas se doblan hacia adelante por efecto del empuje, y debido a su forma hay una disminución en el ángulo de incidencia, por consiguiente hay una variación en el paso, sin partes móviles.-

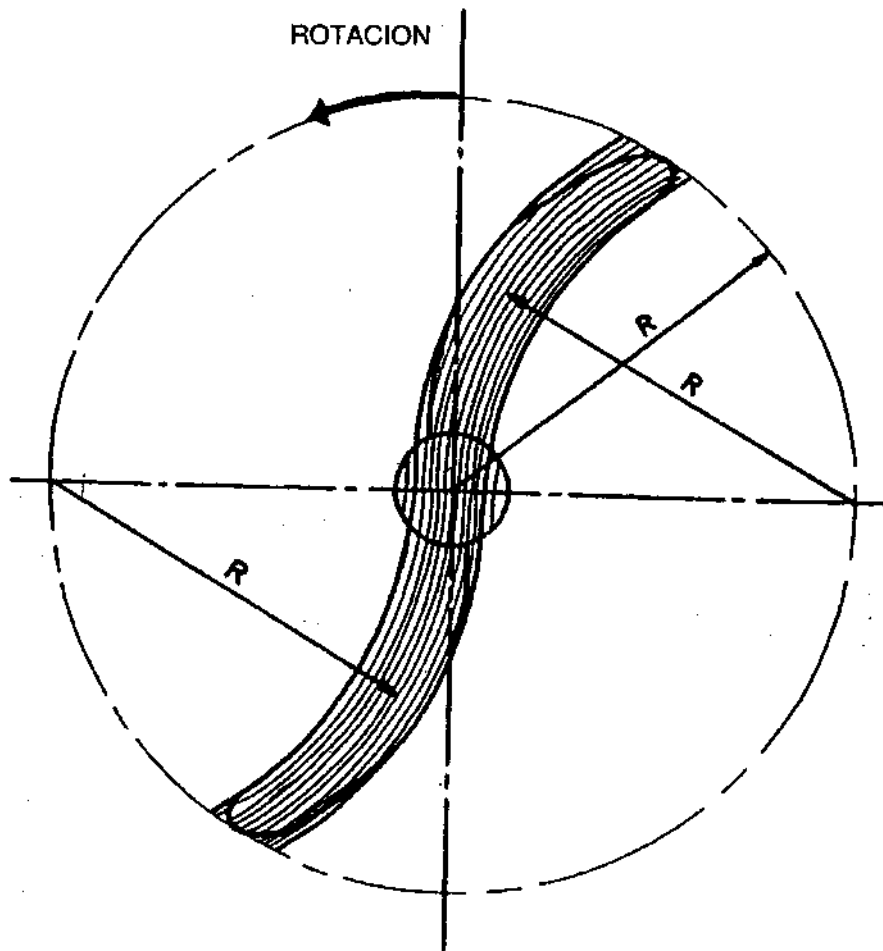


Fig. 39

HELICE CIMITARRA VERDADERA

SECCION DE PALA DE UNA HELICE CIMITARRA

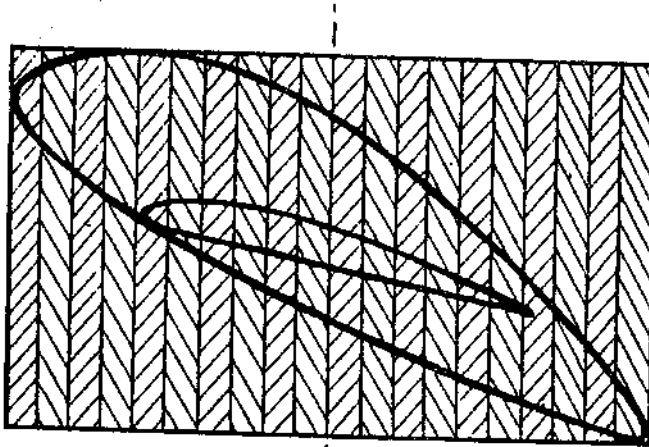


Fig. 40

NOTE LA CANTIDAD Y DIRECCION DE LAS LAMINAS

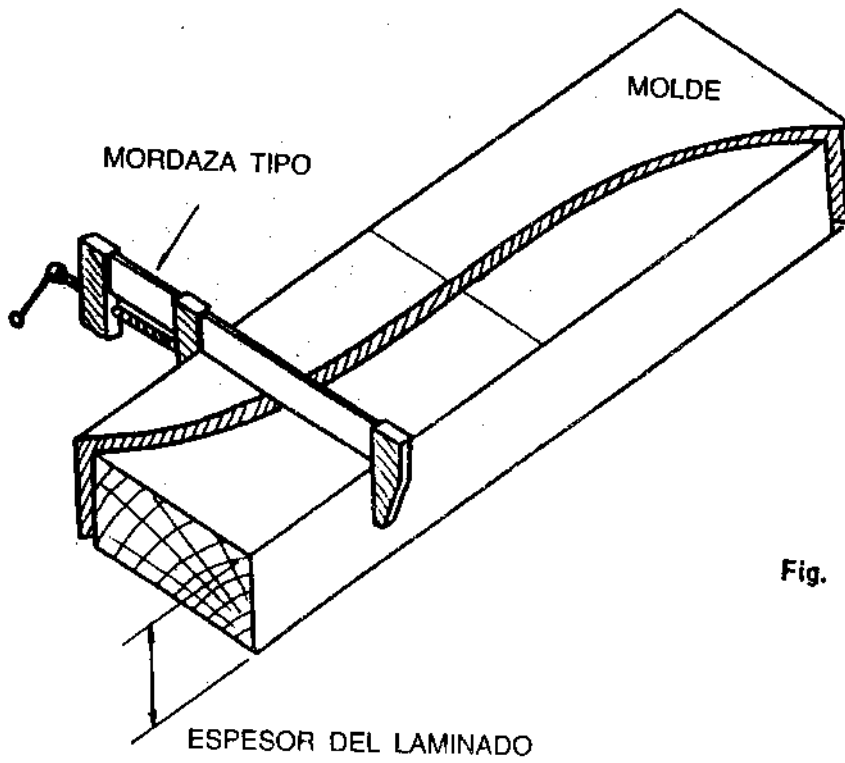


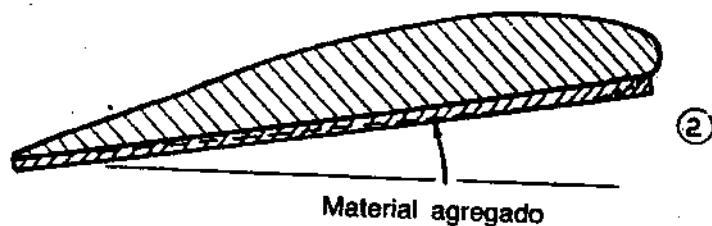
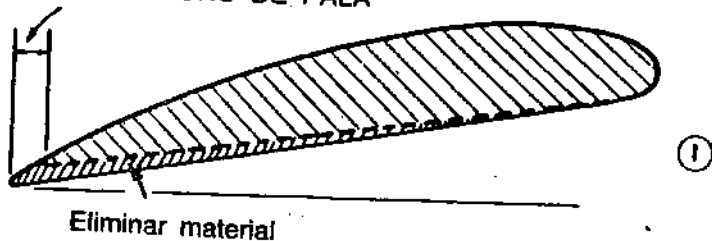
Fig. 41

ENCOLADO HELICE CIMITARRA



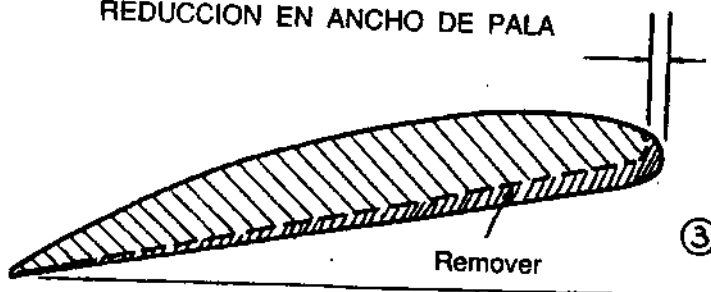
FORMA DE ALTERAR EL PASO DE UNA HELICE  
(Los ángulos están exagerados por claridad)

REDUCCION EN ANCHO DE PALA



DISMINUCION DEL PASO

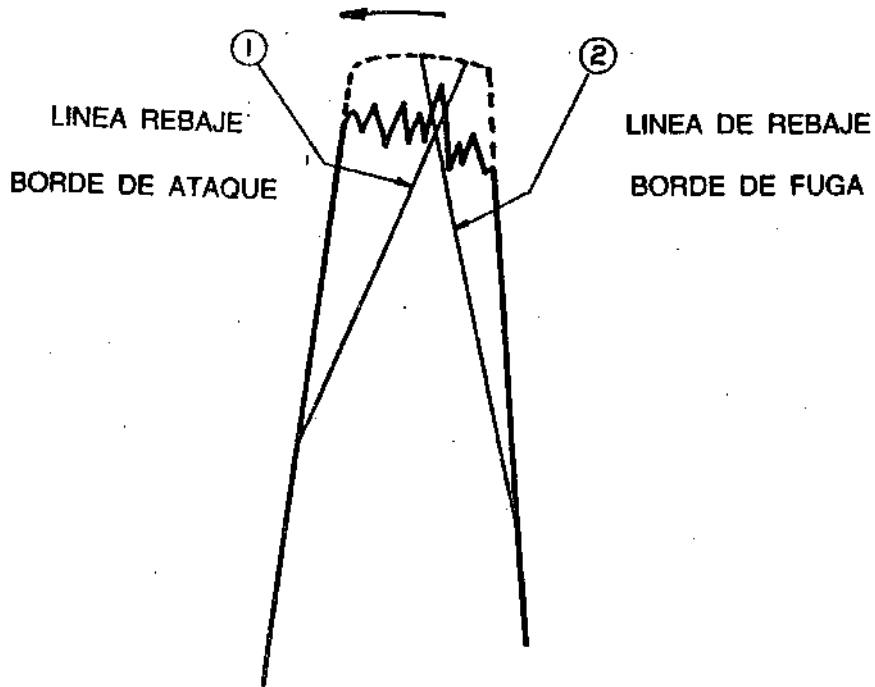
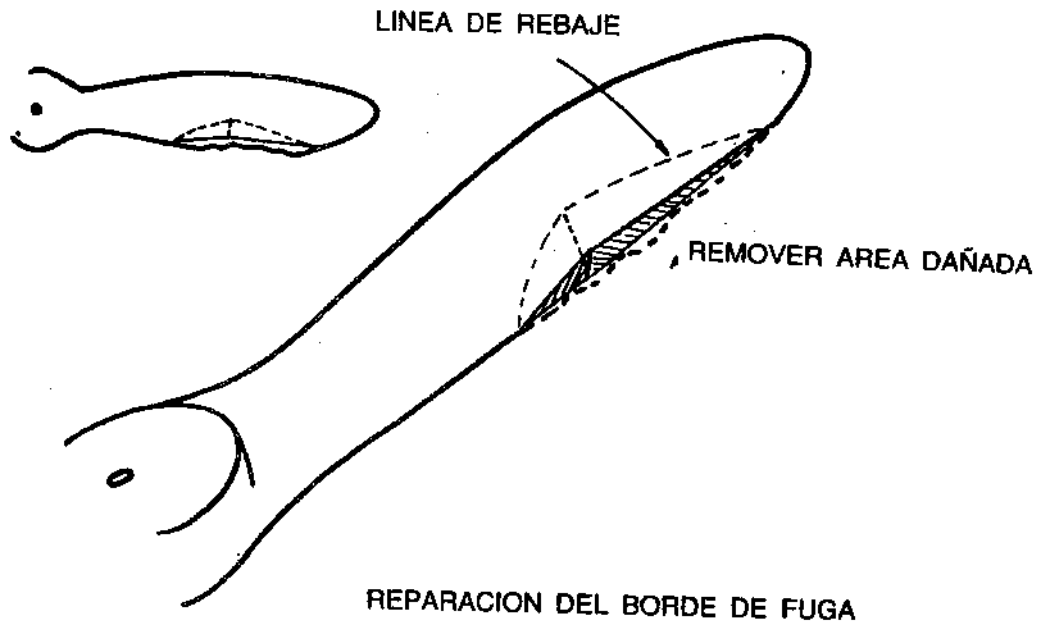
REDUCCION EN ANCHO DE PALA



AUMENTO DEL PASO

CAMBIO DEL ANGULO DE PALA

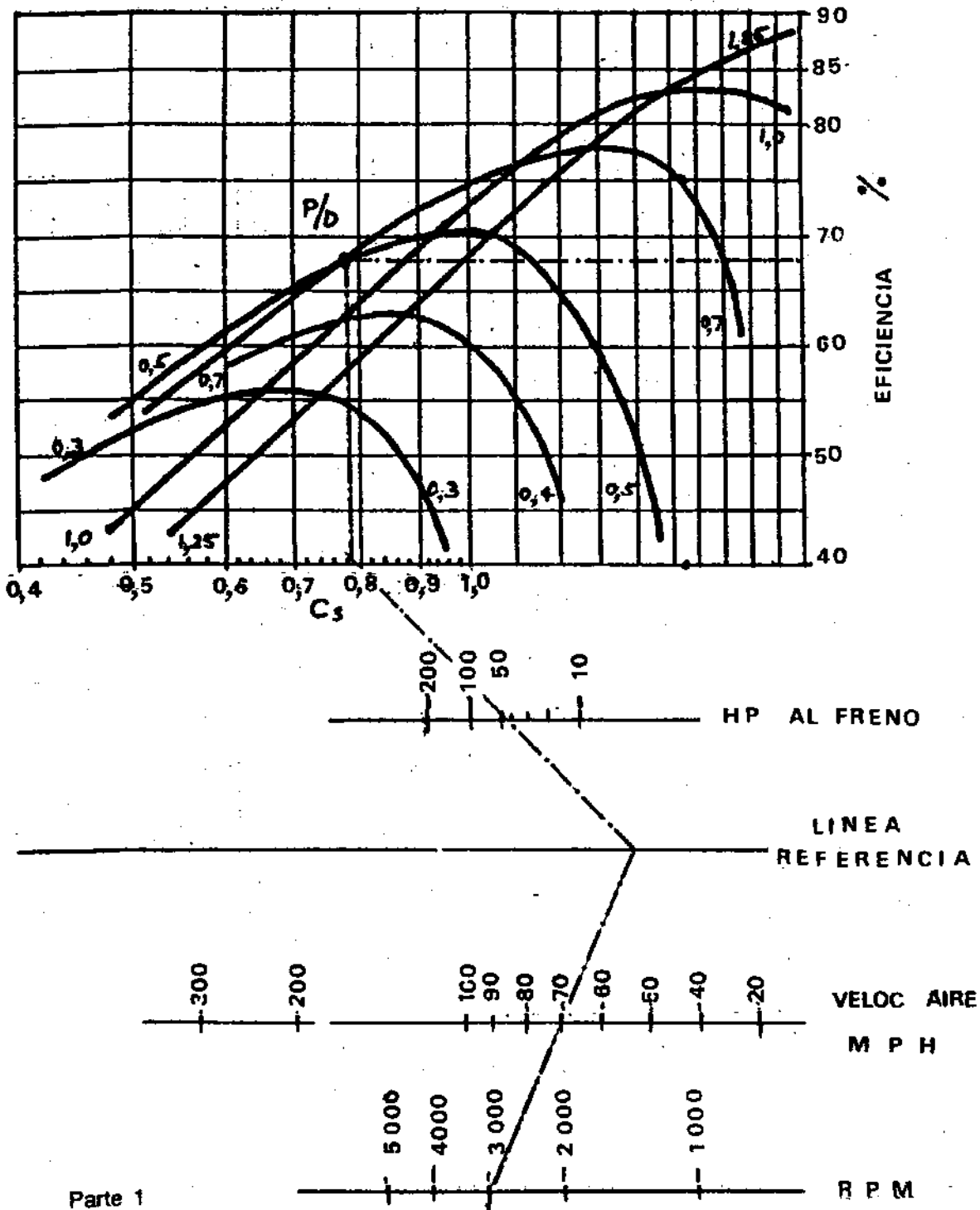
# EJEMPLOS DE REPARACIONES





Las matemáticas involucradas en el diseño de hélices pueden evitarse usando nomogramas.

NOMOGRAMA Fig Nº 4

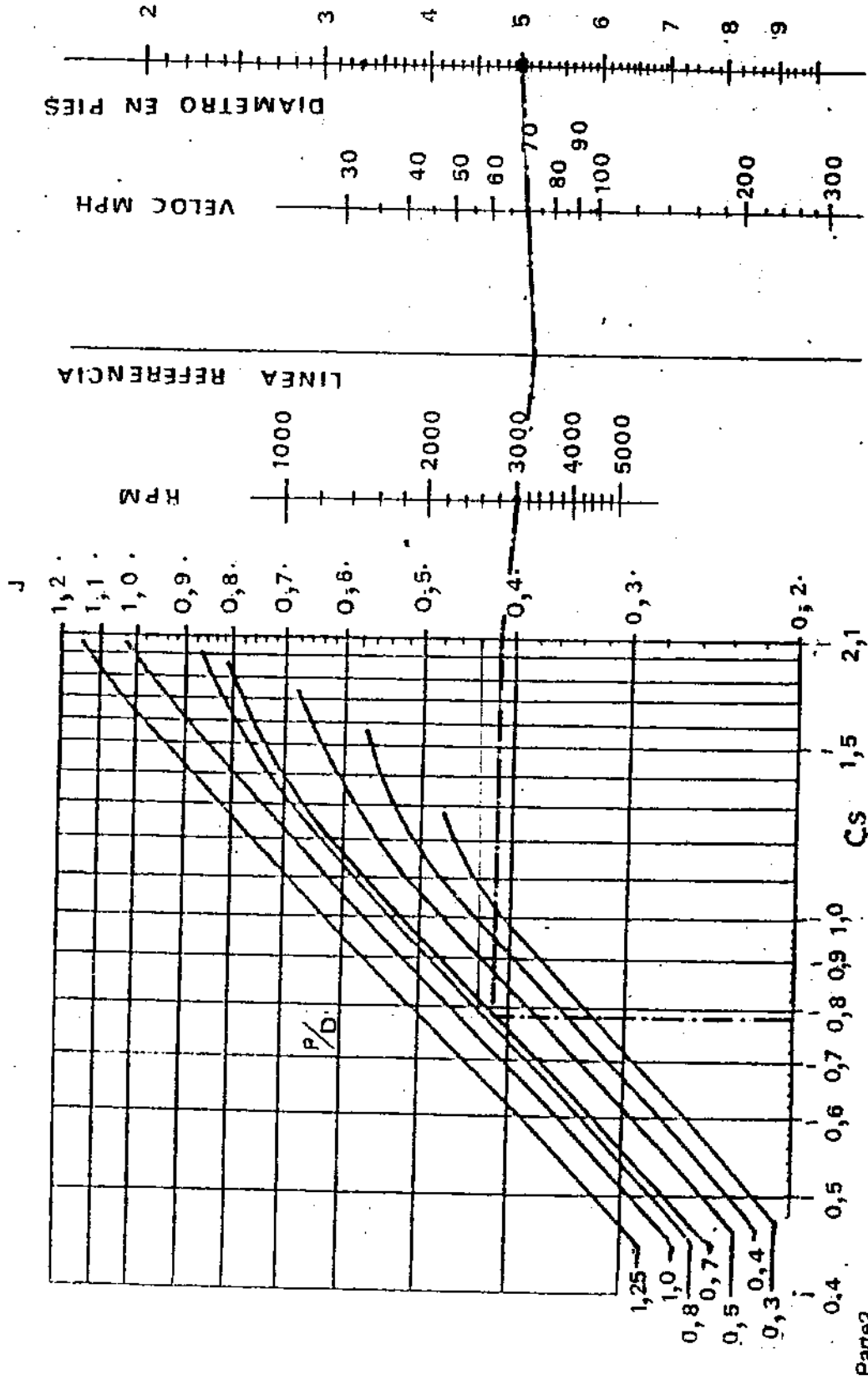


Parte 1

**COMO USAR:**

Motor acciona hélice a 3000 rpm y la velocidad aeronave 70 mph, el trazo llega a línea de referencia, de ese punto y pasando por 50 bhp intercepta valor  $C_s = 0,78$ , continúa verticalmente hasta la curva de mayor eficiencia 0,7 a la derecha lee eficiencia en %.

NOMOGRAMA Fig No 5



Parte 2

**COMO USAR:**

Tome el mismo valor Cs 0,78, intercepte P/D de 0,7 y horizontalmente marca en J 0,42 desde allí pasa por 3000 rpm a línea referencia con ese punto y pasando por 70 mph marca un diámetro de 5 pies. 5 pies multiplicado por 0,7 da 3,5 pies para el paso. 5 pies equivalen a 60 pulgadas y 3,5 pies a 42 pulgadas, la hélice será por consiguiente diámetro 60 paso 42.

