

**UTN-FRLP**  
INGENIERIA NAVAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL LA PLATA

# **Práctica Profesional Supervisada**

## **Diseño de una hélice para un motor de 40-60 hp**

Alumno: Mariano Giorgio

## **INTRODUCCION:**

Como introducción primero es necesario recurrir a la definición de conceptos que son importantes para entender el diseño de una hélice:

**Diámetro:** es el diámetro es el círculo trazado por las puntas de las palas.

**Paso:** es la distancia lineal que la hélice se movería en una revolución completa de un medio sólido que no permite el resbalamiento.

Bajo condiciones reales de operación, el resbalamiento se produce cuando la hélice gira, por lo que el movimiento hacia adelante absoluto (paso real) es menor que el paso absoluto.

**Blade:** número de palas de la hélice

**Angulo de paso:** ángulo de la cara de presión a lo largo de la línea de paso con respecto al plano de rotación, medido en grados.

**Rake:** es la inclinación de la pala con respecto al núcleo, con la hélice situada de perfil. Se especifica en grados. Es llamado también caída. Las hélices para motores dentro-fuera y los fuera de borda tienen una caída que está entre los 15° y 20°.

**Skew:** la línea del centro de la pala es curvilíneo, barrido hacia atrás en la dirección de rotación. El contorno de la pala no es simétrico radialmente alrededor del eje central de la pala.

**Leading Edge:** borde de la pala que primero toca el agua.

**Trailing Edge:** borde desde el cual sale el agua.

**Blade Face (Pressure Side or Pitch Side):** es el lado de la pala que ejerce presión.

**Blade Back (Suction Side):** lado de la pala que hace succión.

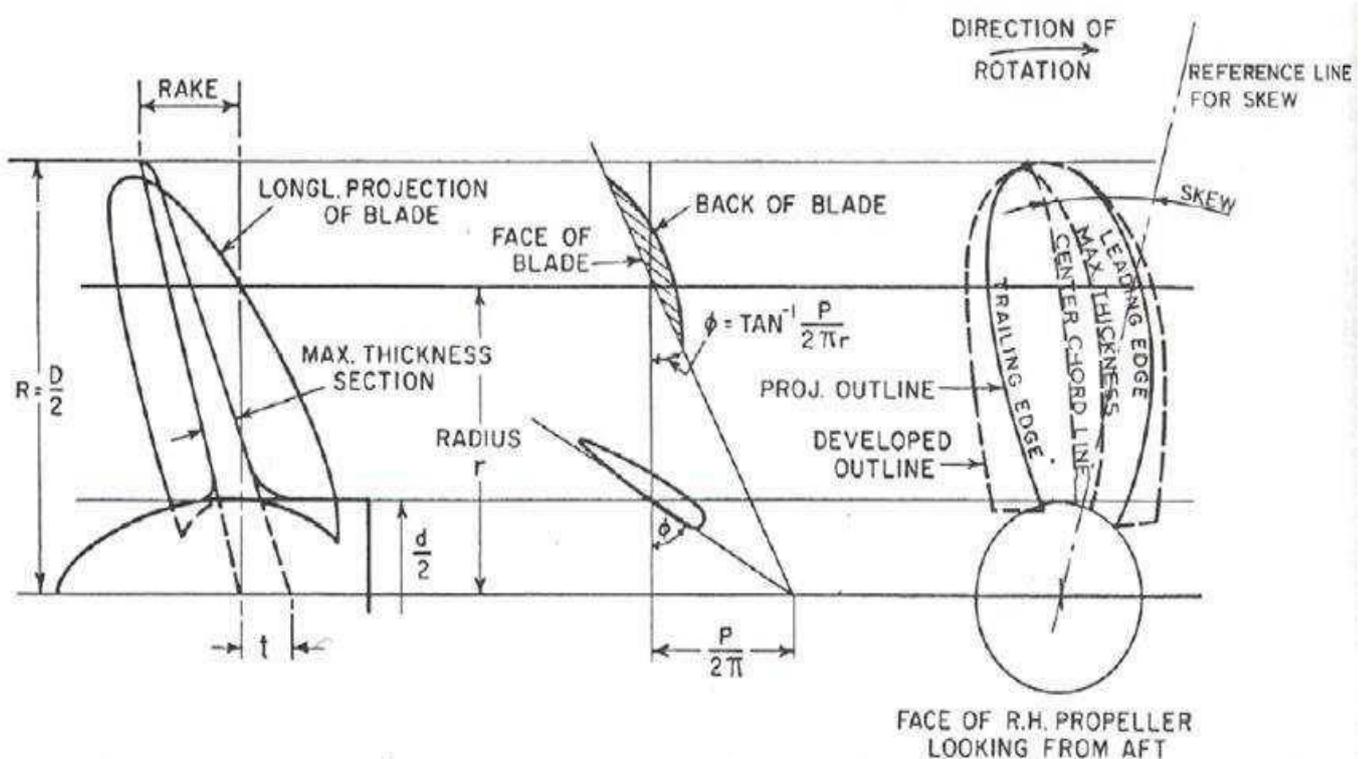
**Blade Root (Fillet area):** es el área donde la pala se une al núcleo.

**Cup:** es pequeño radio o curvatura situado en el borde de salida de la pala. El cupping ayuda a reducir o retrasar la cavitación. Ayuda a reducir el resbalamiento, aumentando así el paso real y el empuje utilizable.

**Hub:** es un cilindro situado en el centro de la hélice.

Ventilation: a veces el termino cavitación se usa cuando en realidad está ocurriendo otro fenómeno llamado ventilación. La ventilación es el aire de la superficie del agua o los gases de escape que son atraídos hacia las palas de la hélice, lo que hace que la hélice gane rpm y pierda empuje.

Slip: es la diferencia entre la distancia teórica que la hélice debe recorrer en una revolución y la distancia real que recorre el buque.



Developed area ratio =  $DAR = \frac{A_D}{A_o}$   
 Projected area of blades (on transverse plane) outside hub =  $A_p$   
 Projected area ratio =  $PAR = \frac{A_p}{A_o}$   
 Blade width ratio =  $BWR = \frac{\text{Max. blade width}}{D}$   
 Mean width ratio =  $MWR = \frac{A_D / \text{length of blades (outside hub)}}{D}$

Diameter  $D$       Pitch ratio =  $\frac{P}{D}$   
 Pitch  $P$       Blade thickness ratio =  $\frac{t}{D}$   
 No. of blades 4      Pitch angle =  $\phi$   
 Disk area = area of tip circle =  $\frac{\pi}{4} D^2 = A_o$   
 Developed area of blades, outside hub =  $A_D$

## **Relación entre número de palas y paso**

Con respecto al número de palas se puede decir que las hélices de 4 palas están más indicadas para barcos que necesitan mucha fuerza de arrastre y menor velocidad crucero. Y esto es cierto especialmente porque la mayoría de las hélices de 4 palas han sido siempre diseñadas para barcos lentos que necesitan generar mucha fuerza de arrastre a baja velocidad. Las hélices de 4 palas han sido optimizadas para evitar problemas de ventilación y ser menos exigentes en el ajuste de la profundidad a la que deben trabajar las hélices. En la actualidad es posible encontrar este tipo de hélices con perfiles y geometrías muy evolucionadas.

Por ejemplo, cambiar una hélice de 3 a 4 palas puede ser beneficioso si gracias a la disminución del paso de la hélice, el motor puede seguir trabajando en su par máximo.

La mayoría de las marcas tienen que fabricar motores y hélices que sean óptimos para rangos de barcos muy variados. Por ejemplo un motor fueraborda de 100 caballos está diseñado para que funcione muy bien para embarcaciones de muy diferentes características y para ello se equipan con hélices que posiblemente no sean óptimas para una embarcación concreta pero sí las mejores en términos medios para muchas embarcaciones.

Lo que siempre se debe lograr es que el motor trabaje en la zona de revoluciones en donde se encuentra el par máximo. Para ello se debe consultar el manual del motor.

Cuando se quiere cambiar el paso hay que tener en cuenta lo siguiente:

Por cada pulgada de cambio de paso el motor cambiara unas 200 rpm en su régimen de revoluciones.

Los fabricantes de hélices proponen gamas de hélices pensadas para alterar entre 300 y 500 rpm de una a la siguiente. Si por ejemplo al motor le faltan 400 rpm a fondo para alcanzar el par máximo debemos bajar el paso a la siguiente gama inferior ofrecida por el fabricante. Si por el contrario observamos como el motor al máximo sube el cuentarrevoluciones a la zona roja, estamos faltos de paso y debemos aumentarlo.

Cuando se cambia de una hélice de 3 palas a una de cuatro, generalmente se requiere de una disminución del paso en 1 pulgada. Por ejemplo, si se tiene una hélice de 3 palas de 21 pulgadas, hay que pasar a una hélice de 4 palas de 20 pulgadas.

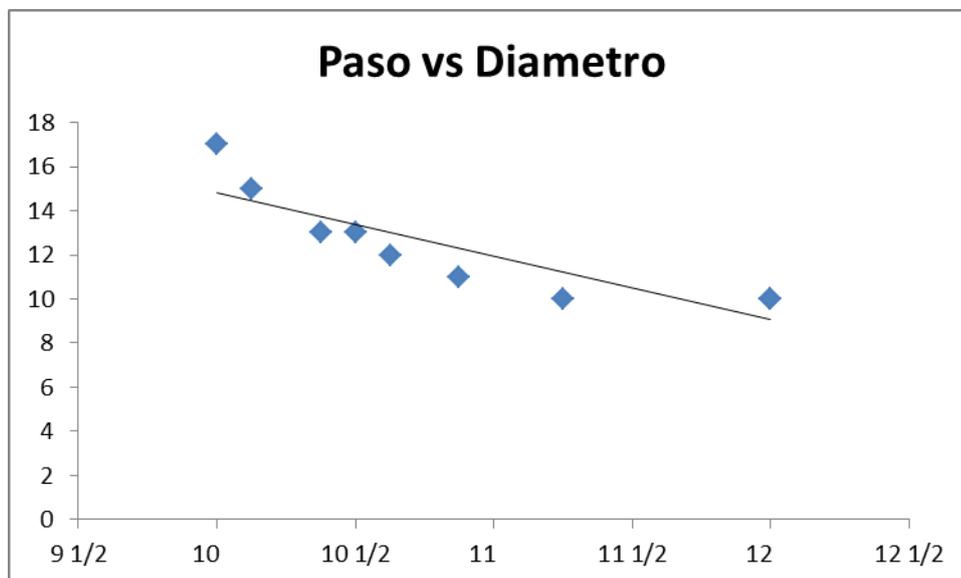
En la náutica de recreo las hélices más utilizadas son las de tres palas. Son hélices que tienen un buen tiro y buen rendimiento a alta velocidad. Son recomendables en motores de 3,4 y 6 cilindros.

A continuación se detallan las hélices más utilizadas por los principales constructores.

**Mercury**

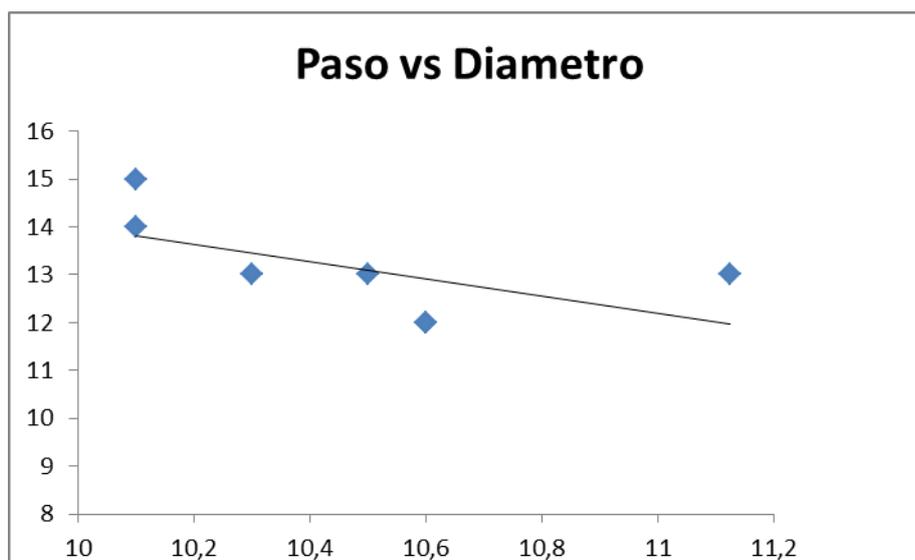
**Black max**

<u>Mercury</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
25-60 HP	10	17	3	Aluminio
25-60 HP	10.125	15	3	Aluminio
30-70 HP	12	10	3	Aluminio
25-60 HP	10.375	13	3	Aluminio
25-70 HP	10.5	13	3	Aluminio
25-60 HP	10.625	12	3	Aluminio
25-60 HP	10.875	11	3	Aluminio
30-70 HP	11.25	10	3	Aluminio
30-70 HP	12	10	3	Aluminio



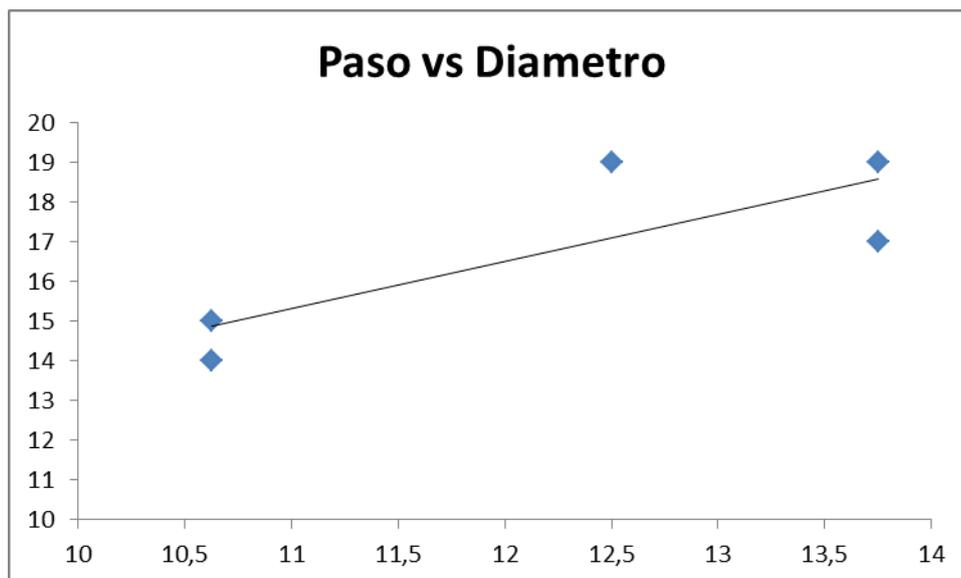
**Spitfire**

<u>Mercury</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
40-60 HP	10,3	13	4	Aluminio
40-60 HP	10,1	14	4	Aluminio
40-60 HP	10,6	12	4	Aluminio
40-60 HP	10,1	15	4	Aluminio
25-60 HP	10,6	12	4	Aluminio
25-70 HP	11,125	13	4	Aluminio
25-70 HP	10,5	13	4	Aluminio



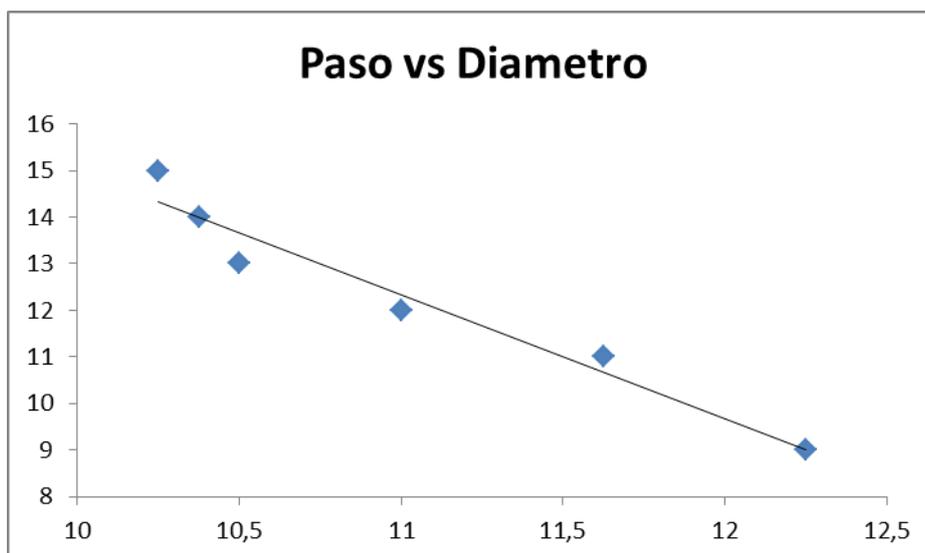
**Trophy sport**

<u>Mercury</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
30-60 HP	10,625	14	4	Acero inox
30-60 HP	10,625	15	4	Acero inox
40-125 HP	13,75	17	4	Acero inox
40-125 HP	13,75	19	4	Acero inox
40-140 HP	12,5	19	4	Acero inox



**Vengeance**

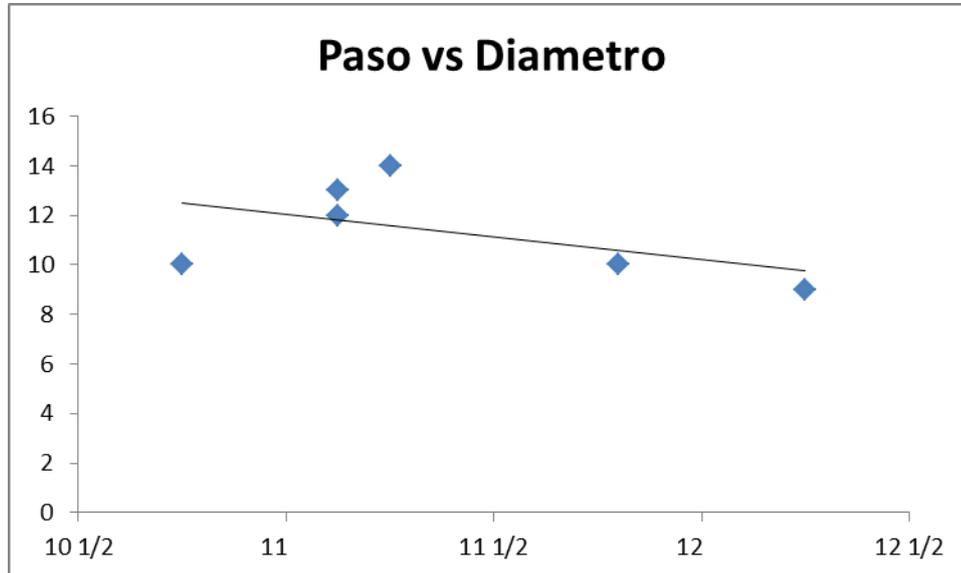
<b><u>Mercury</u></b>	<b><u>Diámetro</u></b>	<b><u>Paso</u></b>	<b><u>Palas</u></b>	<b><u>Material</u></b>
25-60 HP	10,25	15	3	Acero inox
25-60 HP	10,375	14	3	Acero inox
25-60 HP	10,5	13	3	Acero inox
25-60 HP	11	12	3	Acero inox
25-60 HP	11,625	11	3	Acero inox
25-60 HP	12,25	9	3	Acero inox



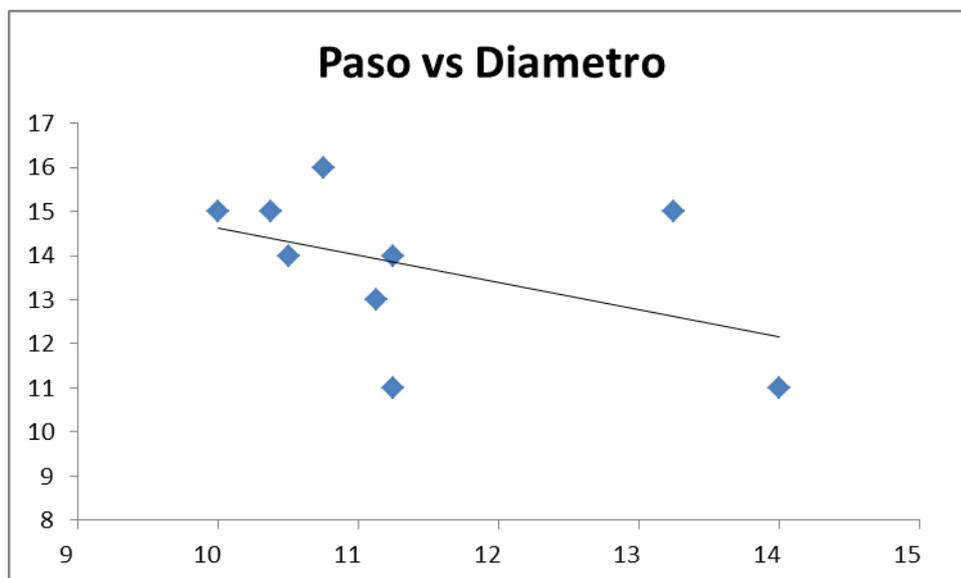
**Yamaha**

<u>Yamaha</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
40-60 HP	10.75	10	3	Aluminio
40-50 HP	11.125	13	3	Aluminio
40-60 HP	11.125	12	3	Aluminio
40-60 HP	11.125	14	3	Aluminio
40-60 HP	11.8	10	3	Aluminio
40-60 HP	12.25	9	3	Aluminio

Para las hélices de aluminio, la relación P/D es la siguiente:

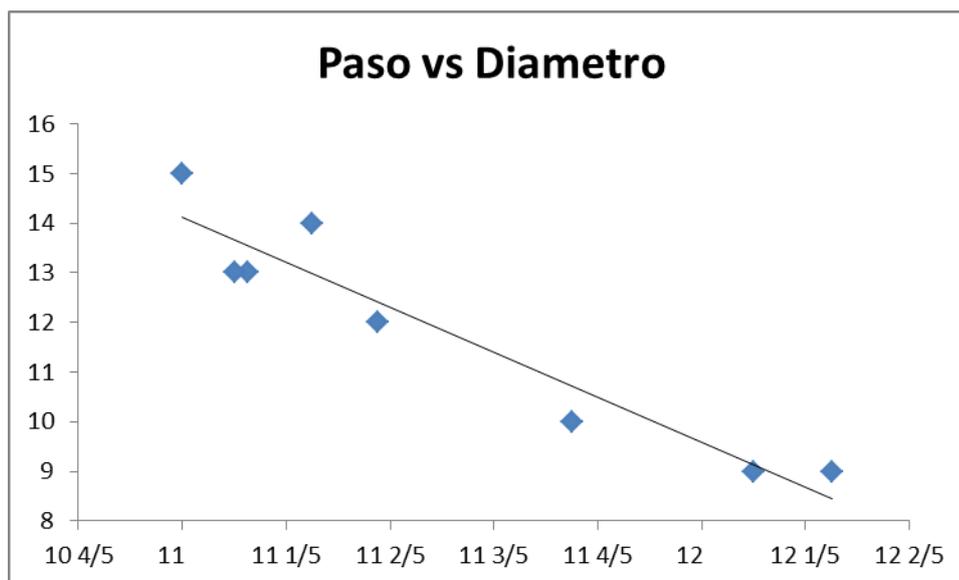


<u>Yamaha</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
40-60 HP	10.375	15	3	Acero inox
50-130 HP	14	11	3	Acero inox
40-60 HP	11.25	14	3	Acero inox
40-70 HP	10	15	3	Acero inox
40-60 HP	10.5	14	3	Acero inox
40-60 HP	10.75	16	3	Acero inox
50-60 HP	11.125	13	3	Acero inox
40-60 HP	11.25	11	3	Acero inox
50-140 HP	13.25	15	3	Acero inox

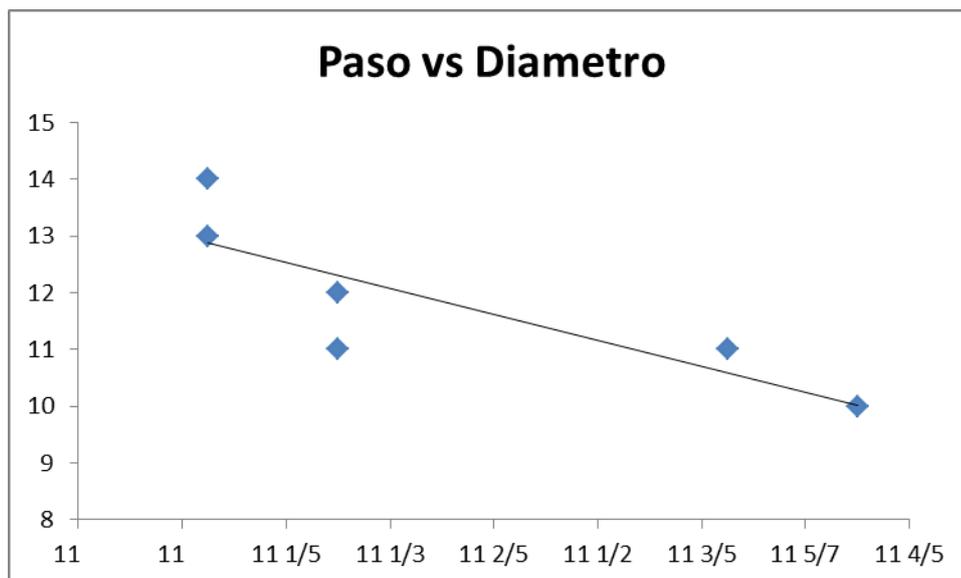


**Honda**

<u>Honda</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
35-60 HP	12.25	9	3	Aluminio
35-60 HP	11.75	10	3	Aluminio
35-60 HP	11.375	12	3	Aluminio
35-60 HP	11.125	13	3	Aluminio
35-60 HP	11.25	14	3	Aluminio
35-60 HP	11	15	3	Aluminio
30-75 HP	12	9	3	Aluminio
30-75 HP	11	13	3	Aluminio

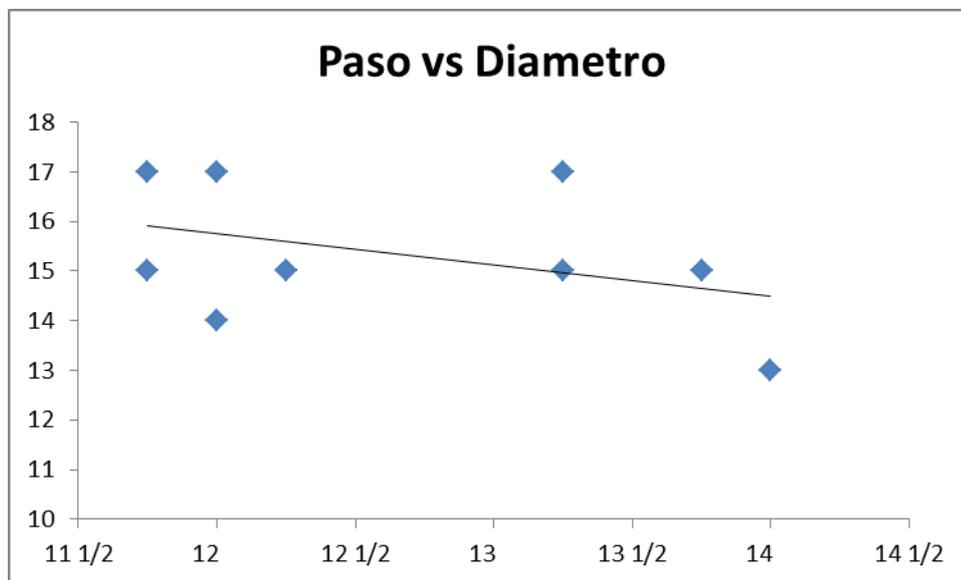


<u>Honda</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
35-60 HP	11.75	10	3	Acero inox
30-60 HP	11.625	11	3	Acero inox
35-60 HP	11.25	12	3	Acero inox
30-60 HP	11.125	13	3	Acero inox
40-60 HP	11.125	14	3	Acero inox
35-60 HP	11.25	11	3	Acero inox

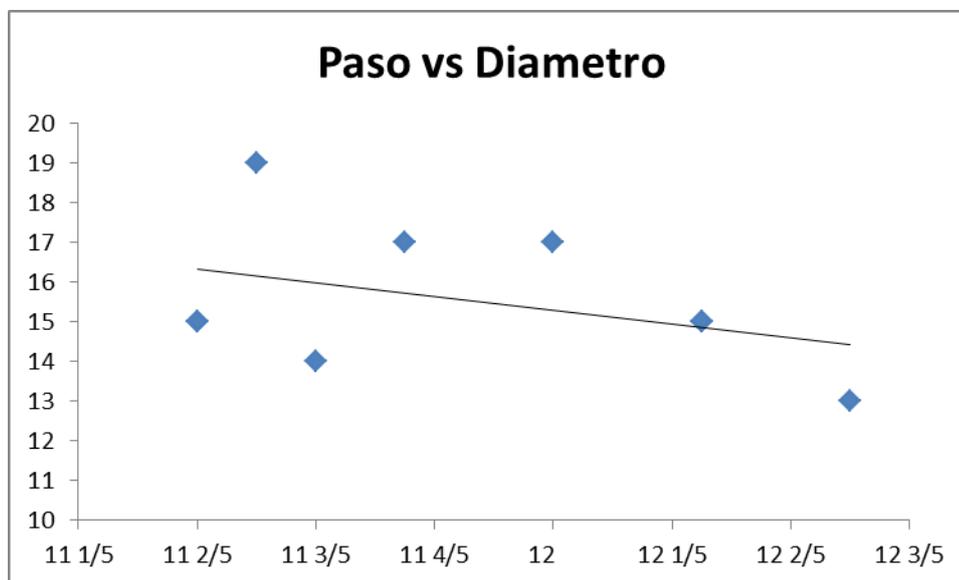


**Johnson/Evinrude**

<u>Johnson/Evinrude</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
40-75 HP	11.75	17	3	Acero inox
40-75 HP	12.25	15	3	Acero inox
45-140 HP	14	13	3	Acero inox
40-70 HP	13.75	15	3	Acero inox
40-140 HP	13.25	17	3	Acero inox
40-75 HP	12	14	3	Acero inox
40-60 HP	11.75	15	3	Acero inox
40-140 HP	13.25	15	4	Acero inox
40-65 HP	12	17	3	Acero inox



<u>Johnson/Evinrude</u>	<u>Diámetro</u>	<u>Paso</u>	<u>Palas</u>	<u>Material</u>
40-75 HP	12.25	15	3	Aluminio
40-75HP	12.5	13	3	Aluminio
40-75HP	12.25	15	3	Aluminio
40-75HP	11.75	17	3	Aluminio
40-50 HP	11.4	15	3	Aluminio
40-75 HP	12	17	4	Aluminio
40-75 HP	11.5	19	3	Aluminio
40-50 HP	11.6	14	3	Aluminio
40-50 HP	11.4	15	3	Aluminio



## Series

Las series mas usadas para diseñar helices de alta velocidad son las siguientes:

Series	n° of propellers	Z	AE/AO	P/D	D (mm)	rh/R	Cavitation
Wageningen series	120	2–7	0.3–1.05	0.6–1.4	250	0.169	no
Au-series	34	4–7	0.4–0.758	0.5–1.2	250	0.180	no
Gawn-series	37	3	0.2–1.1	0.4–2.0	508	0.200	no
KCA-series	30	3	0.5–1.25	0.6–2.0	406	0.200	si
Ma-series	32	3 y 5	0.75–1.20	1.0–1.45	250	0.190	si
Newton–Rader series	12	3	0.5–1.0	1.05–2.08	254	0.167	si
KCD-series	24	3–6	0.44–0.8	0.6–1.6	406	0.200	si
Meridian series	20	6	0.45–1.05	0.4–1.2	305	0.185	si

Las series posibles a utilizar para diseñar nuestra hélice son: Wageningen, AU series, MA series y Newton Rader.

### Newton Rader Propeller Series (Newton 1961)

La serie de Newton- Rader resultó de un contrato de Almirantazgo británico con Vosper Limited, para desarrollar una serie metódica para diseñar hélices de 10 pulgadas (254 mm) para embarcaciones de alta velocidad.

La serie comprende 12 hélices geoméricamente similares, las cuales se ensayaron en un túnel de cavitación y se las probó a nueve números de cavitación.

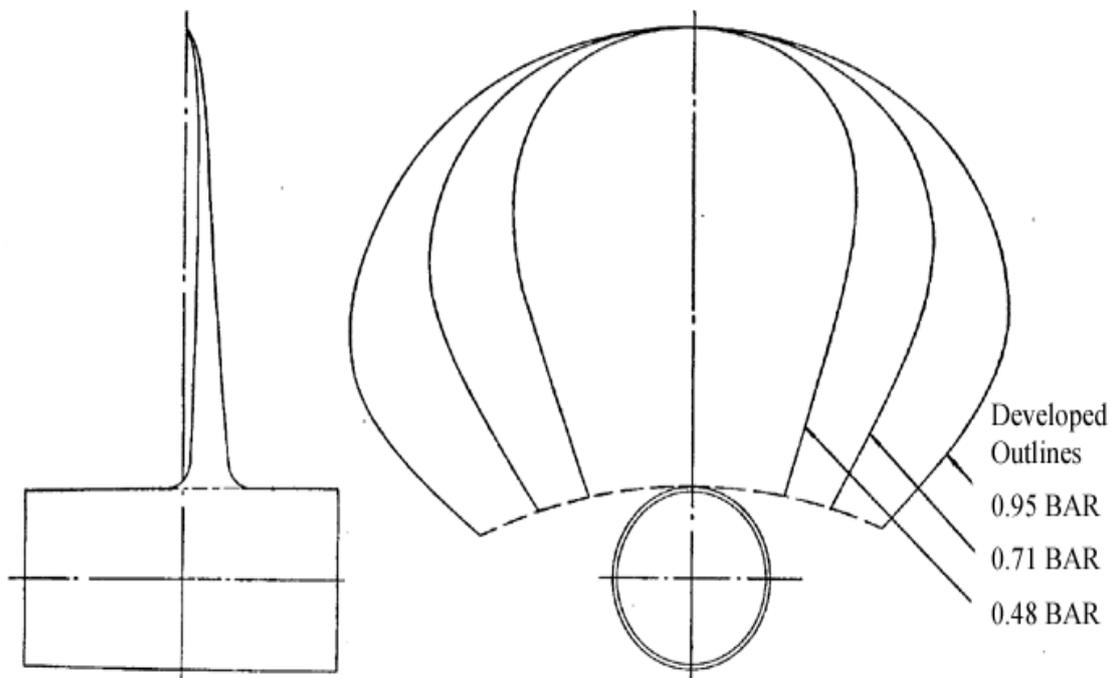
Las hélices que componían la serie eran todas las tres de pala con la cara curvada, secciones segmentadas y distribución de paso radial constante.

Un resumen de las hélices ensayadas se muestra a continuación:

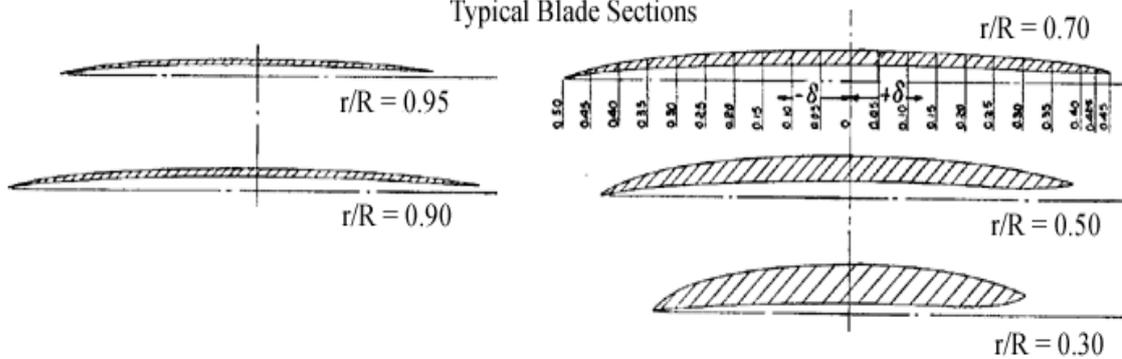
Blade area ratio (BAR)	Pitch ratio (P/D)			
0.48	1.05	1.26	1.67	2.08
0.71	1.05	1.25	1.66	2.06
0.95	1.04	1.24	1.65	2.04

Se ensayó cada hélice en los siguientes números de cavitación; 0,25; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,75; 1,00; ; 2,5 y  $\pm 5,5$  (correspondiente a la presión atmosférica).

$A_D/A_0$	Blade thickness fraction
	$Z=3$
0.75	0.063
0.90	0.058
1.05	0.053
1.20	0.053



Typical Blade Sections



### **AU Series (Japón)**

Esta serie de hélices es complementaria a la serie B de Wageningen, pero fuera de Japón no tenido aplicación. Es una serie con un rango de palas de 4 a 7 y relación de áreas en el rango de 0.40 a 0.758.

La hélice tiene secciones tipo aerofoil.

A continuación se especifica las características de la hélice de 4 palas y su geometría.

**Table 1 Particulars of Propeller Models**

	<b>Modified AU4-40</b>	<b>Modified AU4-55</b>
<b>M. P. NO.</b>	1305~1309	1310~1314
<b>Diameter (mm)</b>	250	250
<b>Boss Ratio</b>	0.180	0.180
<b>Exp. Area Ratio</b>	0.40	0.55
<b>Max. Blade Width Ratio</b>	0.226	0.311
<b>Mean Blade Width Ratio</b>	0.192	0.263
<b>Blade. Thickness Ratio</b>	0.050	0.050
<b>Angle of Rake</b>	10°—0'	10°—0'

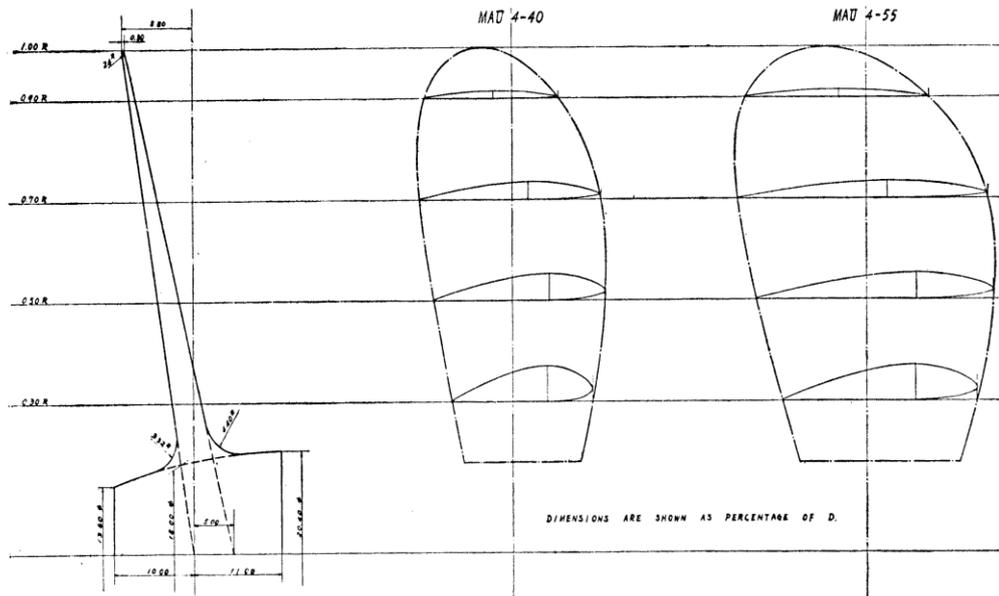


Fig.1 General Plan of Modified AU4 Series Propeller Models

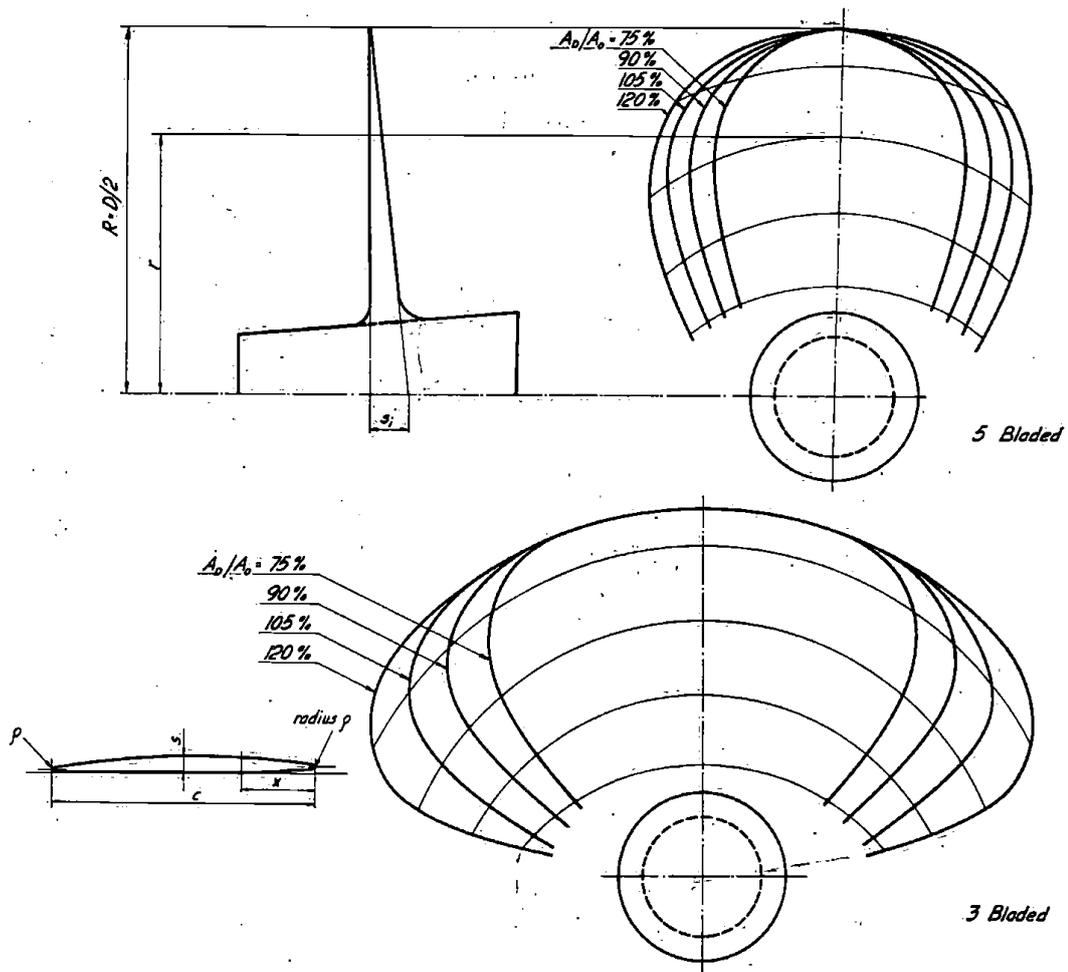
### Lindgren series (MA series)

Hans Lindgren desarrollo esta serie en la década de 1950 y probó una serie de hélices de tres y cinco palas que tienen un rango de relaciones  $P/D$  de 1.00 a 1.45 y con relaciones de área desarrollada de 0.75 a 1.20.

Las hélices son de paso constante con modificaciones en la forma de las palas de tipo elípticas y secciones aproximadamente circulares.

Las 32 hélices probadas tienen las siguientes características:

$P/D$	1.00 (1.000)	1.15 (1.152)	1.30 (1.309)	1.45 (1.454)
0.75	P301 P304	P681 P715	P682 P716	P307 P310
0.90	P302 P305	P567 P568	P581 P582	P308 P311
1.05	P303 P306	P683 P717	P684 P718	P309 P312
1.20	P357 P361	P358 P362	P359 P363	P360 P364



### Serie Wageningen

Nuestra hélice la vamos a diseñar con esta serie, ya que es la única serie que ensayo hélice con un ángulo de inclinación de  $15^\circ$  (rake), con respecto a otras series que le dan  $0^\circ$  de inclinación. A continuación se detallan las características principales de la hélice:

Los datos de nuestro propulsor serán:

$$D=266.7\text{mm}$$

$$P/D=1.1$$

$$Z=3$$

$$P=293.37\text{mm}$$

$$A_E/A_0=0.5$$

$$A_0 = \pi \cdot D^2 / 4 = 55864.499 \text{ mm}^2$$

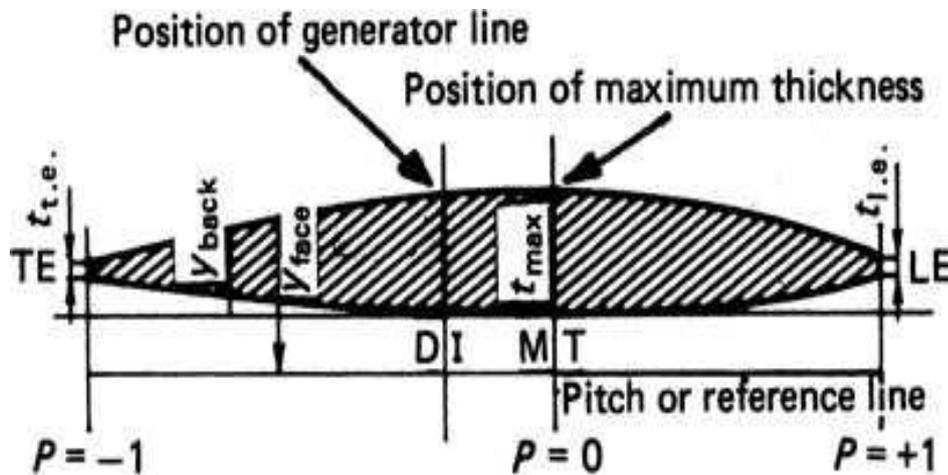
$$\text{Área expandida } A_E / A_0 = 4 \cdot A_E / \pi \cdot D^2$$

$$A_E = A_0 \cdot 0.5$$

$$A_E = 27932.249 \text{ mm}^2$$

Las características principales y la geometría de esta serie se detallan a continuación:

- 250 mm de diámetro y  $r_h / R$  es 0,167 ( $r_h$  es el radio del cubo)
- Distribución de paso radial constante en los radios externos R
- Ángulo de inclinación hacia atrás de  $15^\circ$  con distribución lineal del rastrillo
- Un contorno de cuchilla con puntas bastante anchas
- Secciones de cuchillas de segmentos y secciones de aerofoil en radios interiores



LE = leading edge  
TE = trailing edge  
MT = location of maximum thickness  
DI = location of directrix

### Dimensions for three-bladed propellers

$r/R$	$c/D * Z / AE / AO$	$a/c$	$b/c$
0,2	1.633	0.616	0.350
0,3	1.832	0.611	0.350
0,4	2.000	0.599	0.350
0,5	2.120	0.583	0.355
0,6	2.186	0.558	0.389
0,7	2.168	0.526	0.442
0,8	2.127	0.481	0.478
0,9	1.657	0.400	0.500
1	0	0	0

$r/R$	$Ar$	$Br$
0,2	0.0526	0.0040
0,3	0.0464	0.0035
0,4	0.0402	0.0030
0,5	0.0340	0.0025
0,6	0.0278	0.0020
0,7	0.0216	0.0015
0,8	0.0154	0.0010
0,9	0.0092	0.0005
1	0.0030	0

$Ar, Br$  = constants in equation for  $t/D$ .

$a$  = distance between leading edge and generator line at  $r$ .

$b$  = distance between leading edge and location of maximum thickness.

$c$  = chord length of blade section at radius  $r$ .

$t$  = maximum blade section thickness at radius  $r$

$$t/D = Ar - Br * Z$$

r/R	t(mm)
0,2	10,82
0,3	9,574
0,4	8,321
0,5	7,067
0,6	5,814
0,7	4,56
0,8	3,307
0,9	2,053
1	0,8001

Secciones de la pala (cuerda)

$$C = k * A_E / A_O * D / Z$$

r/R	k	A <sub>E</sub> /A <sub>O</sub> *D/Z	C(mm)
0,2	1.633	44,45	72,586
0,3	1.832	44,45	81,524
0,4	2.000	44,45	88,9
0,5	2.120	44,45	94,234
0,6	2.186	44,45	97,1677
0,7	2.168	44,45	96,3676
0,8	2.127	44,45	94,5451
0,9	1.657	44,45	73,6536
1	0	44,45	0

r/R	C(mm)	a/c	b/c	a	b
0,2	72,586	0,616	0,35	44,71298	25,4051
0,3	81,524	0,611	0,35	49,81116	28,5334
0,4	88,9	0,599	0,35	53,2511	31,115
0,5	94,234	0,583	0,355	54,93842	33,45307
0,6	97,1677	0,558	0,389	54,21958	37,798235
0,7	96,3676	0,526	0,442	50,68936	42,594479
0,8	94,5451	0,481	0,478	45,47619	45,192558
0,9	73,6536	0,4	0,5	29,46144	36,8268
1	0	0	0	0	0

r/R	C(mm)	a/c	b/c	a	b
0,2	72,586	0,616	0,35	44,71298	25,4051
0,3	81,524	0,611	0,35	49,81116	28,5334
0,4	88,9	0,599	0,35	53,2511	31,115
0,5	94,234	0,583	0,355	54,93842	33,45307
0,6	97,1677	0,558	0,389	54,21958	37,798235
0,7	96,3676	0,526	0,442	50,68936	42,594479
0,8	94,5451	0,481	0,478	45,47619	45,192558
0,9	73,6536	0,4	0,5	29,46144	36,8268
1	0	0	0	0	0

Calculo del espesor de las secciones:

$$P \leq 0$$

$$Y_{\text{face}} = V1 (t_{\text{max}} - t_{\text{t.e.}})$$

$$Y_{\text{back}} = (V1 + V2) (t_{\text{max}} - t_{\text{t.e.}}) + t_{\text{t.e.}}$$

$$P \geq 0$$

$$Y_{\text{face}} = V1 (t_{\text{max}} - t_{\text{t.e.}})$$

$$Y_{\text{back}} = (V1 + V2) (t_{\text{max}} - t_{\text{t.e.}}) + t_{\text{t.e.}}$$

Valores para V1

r/R	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
1	0	0	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0
0,5	0.0522	0.0190	0.0040	0	0	0
0,4	0.1467	0.0630	0.0214	0.0044	0	0
0,3	0.2306	0.1333	0.0623	0.0202	0.0033	0
0,2	0.2826	0.1967	0.1207	0.0592	0.0172	0

r/R	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
1	0	0	0	0	0	0
0,6	0.0382	0.0006	0	0	0	0
0,5	0.1278	0.0211	0.0034	0	0	0
0,4	0.2181	0.0637	0.0189	0.0033	0	0
0,3	0.2923	0.1191	0.0503	0.0148	0.0027	0
0,2	0.3560	0.1685	0.0804	0.0304	0.0049	0

Valores para V2

r/R	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
1	0	0.36	0.64	0.84	0.96	1
0,8	0	0.36	0.64	0.84	0.96	1
0,7	0	0.36	0.64	0.84	0.96	1
0,6	0	0.3585	0.6415	0.8426	0.9613	1
0,5	0	0.3569	0.6439	0.8456	0.9639	1
0,4	0	0.3500	0.6353	0.8415	0.9645	1
0,3	0	0.3360	0.6195	0.8265	0.9583	1
0,2	0	0.3060	0.5842	0.7984	0.9446	1

r/R	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
1	0	0.3600	0.6400	0.8400	0.9600	1
0,8	0	0.3765	0.6545	0.8520	0.9635	1
0,7	0	0.4140	0.6840	0.8660	0.9675	1
0,6	0	0.4620	0.7200	0.8790	0.9690	1
0,5	0	0.5039	0.7478	0.8880	0.9710	1
0,4	0	0.5220	0.7593	0.8933	0.9725	1
0,3	0	0.5130	0.7520	0,892	0.9750	1
0,2	0	0.4777	0.7277	0.8875	0.9750	1

r/R	tte/tmax	tle/tmax	tmax	tte	tle	tmax-tte	tmax-tle
0,2	0,065562	0,1072	10,82	0,70938084	1,159904	10,1106192	9,660096
0,3	0,0775602	0,0968	9,574	0,74256135	0,9267632	8,83143865	8,6472368
0,4	0,1	0,0986	8,321	0,8321	0,8204506	7,4889	7,5005494
0,5	0,115	0,0994	7,067	0,812705	0,7024598	6,254295	6,3645402
0,6	0,12	0,0998	5,814	0,69768	0,5802372	5,11632	5,2337628
0,7	0,125	0,121	4,56	0,57	0,55176	3,99	4,00824
0,8	0,13	0,1335	3,307	0,42991	0,4414845	2,87709	2,8655155

Para  $P \leq 0$

Yface

r/R	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
1	0	0	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0
0,5	0,326474199	0,118831605	0,02501718	0	0	0
0,4	1,09862163	0,4718007	0,16026246	0,03295116	0	0
0,3	2,036529752	1,177230772	0,550198628	0,17839506	0,029143748	0
0,2	2,857260975	1,988758789	1,220351733	0,59854865	0,17390265	0

Yback

r/R	-1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0
1	0,70938084					
0,8	0,70938084	1,4656	2,2712	2,8466	3,1919	3,307
0,7	0,70938084	2,0064	3,1236	3,9216	4,4004	4,56
0,6	0,70938084	2,5289	3,9798	5,009	5,616	5,814
0,5	1,139179199	3,1621	4,8621	6,1013	6,8411	7,067
0,4	1,93072163	3,9192	5,7501	7,167	8,055	8,321
0,3	2,779091106	4,8864	6,7628	8,22	9,2348	9,574
0,2	3,566641815	5,7916	7,8358	9,3796	11,068	10,82

Para  $P \geq 0$

Yface

r/R	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
1	0	0	0	0	0	0
0,6	0,19992974	0,00314026	0	0	0	0
0,5	0,81338824	0,1342918	0,02163944	0	0	0
0,4	1,63586982	0,477785	0,14176038	0,02475181	0	0
0,3	2,52758732	1,0298859	0,43495601	0,1279791	0,02334754	0
0,2	3,43899418	1,62772618	0,77667172	0,29366692	0,04733447	0

Yback

r/R	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
1	0,3864	0,69082027	0,97643177	1,13999213	1,22732352	2,054
0,8	0,4414	1,52035109	2,31696439	2,88290371	3,20240868	3,307
0,7	0,5517	2,21117136	3,29339616	4,02289584	4,4297322	4,56
0,6	0,78016694	3,00137587	4,34854642	5,1807147	5,65175335	5,814
0,5	1,51584804	4,04384341	5,4835024	6,3541715	6,88242833	7,067
0,4	2,45632042	5,21352238	6,65737814	7,54544319	8,11473489	8,321
0,3	3,45435052	6,39268158	7,86444128	8,76807753	9,38116662	9,574
0,2	4,59889818	7,40225804	8,96622758	10,0269061	10,6258321	10,82

Entonces el espesor de cada sección será para  $P \geq 0$

r/R	100%	80%	60%	40%	20%	0%
1	0,3864	0,69082027	0,97643177	1,139992134	1,227323516	2,054
0,8	0,4414	1,52035109	2,31696439	2,882903706	3,202408684	3,307
0,7	0,5517	2,21117136	3,29339616	4,02289584	4,4297322	4,56
0,6	0,98009668	3,00451613	4,34854642	5,180714701	5,651753353	5,814
0,5	2,32923628	4,17813521	5,50514184	6,354171498	6,882428334	7,067
0,4	4,09219024	5,69130738	6,79913852	7,570195002	8,114734892	8,321
0,3	5,98193784	7,42256748	8,29939729	8,89605663	9,404514159	9,574
0,2	8,03789236	9,02998422	9,7428993	10,32057304	10,67316654	10,82

El espesor para las secciones para  $P \leq 0$

r/R	100%	80%	60%	40%	20%
0,8	0,70938	1,4656	2,2712	2,8466	3,1919
0,7	0,70938	2,0064	3,1236	3,9216	4,4004
0,6	0,70938	2,5289	3,9798	5,009	5,616
0,5	1,46565	3,2809	4,8871	6,1013	6,8411
0,4	3,02934	4,391	5,9104	7,2	8,055
0,3	4,8156	6,0636	7,313	8,3984	9,2639
0,2	6,4239	7,7804	9,0562	9,9781	10,242