

METODOLOGÍA DE REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DE HÉLICES DE BUQUES PARA SU CLASIFICACIÓN TOPOLÓGICA

Miguel Suffo, José Miguel Sánchez-Sola, Rafael Bienvenido, Rafael Gómez-Ortíz, Manuel Sánchez-Carrilero

⁽¹⁾Universidad de Cádiz, Spain

Escuela Superior de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial
Correo electrónico: miguel.suffo@uca.es

RESUMEN

Las consideraciones geométricas que se tengan en cuenta a la hora de diseñar una hélice influyen en el nivel de vibraciones, en las cualidades hidrodinámicas (absorción de potencia, rendimiento, cavitación) y en la resistencia debido al espesor. Por otra parte, la geometría junto a la elección del material influyen en la resistencia mecánica y reparabilidad posible y en las resistencias a la corrosión, erosión y cavitación. En la actualidad se dan múltiples combinaciones de variables de diseño y parámetros geométricos y no geométricos que conllevan la elección de un tipo u otro de hélice. Asimismo, existen varios tipos de hélices especiales que aportan ventajas en algunas aplicaciones concretas. El presente trabajo propone una metodología de reconstrucción tridimensional de hélices a partir de definiciones paramétricas de curvas B-splines. Dichas B-splines son las curvas directrices de las superficies NURBS utilizadas para generar todo el conjunto mecánico pala-núcleo. Una vez modelado el conjunto se procede a su posterior clasificación funcional de acuerdo al objetivo marcado de proyecto.

Palabras clave: Superficies NURBS, Diseño paramétrico, Curvas B-splines.

Grupo temático: Grupo (2.1) Metodología y Técnicas; Metodología de diseño.

ABSTRACT

Geometric considerations in propeller design affect the vibration level, hydrodynamic properties (power absorption, efficiency, cavitation) and resistance associated with thickness. In addition, the geometry along with the material selection have a strong influence on the mechanic resistance, potential repairs and resistance to corrosion, erosion and cavitation. Nowadays, multiple combinations in design variables as well as geometric and non-geometric parameters are given, which determine the election of a particular type of propeller with respect to another. There are also several types of special propeller that possess advantages for some specific applications. The aim of the present work is to propose a method of tridimensional propeller reconstruction based on parametric definitions of B-splines curves. These are the curves of NURBS surfaces commonly used to generate the whole mechanic unit blade-nucleus. Once the unit is modelled, its functional classification is carried out according to the aim established in the project.

Key words: NURBS surfaces, parametric design, B-splines curves, design propeller.

1 Introducción

La correcta interpretación del plano de una hélice es un aspecto formativo fundamental para los alumnos de ingeniería naval ya que permite el establecimiento de una óptima correlación con aspectos de diseño, fabricación, reparabilidad/mantenimiento y vida útil del conjunto propulsor. Asimismo, el trazado geométrico representado en dicho plano significa el punto final del diseño y, por tanto, la información que englobe debe ser fiable pues determina sin ningún género de duda el tipo de hélice requerida por las características del buque [1-4].

En la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Naval (E.U.I.T.N.) de la Universidad de Cádiz (UCA) se vienen organizando, desde el año 2000, cursos para postgraduados con el fin de complementar la formación del alumno en determinadas materias que, por alguna razón, no llegan a impartirse con el nivel de detalle que se requiere. Uno de estos cursos monográficos está dedicado a la lectura e interpretación de planos de hélices y su clasificación funcional para elaborar una base de datos de modelos de moldes en 3D donde se puedan tomar decisiones en las primeras etapas del ciclo de proyecto, decisiones que supongan un ahorro del coste derivado de las escasas modificaciones en el modelo [1-4].



Figura 1: Imagen que muestra las palas alabeadas.

El trabajo se centra en la descripción completa de la metodología llevada a cabo para la reconstrucción tridimensional de hélices dejando a un lado coeficientes y parámetros que condicionan notablemente el rendimiento y el comportamiento real de cada hélice, pero que por razones obvias de espacio quedan fuera del objetivo del presente trabajo. Para solventar las dificultades de representación geométrica de las palas alabeadas (ver figura 1) se han utilizado curvas B-splines [5-10] para la descripción de las secciones generadas tras efectuar cortes cilíndricos a lo largo de cada pala y la posterior generación de una envolvente mediante una superficie NURBS [11-14] circunscrita a las curvas anteriores. El empleo de estas entidades geométricas reducen la labor de parametrización con el fin de obtener unas plantillas estandarizadas de reconstrucción de cada tipo de pala. Sobre la envolvente superficial que conforma la pala se pueden tomar decisiones de curvatura y espesores en cualquier punto.

2 Desarrollo del Trabajo

La reconstrucción 3D del plano de una hélice comienza modelando una de sus palas y, posteriormente efectuar tantas copias ordenadas circularmente como palas tenga la hélice. En la figura 2 se observa un plano de hélice genérica de 4 palas, de él se irán tomando los datos que se van necesitando para el modelado de una de las palas. Lo más importante dentro del plano es saber leer los datos que se encuentran estructurados en cada zona del mismo. Todos los datos tanto numéricos como geométricos están relacionados entre sí para evitar cualquier ambigüedad.

Examinando gráficamente el plano se observan dos proyecciones ortogonales, una frontal y una lateral. En cada una de las vistas se representa la pala proyectada directamente sobre un plano vertical perpendicular a la dirección de proyección y, por tanto, con deformación geométrica y, la misma pala abatida o desarrollada sobre la directriz que parte del centro del núcleo de la hélice. La curva envolvente que une las generatrices extremas abatidas de la cara activa de la pala abatida se representa en trazos discontinuos. Para la obtención del volumen real de la pala se practican cortes cilíndricos a incrementos radiales cuyo origen es el centro del núcleo. Estos cortes generan secciones que se representan en el plano, en la vista frontal, y son desarrolladas y abatidas sobre el eje neutro que las atraviesa de proa a popa, hasta hacerlas coplanarias con la proyección de la pala. Estas secciones componen el esqueleto de la pala y definen el espesor de la misma en cada zona de la pala. Resulta de relevante importancia la geometría de cada sección pues definirá en el futuro implícitamente la curvatura de la pala en cada punto.

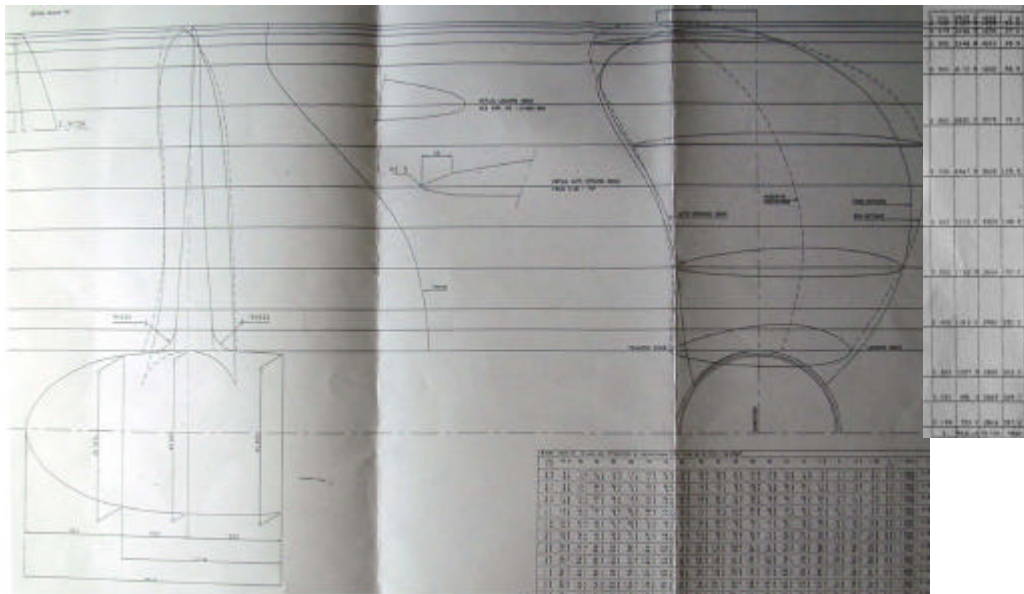


Figura 2: Plano de hélice.

La lectura gráfica del plano se completa con algunas vistas auxiliares debidamente escaladas de los detalles geométricos tomados en consideración como, por ejemplo, el redondeo del perfil del borde anterior para evitar vibraciones.

De la lectura de datos numéricos se destacan los aportados por la cartilla de trazado, importantes para el correcto trazado de secciones, las alturas a las que se van aplicando

secciones, las distancias de paso (Pitch), y los ángulos de inclinaciones sucesivas que va tomando la pala en cada sección (Skew).

Comenzamos el trazado 2D de cada sección mediante una B-spline, utilizando una para ello, una herramienta CAD genérica. La curva se va ajustando fielmente a las coordenadas aportadas como datos en la cartilla de trazado correspondientes a la sección considerada tal y como se ilustra en el gráfico de la figura 3. En esta figura se reproduce un ejemplo utilizando la sección generada tras el corte cilíndrico de 2467.5 mm de Radio. El trazado de la spline se ejecuta en una vista en planta.

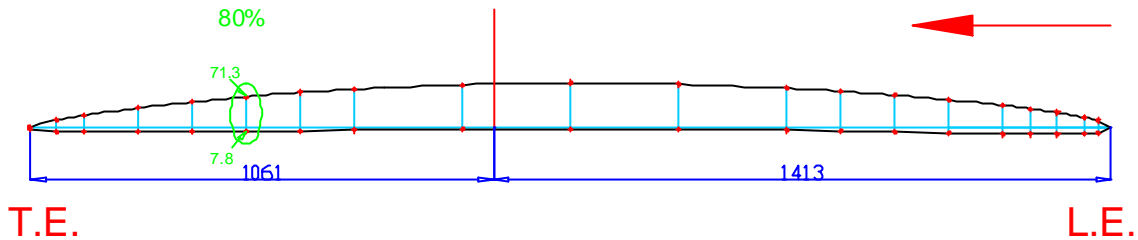


Figura 3: Sección generada por coordenadas.

A continuación trazamos una segmento de línea horizontal cuyo extremo derecho (o Leading Edge L.E. o Borde Anterior) limite a 1413 mm del centro elegido y a 1061 mm en sentido inverso (o Trailing Edge T.E. o Borde Posterior). Posteriormente se van localizando las coordenadas hacia arriba (o BACK) y hacia abajo (o FACE) del eje horizontal trazado anteriormente. Para el ejemplo seleccionado y partiendo del L.E., tal y como refleja la cartilla de trazado en la Tabla 1, al 1,25% de L.E. tomamos 16,8 mm hacia arriba y 11,8 mm hacia abajo, lo que nos localiza dos puntos. Siguiendo la cartilla de trazado y localizamos las coordenadas a 2,5% del L.E., 18,4 mm hacia arriba y 8,5 mm hacia abajo. Así sucesivamente hasta completar el 100% del eje, es decir, hasta alcanzar el T.E. En la Tabla 2 se ha ampliado la zona de la tabla particularizada para la sección del ejemplo.

100	97.5	95	90	85	80	75	70	60	50	40	30	25	20	15	10	7.5	5	2.5	1.25	0		1	3525	4225
0.5	5.4	7.6	11.4	14.5	17.1	19.2	21	23.2	23.9	23.2	21	19.3	17.2	14.6	11.5	9.7	7.7	5.2	3.7	0	BACK	0.99	3489.8	4229
-0.5	-3	-3.1	-2.8	-2.3	-1.8	-1.3	-0.9	-0.3	-0.1	-0.3	-0.9	-1.4	-1.9	-2.5	-2.9	-3.1	-3.1	-2.9	-2.5	0	FACE			
0.7	8.9	13.1	20.3	26.3	31.4	35.6	39	43.4	44.9	43.4	39	35.7	31.6	26.6	20.7	17.2	13.3	8.8	6	0	BACK	0.975	3436.9	4234
-0.7	-3.8	-3.1	-1.3	0.6	2.4	4	5.4	7.3	7.9	7.3	5.3	3.9	2.2	0.3	-1.6	-2.6	-3.3	-3.7	-3.4	0	FACE			
0.9	11.6	17.4	27.6	36.2	43.5	49.5	54.4	60.8	63	60.8	54.5	49.7	43.8	36.7	28.2	23.4	17.9	11.6	7.8	0	BACK	0.95	3348.8	4243
-0.9	-3.8	-2.2	1.2	4.6	7.7	10.5	12.8	16	17	16	12.7	10.3	7.4	4.1	0.6	-1.2	-2.7	-3.8	-3.9	0	FACE			
1.1	13.4	20.4	32.5	42.4	51.5	58.8	64.7	72.4	74.9	72.4	64.9	59.2	52.2	43.7	33.7	29.9	21.4	13.9	9.3	0	BACK	0.9	3172.5	4222
-1.1	-4.2	-2.5	1.4	5.1	8.6	11.7	14.3	17.8	19.1	17.8	14.1	11.3	8	4.2	0.2	-1.8	-3.6	-4.7	-4.7	0	FACE			
1.6	16.3	24.8	39.4	51.9	62.5	71.3	78.3	87.5	90.5	87.5	78.7	72.1	64	54.1	42.3	35.5	27.7	18.4	12.6	0	BACK	0.8	2820	3975
-1.6	-6.4	-5.4	-2.7	0.1	2.9	5.2	7.4	10.4	11.5	10.4	7	4.4	1.3	0	-5.6	-7.2	-9.3	-9.5	-7.5	0	FACE			
2.1	18.9	28.6	45.2	59.3	71.3	81.2	89.1	99.5	103	99.9	90.6	83.5	74.7	64	51.1	43.5	34.8	24	16.8	0	BACK	0.7	2467.5	3644
-2.1	-9.3	-9.8	-9.6	-8.8	-7.8	-6.7	-5.6	-3.7	-3	-3.7	-6.1	-8	-10.2	-12.6	-14.8	-15.5	-14.1	-11.8		0	FACE			
3	22.8	33.9	52.9	69.1	82.9	94.4	103.7	116.4	121.3	119	109.2	101.6	91.9	79.9	65	56	45.5	32.1	23	0	BACK	0.6	2115	3324
-3	-14.2	-17.1	-20.8	-23.4	-25.1	-26.3	-27	-27.5	-27.5	-27.5	-28.1	-28.6	-29.2	-29.5	-29.2	-28.3	-26.5	-22.3	-18	0	FACE			
3.9	26.5	38.8	60	78.2	93.9	107.3	118.5	134.4	141.8	140.9	131.2	122.9	112	98.1	80.3	69.4	56.4	39.6	28	0	BACK	0.5	1762.5	3065
-3.9	-19.1	-24.2	-32	-38	-42.7	-46.4	-49.3	-52.9	-54.4	-54.2	-52.9	-51.7	-50.2	-47.9	-44.3	-41.3	-37	-29.5	-22.9	0	FACE			
1.3	26.7	40.7	65.1	86.4	105.1	121.4	135.4	156.4	167.9	169.3	159.8	150.5	137.6	120.6	98.3	84.4	67.7	46.3	31.8	0	BACK	0.4	1410	2921
-1.3	-20.4	-28.1	-39.9	-49.3	-57	-63.4	-68.6	-75.8	-79.4	-79.8	-77.3	-74.9	-71.5	-66.7	-59.5	-54.3	-47.1	-35.9	-26.7	0	FACE			
0	27.5	42.9	70	94.2	115.9	135.3	152.4	179.5	196.3	201.4	193	182.8	167.8	147	118.8	101	79.6	52.5	34.8	0	BACK	0.3	1057.5	2850
0	-23	-32.8	-47.9	-59.8	-69.7	-77.8	-84.6	-94.4	-99.9	-101.5	-99.1	-96.1	-91.7	-85	-74.8	-67.4	-57.2	-41.9	-29.9	0	FACE			
0	28.1	43.7	71.3	96	118.5	138.9	157.1	186.6	206	213.5	206.6	196.4	180.9	158.8	128.2	108.6	85	55.2	36	0	BACK	0.25	881.3	2829
0	-24.8	-35.9	-53.1	-66.7	-77.9	-87.3	-95.1	-106.8	-113.6	-116.1	-113.9	-110.7	-105.5	-97.6	-85.2	-76.2	-63.9	-45.7	-31.8	0	FACE			
0	28.6	44.3	71.9	96.8	119.7	140.6	159.5	191.1	213	223	218	208.3	192.7	169.7	137.1	115.9	90.3	57.9	37.1	0	BACK	0.199	700	2817
0	-26.8	-39.4	-59	-74.7	-87.7	-98.6	-107.7	-121.5	-130.1	-133.8	-132	-128.5	-122.6	-113.3	-98.3	-87.3	-72.3	-50.4	-34.1	0	FACE			
																					X	RADIO	PITCH	

Tabla 1: Cartilla de trazado de la hélice.

Para terminar el correcto trazado de la sección y con el fin de evitar el periodo de las vibraciones en el borde posterior T.E. se suaviza la llegada al mismo trazando una

circunferencia de 2,5 mm de radio, esto permite trazar tangentes exteriores a dicha circunferencia desde los puntos localizados en la última de las coordenadas en ese extremo. En la figura 4 se ilustra este trazado.

2.1	18.9	28.6	45.2	59.3	71.3	81.2	89.1	99.5	103	99.9	90.6	83.5	74.7	64	51.1	43.5	34.8	24	16.8	0	BACK	0.7	2467.5	3644
-2.1	-9.3	-9.8	-9.6	-8.8	-7.8	-6.7	-5.5	-3.7	-3	-3.7	-6.1	-8	-10.2	-12.6	-14.8	-15.5	-14.1	-11.8	0	FACE				

Tabla 2: Tabla de coordenadas de la sección X=70%.

Seguidamente se unen los puntos localizados anteriormente con una curva B-spline que pase por ellos y se comprueba la curvatura en los intervalos entre puntos.

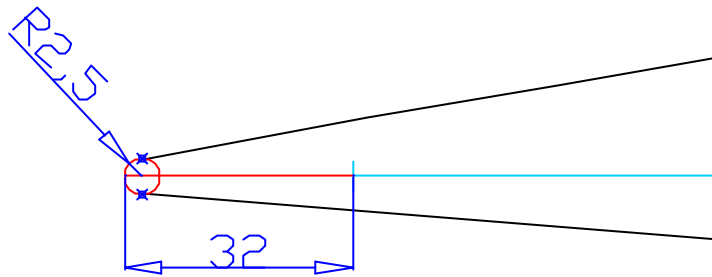


Figura 4: Trazado de un detalle curvilíneo antivibración.

Una vez finalizado la sección hay que establecer un giro cuyo ángulo (Skew) se calcula por el formado a partir del eje de la sección en su posición real con la horizontal de la misma en el plano donde se trazaron los puntos. Durante el proceso de giro se sigue trabajando en la vista en planta de la sección.

En la figura 5 se representa un triángulo rectángulo que sirve para deducir este ángulo. Para ello se necesitan dos parámetros, el Pitch, dato aportado en el plano que, para esta sección resulta 3975 mm y, el radio pequeño de la sección a esa altura que, se deduce según un porcentaje del Radio principal (3525 mm), que para el ejemplo se trata del 70% de dicho Radio, 2820 mm.

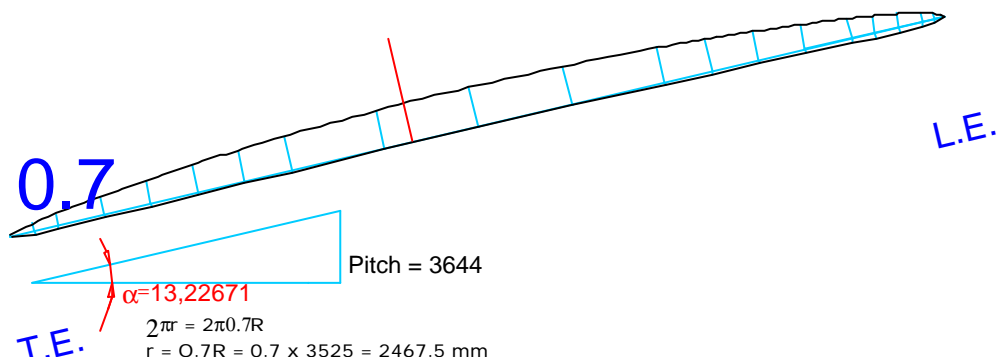


Figura 5: Cálculo del ángulo α y ejecución del giro.

Luego entonces resulta:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\text{Pitch}}{2pr} = \frac{3644}{15503.76} = 0.2350 \quad a = 13.2267^\circ$$

Una vez calculado el ángulo de giro se procede a la rotación de toda la cuerda definida por la curva B-spline tomando como centro de giro el centro del eje horizontal.

A continuación, se procede a la ubicación de la sección a la altura real donde se ejecutó el corte cilíndrico, es decir, a un radio de 2467.5 mm. En la figura 6 se ilustra la ubicación relativa de la sección deducida anteriormente.

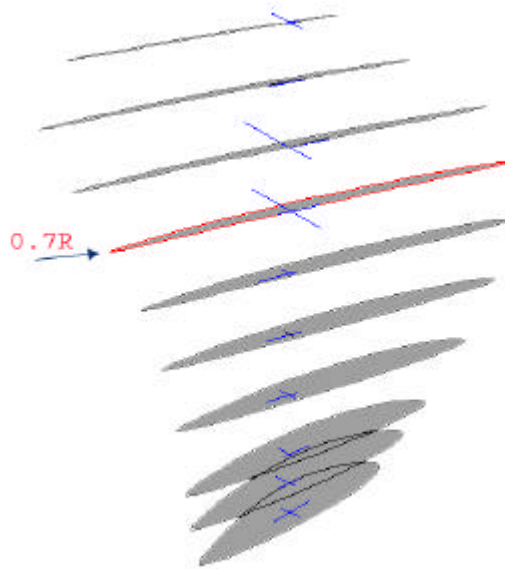


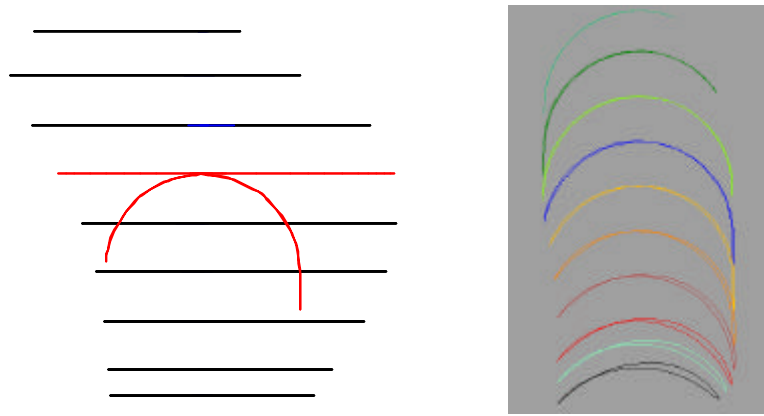
Figura 6: Ubicación de la sección a su altura.

Ya solo falta dotar del último giro a la sección, dicho rotación se ejecuta para reconstruir el corte cilíndrico a rebanadas que en la realidad se efectuó. Estas secciones, una vez curvadas, significarán las curvas generatrices de la superficie NURBS [] generada por el barrido de todas las secciones y que, originará finalmente la pala de la hélice.

En la figura 7 se ilustran todas las secciones curvadas, giradas y correctamente ubicadas en sus correspondientes alturas, a falta tan solo de generar a partir de ellas el volumen de pala. Procedemos a la aplicación de una superficie NURBS que barra todas las secciones deducidas y el resultado se observa en la figura 8.

A continuación se modela el núcleo de la hélice para posteriormente fijar un acuerdo entre las palas y el núcleo mediante una superficie curvilínea de radio 233 mm. El resultado de ambas operaciones geométricas se ilustra gráficamente en las figuras 9.

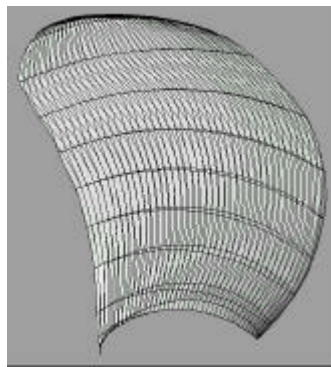
Resulta más aconsejable antes de ejecutar el acuerdo de pala-núcleo realizar una copia de la pala hasta conseguir el número de palas requerido en el buque y a continuación proceder a los acuerdos en cada unión. En la figura 10 se ilustra el resultado final de todo el conjunto.



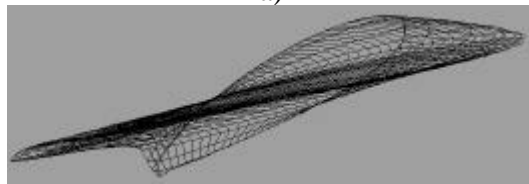
a)

b)

Figura 7: a) Ejecución del curvado de la sección;
b) Ubicación relativa de la sección curvada



a)



b)

Figura 8: Superficie NURBS circunscrita a las secciones;
a) alzado; b) planta.

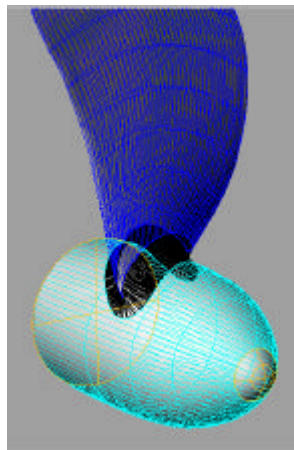


Figura 9: Modelado del núcleo y acuerdo pala-núcleo;

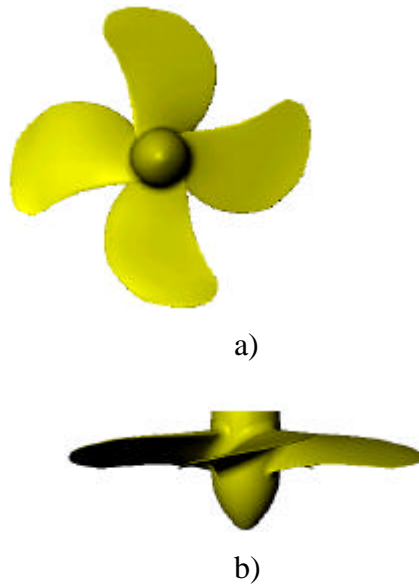


Figura 10: Modelo final; a) alzado, b) planta,

3 Conclusiones o Consideraciones Finales

El trabajo propone una metodología para la reconstrucción tridimensional de hélices de buques a partir de su plano bidimensional. El método sirve para interpretar correctamente la información incluida en dicho plano, tanto geométrica como numérica. Se han empleado elementos gráficos como curvas y superficies NURBS por su capacidad de adaptación a cualquier forma geométrica y sus posibilidades de reconstrucción y remodelación que permiten trabajar con curvaturas complejas de palas de hélices y realizando modificaciones a medida que avanza el diseño. El dominio de este tipo de técnicas permiten aplicarlas a otro tipo de elementos similares como alabes de motores, ventiladores o turbinas, etc. El trabajo dará lugar a otro tipo de estudios de parametrización de las superficies y su posterior estudio hidrodinámico para comprobar las repercusiones que tiene con aspectos como la maniobrabilidad del buque o la cavitación de la propia hélice.

Referencias

- 1) Pérez Gómez, Gonzalo; González-Adalid Juan. "Detailed Design of Ship Propellers". FEIN, Fondo Editorial de Ingeniería Naval. ISBN: 84-921750-3-6: 1998.
- 2) O'Brien, T.P.; "The Design of Marine Screw Propeller". Hutchinson Scientific and Technical. 1968.
- 3) Gamboa, M., "Nociones de Arquitectura Naval (Teoría del Buque) 3ª edición", Madrid (España), Editorial Naval. 1963
- 4) Saunders, Harold E.; "Hydrodynamics in Ship Design". New York. SNAME. 1957.
- 5) PIEGL, Les & TILLER, Wayne *Algorithm for degree reduction of B-spline curves*. Computer-Aided Design, Elsevier Science, pp. 101-110, v. 27, nº 2, 1995.
- 6) Bartels R.H., Beatty J.C. and Barsky B.A. *Splines for Use in Computer Graphics & Geometric Modeling*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1987.

- 7) Gordon W. & Riesenfeld R. B-splines curves and surfaces. Computer Aided Geometric Design, pp. 95-126, Academic Press, 1974.
- 8) Riesenfeld R.F. Application of B-spline Approximation to Geometric Problems of Computer Aided Design, PhD. Dissertation, Syracuse University, Syracuse, NY, 1972. También disponible en University de Utah UTEC-CSc-73-126, 1973.
- 9) de Boor C. On Calculating with B-splines. J. Approx Theory, 6:50-62, 1972.
- 10) Cox M. The numerical evaluation of B-splines. DNAC 4, National Physical Laboratory, 1971
- 11) Piegl, L.; Tiller W., "The Nurbs Book", 2nd Edición.. Berlin (Alemania). Editorial Springer. 1997. ISBN: 3-540-61545-8.
- 12) Farin G. A. K. Peters, ltd ; USA. Nurbs Curves and Surfaces: Wellesley, Massachusetts 1995.
- 13) Suffo M.; Sánchez, J.M., etc.; "Metodologías de Diseño en Construcción Naval basada en Superficies NURBS". Actas (CD-ROM) XII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, 2000.
- 14) Suffo, M.; Gómez Ortíz; "Using Nurbs Surfaces in CAGSD". Actas (CD-ROM) 2º International Congress on Maritime Technological Innovations and Research, Nov. 2000.