



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

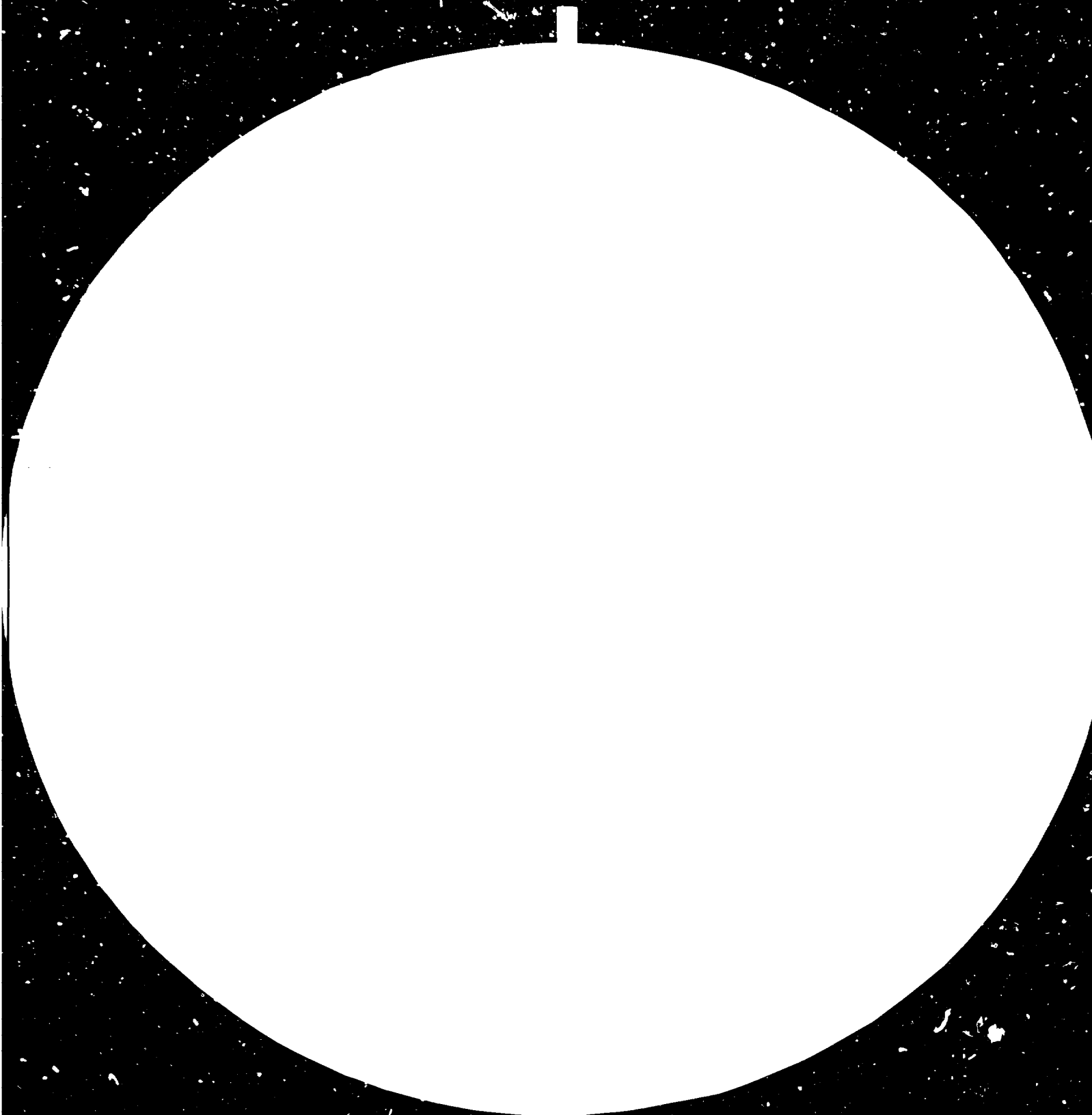
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





2.5

2.2



2.0

1.8



1.6



12182



Distr.
LIMITADA

ID/WG.375/25
10 enero 1983

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

ESPAÑOL

Reunión de expertos sobre el desarrollo de
construcciones y reparaciones navales en
pequeña escala para países de América Latina

La Habana (Cuba), 9-12 noviembre 1982

APLICACION DE LA AUTOMATIZACION
A LOS CALCULOS TECNICOS NAVALES*

preparado por

Brigitte Falk**

Nelson Hernandez Gallo**

* Las opiniones que los autores expresan en este documento no reflejan necesariamente las de la Secretaría de la ONUDI. El presente documento no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

** Licencia y Ingeniero naval.

RESUMEN

La proyección es una actividad técnica compleja, en la cual el técnico crea y materializa una concepción o idea, que no siempre se obtiene de forma directa, sino que es necesaria la elaboración de diversas variantes, donde se conjugan diferentes factores. Esto conlleva a la necesidad, de que el proyectista haga uso de las técnicas de computación, como medio más efectivo para solucionar éstos problemas y de ahí, el papel tan importante que desempeña el desarrollo y perfeccionamiento de los Sistemas Automatizados de Proyección.

Esta actividad, ha experimentado un notable crecimiento en la rama naval, patrocinada por el Centro de Proyectos Navales de INP, que se encuentra abordando la creación de sistemas de programas, a partir de la introducción de nuevos métodos y metodologías de cálculo, así como de métodos matemáticos que permiten realizar cálculos teóricos de alta complejidad.

INTRODUCCION

Con el desarrollo de la Construcción Naval en nuestro país, se hace cada vez más necesario el empleo de medios automatizados en los trabajos de cálculo y proyección. La automatización de los cálculos teóricos navales, comprende la elaboración de sistemas de programas escritos en lenguaje FORTRAN IV para máquinas computadoras que trabajan en el sistema DOS del SUMCE y que se basan en general, en metodologías y métodos más amplios, que los empleados en los cálculos que se realizan manualmente con la ayuda de calculadoras de mesa o de bolsillo. El empleo de éstos programas, brinda la posibilidad de efectuar éstos cálculos con exactitud y rapidez o sea, que la calidad de los resultados obtenidos es elevada y el tiempo empleado en obtenerlos es mínimo. Este tema, objeto de nuestra ponencia, aborda las tareas llevadas a cabo en la implementación y desarrollo de éstos sistemas automatizados, en la actividad de proyección naval.

La selección del propulsor y del sistema de gobierno óptimo, así como la determinación de los diferentes parámetros hidrostáticos y de estabilidad, constituyen aspectos fundamentales en el proyecto de una embarcación. La solución de éstas tareas, cuya ejecución por las vías normales y comúnmente utilizadas resulta muy laboriosa, es posible acometerlas con una elevada eficiencia mediante el empleo de métodos computacionales.

A continuación, se aborda el desarrollo de cada una de éstas tareas, sobre las que se ha venido trabajando en los últimos años y que en la actualidad, constituye el objetivo principal de nuestro trabajo dentro de los Sistemas Automatizados.

Sistema de propulsión

Se entiende como proyecto de un propulsor, la determinación de sus dimensiones, geometría y características mecánicas, de manera que pueda proporcionar a un buque dado cierta velocidad con una máquina propulsora determinada, en condiciones de servicio deseadas y todo ello, con el mejor rendimiento y garantías de funcionamiento posibles.

Se trata, pues, de elegir el propulsor requerido para satisfacer condiciones de proyecto tales como:

- relación velocidad-resistencia a la marcha del buque;
- relación revoluciones-potencia del motor propulsor;
- relación geometría-rendimiento de la serie;
- relación diámetro-rendimiento de la serie;
- distribución del flujo en la carena con la velocidad;
- criterios de cavitación;
- criterios de vibraciones en el casco y la máquina propulsora;
- criterios constructivos y de resistencia mecánica.

El sistema de propulsión se compone sobre todo, de las siguientes etapas fundamentales de cálculo:

- el cálculo de la resistencia al avance
- la selección de la potencia del motor
- el cálculo de los parámetros óptimos de la hélice.
- el cálculo de las ordenadas de los perfiles de la pala,
- cálculo resistenciales de la masa, del momento de inercia de la masa y del momento de rotación del volante de la hélice.

- cálculo de las plantillas de la hélice.

Para el cálculo de la potencia de la máquina propulsora y los parámetros óptimos de la hélice, habrá que considerar los siguientes ciclos diferenciales:

- ciclo del rendimiento propulsivo,
- ciclo de cavitación,
- ciclo de funcionamiento de la máquina propulsora,
- ciclo de comportamiento de la carena.

Las variables que pueden hacerse intervenir en el proyecto y que, de una forma u otra, pueden influir en el resultado de la selección, tienen entre sí ciertas relaciones, que en algunos casos son favorables y en otros meramente cuantificables por la experiencia.

La complejidad de las posibles iteraciones que pueden considerarse, justifica el intento de utilizar métodos de computación típicos para el tratamiento de relaciones complejas. En cada caso particular, el proyectista debe conjugar datos, que están impuestos por el problema, para con ellos seleccionar el propulsor idóneo o decidir las condiciones correctas de funcionamiento.

En la mayoría de los casos, esta variedad de datos, criterios y condiciones, no permite una solución única y diferente, sino que ofrece al proyectista zonas de validez del proyecto. Es entonces el proyectista quien debe hacer su selección, valorando los resultados diferenciales con criterios empíricos no formulables o cuantificables y para ello, tiene a su disposición resultados amplios y ordenados que permiten ejercer su libertad de decisión.

La primera etapa, que consiste en el cálculo de la resistencia al avance, se compone hasta el momento de 4 programas.

Tomando en consideración las características de las embarcaciones que se construyen en el país y el hecho de no tener posibilidades por el momento de realizar pruebas con modelos de embarcaciones en canales de experiencia, han sido elaborados los programas de máquinas computadoras, para determinar la resistencia al avance mediante métodos aproximados según diferentes autores. El empleo de éstos programas, brinda la posibilidad de efectuar cálculos con exactitud y rapidez, obteniéndose resultados de alta confiabilidad.

Los métodos, objeto de programación, se relacionan a continuación:

- 1 - Método Pappiel
- 2 - Método Ivanov, Neyman, Leningrado
- 3 - Método de Cortmerssen
- 4 - Método de la Serie-60

El método Pappiel es empleado en general para embarcaciones de desplazamiento y lanchas de semiplaneo. Está basado en el empleo de fórmulas aproximadas y coeficientes de resistencia, obtenidos mediante pruebas de modelos de embarcaciones.

Los métodos de Ivanov, Neyman y Leningrado son empleados en embarcaciones pequeñas que se caracterizan en general por poseer relaciones eslora - manga $L/B = (3 \div 4)$, relaciones manga - calado $B/T = (3 \div 4,5)$ y coeficientes de afinamiento $\zeta = (0,35 \div 0,55)$. Estos métodos están basados en gráficas de resistencia - remanentes específica en función del número de Froude .

El método Cortmerssen, que fue concebido con el objetivo de obtener un modelo matemático para el cálculo de la resistencia al avance y la potencia de remolque, es empleado en embarcaciones tales como arrastreros, remolcadores, barcos de prácticos y otros similares. La resistencia se calcula mediante un polinomio con coeficientes obtenidos por su autor mediante el análisis regresivo.

El método de la Serie 60 está basado en ensayos de resistencia al avance con modelos de embarcaciones de más de 30 m eslora.

La segunda etapa, que es la selección de la potencia del motor se compone fundamentalmente de dos programas, cuyo cálculo se inicia después que se ha definido la curva de resistencia al avance en la primera etapa del proyecto de la hélice, y después que el proyectista ha definido el tipo de hélice a utilizar, lo cual decide también sobre el programa a emplear.

Los cálculos por medio de la computación, se basan en las tablas de coeficientes de polinomios de 6to grado, los cuales aproximan el coeficiente de apoyo K_t y el coeficiente de momento M_q , que fueron publicados por M. W. Oosterveld en Investigations of different propeller Typs.

En el cálculo para hallar la potencia del motor, tomamos como parámetro de entrada la velocidad V de la embarcación, y su resistencia al avance R correspondiente. Se establecen una serie de relaciones de transmisión n_i y se calcula, para cada una de éstas,

una serie de diámetros D_{jk} a partir del cálculo del coeficiente de avance que se verifica. Efectuado esto, se calcula el coeficiente de empuje de la hélice K_t para la hélice libre del tipo B-Wageningen, revisándose la superficie desarrollada según el criterio de Wageningen que fue publicado por J. Auf'm Keller.

Después de calcular y verificar el coeficiente de paso H/D , se resuelve la suma de polinomios de 6to grado y se hallan los coeficientes de empuje y de momento de la hélice, K_t y K_m . Teniendo determinados estos coeficientes, se halla la eficiencia η_{jk} de la hélice y la potencia efectiva N_e del motor.

Por otra parte, para la hélice con tobera del tipo K_A - Wageningen, se halla el coeficiente de paso H/D como solución de un polinomio de 6to grado y se verifican sus límites, calculándose mediante el mismo, el valor del coeficiente de momento K_m y el coeficiente de empuje K_t . En el cálculo de este último coeficiente, se halla la corrección por el anillo de la tobera.

Teniendo K_t y K_m , calculamos la potencia efectiva del motor. La máquina, realiza los cálculos de los diámetros D_{jk} y de la potencia efectiva del motor $N_{e_{jk}}$ y selecciona los valores óptimos, en dependencia del número de revoluciones. Los resultados obtenidos se comunican al proyectista, que debe seleccionar un motor de una potencia mayor o igual a la potencia N_e calculada, pudiéndose pasar a la tercera etapa de cálculo.

Esta etapa comprende el cálculo de los parámetros óptimos de la hélice.

La hélice que ha sido calculada aproximadamente durante la segunda etapa, se define más exactamente, considerando como parámetro de entrada la potencia del motor.

Para el alcance de la velocidad máxima con un motor dado, se pueden tener dos casos:

- 1 - La velocidad establecida
- 2 - La velocidad en dependencia de la resistencia al avance.

En este último caso, se obtiene la velocidad como el punto de intersección entre la curva de resistencia al avance y de la fuerza de empuje. Al igual que en los cálculos de la selección del motor,

partimos de las tablas de coeficientes de polinomios de 6to. grado para K_t y K_q después de calcular el coeficiente de avance relativo λ y el coeficiente de momento \bar{K}_q .

Para la hélice libre del tipo B - Wageningen, se define el coeficiente de área de las palas como el límite inferior de las pruebas de modelos en primera aproximación. Hallando el coeficiente de paso H/D , calculamos el coeficiente de apoyo de la hélice y se puede definir el coeficiente de rendimiento del propulsor η , la fuerza de empuje de la hélice T y la tracción útil de la misma. A continuación se verifica el área de la superficie de la hélice y si se cumplen el criterio de cavitación. Verificamos el coeficiente de paso, tomando el coeficiente de área de las palas crítico como segunda aproximación para el cálculo del paso y de la fuerza de apoyo, verificándose según lo antes dicho. Este ciclo termina, cuando la aproximación de \bar{F}_A/A y el valor crítico de F_A/T tiene una diferencia menor de 1/100.

Para la hélice con tobera tipo KA - Wageningen, se define el siguiente proceso: Teniendo el coeficiente de paso H/D calculado y verificado, se calcula el valor del coeficiente de apoyo K_t de la hélice y según él, se calcula el coeficiente de rendimiento del propulsor, la fuerza de empuje T de la hélice y la tracción útil T_u de la misma.

Para la velocidad dada, se pasa ahora a la elección de la combinación del número de revoluciones y del diámetro para el máximo coeficiente de rendimiento.

Después de realizar el cálculo, para todas las velocidades que se definen según la curva de la resistencia al avance, se calcula la velocidad óptima que puede alcanzar la embarcación. A los efectos de la curva de resistencia al avance, la aproximación se realiza mediante una curva exponencial y la curva de tracción útil de la hélice, se aproxima por una línea recta. Para una velocidad de cálculo obtenida de esta forma, se repite otra vez el ciclo del número de revoluciones y de diámetros y se escoge la variante de máximo rendimiento.

Para las respectivas velocidades y la velocidad de cálculo, se obtienen los parámetros óptimos de las hélices, los parámetros de la hélice para las revoluciones óptimas y la elección del diámetro que asegura el máximo rendimiento. Para la velocidad constante obtenemos los parámetros de la hélice

para todos los números de revoluciones y los diámetros.

El cálculo de las características de propulsión lo comenzaremos por el del coeficiente de avance relativo de la hélice J_{opt} , de acuerdo a los parámetros óptimos de las ya anteriormente calculadas.

Después se realiza el cálculo para el coeficiente de avance relativo que varía de 0 a J_{max} , el valor del polinomio KT , la velocidad, la fuerza de apoyo y la tracción útil de la hélice.

El cálculo de las características de propulsión para $Q = const.$ se comienza por el polinomio KQ para los mismos valores como en el caso anterior. Después se calcula el número de revoluciones, la velocidad, la fuerza de apoyo y la fuerza útil de la hélice.

Como podemos apreciar, mediante la computación es posible llevar a cabo el análisis de mayor número de posibilidades, que las que pueden realizar mediante cálculos manuales empleando gráficos.

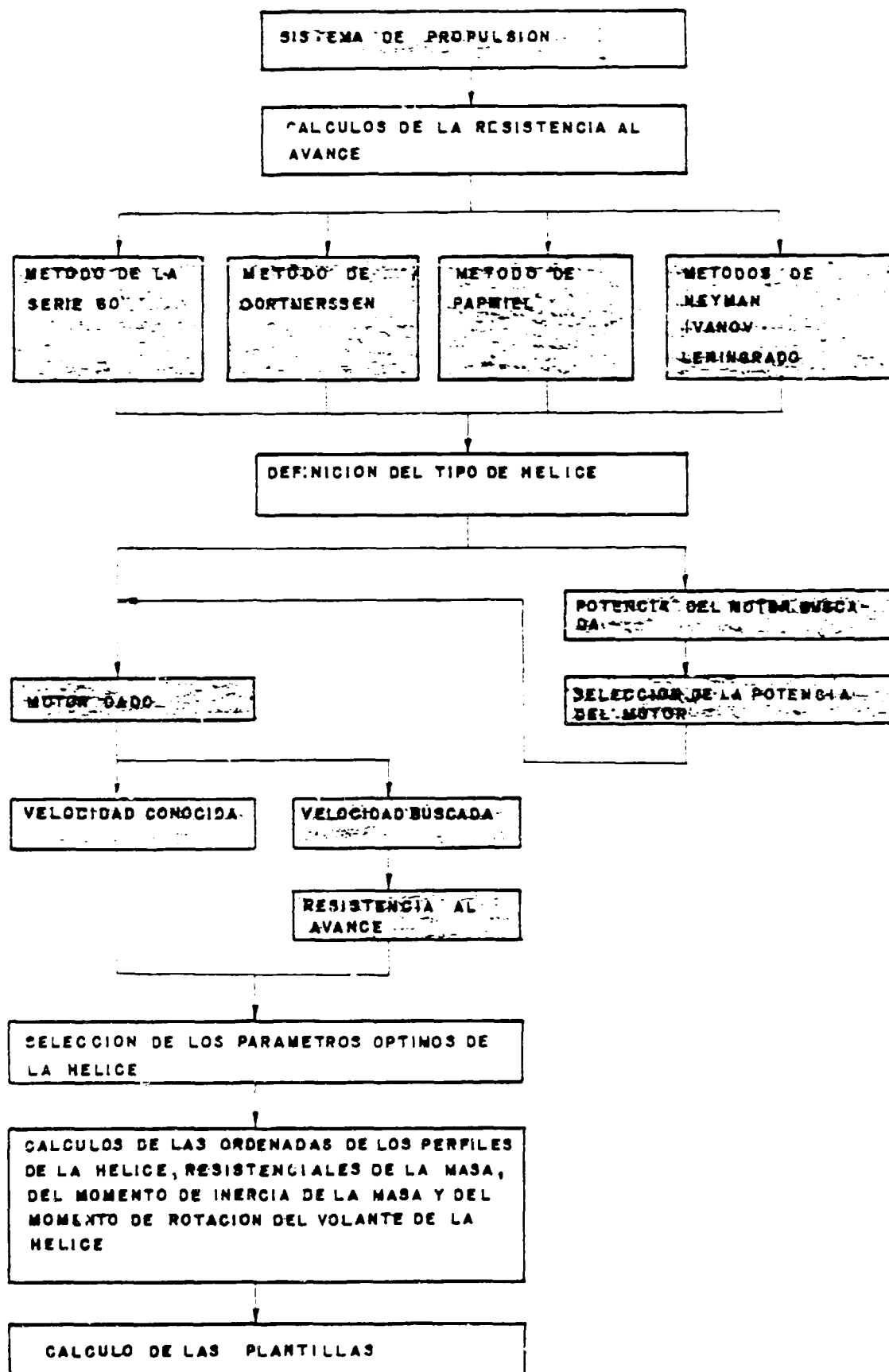
La cuarta etapa del sistema de propulsión, consiste en el cálculo de las ordenadas de los perfiles de la pala, cálculos resistenciales de la masa, del momento de inercia de la masa y del momento de rotación del volante de la hélice.

El cálculo de las ordenadas, se basa en las ordenadas para el dibujo del contorno y los perfiles de las hélices tipo B y Ka Wa -- geringen. El cálculo resistencial de la hélice está basado en el registro soviético del año 1977.

El cálculo del peso de la hélice, se realiza por partes, calculándose el peso de las palas y el peso del cubo. El peso del cubo se halla descomponiéndolo en una serie de cuerpos sencillos, -- tales como conos y cilindros. El peso de la pala de la hélice, -- se define utilizando el método de integración, sustituyendo las ordenadas por perfiles. Con las áreas obtenidas, se forma la -- curva de área de los cortes de la pala. El área entre esa curva y el eje de las abscisas, es proporcional al volumen de la pala, -- el cual se calcula mediante el mismo método de integración; des-- pues hallamos el peso de la pala, multiplicando el volumen obte-- nido por el peso específico del material. A continuación, se -- realiza el cálculo del momento de inercia de la masa de la hélice y del momento de rotación del volante.

En la quinta etapa del sistema, calculamos las plantillas de la -- hélice según la forma tradicional.

A continuación se muestra el esquema de cálculo del sistema de -- propulsión:



SISTEMA DE GOBIERNO

El segundo sistema desarrollado es el sistema de gobierno, que tiene como base los timones planos y los timones de perfil NACA. Como es sabido, el proyecto del sistema de gobierno se compone de 4 etapas:

- Selección del sistema de gobierno
Cálculos hidrodinámicos
- Cálculos de la resistencia de la mecha del timón
- Verificación de las dimensiones según reglamentos (Soviéticos)

La selección del sistema de gobierno, consiste en la definición de los datos fundamentales de gobierno, lo cual debe hacerse por parte del proyectista.

A las tres siguientes etapas se dedicó nuestro estudio, pudiéndose desarrollar una metodología numérica, en la cual está basada nuestra programación en FORTRAN IV.

1. Cálculos hidrodinámicos

El cálculo para el timón plano, se realiza según el método convencional y el del timón perfilado, se basa en resultados de investigaciones de palas de timones tipo NACA en el túnel aerodinámico. Los coeficientes sin dimensión de la fuerza sustentadora, resistencia y momento están en función del ángulo de giro del timón, para un alargamiento de la pala $\lambda = 6$. Mediante éstos coeficientes, se calculan otros coeficientes corregidos para el alargamiento dado y la distancia entre el centro de presión y el eje del timón. A continuación, se halla la distancia entre el eje de giro y el borde delantero del timón, así como el valor mínimo de la distancia entre el centro de ataque y el centro de presión en la pala. Teniendo como parámetros la estela del casco y la velocidad del flujo de la hélice, se definen el momento y la fuerza del timón, así como la fuerza normal, lo cual nos permite calcular el diámetro de circulación y el ángulo óptimo de giro.

2. Cálculo de la resistencia de la mecha del timón.-

Los cálculos de la resistencia de la mecha del timón, se diferencian de acuerdo al tipo de timón, o sea, para el timón sin apoyo de la pala y para el timón con apoyo de la pala.

Timón sin apoyo de la pala

Como fundamento para el cálculo de resistencia, se utilizan los resultados de la fuerza en el timón y del momento hidrodinámico.-

Inicialmente, se calculan los diámetros de la mecha en ambos cojinetes, utilizando el método de la viga clásica. Estos diámetros, nos permiten hallar el momento de rozamiento y obtener, de ésta forma, el momento total (máximo) en la mecha, como la suma del momento hidrodinámico y del momento de rozamiento, lo cual permite hallar la fuerza en el guardín del timón.

Después de obtener estos resultados, se realizan los cálculos precisos de la resistencia de la mecha del timón, para los tres tipos diferentes de accionamiento y las dos posibilidades de construcción.

Timón con apoyo de la pala.

Además del tipo de accionamiento y del tipo de construcción, hay que considerar la forma de apoyo de la pala en el tintero, y si éste trasmite las cargas total o parcialmente.

El fundamento del cálculo de resistencia de la mecha del timón apoyado, es igual al del timón suspendido en cuanto a las fuerzas y momentos hidrodinámicos. Inicialmente, se calculan los diámetros de la mecha del timón en el tintero, cojinete inferior y cojinete superior, utilizando la viga clásica. En el caso de que el talón del codaste sea el cojinete, seleccionamos la viga una vez estáticamente indeterminada. El momento en el cojinete inferior, se obtiene aplicando el método de los "tres momentos" y estableciendo que:

$$J_1 = J_2$$

Donde:

J_1 = momento de inercia entre el talón de codaste y el cojinete inferior

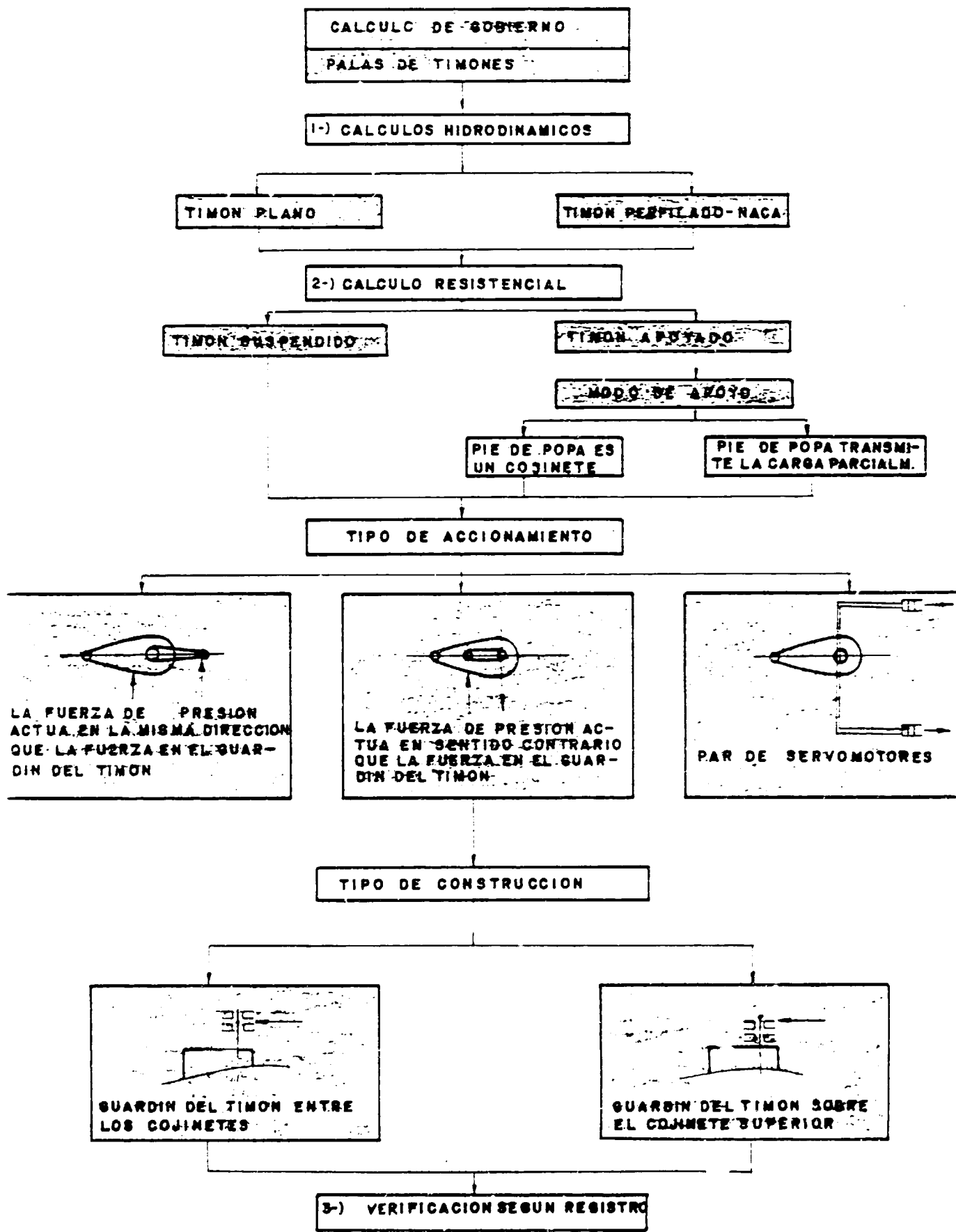
J_2 = momento de inercia entre el talón de codaste el cojinete inferior y el cojinete superior.

En el caso de que, el talón del codaste trasmite la carga sólo parcialmente, el momento en el cojinete inferior se calcula según Smakow. Aplicando los momentos existentes, se hallan los -

momentos reducidos que, por su parte, definen los diámetros de la mecha del timón en sus respectivos cojinetes. Ya hallados los diámetros, se realiza el cálculo del momento de rozamiento. El momento máximo total en la mecha del timón suspendido y el momento mínimo del servomotor, lo obtenemos tomando en consideración la cantidad de las palas de gobierno.

Después de obtener estos resultados, se puede pasar a los cálculos precisos de la resistencia de la mecha del timón para las dos formas de apoyo, los tres tipos de accionamiento y las dos posibilidades de construcción.

A continuación se muestra el esquema de cálculo para el sistema de gobierno.



CALCULO DE GOBIERNO
PALAS DE TIMONES

1-) CALCULOS HIDRODINAMICOS

TIMON PLANO

TIMON PERFILADO-NACA

2-) CALCULO RESISTENCIAL

TIMON SUSPENDIDO

TIMON APoyADO

MODO DE APOYO

PIE DE POPA ES UN COJINETE

PIE DE POPA TRANSMITE LA CARGA PARCIALM.

TIPO DE ACCIONAMIENTO

LA FUERZA DE PRESION ACTUA EN LA MISMA DIRECCION QUE LA FUERZA EN EL GUARDIN DEL TIMON

LA FUERZA DE PRESTON ACTUA EN SENTIDO CONTRARIO QUE LA FUERZA EN EL GUARDIN DEL TIMON

PAR DE SERVOMOTORES

TIPO DE CONSTRUCCION

GUARDIN DEL TIMON ENTRE LOS COJINETES

GUARDIN DEL TIMON SOBRE EL COJINETE SUPERIOR

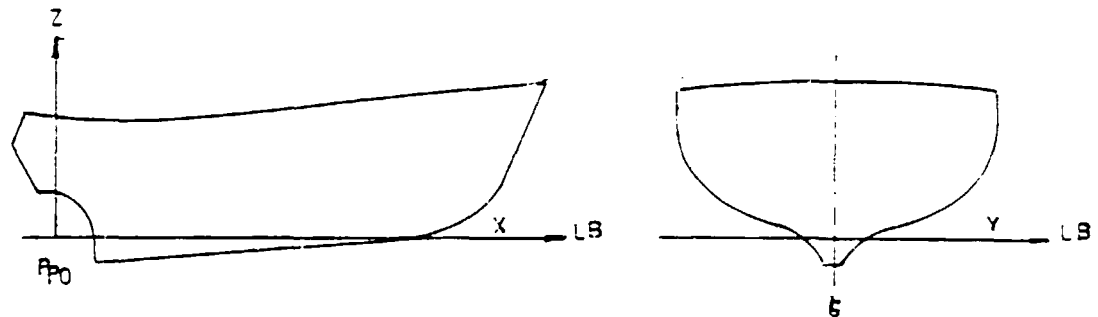
3-) VERIFICACION SEGUN REGISTRO

Sistema de Teoría del buque

Este sistema está compuesto de varios programas que realizan los cálculos relacionados con las geometría y las características hidrostáticas del casco de las embarcaciones.

El sistema parte del programa de la tabla de coordenadas, que organiza en forma adecuada las coordenadas del casco de la embarcación que son suministradas. Posteriormente el programa de la tabla de trabajo de la forma del casco, a través de la información que brinda la tabla de coordenadas, describe la forma del casco de la embarcación y las superestructuras (castillo de popa, puentes, castillo de proa) con el objetivo de suministrar los datos de entrada para ejecutar los cálculos de la Escala de Bonjean, curvas hidrostáticas, curvas pantocarenas, estabilidad para estados de carga dados, estabilidad en averías, inundación y graduación de tanques y bodegas.

La descripción de la forma del casco, se realiza mediante un sistema rectangular X, Y, Z.



Según este método, la forma del casco y las superestructu son obtenidas a partir de los grupos de curvas siguientes:

- cuadernas
- flotaciones
- secciones longitudinales paralelas al plano diametral (varengas)
- líneas características

La forma principal del casco, se obtiene con ayuda de las cuadernas y flotaciones. Las cavidades en la vista longitudinal, los túneles, etc. se obtienen mediante las secciones longitudinales paralelas al plano diametral y las líneas características, describen las cuadernas, líneas de quilla, líneas de cubierta, forma de la superestructura, etc.

Es menester señalar, que ésta metodología puede ser utilizada en embarcaciones con formas de casco cualesquiera.

Mediante el programa de Escala de Bonjean, se realiza el cálculo de áreas de cuadernas y momentos estáticos para diferentes flotaciones. Este último, se realiza integrando las curvas que definen dichas áreas de cuadernas.

El cálculo de valores hidrostáticos de la embarcación, se realiza a partir de las áreas de cuadernas y de las ordenadas de las flotaciones ya definidas. El cálculo de brazos de forma de la embarcación (pantocarenas) se realiza integrando las áreas de cuadernas para las diferentes inclinaciones de las líneas de flotación consideradas (método de las flotaciones). Los resultados de todos los cálculos antes mencionados, son posteriormente graficados, de ahí que la posibilidad de utilizar equipos graficadores o ploteadores digitales abre grandes perspectivas en el desarrollo de ésta actividad.

Los cálculos de estabilidad y asiento de la embarcación se realizan según los programas previstos. Estos comprenden, además de un programa para la tabulación de los resultados de los experimentos de inclinación que se realizan a las embarcaciones, otro programa donde se obtienen tablas que brinden información de estabilidad al capitán para los diferentes estados de carga considerados.

CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo ha estado centrado en la obtención de métodos de cálculos exactos y rápidos, para abarcar la ejecución de tareas de gran complejidad en la proyección naval, aplicando las ventajas que ofrecen los sistemas automatizados de cómputo. Los sistemas de programas, constituyen importantes herramientas de trabajo de las que se valen los técnicos, para llevar a cabo las tareas de proyección e investigación, abriendo un amplio campo de posibilidades en el análisis de complejos problemas. La aplicación de la automatización, tiene grandes implicaciones en el aspecto técnico-económico, ya que contribuye a reducir sustancialmente los costos de proyectos y da la posibilidad de poder ofertar los mismos con alta calidad técnica a otros países. La introducción de sistemas automatizados de proyectos conlleva realizar no pocos esfuerzos y disponer de no pocos recursos pero entendemos que el desarrollo de ésta actividad es un imperativo de la época actual que debemos desarrollar.

BIBLIOGRAFIA

- Further Computer - Analyzed Data of the Wageningen B - Screw Serie.
- M. W. C. Oosterveld y P. Van Oesanen en "International Ship-building Progress". Vol 22, julio 1975 No. 251, pág. 251
- Koblynski L. "Sruby Okretowe", WK, Warszawa 1955.
- Oosterveld M. W. C. "Pruebas en el modelo de diferentes tipos de hélice".
Int. Ship. Progress No. 198 Febrero 1971.
- Seminario sobre timones. Ceprona 1980.
- Manuales de usuarios de los programas de resistencia al avance. Ceprona 1980.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos la ayuda brindada por el Dr. Ing. Jan Migala en la realización de éste trabajo, por su aporte de experiencia y el asesoramiento brindado en el mismo.



