

# NUEVOS MATERIALES PARA LA INDUSTRIA NAVAL

*Ernesto Zumelzu Delgado  
Ingeniero Civil Metalúrgico*

## INTRODUCCION

La selección de materiales para la industria de defensa, en particular para la naval, es parte del campo de la ciencia e ingeniería de materiales, la cual constituye un elemento crucial en la resolución de problemas técnico-económicos fundamentales, entendiéndose por tales la limitación de recursos, la escasez de materiales estratégicos, el sostenimiento del crecimiento económico y la productividad, la creación de capital y la competitividad en el mercado.

Hoy en día casi todos los equipos militares son fabricados con aleaciones de hierro o de otros metales, cerámicas, plásticos y materiales híbridos. Es más, industrias vitales para la dotación, transporte y apoyo logístico de las Fuerzas Armadas conceden especial importancia al aprovechamiento de las propiedades de los materiales, tanto actuales como en desarrollo, que multiplican el rendimiento de equipos y artefactos.

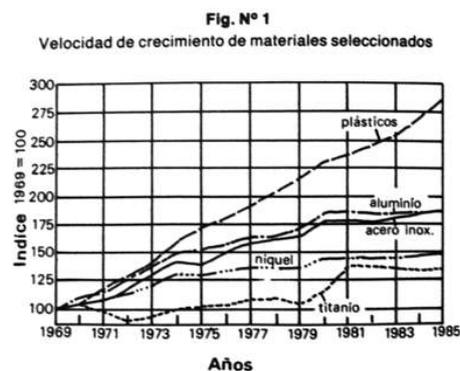
Respecto a la selección de materiales no se puede hacer generalizaciones para tratar de validar todos los problemas implícitos en ella; sin embargo, en el presente trabajo se presenta dos enfoques a considerar: uno respecto de las propiedades de los materiales desde un punto de vista técnico, tecnológico y económico, y otro respecto a los posibles mecanismos de falla considerando tipos de carga, tipos de esfuerzos y temperaturas de operación. Estos dos enfoques, junto a la experiencia acumulada, sin duda permitirán realizar un sopesamiento entre ellos, de acuerdo a las aplicaciones que se intente efectuar en el importante y amplio campo de la industria naval y así enfrentar con mayor seguridad la compleja decisión de la selección de materiales adecuados para una función determinada.

## EXTENSION Y NUEVAS APLICACIONES DE MATERIALES

Ha sido notable el avance tecnológico tanto en la calidad de los materiales como del crecimiento en el consumo; así por ejemplo, es ilustrativa la figura N° 1, donde se observa la velocidad de crecimiento de algunos materiales seleccionados, como titanio, níquel, aceros inoxidables, aluminio y plásticos, que satisfacen exigencias de resistencia mecánica (1).

En otras áreas, los satélites y misiles reclaman materiales que sean fuertes y rígidos, de baja densidad, resistencia al calor y a la dilatación a altas temperaturas, buenos conductores del calor y de la electricidad. De ahí por ejemplo que los materiales híbridos (partículas o fibras en matriz polimérica o cerámica) gozan de un amplio uso en los misiles estratégicos, para ahorrar peso.

La figura N° 2 nos muestra la reducción en peso alcanzable, gracias al diseño de una pieza, sustituyendo un material convencional por otro más ligero, lo que depende decisivamente de su función (2). Así, una unidad de volumen fabricada de aluminio fundido pesa un 65 por



ciento menos que un volumen igual de acero dulce; no obstante, este es más rígido que el aluminio fundido. La economía de peso es, sin embargo, mucho menor si se busca igual carga de colapso y resistencia a la flexión, que es una medida de resistencia estructural.

También las cerámicas revisten interés por su baja densidad, baja conductividad térmica y resistencia a las temperaturas altas; de ahí que se estén desarrollando aplicaciones en componentes de motores Diesel, gasolina y en turbinas de gas.

Respecto a la expansión y las nuevas aplicaciones de los materiales cabe destacar la tabla N° 1, que categoriza áreas para el desarrollo de materiales de acuerdo al Informe de COSMAT (3), que existe desde hace años bajo el amparo de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos; en ella se observa cualitativamente el impacto relativo esperado para las actividades de Ciencia e Ingeniería de Materiales (CIM).

**Tabla N°1**

Importancia relativa de CIM en nueve áreas de impacto

AREA DE IMPACTO	% RELATIVO
Comunicaciones, computación y control	92
Defensa y espacio	92
Energía	90
Equipos de transporte	69
Servicios en salud	69
Calidad del medio ambiente	68
Vivienda y otras construcciones	67
Producción de equipos	61
Bienes de consumo	60

**Fig N° 2.** Reducción de peso sustituyendo materiales

MATERIAL	Igual Volumen (%)	Carga de colapso y resistencia a la flexión iguales (%)
Acero dulce	---	---
Acero de alta resistencia	0	18
Aluminio	65	50
Plástico reforzado con fibra	Resistencia a 200 M Nw/m <sup>2</sup>	81
	Resistencia a 700 M Nw/m <sup>2</sup>	81

## LA SELECCION DE MATERIALES EN EL DISEÑO

El diseño de una embarcación o artefacto es un proceso jerárquico que descansa cada vez más en métodos de Proyectos Asistidos por Ordenador (CAD), Análisis de Ingeniería y Simulación (CAE) y Análisis de Fabricación (CAM).

Sabemos que el proceso se inicia con una estrategia de defensa y/o comercial general y un plan de producción que define el tipo de embarcación o artefacto y sus especificaciones generales: calidad, precio, tamaño, peso, rendimiento, entre otros. Durante esta fase se realiza simulaciones por ordenador para asegurar que diversas características técnicas-

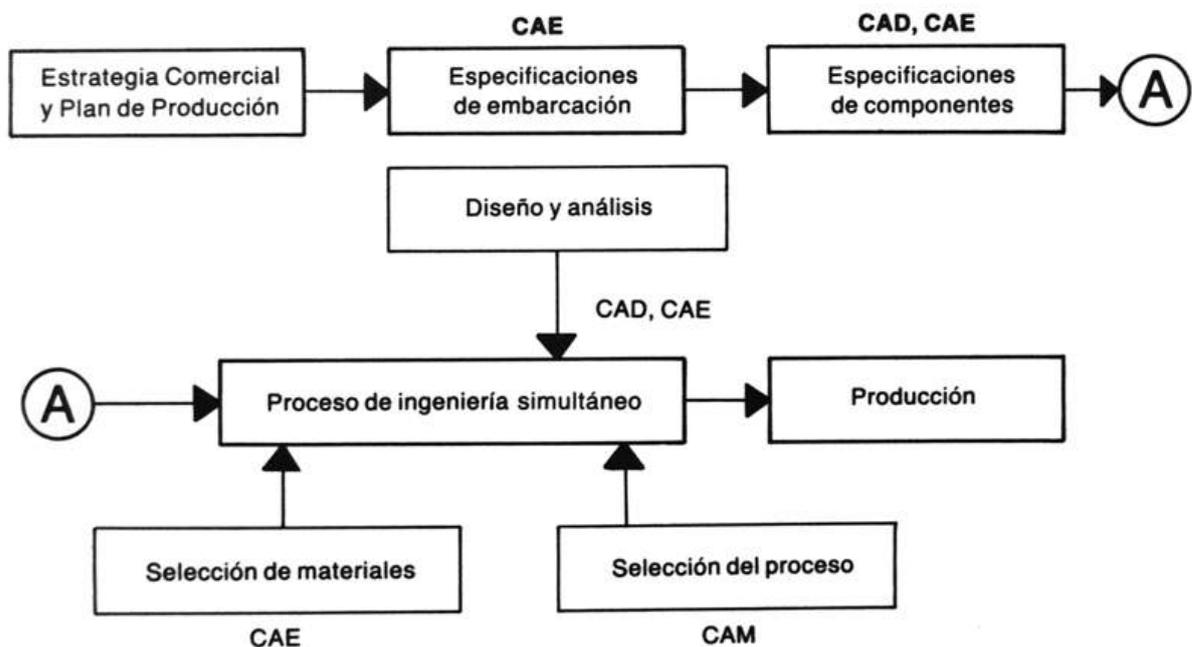
potencia del motor, y consumo de combustible entre ellas resulten tal y como estaban programadas. A continuación se diseñan los componentes individuales; en esta fase las especificaciones generales sirven de directrices.

La forma de un componente queda determinada por la consideración simultánea de varios factores: función de la pieza, material en que será fabricado y limitaciones impuestas por el proceso fabril, entre varios. Otras consideraciones comprenden el montaje, peso y costos.

En el pasado no era posible saber con certeza cómo funcionaría una pieza hasta que no era fabricada. Las técnicas basadas en el ordenador permiten ahora, en muchos casos, pronosticar el rendimiento antes de la fabricación. Las limitaciones o restricciones en fabricación, que antiguamente eran sopesadas durante las últimas fases del proceso de diseño, constituyen hoy en día una porción sustantiva del estudio técnico simultáneo.

La figura N° 3 representa sintetizadamente el lugar jerarquizado de la selección de materiales en diseño.

**Fig. N° 3. Etapas de un diseño jerarquizado**



### Selección según propiedades de los materiales

Las principales propiedades que se debe tener en cuenta para hacer una elección apropiada pueden ser clasificadas en tres categorías (4), cuyos criterios pueden ser apreciados en la tabla N° 2:

— *Técnicas*. Se trata de las propiedades que sirven para el dimensionamiento, típicamente, de las propiedades de resistencia mecánica en función del tiempo de la temperatura y del entorno. En esta serie también se incluye los comportamientos en ambientes extremos o particulares; por ejemplo, la resistencia al rayo, al fuego, a los choques, a la corrosión, etc.

El peso de las estructuras está especialmente vinculado a las características mecánicas especificadas de los materiales, a saber: los esfuerzos estáticos en el límite de la elasticidad y de la ruptura, los módulos de rigidez, la resistencia a la fatiga y la tolerancia a los daños.

— *Tecnológicas*. Se trata de las características de uso, que deben ser examinadas en función de los medios industriales de que se dispone. Influyen en la facilidad y la fiabilidad de realización.

— *Comerciales*. Incluye el dominio de los aprovisionamientos: la disponibilidad de las fuentes, el estado de competencia, la evolución previsible de los precios.

Tabla Nº 2 Criterios de elección de los materiales

TECNICOS	TECNOLOGICOS	COMERCIALES
Características mecánicas R-R 0,2	Formabilidad	Precio
Módulos	Soldabilidad	Fuentes de aprovisionamiento
Densidad (o bien R/d)	Maquinabilidad	Disponibilidad
Flujo	Automatización	
Fatiga	Templabilidad	
Tenacidad	Tratamiento térmico	
Corrosión	Ciclos de polimerización	
Corrosión bajo tensión	Porcentaje de desechos	
Envejecimiento	Almacenamiento	
Resistencia al rayo	Reparación	
Resistencia al fuego	Experiencia industrial	

### Selección según posibles mecanismos de falla

Para prever mecanismos de falla se conocen pocos criterios de importancia en la selección de un material óptimo, que determinen características específicas de dicho material y que midan cuantitativamente su resistencia a presentar fallas. La tabla Nº 3 indica una guía general que señala los criterios que normalmente son más significativos en la selección de materiales en relación a posibles mecanismos de falla, tipos de carga, tipos de esfuerzos y temperaturas de operación (5).

Cabe destacar que las áreas más complejas de selección de materiales están relacionadas con conductas o comportamientos mecánicos en que las propiedades de ellos se ven influenciadas por los efectos del tiempo de servicio y operación. Algunas de estas aplicaciones se encuentran en: la resistencia al desgaste, el efecto de temperaturas elevadas sobre las propiedades, la resistencia a la corrosión, corrosión bajo tensión, corrosión fatiga y radiación.

Los casos anteriores requieren de un gran intercambio de opiniones en la interpretación de los datos de ensayos de laboratorio y sus respectivas extrapolaciones a largos períodos en servicio. Algunos ensayos de operación bajo condiciones simuladas son:

— *Resistencia al desgaste*: Ensayos dinámicos de materiales con lubricantes y abrasivos. Ensayos mecánicos de probetas cargadas en discos rotatorios bajo condiciones de lubricación, es decir, los llamados ensayos tribológicos: desgaste, fricción y lubricación.

— *Efecto de temperaturas elevadas*. Ensayos de solidificación controlada para el desarrollo de microestructuras orientadas y apropiadas para resistir la fractura. Ensayos de trabajo en frío y recocido para obtener el balance deseado entre resistencia y dureza, y ductilidad medida como elongación plástica porcentual. Ensayos de creep, de deformación bajo cargas constantes a ciertas temperaturas en función del tiempo, para evaluar especialmente el creep de recuperación y de difusión.

— *Resistencia a la corrosión*: Ensayos en celdas electroquímicas para determinar el potencial e intensidad de corriente de corrosión en las curvas de polarización.

Tabla N° 3. Guía de criterios para selección de materiales\*

Mecanismo de falla	Tipos de carga			Tipos de esfuerzo			Temperat. de operación			Criterios usados para la selección de materiales
	Estática	Repetidas	Impacto	Tensión	Compresión	Corta	Baja	Media	Alta	
Fractura frágil	X	X	X	X			X	X		Charpy V-entalladura, temperatura de transición. Tenacidad de entalladura. K <sub>1c</sub> mediciones de tenacidad
Fractura dúctil	X			X		X		X	X	Resistencia a la tracción. Resistencia a la cedencia y en corte.
Fatiga ciclo alto		X		X		X	X	X	X	Resistencia a la fatiga para vida útil, según esfuerzos elevados presentes.
Fatiga ciclo bajo		X		X		X	X	X	X	Ductilidad estática utilizable y el punto de esfuerzo plástico cíclico esperado de las elevadas tensiones durante la vida prescrita
Corrosión fatiga		X		X		X	X	X	X	Resistencia a la corrosión fatiga del metal según el medio contaminante, para un tiempo similar
Pandeo	X		X		X		X	X	X	Módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y a la cedencia
Deformación total	X			X	X	X	X	X	X	Resistencia a la cedencia
Creep	X			X	X	X			X	Velocidad de Creep o sostener la resistencia al esfuerzo de ruptura, para la T° y vida útil
Fragilidad cáustica o del hidrógeno	X			X				X	X	Estabilidad bajo esfuerzos simultáneos e hidrógeno u otro medio ambiente químico
Corrosión bajo tensión	X			X		X		X	X	Esfuerzos residuales o Impuestos y resistencia a los medios corrosivos. Medidas de K <sub>ISCC</sub>
Microfractura: Desgaste y fricción										Carga crítica P <sub>k</sub> , velocidad de desgaste, dureza superficial y velocidad de volumen desgastado por lubricantes (6)
Cavitación-erosión		X	X	X	X		X	X	X	Dureza, tenacidad de impacto Charpy. energía de deformación-velocidad de erosión-Radio de resistencia (6)

\* Adaptado de (5) y ampliado por el autor del presente artículo.

Otros ensayos simulados de interés en la ingeniería naval son los realizados en el Canal de Pruebas Hidrodinámicas, para artefactos flotantes, que permiten —entre otros— efectuar estudios de resistencia al avance, trimado dinámico, planeo, hundimiento paralelo, determinación de estela nominal, salpicaduras, RAO de movimientos, emersión de propulsores en olas, de resonancia paramétrica y transversal, determinación de trayectorias, de coeficientes de amortiguamiento, posicionamiento de quillas de balance, de incremento de potencia en olas, etc.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de los materiales, sumado a los avances de la tecnología de fabricación de piezas y componentes desempeñará un papel clave en los sistemas de ingeniería de defensa del futuro. Entre los materiales proyectados para el año 2000 entran los hídridos y nuevas aleaciones para elementos estructurales, superaleaciones, cerámicas y materiales hídridos de fibra de vidrio para los sistemas de propulsión, así como otros hídridos de carbono-carbono para su aplicación en zonas que soportan elevadas temperaturas, donde la resistencia al calor y a la ubicación es crítica. De ahí entonces la necesidad e importancia que se conozca las funciones y objetivos de la selección de materiales, como también saber de los desafíos y criterios a que se deberá enfrentar el ingeniero de diseño en esta estratégica y creciente actividad industrial.

Finalmente, se podría afirmar que los prerequisites que se debe cumplir para una correcta y segura selección de materiales son: una buena base teórica, investigaciones experimentales e, indudablemente, experiencia práctica.

## BIBLIOGRAFIA

1. J.P. SCHADE: *Stainless steels-are we ready for tomorrow's Challenges?*, *Metallurgical Plant and Technology*, Vol. 5, 1987, pp. 6-8.
2. J.P. CCLABK y M.C. FUMINGS: "News materials and economy", *American Scientific* N° 123, Dic. 1986.
3. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE: "Materials and men's needs: Materials science and engineering", *Summary Report*. Washington. 1974, p.65.
4. J. ODORICO: "Evolución de los materiales para las nuevas estructuras de aviones y helicópteros, Laboratoire Central de la Aerospatiale", *Sureness*, Francia, 1987, pp. 1-5.
5. T.J. DOLAN: *Experimental mechanics*, Enero 1974, pp. 1-14.
6. H. BEUTLER: "Development of news materials and production processes", *Sulzer Technical Review*, Vol. 3, 1986, págs, 7-9.
7. M.C. FLEMINGS: *Materials science and engineering its past and its future; Transaction of the Iron and Steel Institute of Japan*, Vol. 6 N° 2, 1986, pp. 93-100.
8. BRITISH AEROSPACE: *Guided Weapons & Air Power*, 1987, pp. 1-8.