Requisitos para la implementación de la tecnología de construcción naval modular integrada

Capitán de Corbeta (r)
Ramón Velasco Stoll

1. Introducción

Métodos de construcción naval en buques de acero

Para la construcción de buques siempre se había seguido un método convencional de uno en uno y sobre la grada o dentro de un dique seco; en tiempos relativamente recientes empleaban piezas para dicha construcción fabricadas en serie por ser iguales como, por ejemplo, el caso de los elementos de unión (consolas, corbatas, refuerzos, algunas planchas iguales, etc).

Con ese sistema se colocaba la quilla sobre la grada o dique y se iban añadiendo las diferentes partes del casco, una vez construido se procedía a meter la maquinaria para lo cual se practicaban agujeros o se abrían grandes huecos conocidos como cesáreas, con esta práctica no es de extrañar que un buque mercante se construyera en unos dos años aproximadamente, tiempo limitado por el tamaño del buque y el empleo al que sería destinado.

Para los buques de guerra este tiempo aumentaba considerablemente por la complejidad de su construcción, que añadido a su tamaño y tipo superaba los cuatro años como mínimo.

Es durante la segunda guerra mundial cuando con la construcción de los buques Liberty, se comenzaron a emplear métodos usados en la

industria automovilística. Los Liberty fueron construidos a un ritmo elevado, pues eran botados casi acabados y en aproximadamente 9 días lo eran totalmente; el método fue aplicado también en la construcción de buques de guerra a propuesta de Henry J. Kaiser que fue el promotor del sistema de construcción para los Liberty, él propuso por el mismo método la construcción masiva de portaviones, para ello se creó un astillero en Vancouver, en el río Columbia, estado de Washington, en el cual entre 1942 y 1944 se construyeron 50 portaaviones de la clase Casablanca, uno de ellos, el *Attu,* fue construido en un plazo de 75 días desde la colocación de la quilla hasta su puesta en servicio el día 30 de junio de 1944.

Alemania usó un método muy similar para la construcción de los submarinos tipos XXI y XXIII que se construían en módulos acabados casi por completo y eran ensamblados en un refugio antibombardeos o por necesidades de espacio al aire libre en astilleros específicos para ese trabajo de montaje innovador.

Construcción naval en la posguerra

Tras finalizar la segunda guerra mundial y durante el auge de la construcción naval a comienzos de los años sesenta, japoneses y coreanos comenzaron a aplicar técnicas de construcción integrada en serie para buques mercantes como graneleros y petroleros, siendo el método adoptado paulatinamente por otros países en principio para las mismas aplicaciones (buques mercantes y con el paso del tiempo para toda clase de buques incluidos los de guerra).

Tipos o métodos de construcción

Son dos los métodos de construcción, uno es la construcción modular y otro la construcción modular integrada.

Construcción modular

El diseño modular consiste en un proyecto común que puede ser modificado en cualquier momento y obedece a necesidades puntuales del armador o cliente, por el cual una vez iniciado el proyecto se puede sustituir un módulo por otro. Esto es, se construye una plataforma o buque común para todos los modelos, pero también los módulos se hacen con arreglo a las exigencias del cliente, el módulo a sustituir tiene las mismas medidas que el modulo sustituido pero incorpora las variaciones solicitadas.

Construcción modular integrada

El diseño modular integrado tiene la particularidad de que los módulos se construyen íntegramente en el taller e incorporan todos o casi todos los elementos interiores como tuberías, líneas eléctricas e iluminación, carpintería, maquinaria, etc., llegando al lugar de montaje totalmente listos incluido el chorreado y pintado. El proceso es rápido y con un menor costo del proyecto.

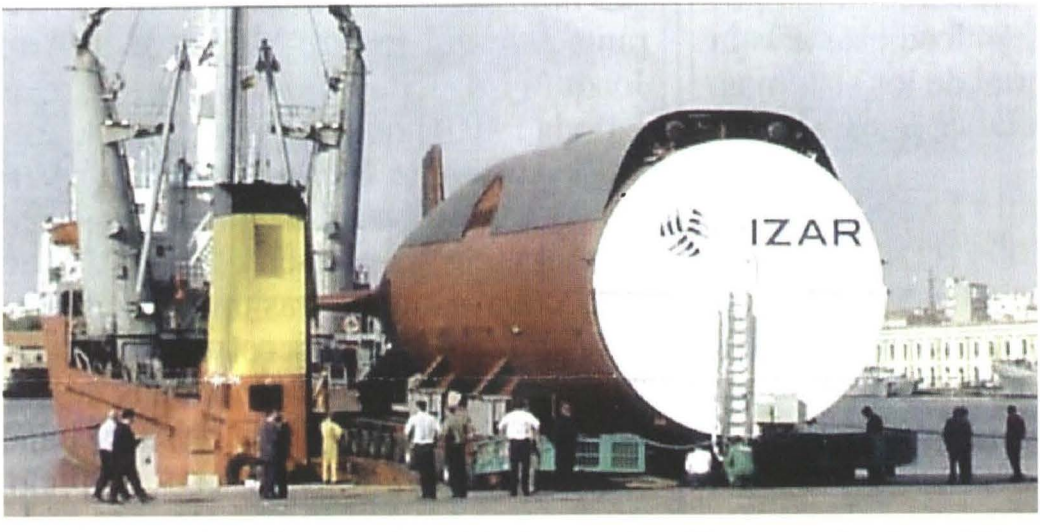
El método de este diseño es un trabajo previo en el taller de prefabricación en el cual se hacen las piezas (cuadernas corbatas, consolas o cartabones, corte de mamparos y planchas a medida, etc.) y se

montan paneles (mamparos y cubiertas).

La segunda fase consiste en el montaje de los bloques, se reúnen en una nave los materiales que constituyen un bloque y se van montando; la peculiaridad del método consiste en que los bloques se montan al revés, de modo tal que primero se coloca el techo que tiene el bloque y se van colocando sobre él los diferentes elementos que lo constituyen, de tal forma que los operarios trabajan sobre la parte inferior del techo, se debe tener presente que durante el montaje por este método, la posición del techo es abajo y la de babor o estribor cambia respecto a proa y popa porque si se mira a proa estribor no está a la derecha mientras el bloque esta invertido.

Una vez acabado de montar, se procede a soldar todos lo elementos de planchas y refuerzos que no habían sido soldados, para con posterioridad proceder al montaje de soportes para tuberías, las mismas tuberías (agua, combustible, aceite, aire acondicionado, cables correspondientes al propio bloque, maquinaria, etc.).

Una vez terminado se procede a una inspección del bloque y se corrigen aquellos defectos que detecten los inspectores de calidad y posteriormente los del seguro y armador; pasada la inspección, se lleva a cabo el ensamblaje de los bloques entre sí, dando vuelta al bloque y colocándolo en la posición correspondiente en el buque, se acopla y se suelda, se conectan tubos y se colocan los cables que unen los circuitos de ambos bloques, se introducen determinados aparatos delicados que se montan una vez acoplados los bloques y no son de excesivo tamaño, se acaba todo el armamento y se procede a la botadura. A partir de ese momento solo quedará ultimar los detalles pendientes y proceder a las pruebas obligatorias antes de la entrega del buque a su comprador.



En la foto se aprecia la sección de popa de uno de los dos submarinos chilenos encargados a los ex astilleros de Izar (hoy Navantia), dispuesto a ser embarcado con destino al astillero integrador, para ser ensamblado con el resto del casco allí construido.

2. Estado del arte de la construcción naval

Desde hace años se habla de la Construcción Modular Integrada como uno de los grandes avances de la Construcción Naval. Las nuevas tecnologías y una buena organización permiten que el sistema de Construcción Modular Integrada rompa con la secuencia tradicional en la ejecución de los trabajos (acero, armamento y pintura), consiguiendo una progresión simultánea de los mismos.

En la actualidad todos los astilleros llevan a cabo en mayor o menor medida lo que se conoce como "armamento anticipado"[1], pero pocos tienen la capacidad suficiente como para llegar a conseguir porcentajes de avance en el momento de la botadura del buque que superen el 75%, y por tanto, que permitan asegurar que disponen de un sistema de Construcción Integrada y no de un armamento anticipado importante.

La implantación de este sistema comienza en la etapa de diseño del buque. No debe tratarse de un diseño orientado solamente al producto, también debe estar orientado al proceso productivo.

La gran competitividad que existe hoy en día en la construcción naval en el mercado internacional, exige plazos de entrega cada vez más cortos; por lo tanto es normal que la etapa de diseño también se reduzca. Durante esta etapa es cuando se define la "estrategia constructiva", que es la base para poder llevar a cabo una "Construcción Integrada". Como se puede observar, el disponer de una buena organización y de una alta tecnología es fundamental para poder desarrollar con un mayor detalle la estrategia constructiva, y así conseguir la terminación completa del buque, en un plazo cada vez más reducido.

La estrategia constructiva considera al buque como un conjunto de bloques que a su vez están divididos en productos intermedios. Además, hace la clasificación de tareas de producción en las distintas zonas del buque y las etapas de la construcción en que se realizan. Surge el concepto de zona-etapa. De este modo, se define un programa de construcción, de prearmamento y montaje de bloques, lo que implica unas fechas de necesidades de planos y de equipos.

De forma genérica se pueden definir una serie de etapas en la Construcción Integrada que sirven de guía para entender su filosofía. Cada astillero tendrá sus particularidades, en función de las instalaciones y facilidades de que dispongan.

Como se mencionó en la primera parte, este concepto de trabajar la construcción del casco por partes ó de forma "modular", con la finalidad de acortar los tiempos de construcción no es nueva y tuvo sus inicios durante la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo esta tecnología realmente ha tenido un enorme desarrollo desde la década de los 80´s, gracias al desarrollo de informática en hardware y

1. Armamento, en inglés con la palabra *outfitting*, que significa efectuar los trabajos de equipamiento, montajes y acabados de los equipos abordo.

software especializados para la industria naval. Es así que el estándar de los astilleros competitivos de la actualidad es la adopción de esta tecnología y forma de trabajo.

Para no hablar de los astilleros asiáticos y europeos, de vasta trayectoria y experiencia, podemos mencionar que los astilleros de la región sudamericana en Brasil, Argentina, Colombia y Chile vienen implementando con gran éxito esta tecnología.

En el Gráfico Nº 1 se presenta un ejemplo del empleo de esta moderna tecnología, para la construcción de un buque nodriza fluvial de la Armada Colombiana, construida por los astilleros Cotecmar, puede notarse claramente como se ha optimizado la construcción de la nave, mediante su modularidad empleando para ello un software de diseño-producción. La construcción del primer buque de la serie construida fue entregada para su uso operativo en un lapso de tiempo de 6 meses.

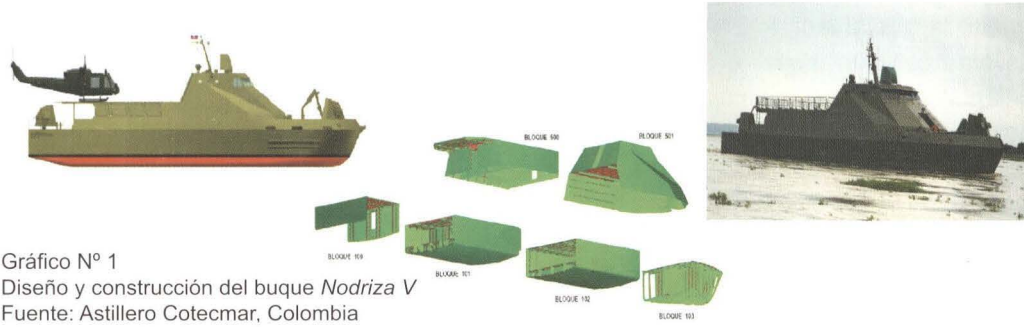


Gráfico Nº 1
Diseño y construcción del buque *Nodriza V*
Fuente: Astillero Cotecmar, Colombia

Tecnología de Construcción Modular Integrada, comprende las siguientes etapas:

1º Etapa, de diseño. Con las disposiciones generales, planos de acero y esquemas se elabora una estrategia constructiva con la que se consiga el máximo prearmamento y modularización posible, pero teniendo siempre en cuenta la rigidez propia de los bloques y sub-bloques para ser manipulados, el montaje de los equipos para reducir al mínimo los cortes de casco y establecer los plazos de entrega, para conseguir que los equipos y componentes de los sistemas del buque queden integrados en un solo bloque.

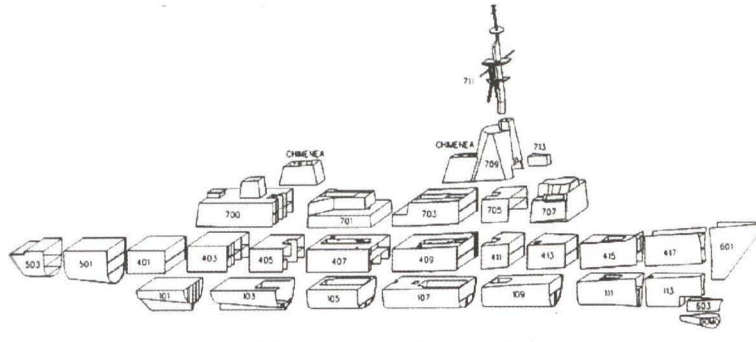


Gráfico Nº 2
Elaboración de la estrategia constructiva
División del buque en bloques

2ª Etapa, de construcción. Durante esta etapa se elabora y prefabrica la estructura del casco. Simultáneamente se van construyendo los módulos de equipos, racks de tuberías, etc.

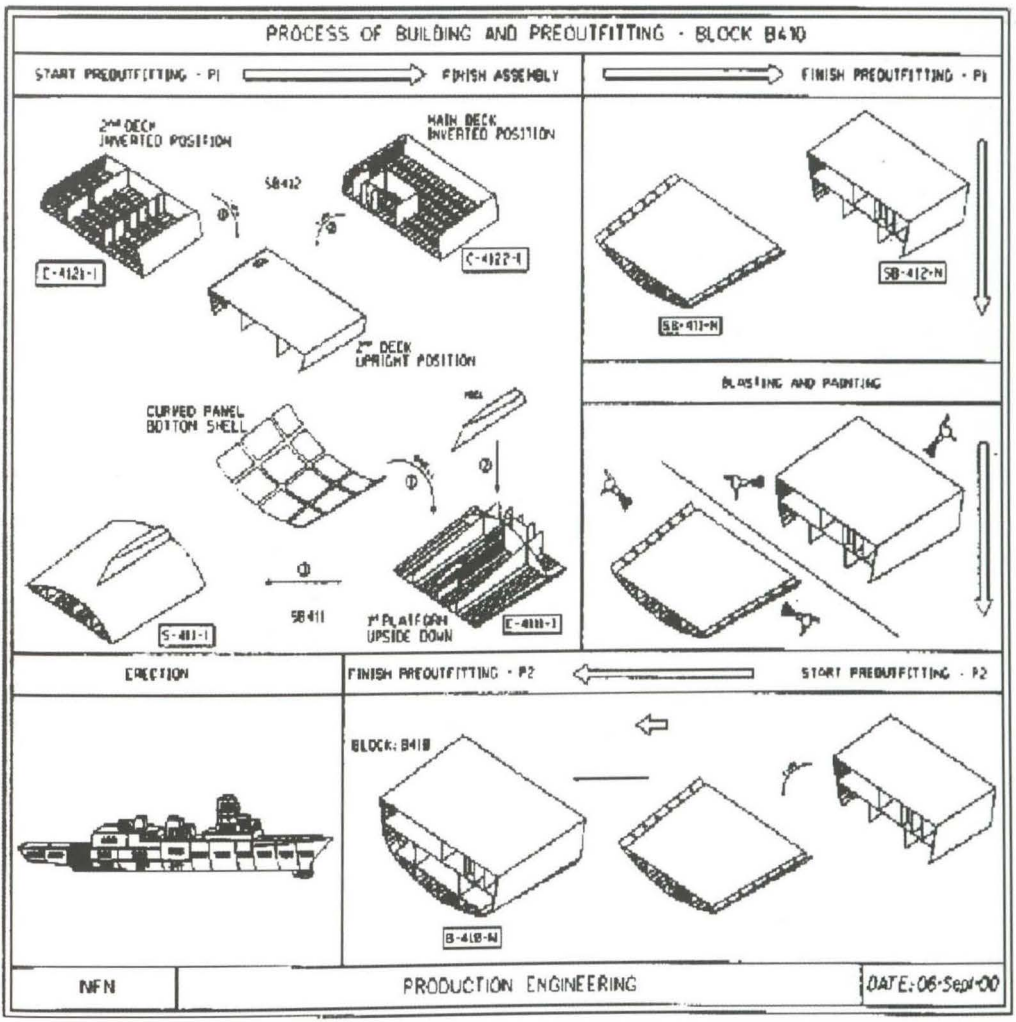


Gráfico 3
Instrucciones de Ingeniería para Taller
(fabricación de bloque)

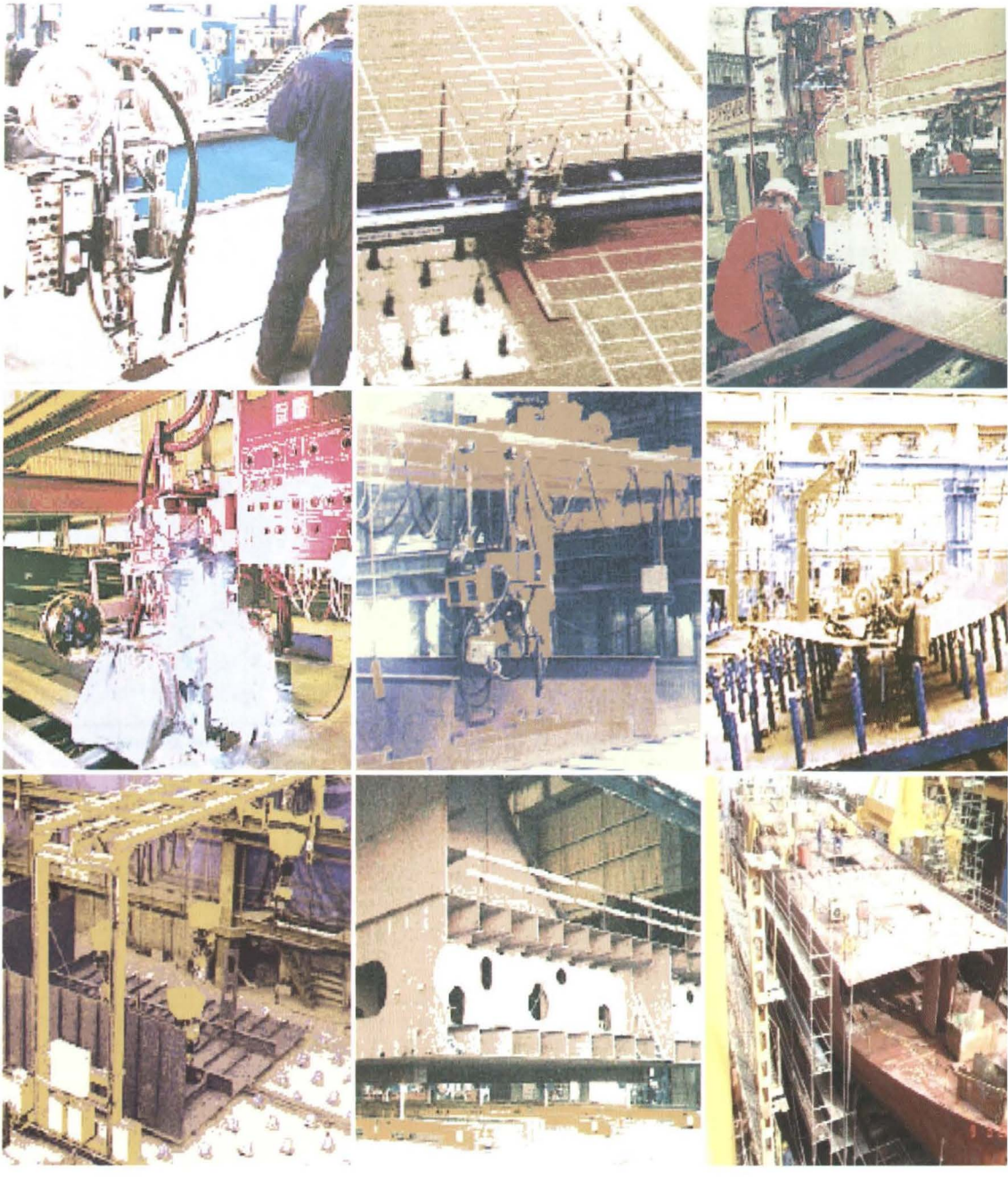


Gráfico 4
Vistas del proceso de fabricación

3ª Etapa, de prearmamento inicial. Estructura metálica variada, distinta de la propia del casco (tubería, tecles, registros, tomas de mar, etc.). Asimismo, se fabrican en talleres diversas unidades de maquinaria y equipos para su posterior montaje en el buque. Su inicio se solapa con el final del prefabricado del bloque.

4ª Etapa, de arenado y pintado. Se efectúa el tratamiento superficial del acero, ya trabajado. Deben haber concluido los trabajos de corte, soldadura y pruebas de estanqueidad. Se pintan y se dejan las estructuras pintadas al 90% para un posterior acabado final al término de los trabajos de montaje y unión de bloques.



Gráfico 5
Fabricación de unidades y productos intermedios

5ª Etapa, de prearmamento final. Se incorporan módulos de equipos, cuadros eléctricos, etc.

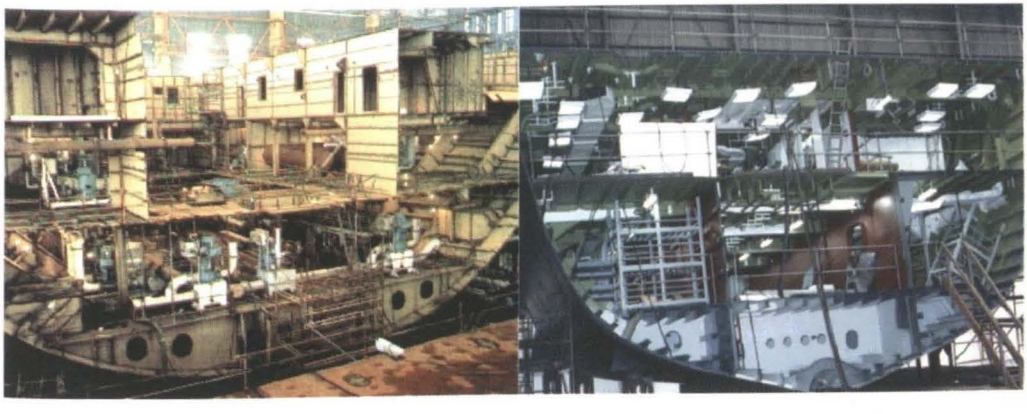


Gráfico 6
Vistas de la etapa de prearmamento final

6ª Etapa, de montaje en grada. Se traslada el bloque a la grada y se realiza la unión con los colindantes ya montados, se sigue la etapa de prearmamento realizando las conexiones que correspondan y las pruebas que se puedan efectuar.

7ª Etapa, de botadura.

8ª Etapa, de finalización de armamento y pruebas finales de sistemas completos y equipos a flote. Pruebas de mar.



Gráfico 7
Vistas de la etapa de montaje de bloques

En el sistema de Construcción Integrada se consiguen mejoras sustanciales en:

Condiciones de trabajo, ya que se trabaja generalmente en posiciones horizontales y en talleres. Aumenta por lo tanto:

- La calidad
- La seguridad
- El rendimiento

Los plazos de entrega se recortan, ya que posibilita la realización de un mayor número de trabajos simultáneos y la realización de otros con antelación al sistema tradicional. Como se puede observar en el Gráfico Nº 8, en el ciclo de construcción integrada el trabajo es menor respecto a la construcción tradicional porque muchos trabajos de la parte de los sistemas, servicios y electricidad se hacen simultáneamente a la prefabricación del casco, no siendo necesario esperar a tener un avance muy importante del mismo para poder incorporarlos.

Con ello se obtiene que:

- Exista una mayor flexibilidad en la producción
- Los plazos de pedido y entrega de equipos se pueden ajustar con mayor precisión, reduciendo de esta manera los periodos de almacenamiento de los mismos.

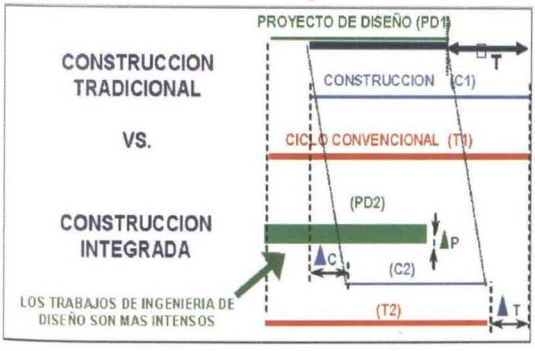


Gráfico Nº 8
Ventajas de la construcción naval integrada

Todos estos puntos anteriores influyen en los costos de fabricación. En líneas generales se puede afirmar que con el sistema de Construcción Integrada se consiguen ahorros del 30% en mano de obra y el 20% en plazos de entrega, todos ellos respecto al sistema de construcción tradicional. En el Gráfico 9 podemos ver una tabla donde se establecen unos datos comparativos y orientadores.

% AVANCES EN BOTADURA	CONSTRUCCION TRADICIONAL	CONSTRUCCION INTEGRADA
ESTRUCTURA DEL CASCO	9	9
SALA DE MAQUINAS	3	9
MONTAJE DE TUBOS	3	9
MONTAJE DE CONDUCTOS	3	9
HABILITACION	1	6
CABLEADO ELECTRICO	5	4
AVANCE EN BOTADURA	39	75
CAMINO CRITICO	Sala de Máquinas, Habilitación, Electricidad	Electricidad

Gráfico 9: Porcentajes de Avance a la Botadura de una Nave

En ese sentido, para hacer frente al reto de la modernización de la tecnología empleada en la construcción naval del país, es necesario llevar adelante un plan de implementación de la tecnología de Construcción Modular Integrada. Para ello se sugiere que los astilleros desarrollen las metodologías siguientes:

- Plan de Implementación Construcción Modular Integrada, que consistiría en el desarrollo de los programas por fases (Conceptual, Preliminar, Definición, Desarrollo del Proyecto).
- Actualización y modernización de las Oficinas de Diseño, específicamente en lo que se refiere a la adquisición de una herramienta de *software*, básica e imprescindible que permita el desarrollo de los proyectos de construcción naval de forma integrada.

3. Características del *software* de diseño

Actualmente en el mercado existe una buena cantidad de softwares de aplicación a la industria naval, para el desarrollo de la ingeniería y diseño de naves, sean pequeñas o grandes, tales como el Autoship, MaxSurf, etc.; obviamente cuanto mayor sea su tamaño, mayor la complejidad. Sin embargo, pocos son los softwares que permiten integrar el ciclo del diseño al ciclo de la producción del buque, clave del éxito de la construcción modular integrada.

En ese sentido, a continuación se procederá a describir las principales características que debe poseer un

software de ingeniería naval orientado a la producción

a) Módulo de diseño, generación y alisado de formas

Capacidad para:
- diseño de formas de cualquier tipo
- modificación interactiva de la forma del casco.
- cálculo básico de las líneas hidrostáticas.

Superficies para definir las formas del casco

Definición de manera tridimensional continua, con rapidez y facilidad en la modificación de las formas, alisado sin errores, mayor precisión y menos errores en modificaciones posteriores.

Capacidad de trabajar con "puntos de control" para definir las formas en su totalidad. Las conexiones entre parches pueden ser de diferente orden de continuidad. El sistema gestiona internamente las modificaciones producidas en un parche que puedan afectar a otros. El usuario puede realizar durante el proceso de proyecto cálculos de arquitectura naval de forma interactiva, con objeto de comprobar el efecto que las modificaciones en las formas tienen sobre los parámetros fundamentales del buque: desplazamiento, centro de carena, coeficientes, etc.

Capacidad de definir las formas del casco de tres maneras:
- Identificación, introduciendo puntos de referencia de las formas
- Transformación, obteniendo un nuevo buque partiendo de otro previamente definido.
- Generación. Puede darse el caso de un nuevo tipo de buque de formas muy distintas que impidan utilizar las de otro proyecto previo. El proceso en este caso sería definir los perfiles del buque, las líneas principales que limitan los cuerpos de popa y proa, etc. Posteriormente se crean las superficies que se apoyan en estas líneas y, a partir de aquí, se modifican hasta la forma deseada.

b) Módulo de cálculos de arquitectura naval

Este debe permitir calcular las características hidrostáticas y de estabilidad de un buque, tanto en aguas tranquilas como con el buque flotando sobre olas de cualquier longitud y altura.

Geometría del buque, define la geometría de un buque por medio de las secciones transversales del casco. Estas secciones transversales se pueden definir de tres modos:
- numéricamente por puntos de una cartilla de trazado.
- importando un fichero DXF.
- tomando directamente la geometría del casco definida en el módulo de formas.

A continuación, se puede completar la geometría del buque definiendo apéndices y superestructuras. Una vez definida la geometría completa del buque, se pueden realizar cálculos de hidrostática y carena.

Compartimentación

Debe permitir compartimentar el buque para poder definir los tanques, bodegas, etc. Los diversos espacios así obtenidos pueden juntarse, sustraerse, etc. para definir formas más complejas. También pueden definirse compartimentos cilíndricos, cajas, etc. A cada uno de los compartimentos así definidos se le asigna un valor de permeabilidad (porcentaje de ocupación máxima posible realmente respecto de su volumen teórico). Definidos los compartimentos, se pueden obtener tablas de capacidades de cada uno de ellos, con centros de gravedad y momentos de inercia.

Resultados gráficos

Debe tener la capacidad de mostrar resultados de los cálculos de diversas maneras:

- gráficamente (pantalla o impresora/ *ploter*).
- tablas (pantalla o impresora) salvado en archivos para pegar en un procesador de texto.

Situaciones de carga

Debe permitir definir un número ilimitado de situaciones de carga. Cada una de estas situaciones de carga se define por medio de los pesos que la componen. Estos pesos pueden ser puntuales, en un compartimento o distribuidos según una ley cualquiera. Para cada condición de carga, el programa calcula las curvas de estabilidad estática y dinámica y el ángulo de inundación correspondiente. Este cálculo deber ser posible de realizarse con el buque intacto o con uno o varios compartimentos inundados.

Otros cálculos. También deberá ser posible que efectúe los cálculos que abarcan diversos aspectos del proyecto de un buque. Podemos citar entre ellos:

- Cálculo del arqueo.
- Cálculo del francobordo.
- Cálculo del módulo de la cuaderna maestra.
- Estimación de potencia-velocidad.
- Selección de hélice óptima.
- Cálculo de botadura.
- Curva de calado-peso muerto.

c) Módulo para el desarrollo del forro

Será deseable que cuando menos posea las siguientes características principales:

- Desarrollo de planchas de forro y cubierta.
- Expansión sin limitación alguna en cuanto a su forma, número de lados, dimensiones, etc.
- Método de elementos finitos para el desarrollo. Máxima precisión.
- Definición geométrica e interactiva de costuras y topes.
- Compartimentación del buque.
- El sistema puede obtener cartillas de trazado para la construcción de plantillas, que sirvan para el conformado de dichas chapas.
- Posicionamiento de elementos estructurales.
- Gestión tridimensional de la estructura.

Procesos de producción

Que las costuras y topes que conforman las chapas del forro sean definidas de una forma totalmente

gráfica e interactiva, por medio de puntos sobre la superficie del casco. Estas líneas deberán ser susceptibles a que se puedan modificar en cualquier momento, editando los puntos que las definen. Una vez desarrolladas las chapas del forro, deberá ser posible obtener cartillas de trazado para la construcción de plantillas, que sirvan para el conformado de dichas chapas.

Definición de la estructura

Este módulo deberá también definir los refuerzos estructurales como varengas, bulárcamas, vagras, palmejares, buzardas, refuerzos longitudinales del forro y de las cubiertas, esloras, etc.

La definición de todos estos elementos debe ser realizada siempre de forma gráfica e interactiva, pudiendo editarse y modificarse en cualquier momento.

d) Despiece de la estructura

Deberá permitir la edición y despiece de la estructura de la nave. Todas las piezas de la estructura del buque, incluyendo todos sus detalles y marcas, podrán ser obtenidas con éste módulo.

Modelo tridimensional de la estructura

El sistema deberá permitir el almacenamiento de una base de datos con un modelo tridimensional, en la cual se pueda detallar la estructura del buque. De esta forma podrá visualizarse la fase de desarrollo del proyecto conforme este se vaya completando con cada pieza realizada con el módulo de estructuras.

Gestión de la base de datos

Posibilidad de consultar la base de datos de piezas valiéndose de filtros de selección del tipo: por bloque, espesor, tipo de pieza, etc. Así mismo, poder controlar las piezas que todavía no han sido anidadas.

Base de datos de Normas. Permitir que se definan "normas" o "bloques" para poder insertarlos posteriormente, tanto de forma manual como de forma automática, en las piezas y en los dibujos. Estas normas se guardan también en otra Base de Datos específica, cuya consulta tiene la característica de previsualización, al igual que la Base de Datos de piezas y la de dibujos.

Capacidad de calcular los pesos y centros de gravedad espaciales de las piezas que se van obteniendo, lo que permite realizar el cálculo del peso total y del centro de gravedad resultante de bloques o de grupos de piezas cualesquiera.

e) Anidado (*Nesting*) y corte por control numérico

Capacidad de realizar el *nesting* o anidado de piezas para aprovechamiento de planchas de forma automática y/o manual, y que posteriormente se pueda proceder a la programación del acoplamiento para su corte por la máquina.

El usuario gestiona la Base de Datos de piezas (generadas en el módulo de estructuras) seleccionando las que serán agrupadas en cada chapa ayudándose de filtros: mismo espesor, misma calidad de acero, mismo bloque, etc.

Opciones

- Disposición de piezas automática y manual.
- *Nesting* de múltiples piezas distintas.
- *Nesting* sobre múltiples chapas.
- Gestión de almacenes (piezas y planchas).
- Reutilización de sobrantes.
- Gestión de sopletes múltiples.
- Versiones para trabajo en red local.

Control del material

El sistema genera información importante para la producción y el cálculo de costos. El usuario puede adaptar la forma y el contenido de los listados para ajustarse a sus requisitos.

f) Tuberías y equipos

Capacidad para el modelado de equipos:

- Definición geométrica de equipos basado en primitivas en 3D.
- Asignación de datos a los equipos, como peso, centro de gravedad, modelo, fabricante, distribuidor, etc.
- Definición de puntos particulares del equipo:
  * Conexiones de entrada y salida: posición, orientación, tipo, tipo de terminación.
  * Posición de los puntos de anclaje del equipo.
- Importación/exportación de la geometría de equipos desde/a cualquier otro programa.

Trazado de conductos

Capacidad del sistema de:

- Posicionamiento y orientación de equipos, tanto interactivamente como por coordenadas.
- Posibilidad de obtener referencias desde cualquier elemento seleccionable (piezas, equipos, tubos, accesorios...).
- Definición de líneas auxiliares y posibilidades de edición (copiar y pegar).
- Listados de materiales utilizados (equipos, accesorios, tubos) con todas sus propiedades.
- Rutado y modificación de rutas flexible.
- Asignación automática o interactiva de especificaciones.
- Asignación de código a cada elemento individual.
- Agrupaciones de elementos en varios subniveles (p.e. por circuito, por bloque ...).
- Inserción de detalles.

Detección de interferencias, con capacidad de:

- Detección de interferencias de conductos con cualquier otro elemento y con otros conductos.
- Detección interactiva o en modo *batch.*
- Selección de la acción a realizar al detectar colisiones: edición de los elementos, modificación de estructura, ignorar...etc.
- Obtención de listados de interferencias y descripciones de las mismas.

Dibujo e isométricas, capacidad de poder:

- Generación automática de isométricas de cualquier tramo de tubería.

- Edición manual de isométricas.
- Listado de material de cada isométrica.
- Obtención de planos por secciones.
- Obtención de planos 3D.

Requerimientos mínimos de *hardware*

- PC Pentium 150 Mhz o mayor.
- Al menos 32 MB de espacio libre en el disco duro, dependiendo de los módulos instalados.
- Windows 3.0, 3.11 o Windows 95.
- Resolución de la pantalla SVGA, 1024x768 o mayor (recomendado).

- Portabilidad del *software* (intercambio con otros sistemas).
- El sistema debe ser capaz de operar con otros softwares similares.