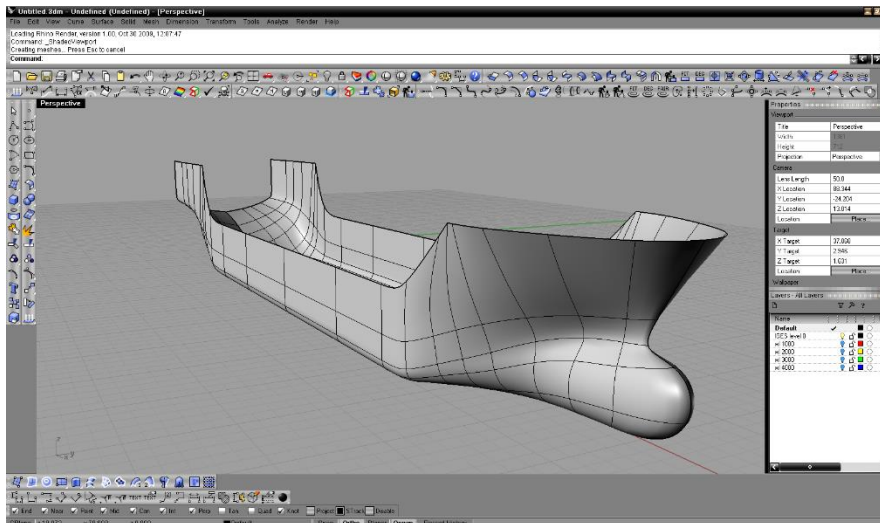
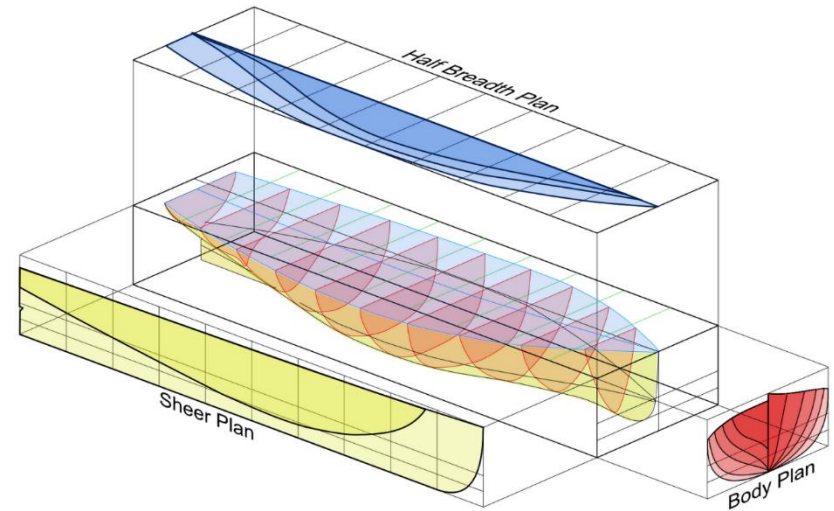


II. Forma y geometría del buque

Objetivos:

1. Definir que es el modelado geométrico y exponer el uso que se le da en el diseño de buques y estructuras marinas.
2. Introducir los diferentes planos de líneas de formas y demás conceptos asociados a la definición del casco de un buque.
3. Ver con detalle algunos de los métodos de integración numérica más comunes empleados para el cálculo de áreas, volúmenes, y demás propiedades dependientes de la forma geométrica del buque.
4. Definir los diferentes coeficientes de afinamiento existentes.
5. Mostrar algunas características geométricas típicas de ciertas embarcaciones.



SECTIONS		T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
DOWN SIDE UP	BUTTOCK	1	1266	1116	938	772	646	578	552	558	592	656	878	1425	2162
	DECK	1	1415	1250	1032	860	754	692	678	698	768	951	1460	1982	2750
	KEEL	1	1669	1502	1253	1053	884	820	820	820	1031	1522	1951	2566	3511
	KNUCKLE	1	1798	1737	1507	1287	1087	987	987	987	1233	1776	2316	3000	4000
	DECK	1	1850	1691	1437	1217	1017	917	917	917	1163	1706	2246	2930	3930
	SHEER	1	1878	1815	1565	1345	1145	1045	1045	1045	1291	1834	2374	3058	4058
	DIAGONAL	A	1293	1201	1023	865	768	718	718	718	862	1366	1872	2408	3178
	KEEL	B	1501	1340	1140	958	822	768	768	768	1014	1518	2022	2616	3416
	DECK	C	1601	1440	1240	1058	922	868	868	868	1114	1618	2122	2716	3516
	KNUCKLE	D	1701	1540	1340	1158	1022	968	968	968	1214	1718	2222	2816	3616
DOWN SIDE UP	DECK	E	1801	1640	1440	1258	1122	1068	1068	1068	1314	1818	2322	2916	3716
	KNUCKLE	F	1901	1740	1540	1358	1222	1168	1168	1168	1414	1918	2422	3016	3816
	DECK	G	2001	1840	1640	1458	1322	1268	1268	1268	1514	2018	2522	3116	3916
	KNUCKLE	H	2101	1940	1740	1558	1422	1368	1368	1368	1614	2118	2622	3216	4016
	DECK	I	2201	2040	1840	1658	1522	1468	1468	1468	1714	2218	2722	3316	4116
	KNUCKLE	J	2301	2140	1940	1758	1622	1568	1568	1568	1814	2318	2822	3416	4216
	DECK	K	2401	2240	2040	1858	1722	1668	1668	1668	1914	2418	2922	3516	4316
	KNUCKLE	L	2501	2340	2140	1958	1822	1768	1768	1768	2014	2518	3022	3616	4416
	DECK	M	2601	2440	2240	2058	1922	1868	1868	1868	2114	2618	3122	3716	4516
	KNUCKLE	N	2701	2540	2340	2158	2022	1968	1968	1968	2214	2718	3222	3816	4616
DOWN SIDE UP	DECK	O	2801	2640	2440	2258	2122	2068	2068	2068	2314	2818	3322	3916	4716
	KNUCKLE	P	2901	2740	2540	2358	2222	2168	2168	2168	2414	2918	3422	4016	4816
	DECK	Q	3001	2840	2640	2458	2322	2268	2268	2268	2514	3018	3522	4116	4916
	KNUCKLE	R	3101	2940	2740	2558	2422	2368	2368	2368	2614	3118	3622	4216	5016
	DECK	S	3201	3040	2840	2658	2522	2468	2468	2468	2714	3218	3722	4316	5116
	KNUCKLE	T	3301	3140	2940	2758	2622	2568	2568	2568	2814	3318	3822	4416	5216
	DECK	U	3401	3240	3040	2858	2722	2668	2668	2668	2914	3418	3922	4516	5316
	KNUCKLE	V	3501	3340	3140	2958	2822	2768	2768	2768	3014	3518	4022	4616	5416
	DECK	W	3601	3440	3240	3058	2922	2868	2868	2868	3114	3618	4122	4716	5516
	KNUCKLE	X	3701	3540	3340	3158	3022	2968	2968	2968	3214	3718	4222	4816	5616

II. Forma y geometría del buque

1. Modelado geométrico

La geometría es la rama de la matemática que trata con las propiedades, medidas, y relaciones de puntos y conjuntos de puntos en el espacio. Definición geométrica de forma y tamaño es un paso esencial en la manufactura o producción de cualquier objeto físico. Los buques y las estructuras marinas están entre los objetos más largos y complejos producidos por el hombre.

El modelado geométrico es un término que apareció en 1970 para describir el conjunto de actividades que emplean la geometría para diseñar y manufacturar, especialmente por medio de la asistencia de computadoras.

Se identifican tres categorías importantes del modelado geométrico:

- Representación de un objeto existente.
- Creación de un nuevo objeto para cumplir con requerimientos funcionales y/o estéticos.
- Generación de la imagen de un modelo para interpretación visual.

Comparado con la construcción física de modelos, una ventaja considerable del modelado geométrico es que no requiere de materiales ni de procesos de manufactura, y consecuentemente puede efectuarse rápidamente y a bajos costos.

Uso de la data geométrica

Aplicaciones principales de la data geométrica:

- a) Diseño conceptual. Se puede tomar la data geométrica de un buque existente o bien se pueden definir diferentes configuraciones geométricas y decidir cuál o cuáles, inicialmente, satisfacen los requerimientos.
- b) Análisis. A partir de la representación geométrica del buque se pueden hacer diferentes análisis: cálculo de pesos, análisis hidrostático, análisis estructural, análisis hidrodinámico.

II. Forma y geometría del buque

1. Modelado geométrico

Uso de la data geométrica

c) Clasificación y regulación. Gran parte de la información requerida para clasificación y regulación es de naturaleza geométrica (planos del diseño y modelos geométricos).

d) Manufactura. La información geométrica es indispensable durante el proceso de manufactura. En general dicha información requiere de gran precisión y detalle. Las tolerancias para trabajos con acero en un buque típicamente son de 1 a 2 mm en todo el buque, con independencia de la dimensiones de la embarcación.

e) Mantenimiento y reparación. Cuando un buque ha sido manufacturado a partir de descripciones geométricas a base de computadoras, esa misma información evidentemente es valiosa a la hora de realizar reparaciones, restauraciones, y modificaciones.

Niveles de definición

La geometría de un buque puede ser descrita a partir de una amplia variedad de niveles de definición.

a) Particulares (*Particulars*). Este término es empleado para describir la embarcación en término de ciertas variables que involucran dimensiones lineales y otras medidas de capacidad y volumen: eslora total, eslora en la línea de agua o flotación, manga, desplazamiento, coeficiente de bloque, etc. El conjunto de dimensiones presentadas como particulares varía dependiente del tipo de embarcación. Por ejemplo en un buque de carga, medidas de su capacidad de carga siempre estarán dentro de los particulares, porque dan una idea del potencial comercial de la embarcación.

II. Forma y geometría del buque

1. Modelado geométrico

Niveles de definición

b) *Offsets*. Los *offsets* representan el casco del buque por medio de una tabulación o un muestreo de puntos medidos desde algún plano de referencia hasta la superficie exterior del casco del buque.

Generalmente los *offsets* no contienen suficiente información para construir un buque, y solo proveen descripciones 2D de secciones transversales y longitudinales particulares.

c) *Wireframe*. Los *wireframes* representan el casco de un buque u otra geometría por medio de polígonos o curvas en 2D y 3D. Los *wireframes* pueden contener toda la información de una tabla de *offsets* (como puntos en el *wireframe*), pero pueden representar mucho más; incluso algunas de las curvas importantes que limitan la superficie del casco en proa y popa. La dificultad con los *wireframes* es que solo muestran un número finito (generalmente pequeño) de las secciones planas posibles, y solo el muestreo de puntos en estas secciones.

Por lo tanto para localizar puntos en la superficie que no se encuentren sobre alguna curva se requiere de interpolación, que es difícil de definir en un *wireframe* y que lleva a errores de localización en la superficie.

d) Modelado superficial. En el modelado superficial, ecuaciones matemáticas se desarrollan para definir superficies. Aquí puntos se pueden evaluar en la superficie de la embarcación en cualquier localización sin encontrar ambigüedad. El modelado superficie es bastante complejo y requiere del uso de las computadoras.

II. Forma y geometría del buque

1. Modelado geométrico

Niveles de definición

e) Modelado sólido. Este modelado toma un paso adicional en dimensión y complejidad para representar matemáticamente partes del sólido que constituye el buque. A parte de la descripción de los elementos de superficie, este modelado geométrico contiene información completa acerca de cuáles elementos de superficie son las fronteras de determinados objetos sólidos, y como dichos elementos de superficie interactúan afectando las fronteras del sólido.

Modelado geométrico asociativo

Se considera que un modelado geométrico es asociativo cuando se representan y almacenan relaciones entre los diferentes elementos de un modelo, de forma tal que ciertos elementos puedan ser automáticamente re generados cuando otros cambian, en orden para mantener las relaciones existentes entre ellos.

a) Modelado paramétrico. Aquí formas geométricas están relacionadas por conjuntos de parámetros adimensionales, que suelen ser empleados de forma secuencial.

b) Modelado variacional. Aquí las posiciones geométricas, formas, y construcciones son controladas por un conjunto de ecuaciones que deben ser resueltas de forma simultánea en vez de secuencial. La solución generalmente incluye optimización del diseño original.

c) Modelado basado en características similares. Algunos componentes estructurales de un buque pueden poseer características similares (relaciones alto-ancho, formas de filete en función de las dimensiones de las planchas, etc). Dichas características pueden ser definidas por ciertos operados y reusadas en el diseño de otros componentes.

II. Forma y geometría del buque

1. Modelado geométrico

Modelado geométrico asociativo

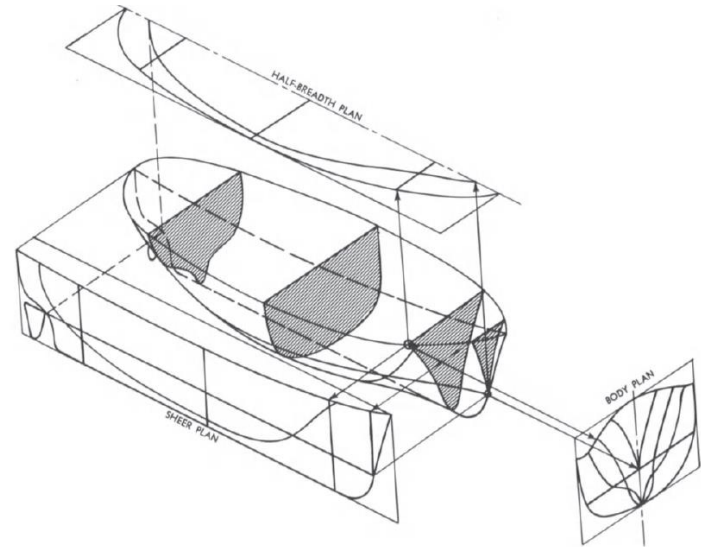
d) Geometría relacional. Aquí puntos, curvas, superficies, y geometrías sólidas son construidas con relaciones de dependencia definidas. Es decir geometrías sólidas que dependen de superficies, superficies definidas por curvas, y curvas constituidas por conjuntos de puntos.

2. Definición de la superficie del casco de un buque

Introducción

La forma del casco de un buque determina que tanta potencia requiere para ser impulsado, influye directamente en la velocidad de la embarcación, impone restricciones en cuanto al espacio disponible para el transporte de carga y pasajeros, e influye considerablemente en la seguridad, estabilidad, y movimiento del buque en el mar.

Planos de líneas de forma



La presentación convencional de la forma 3D del casco de un buque se da por medio de planos de líneas de forma. Estos forman las curvas y contornos principales en las tres vistas ortogonales a lo largo del eje principal del buque.

II. Forma y geometría del buque

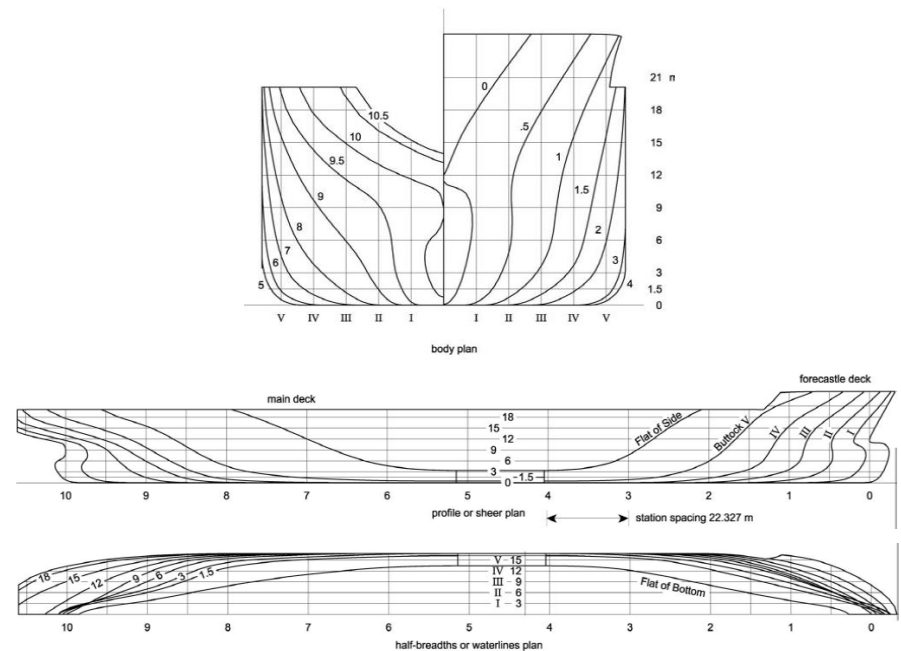
2. Definición de la superficie del casco de un buque

Planos de líneas de forma

a) Vista de planta o planos de líneas de agua (*plan view, waterlines plan, half breath plan*). Es el grupo de proyecciones verticales en un plano base horizontal.

b) Vista de perfil o de elevación (*profile view, sheer plan, elevation*). Es el grupo de proyecciones transversales en el plano de línea de centro.

c) Vista de secciones transversales (*body plan*). Es el grupo de proyecciones longitudinales en un plano transversal. Es convencional que en este plano se proyecten los contornos de proa y popa de forma separada. La selección de una posición longitudinal para la división del buque en proa y popa es arbitraria pero generalmente dicha división se hace en *amidships*.



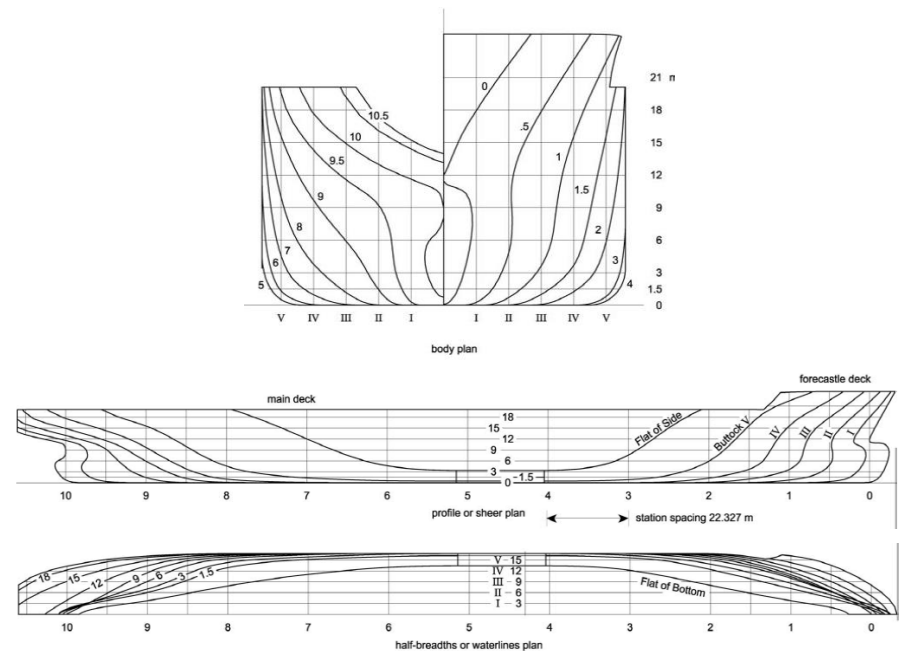
II. Forma y geometría del buque

2. Definición de la superficie del casco de un buque

Planos de líneas de forma

Las líneas que se muestran en los planos de líneas de forma son generalmente las mismas en las tres vistas y consisten en:

- Curvas principales. Típicamente líneas que constituyen la frontera de la superficie del casco: *sheer line*, perfil de popa, perfil del fondo, etc.
- Secciones de la superficie del casco con familias de planos paralelos a los planos principales: planos transversales, llamados estaciones o secciones; planos verticales paralelos al plano de línea de centro, llamados *buttock lines*; planos horizontales, llamados planos de líneas de agua (*waterlines*).



II. Forma y geometría del buque

2. Definición de la superficie del casco de un buque

Planos de líneas de forma

Las curvas pueden representar la superficie interna o externa del casco, o incluso la superficie a lo interno de las cuernas. La selección casi siempre depende del método de construcción y generalmente suelen definirse como curvas que representan la superficie externa del casco.

Observe que existe redundancia entre los planos de líneas de forma. Con dos de estos planos es suficiente para definir la forma del casco. Ha de decirse que es importante que exista consistencia entre las tres vistas.

Ajuste (*fairing*) gráfico de las líneas de forma

Antes del uso de las computadoras, para la definición de la superficie del casco y su ajuste, los planos de líneas de forma eran desarrollados a través de procedimientos de dibujo.

Los objetivos del proceso de ajuste de las líneas de forma son los siguientes:

- Qué exista congruencia entre las tres vistas.
- Que se cumplan los requerimientos hidrostáticos como el desplazamiento por ejemplo.
- Que se logren los objetivos visuales y estéticos en la apariencia de la embarcación.

En el pasado, cuando no se empleaban las computadoras, el proceso de ajuste y dibujo se llevaba a cabo por medio de curvas flexibles y curvas francesas por ejemplo.

Tabla de *offsets*

Las tablas de *offsets* constituyen una representación numérica convencional de la forma del casco.

II. Forma y geometría del buque

2. Definición de la superficie del casco de un buque

Tabla de offsets

Las tablas de *offsets* constituyen un par de tablas 2D que muestran coordenadas específicas de los planos de líneas de forma. Tradicionalmente, las dos tablas son tildadas: “alturas (*heights*)” y “medias mangas (*half-breaths*)”. Las columnas representan las estaciones, y las filas corresponden a curvas particulares *sheer line*, *buttocks*, y líneas de agua por ejemplo. *Buttocks* son especificados en la tabla de alturas, y líneas de agua en la tabla de medias mangas.

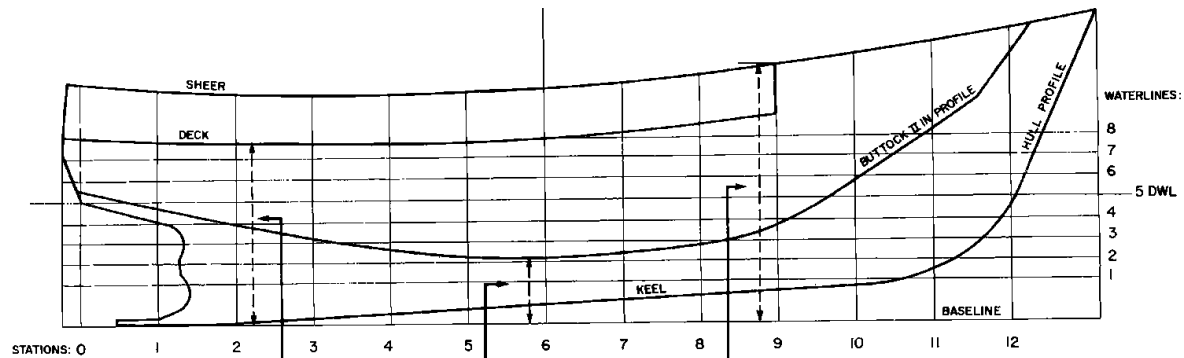
Líneas de forma a tamaño real (*lofting*)

Lofting es el proceso de crear los planos de líneas de forma a escala real (o al menos a larga escala) para usarlos como plantillas durante el proceso de manufactura.

Ajuste computarizado de curvas

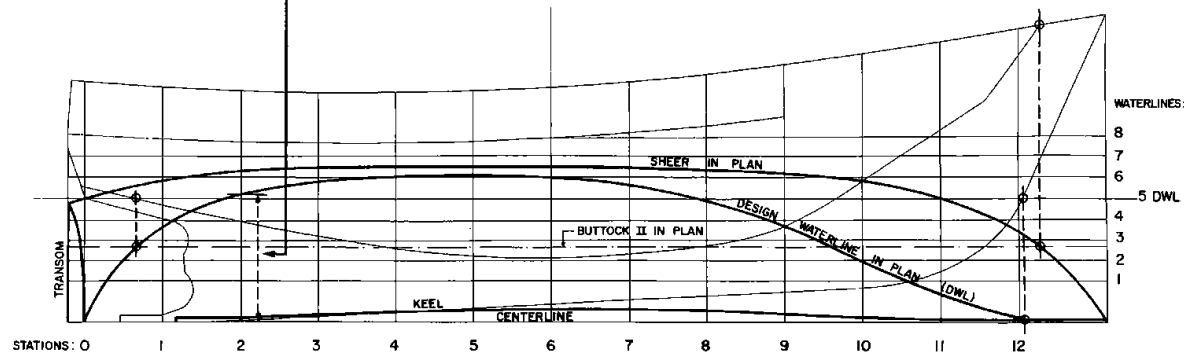
Hoy día el proceso de dibujo y ajuste de curvas es realizado a computadora.

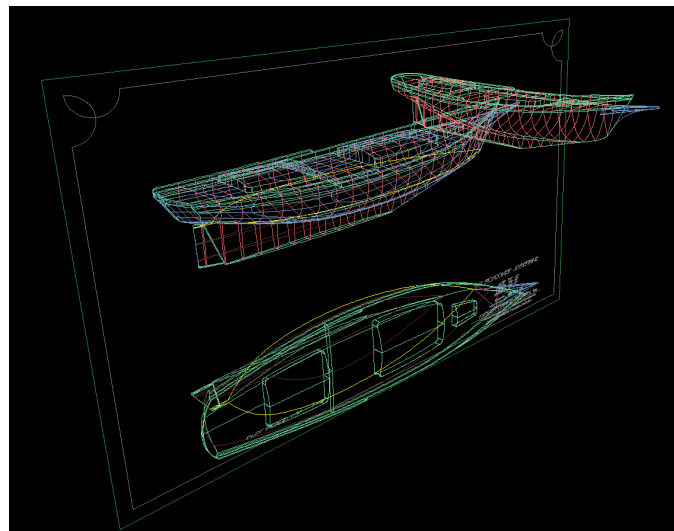
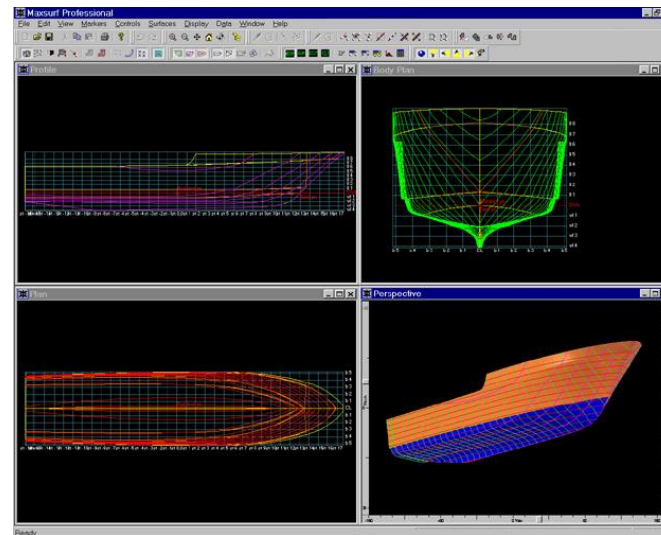




SECTIONS		T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HEIGHTS ABOVE BASELINE	BUTTOCK I	1326	1116	938	772	646	578	552	558	592	658	878	1425	2162
	II	1415	1202	1022	860	754	692	675	698	768	969	1460	1982	2730
	III	1669	1352	1153	981	864	820	820	890	1091	1522	1951	2566	-
	KEEL	-	-	21	64	106	148	191	233	276	318	360	-	-
	KNUCKLE	1796	1737	1707	1682	1672	1685	1720	1775	1855	1955	2059	2180	2310
	DECK	1950	1891	1857	1833	1819	1836	1871	1925	2006	2114	2205	2320	2442
HALF BREADTHS FROM CENTERLINE	SHEER	2479	2425	2389	2367	2358	2371	2406	2460	2541	2644	2743	2865	2985
	DIAGONAL A	1293	1501	1623	1685	1708	1718	1771	1662	1566	1372	1108	789	378
	B	1001	1248	1443	1608	1727	1768	1744	1664	1508	1279	984	668	288
	C	0	205	425	584	702	770	795	795	770	732	647	425	90
	KEEL	-	-	76	76	97	114	130	130	110	83	52	29	23
	WL 1	-	-	76	76	98	138	161	161	128	92	52	-	-
	2	-	-	76	111	421	653	709	662	547	381	198	52	-
	3	-	-	124	774	1138	1247	1218	1099	909	651	368	120	-
	4	-	-	934	1282	1404	1442	1419	1320	1120	840	510	206	-
	5	-	984	1290	1418	1472	1495	1480	1410	1258	982	635	299	39
	6	924	1272	1418	1493	1517	1529	1518	1466	1353	1111	770	405	80
	7	1146	1394	1502	1548	1557	1557	1554	1525	1443	1236	915	525	130
	8	-	-	-	-	-	-	1562	1559	1520	1365	1074	673	210
	KNUCKLE	1215	1425	1513	1549	1558	1558	1562	1553	1520	1420	1259	974	520
	DECK	1215	1425	1513	1549	1558	1558	1562	1561	1527	1445	1301	1034	594
	SHEER	1215	1425	1513	1549	1558	1558	1562	1562	1557	1535	1460	1275	910

Measurements are given in millimetres





II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

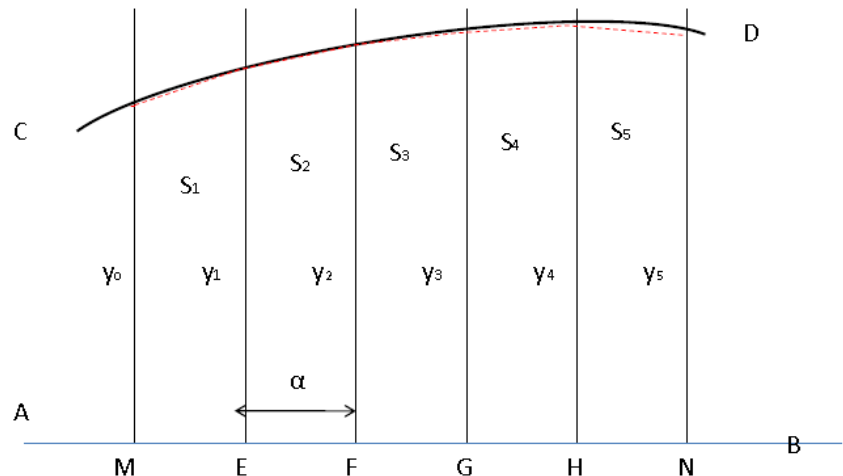
Muchas de las expresiones involucradas en cálculos hidrostáticos y de propiedades de masas son expresadas en términos de integrales de áreas y volúmenes.

En muy raros casos, los integrandos encontrados son descritos por medio de funciones concretas para permitir integraciones analíticas sencillas, por el contrario casi siempre se conoce más bien valores discretos y se debe entonces recurrir a métodos de integración numérica.

Método de los trapecios

El área limitada por una curva CD se calcula dividiendo la proyección MN de la curva en un numero cualquiera de partes iguales separadas por un intervalo fijo (α).

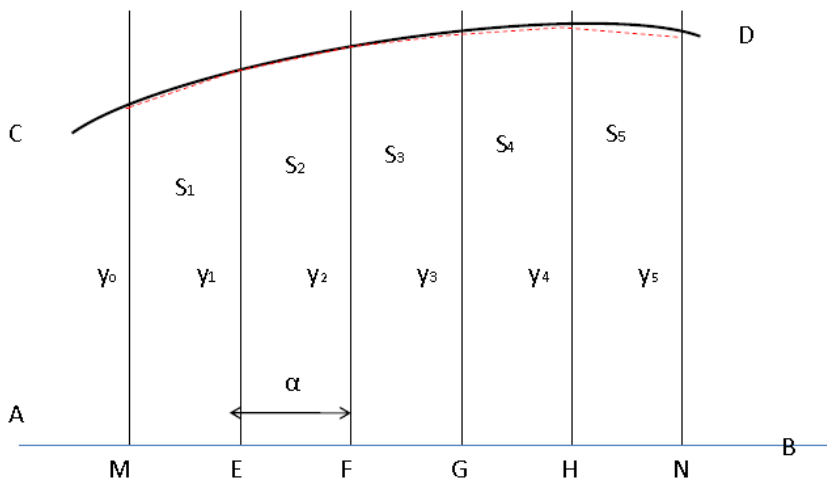
Una vez realizada la división se levantan perpendiculares por los puntos de división y la figura queda dividida en trapecios curvilíneos, cuyas áreas son aproximadamente iguales a la de los trapecios rectilíneos correspondientes. El área total es la suma del área de dichos trapecios.



II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Método de los trapecios



Como se puede observar las áreas (S_i) consisten en un trapecio compuesto por un rectángulo de altura y_i , y un triángulo de altura $y_{i+1} - y_i$. Para ambos la base tiene un valor de α de acuerdo con la figura anterior.

El área por lo tanto se calcularía como:

$$S_i = \alpha \left[y_i + \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{2} \right) \right] = \alpha \left(\frac{y_{i+1} + y_i}{2} \right)$$

Donde $\alpha = \frac{MN}{n}$; aquí MN se refiere a la longitud total de la sección de interés en la curva, y n al número de divisiones que se desean obtener.

Para el caso particular presentado en la figura anterior, si se toman cinco divisiones, tendríamos seis elevaciones ($y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$) para un espaciamiento α dado, y el área total sería la suma de las áreas individuales:

$$S_{total} = \sum_{i=0}^n S_i$$

II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Método de los trapecios

$$S_{total} = \alpha \left[\frac{(y_1 + y_0) + (y_2 + y_1) + (y_3 + y_2) + (y_4 + y_3) + (y_5 + y_4)}{2} \right]$$

$$S_{total} = \alpha \left[\frac{1}{2} \cdot y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + \frac{1}{2} \cdot y_5 \right]$$

Para facilidad de cálculo se considera que el área total de una sección de curva por el método de los trapecios, se puede calcular como:

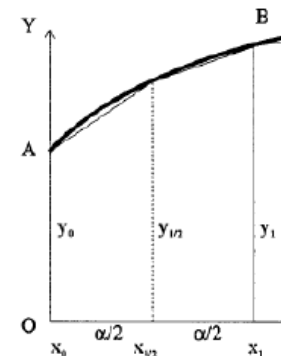
$$S_{total} = \alpha \cdot \sum_{i=0}^n f_i \cdot y_i$$

Donde f_i es un factor multiplicador.

Si se quisiera dividir los intervalos α a la mitad como se muestra en la siguiente figura, el área se calcularía de la siguiente manera:

$$S_i = \frac{\alpha}{2} \left[\frac{y_i}{2} + y_{(i+1/2)} + \frac{y_{i+1}}{2} \right]$$

f_0	1/2
f_1	1
f_2	1
f_3	1
f_4	1
f_5	1/2



II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Método de los trapezios

De igual manera se podría dividir únicamente en dos secciones el primer y el último intervalo α , como muestra a continuación.

Para este caso el área superficial se calcularía como:

$$S_{total} = \alpha \left[\frac{y_0}{4} + \frac{y_{1/2}}{2} + \frac{3y_1}{4} + y_2 + \dots + y_{n-2} + \frac{3y_{n-1}}{4} + \frac{y_{n-1/2}}{2} + \frac{y_n}{4} \right]$$

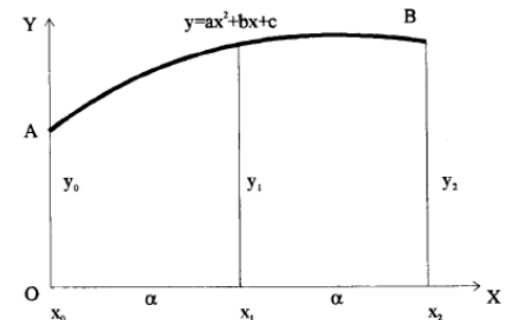
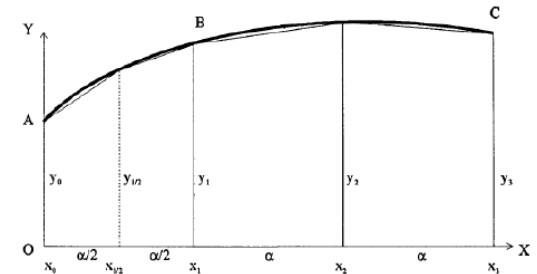
Primera regla de Simpson.

Para la primera regla de Simpson se asume que la curva es una parábola de segundo grado cuya ecuación es $y = ax^2 + bx + c$.

Entonces el área estaría dada como:

$$S = \int_0^{2\alpha} y(x) dx = \int_0^{2\alpha} (ax^2 + bx + c) dx$$

Subdivisión de intervalos



II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Primera regla de Simpson.

$$S = \frac{8a\alpha^3}{3} + 2b\alpha^2 + 2c\alpha = \frac{1}{3}(8a\alpha^3 + 6b\alpha^2 + 6c\alpha)$$

Evalutando la ecuación de la parábola para valores de x :

$$\text{Si: } x = 0 \rightarrow y_{(0)} = c$$

$$\begin{aligned}\text{Si: } x = \alpha \rightarrow y_{(\alpha)} &= a\alpha^2 + b\alpha + c \rightarrow 4y_{(\alpha)} \\ &= 4a\alpha^2 + 4b\alpha + 4c\end{aligned}$$

$$\text{Si: } x = 2\alpha \rightarrow y_{(2\alpha)} = 4a\alpha^2 + 2b\alpha + c$$

De lo anterior se deduce que:

$$y_{(0)} + 4y_{(\alpha)} + y_{(2\alpha)} = 8a\alpha^2 + 6b\alpha + 6c$$

Remplazando en la ecuación deducida al inicio se tendría:

$$S = \frac{\alpha}{3}(y_{(0)} + 4y_{(\alpha)} + y_{(2\alpha)})$$

La última ecuación listada permite encontrar el área en función de las elevaciones evaluadas en tres abscisas consecutivas.

La primera regla de Simpson, por lo tanto permite dividir la superficie en un número de divisiones par igualmente espaciadas (α).

Realizando este procedimiento de manera consecutiva se encuentra el área total:

$$S_{total} = \frac{\alpha}{3}[y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n]$$

Segunda regla de Simpson

Para la segunda regla de Simpson se asume que la curva es representada por un polinomio de tercer grado cuya ecuación es $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$.

II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Segunda regla de Simpson

Entonces el área estaría dada como:

$$S = \int_0^{3\alpha} y(x) dx = \int_0^{3\alpha} (ax^3 + bx^2 + cx + d) dx$$

$$S = \frac{81a\alpha^4}{4} + \frac{27b\alpha^3}{3} + \frac{9c\alpha^2}{2} + 3d\alpha$$

$$S = \frac{3\alpha}{8} (54a\alpha^3 + 24b\alpha^2 + 12c\alpha + 8d)$$

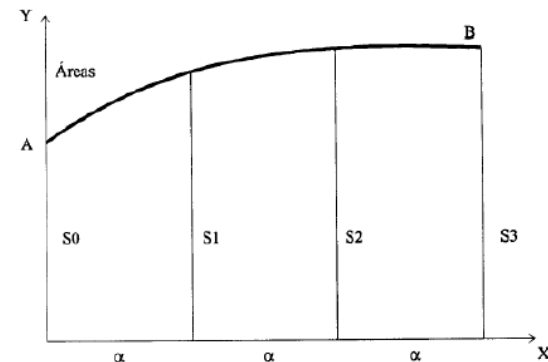
Evalutando la ecuación de la parábola para valores de x :

$$\text{Si: } x = 0 \rightarrow y_{(0)} = d$$

$$\begin{aligned} \text{Si: } x = \alpha \rightarrow y_{(\alpha)} &= a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d \rightarrow 3y_{(\alpha)} \\ &= 3a\alpha^3 + 3b\alpha^2 + 3c\alpha + 3d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Si: } x = 2\alpha \rightarrow y_{(2\alpha)} &= 8a\alpha^3 + 4b\alpha^2 + 2c\alpha + d \rightarrow 3y_{(2\alpha)} \\ &= 24a\alpha^3 + 12b\alpha^2 + 6c\alpha + 3d \end{aligned}$$

$$\text{Si: } x = 3\alpha \rightarrow y_{(3\alpha)} = 27a\alpha^3 + 9b\alpha^2 + 3c\alpha + d$$



II. Forma y geometría del buque

3. Métodos de integración numérica empleados para el cálculo de áreas, volúmenes y demás propiedades dependientes de la forma geometría del buque

Segunda regla de Simpson

De lo anterior se deduce que:

$$y_{(0)} + 3y_{(\alpha)} + 3y_{(2\alpha)} + y_{(3\alpha)} \\ = 54a\alpha^3 + 24b\alpha^2 + 12c\alpha + 8d$$

Remplazando en la ecuación deducida al inicio se tendría:

$$S = \frac{3\alpha}{8} (y_{(0)} + 3y_{(\alpha)} + 3y_{(2\alpha)} + y_{(3\alpha)})$$

La última ecuación listada permite encontrar el área en función de las elevaciones evaluadas en cuatro abscisas consecutivas.

Realizando este procedimiento de manera consecutiva se encuentra el área total:

$$S_{total} = \frac{3\alpha}{8} [y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 + \dots + 2y_{n-3} + 3y_{n-2} + 3y_{n-1} + y_n]$$

Otros métodos

Otros métodos de integración numérica (un tanto más complejos) incluyen las reglas de Tchebycheff y las cuadraturas de Gauss.

II. Forma y geometría del buque

4. Coeficientes de forma o de afinamiento

Coeficiente de bloque (C_B)

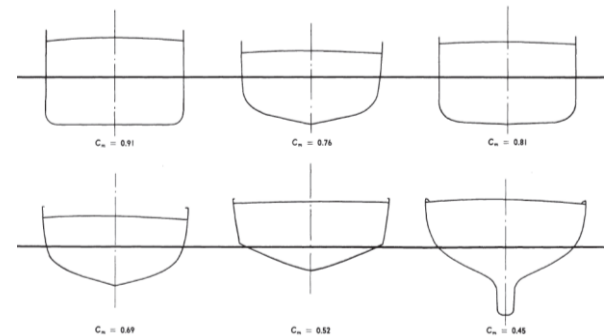
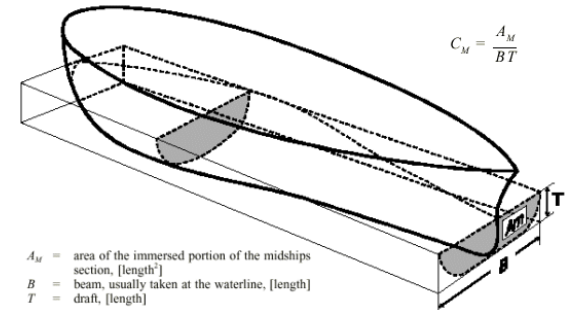
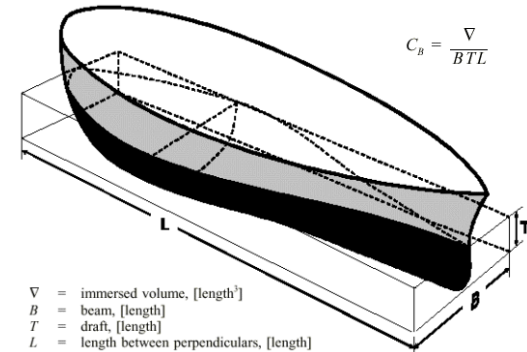
El coeficiente de bloque no es más que la razón del volumen desplazado por la embarcación (∇) ante un calado determinado al volumen de un prisma rectangular constituido por la eslora (L), la manga (B) y el calado (T).

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT}$$

Coeficiente de la sección media del buque (C_M)

Ante un calado dado, este coeficiente representa la razón del área sumergida de la sección media del barco al rectángulo constituido por la manga y el calado.

$$C_M = \frac{\text{Área sumergida de la sección media del barco}}{BT}$$



II. Forma y geometría del buque

4. Coeficientes de forma o de afinamiento

Coeficiente prismático (C_P)

El coeficiente prismático, a veces llamado coeficiente prismático longitudinal, se define como la razón entre el volumen desplazado y un prisma que es igual a la longitud de la embarcación por la sección media de la embarcación que está sumergida a un calado determinado.

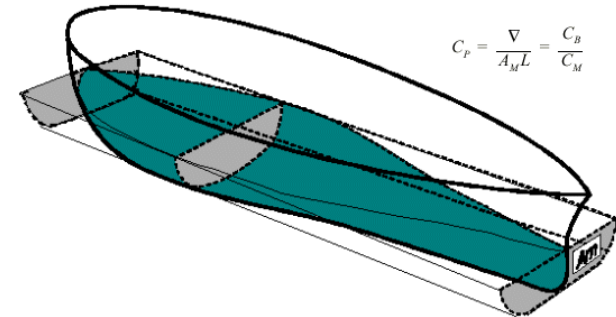
$$C_P = \frac{\nabla}{L \cdot (\text{Área sumergida de la sección media del barco})}$$

$$C_P = \frac{C_B}{C_M}$$

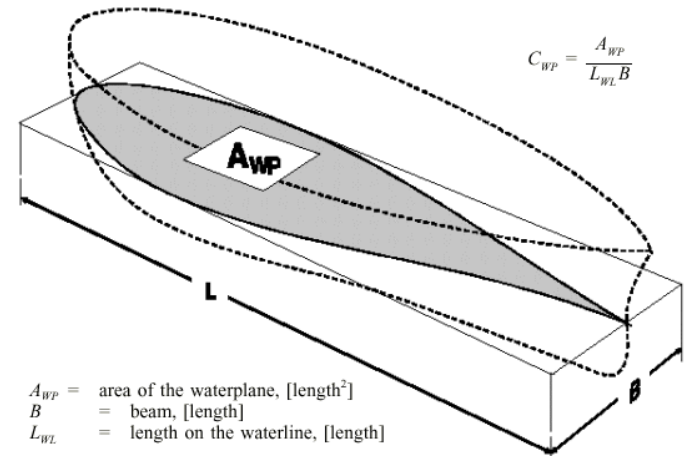
Coeficiente del plano de agua (C_{WP})

Este coeficiente se define como la razón entre el área del plano de agua (A_{WP}) al área del rectángulo circunscrito a un calado determinado.

$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L \cdot B}$$



∇ = immersed volume, [length³]
 A_M = area of the immersed portion of the midships section, [length²]
 L = length between perpendiculars, [length]



A_{WP} = area of the waterplane, [length²]
 B = beam, [length]
 L_{WL} = length on the waterline, [length]

II. Forma y geometría del buque

4. Coeficientes de forma o de afinamiento

Coeficiente prismático vertical (C_{VP})

Este coeficiente se define como la razón de volumen desplazado por la embarcación al volumen de un cilindro sólido con una profundidad igual a la del calado de la embarcación y una sección transversal horizontal uniforme (vista desde el plano de líneas de agua) igual al área del plano del agua a ese calado.

$$C_{VP} = \frac{\nabla}{T \cdot A_{WP}} = \frac{C_B}{C_{WP}}$$

5. Características geométricas típicas de algunas embarcaciones

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Pass. Liner	Cargo- Pass. Ship	Con- tainer Ship	Con- tainer Ship	Gen. Cargo Ship	Barge Carrier	Roll on/ Roll off Ship	Bulk Carrier	Gt. Lakes Ore Carrier
Length overall, m	301.75	166.60	262.13	185.93	171.80	272.29	208.48	272.03	304.80
Length between perpendiculars, L_{pp} , m	275.92	154.99	246.89	177.09	171.80	243.03	195.07	260.60	301.30
Length for coefficients, L , m	286.99	154.05	246.89	176.78	158.50	247.90	195.07	260.60	301.30
Molded depth to strength dk., m	22.63	14.66	20.12	16.61	13.56	18.29	21.18	19.05	14.94
Molded breadth, B , m	30.94	24.08	32.23	23.77	23.16	30.48	31.09	32.23	31.88
Molded draft for coeffs., T , m	9.65	8.23	10.67	8.23	8.23	8.53	9.75	13.96	7.85
Molded displacement, Δ , S.W., t	46,720	18,250	50,370	22,380	18,970	38,400	34,430	100,500	71,440
Block coefficient, C_B	0.532	0.583	0.579	0.630	0.612	0.582	0.568	0.836	0.924
Midship coefficient, C_M	0.953	0.967	0.965	0.975	0.981	0.922	0.972	0.996	0.999
Prismatic coefficient, C_P	0.558	0.603	0.600	0.646	0.624	0.631	0.584	0.839	0.924
Waterplane coefficient, C_W	0.687	0.725	0.748	0.740	0.724	0.765	0.671	0.898	0.975
Vertical prismatic coeff., C_{PV}	0.774	0.807	0.774	0.851	0.845	0.762	0.846	0.931	0.948
Longitudinal center of buoyancy from midship, % L	Amids.	Amids.	-1.1	-1.2	-1.5	-1.6	-2.4	+2.5	+0.5
Bulb area, % midship area	2.0	2.5	8.3	4.0	4.0	5.6	9.7	10.7	0
Volumetric coefficient, $(\nabla/L^3) \times 10^3$	1.93	4.87	3.26	3.95	4.65	2.46	5.18	5.54	2.55
L/B	9.28	6.40	7.94	7.44	6.84	8.13	6.27	8.09	9.45
B/T	3.21	2.93	2.91	2.89	2.81	3.57	3.19	2.31	4.06
Shaft horsepower, normal	158,000	18,000	43,200	19,250	17,500	32,060	37,000	24,000	14,000
Sea speed, knots	33	20	25	20	20	22	23	16.5	13.9
Froude number	0.320	0.265	0.261	0.427	0.261	0.229	0.270	0.168	0.132
Number of propellers, rudders	4,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Crude Oil Carrier	Petro- leum Prods. Tanker	LNG Tanker	Off- Shore Supply Vessel	Double- ended Ferry	Fishing Trawler	Arctic Ice- breaker	Naval Replen. Ship	Naval Frigate	Naval Dock Ship
Length overall, m	335.28	201.47	285.29	56.46	94.49	25.65	121.62	236.37	135.64	170.99
Length between perpendiculars, L_{pp} , m	323.09	192.02	273.41	53.19	91.59	23.04	106.98	234.70	124.36	164.59
Length for coefficients, L , m	323.09	192.02	273.41	53.19	91.59	23.75	107.29	234.70	124.36	164.59
Molded depth to strength dk., m	26.21	13.79	24.99	4.27	6.30	3.33	13.18	17.07	9.14	13.41
Molded breadth, B , m	54.25	27.43	43.74	12.19	19.81	6.71	23.77	32.72	13.74	24.99
Molded draft for coeffs., T , m	20.39	10.40	10.97	3.35	3.81	2.53	8.53	11.58	4.37	5.41
Molded displacement, Δ , S.W., t	308,700	43,400	97,200	1472.	2760.	222	10,900	52,140	3390	12,850
Block coefficient, C_B	0.842	0.772	0.722	0.660	0.392	0.538	0.488	0.569	0.449	0.563
Midship coefficient, C_M	0.996	0.986	0.995	0.906	0.732	0.833	0.853	0.987	0.741	0.933
Prismatic coefficient, C_P	0.845	0.784	0.726	0.729	0.534	0.646	0.572	0.577	0.605	0.603
Waterplane coefficient, C_W	0.916	0.854	0.797	0.892	0.702	0.872	0.740	0.734	0.727	0.720
Vertical prismatic coeff., C_{PV}	0.919	0.904	0.906	0.740	0.558	0.617	0.660	0.779	0.618	0.782
Longitudinal center of buoyancy from midship, % L	+2.7	+1.9	Amids.	-0.3	Amids.	-1.7	+1.3	-0.9	-1.4	-1.4
Bulb area, % midship area	0	0	9.7	0	0	0	0	10.0	0	2.0
Volumetric coefficient, $(\nabla/L^3) \times 10^3$	8.9	5.98	4.64	9.53	3.51	16.2	8.97	3.9	1.7	2.8
L/B	5.96	7.00	6.25	4.35	4.62	3.54	4.51	7.17	9.05	6.59
B/T	2.66	2.64	3.99	3.33	5.20	2.65	2.79	2.82	3.14	4.62
Shaft horsepower, normal	35,000	15,000	34,400	3,740	7,000	500	18,000	100,000	40,000	22,900
Sea speed, knots	15.2	16.5	20.4	12	16.1	10.7	18	26	30	21.5
Froude number	0.139	0.196	0.203	0.270	0.276	0.361	0.285	0.279	0.442	0.275
Number of propellers, rudders	1,1	1,1	1,1	2,2	2,0	1,1	3,1	2,2	1,1	2,2

1) Vessel 10 has a cylindrical bow. 2) Vessel 14 has vertical axis propellers and a fixed skeg at each end.