

# **CUADRO DE CARGA**

*Preparado por*  
**Ing. Boris L. GUERRERO B.**

Valparaíso, CHILE, 2011.

## INDICE DE MATERIAS

Introducción	.....	3
Curvas de un Estanque	.....	5
Información que Entrega el Cuadro de Carga.....		8
Ejercicio	.....	9
Teorema de Varignon	.....	11
Ejercicio	.....	14

## CUADRO DE CARGA.

El punto de partida para realizar los cálculos de la estabilidad de una nave es “resolver el cuadro de carga”.

El Cuadro de Carga es una planilla de cálculo en que se ingresan todos los pesos que forman el “dead weight”, o ‘peso muerto’ de la nave. Una vez resuelto el cálculo del cuadro de carga se tendrá la siguiente importantísima información:

- a) Desplazamiento (o mejor dicho ‘peso’) de la nave.
- b) Posición vertical, longitudinal y lateral del centro de gravedad G. Previamente se dijo que una de las principales obligaciones del Capitán y del Primer Piloto es saber perfectamente la ubicación del centro de gravedad.
- c) Valor del efecto de “superficies libres”, o sea la subida virtual del centro de gravedad debido a ese efecto.

Normalmente los programas computacionales resuelven el cuadro de carga, pero en las naves que no cuentan con dichos programas el encargado de la estabilidad deberá resolverlo ‘manualmente’. El uso de una planilla Excel facilitará notablemente la operatoria del cálculo de cuadro de carga.

Describiremos el cuadro de carga del granelero “ANTONIA” que se adjunta en una planilla Excel.

En las dos primeras filas están los datos de la ‘nave liviana’, o ‘light ship’, en celdas amarillas. Esos datos se encuentran en el respectivo Manual de Estabilidad y se calcularon al efectuarle el “Experimento de Inclinación” en la fase final de su fabricación en el astillero constructor.

En la primera columna se pone el nombre de todos los pesos que forman el ‘desplazamiento’ del barco.

En la segunda columna se indica el monto del peso, en toneladas métricas (TM). La sumatoria de esta columna nos dará el **desplazamiento de la nave**.

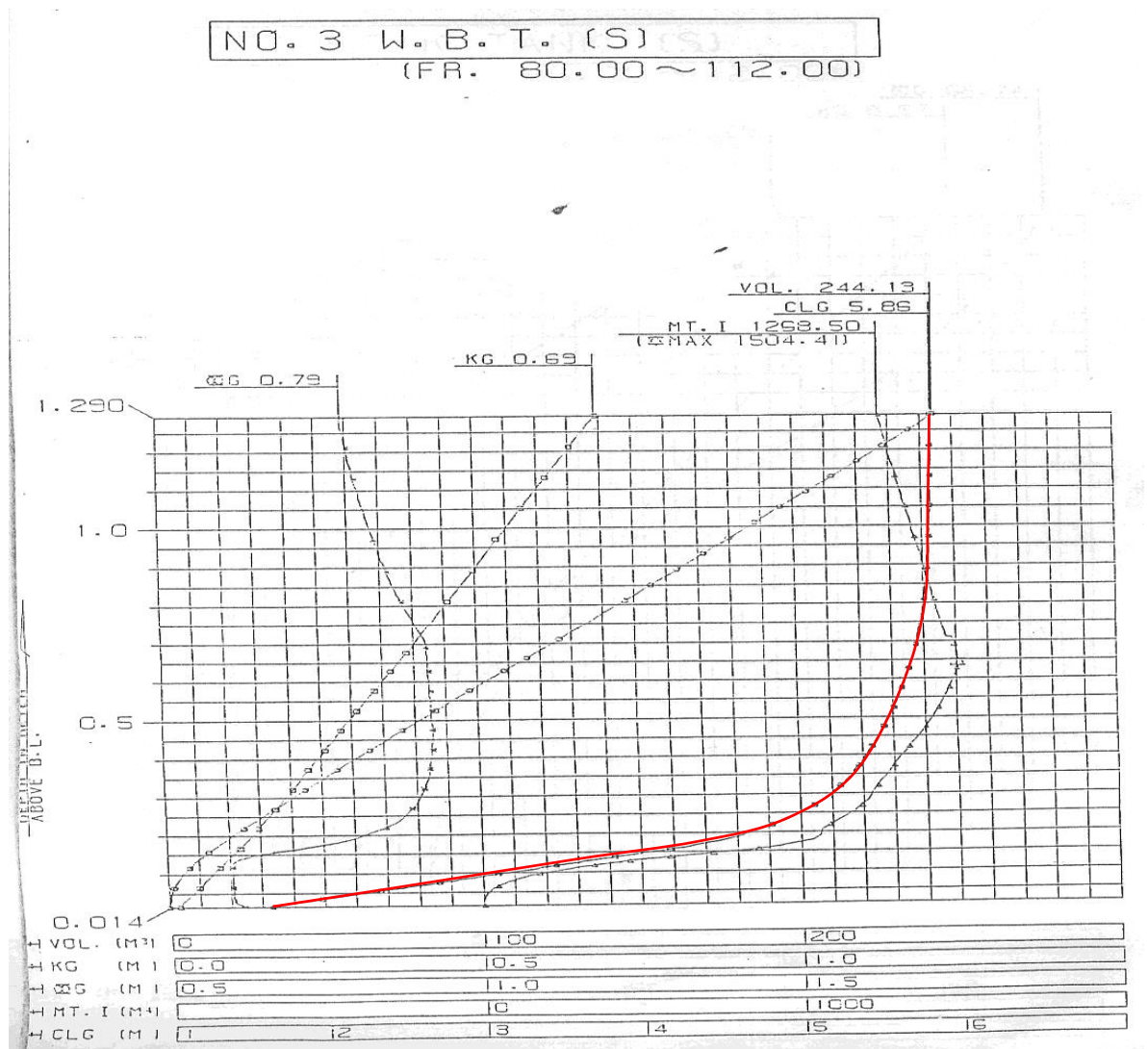
**CUADRO DE CARGA GRANELERO "ANTONIA"**

	Weight	Mid G	Mto Longit	KG	Mto Vertic	Lat G	Mto Lat	I	I x gama
	MT	m	MT m	m	MT m	m	MT m	m4	TM m
Light Weight	7359,0	9,91	72.928	10,02	73737	0,000	0		
Constante	142,0	51,91	7.371	13,05	1853		0		
Provisiones	8,0	80,41	643	16,20	130				
Grab Bucket	34,0	-12,79	-435	17,00	578				
Cargo Hold 1		-65,34	0	8,82	0		0		
Cargo Hold 2		-39,65	0	8,64	0		0		
Cargo Hold 3		-10,88	0	8,64	0		0		
Cargo Hold 4		18,04	0	8,64	0		0		
Cargo Hold 5		45,38	0	8,93	0		0		
TST Cargo 1		-63,27	0	14,28	0		0		
TST Cargo 2		-39,11	0	13,99	0		0		
TST Cargo 3		-10,40	0	13,98	0		0		
TST Cargo 4		18,40	0	13,98	0		0		
TST Cargo 5		45,95	0	13,99	0		0		
FP	1082,0	-82,45	-89211	6,13	6633		0	0,0	0
DB N°1 (P)	502,0	-64,73	-32494	1,55	778		0	0,0	0
DB N°1 (S)	502,0	-64,73	-32494	1,55	778		0	0,0	0
DB N°2 (P)	875,0	-38,91	-34046	1,53	1339		0	0,0	0
DB N°2 (S)	875,0	-38,91	-34046	1,53	1339		0	0,0	0
DB N°3 (P)	480,0	-10,29	-4939	2,21	1061		0	0,0	0
DB N°3 (S)	480,0	-10,29	-4939	2,21	1061		0	0,0	0
DB N°4 (P)	477,0	18,42	8786	2,23	1064		0	0,0	0
DB N°4 (S)	477,0	18,42	8786	2,23	1064		0	0,0	0
DB N°5 (P)	619,0	46,62	28858	2,45	1517		0	0,0	0
DB N°5 (S)	619,0	46,62	28858	2,45	1517		0	0,0	0
TST N°1 (P)	232,0	-63,21	-14665	14,26	3308		0	0,0	0
TST N°1 (S)	232,0	-63,21	-14665	14,26	3308		0	0,0	0
TST N°2 (P)	438,0	-39,07	-17113	13,98	6123		0	0,0	0
TST N°2 (S)	438,0	-39,07	-17113	13,98	6123		0	0,0	0
TST N°3 (P)	441,0	-10,36	-4569	13,98	6165		0	0,0	0
TST N°3 (S)	441,0	-10,36	-4569	13,98	6165		0	0,0	0
TST N°4 (P)	441,0	18,44	8132	13,98	6165		0	0,0	0
TST N°4 (S)	441,0	18,44	8132	13,98	6165		0	0,0	0
TST N°5 (P)	402,0	45,97	18480	13,98	5620		0	0,0	0
TST N°5 (S)	402,0	45,97	18480	13,98	5620		0	0,0	0
A.P. (P)	230,0	83,75	19263	10,14	2332		0	0,0	0
C Hold 3 WB	10351,0	-10,91	-112929	8,53	88294		0	0,0	0
F.W.T. (P)	9,0	84,40	760	11,57	104		0	191,0	191
F.W.T. (S)	9,0	84,40	760	11,57	104		0	191,0	191
F.O.T.N°3 (P)	368,0	-10,47	-3853	0,71	261		0	2123,2	2017
F.O.T.N°3 (S)	368,0	-10,47	-3853	0,71	261		0	2123,2	2017
F.O.T.N°4 (P)	369,0	18,35	6771	0,71	262		0	2123,2	2017
F.O.T.N°4 (S)	369,0	18,35	6771	0,71	262		0	2123,2	2017
F.O.T.N°5 (P)	16,0	44,74	716	0,72	12		0	173,7	165
H.F.O. SETT (S)	16,0	64,40	1030	13,49	216		0	10,5	10
H.F.O. SERV (S)	125,0	62,00	7750	13,49	1686		0	10,5	10
D.O.T.N°5 (P)	95,0	42,55	4042	0,71	67		0	129,4	110
D.O.T. (ATH)	76,0	63,52	4828	1,13	86		0	1088,2	925
D.O.T. SERV(S)	10,0	66,40	664	13,21	132		0	3,5	3
<b>Displacement W</b>	<b>30.850,0</b>	<b>-5,29</b>	<b>-163.125</b>	<b>7,89</b>	<b>243.290</b>	<b>0,000</b>	<b>0</b>		<b>9673,0</b>

En la tercera columna se pone el valor de la posición longitudinal del correspondiente peso. En este caso dicha posición se mide con respecto a la **sección media** de la nave (punto medio entre las perpendiculares de proa y de popa). Convencionalmente se asigna valor positivo (+) a los pesos que se encuentran a **popa** de la sección media y negativo (-) a los pesos que están a **proa** de dicha sección. En algunas naves el punto de referencia de las posiciones longitudinales es la 'perpendicular de popa' (LCG). La posición longitudinal de los pesos se puede obtener, según sea el caso, de:

- a) Plano de Arreglo General (General Arrangement), para el caso de pesos no considerados en tablas o curvas, por ejemplo una locomotora que se cargue en cubierta.
- b) De curvas incluidas en el Manual de Estabilidad, como es el caso de pesos líquidos en estanques. A continuación se muestra las curvas del estanque de lastre N° 3 de un reefer, correspondiendo la curva

marcada "CLG" a la posición longitudinal del centro de gravedad del líquido, en función de la sonda del estanque. (línea roja)



- c) De los cuadros de carga incluidos en el Manual de Estabilidad como casos típicos de carga resueltos. Por ejemplo para el granelero "ANTONIA" se consideran constantes las posiciones longitudinales de los centros de gravedad de los líquidos en los estanques y de los graneles en bodegas.
- d) De las tablas de sondas o de tablas o curvas incluidas en el Manual de Estabilidad (o Stability Booklet).

En la cuarta columna se indica el producto de cada peso por su posición longitudinal, o sea su 'momento longitudinal'. La sumatoria de esta columna nos dará la **suma de los momentos longitudinales**. Esta sumatoria es importante, ya que al dividirla por el desplazamiento (sumatoria de la segunda columna) obtendremos la importante "posición longitudinal" de centro de gravedad del barco (Mid G o LCG).

$$\text{Mid G} = \frac{\text{Suma momentos longitudinales}}{\text{Suma de pesos}}$$

En la quinta columna se debe poner la posición vertical de cada uno de los pesos, obtenidas de la misma forma indicada anteriormente para las posiciones longitudinales.

En la sexta columna se calcula el momento vertical de cada peso, multiplicando su peso (segunda columna) por su posición vertical (quinta columna).

Para calcular la posición vertical del importante centro de gravedad de la nave ("G") usaremos una operación similar a la empleada anteriormente para calcular MID G. Posteriormente demostraremos la justificación de la operación matemática, cuando expliquemos el teorema de Varignon.

$$\text{KG} = \frac{\text{Suma de Momentos Verticales}}{\text{Suma de Pesos}}$$

Si es necesario calcular la posición lateral del centro de gravedad de la nave (LAT G) se procederá de igual forma, considerando signo positivo (+) para los pesos que estén a estribor del plano de crujía y lógicamente signo negativo (-) para los pesos que estén a babor. Las posiciones y momentos laterales se incluirán en la séptima y octava columnas.

Así tendremos:

$$\text{LAT G} = \frac{\text{Suma de Momentos Laterales}}{\text{Suma de Pesos}}$$

Teniendo la posición lateral del centro de gravedad del buque (G) se puede calcular el ángulo de escora que se producirá, mediante la expresión:

$$\text{Ang Esc} = \text{arc tg } \frac{\text{Lat}}{\text{GM}}$$

En la novena columna se incluyen los momentos de inercia de las ‘superficies libres’ de los estanques los que se indican en m<sup>4</sup>. Para calcular el valor de dichos momentos se recurre a los mismos gráficos de los estanques mostrados anteriormente.

Los estanques de lastres normalmente se usan totalmente llenos o vacíos, por lo que sus momentos de inercia son cero, salvo que tengan una sonda intermedia, en cuyo caso sí tendrán momento de inercia. Los estanques de combustibles se llenan hasta un 96% o menos, por lo que casi siempre producirán superficies libres, excepto si están completamente vacíos.

En la décima columna se agrega el producto del respectivo momento de inercia multiplicado por el peso específico del líquido contenido en el estanque. La unidad de este producto será “tonelada métrica por metro” (TMxm). Así podremos calcular la sumatoria de todos los momentos de inercia (I) por los pesos específicos (γ). Si esta sumatoria la dividimos por el desplazamiento W tendremos la “subida virtual” del centro de gravedad (G) de la nave, la que normalmente se designa por ‘GGo’, en metros.

$$\text{GGo} = \frac{\text{Suma Momentos Inercia}}{\text{Suma de Pesos}}$$

Nota:

Recordamos que la suma de pesos es igual al desplazamiento de la nave.

Recapitulando lo expresado anteriormente, tendremos las siguientes informaciones, una vez que hayamos resuelto el cuadro de carga:

- a) Desplazamiento de la nave.
- b) Posición longitudinal del centro de gravedad (Mid G). Con este dato se podrá calcular los calados de la nave para la condición de carga analizada.
- c) Posición vertical del centro de gravedad (KGo). Con este dato se podrá calcular la “**curva de estabilidad estática final**” de la nave para la condición de carga analizada. A partir de esta curva se podrá determinar el valor de la ‘estabilidad dinámica’, analizando las áreas bajo la curva y se podrán calcular otros valores que determinarán si la nave cumple con las normas internacionales IMO (u OMI).
- d) Posición lateral del centro de gravedad (Lat G). Con este dato se podrá calcular el ángulo de escora de la nave para la condición de carga analizada, como así mismo podremos tomar las medidas correctivas para que la nave quede adrizada.
- e) Subida virtual del centro de gravedad (GGo) causada por el efecto de superficie libre de los estanques que no están vacíos o totalmente llenos.

En el cuadro de carga se considera como un solo peso la “constante”, que es un ítem en que se reúne una infinidad de pesos menores tales como víveres, efectos personales de la tripulación, espías, maniobra, trincas para la carga, repuestos, vajilla, aceites lubricantes, pequeños estanques, etc... De esta forma se facilita el trabajo de resolver el cuadro de carga.

La constante debe recalcularse cada cierto tiempo, ya que normalmente va aumentando, al agregarse nuevos equipos, por el óxido de planchas, pintura, etc.. Ello se nota al existir diferencia entre los calados calculados teóricamente y los calados observados, especialmente si la diferencia obtenida se mantiene más o menos igual en muchas condiciones de carga calculadas por el analista de la estabilidad. Una buena oportunidad para recalcularse la constante es al entrar a dique seco, ya que es la condición más liviana que puede tener y las aguas están muy tranquilas, por lo que puede efectuarse una inspección de calados (draft survey) y luego buscar la nueva constante en que coincidan los calados calculados teóricamente con los observados.



Como ejercicio se pueden resolver cuadros de carga de condiciones resueltas en el Manual de Estabilidad de cualquier nave. A continuación se adjunta un cuadro de carga del granelero "ANTONIA".

(2-7) GRAIN LOAD COND. (50CF/LT) (FULL BUNKER) (ARR.) (WITH TRIMMED ENDS)

ITEM	WEIGHT (T)	LCG (M)	MOMENT (T-M)	K G (M)	MOMENT (T-M)	I (T-M)
CARGO HOLD						
NO.1 CARGO HOLD	5483	-65.34	-358259	8.82	48360	0
NO.2 CARGO HOLD	7317	-39.65	-290119	8.64	63219	0
NO.3 CARGO HOLD / W.B.T.	6584	-10.88	-71634	7.88	51882	0
NO.4 CARGO HOLD	7393	18.04	133370	8.64	63876	0
NO.5 CARGO HOLD	6491	45.38	294562	8.93	57965	0
NO.1 T.S.W.B./G.T. (P+S)	324	-63.27	-20499	14.28	4627	0
NO.2 T.S.W.B./G.T. (P+S)	610	-39.11	-23857	13.99	8534	0
NO.3 T.S.W.B./G.T. (P+S)	0	-10.40	0	11.71	0	0
NO.4 T.S.W.B./G.T. (P+S)	616	18.40	11334	13.98	8612	0
NO.5 T.S.W.B./G.T. (P+S)	562	45.95	25824	13.99	7862	0
SUM	35380	-8.46	-299278	8.90	314937	0
FUEL OIL TANK						
NO.4 D.B.F.O.T. (S)	6	18.35	110	0.01	0	2017
NO.5 D.B.F.O.T. (P)	125	44.74	5592	0.72	90	165
H.F.O.SETT.TANK (S)	16	64.40	1030	13.49	216	10
H.F.O.SERV.TANK (S)	16	62.00	992	13.49	216	10
SUM	163	47.39	7724	3.20	522	2202
DIESEL OIL TANK						
D.B.D.O.T. (ATH)	8	63.52	508	0.26	2	925
D.O.SERV.T. (S)	10	66.40	664	13.21	132	3
SUM	18	65.11	1172	7.44	134	928
FRESH WATER TANK						
FRESH WATER T. (P+S)	36	84.40	3038	11.81	425	382
SUM	36	84.39	3038	11.81	425	382
OTHERS						
PROVISIONS	1	80.41	80	16.20	16	0
CONSTANT WEIGHT	142	51.91	7371	13.05	1853	0
GRAB BUCKET	34	-12.79	-435	17.00	578	0
SUM	177	39.64	7016	13.82	2447	0
DEADWEIGHT	35774	-7.84	-280328	8.90	318465	3512
LIGHT WEIGHT	7359	9.91	72928	10.02	73737	0
DISPLACEMENT	43133	-4.81	-207400	9.09	392202	3512

Nota:

En esta nave no consideran la posición lateral de los pesos. Además en la columna de más a la derecha, indicada como "I" (inercia), en realidad ya se ha multiplicado el momento de inercia por el peso específico del líquido.

La tercera columna es denominada LCG, pese a que en realidad debe llamarse MID G, ya que no está referida a la perpendicular de popa sino a la sección media.

No se consideró en el cuadro los estanques de lastre, ya que en esta condición de carga ellos están vacíos.

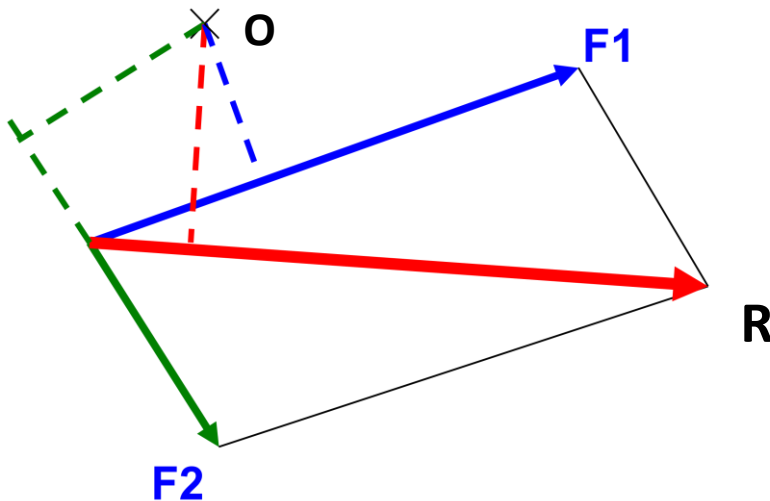
El procedimiento para resolver un cuadro de carga puede usarse para encontrar la posición del centro de gravedad de un cuerpo cualquiera, si conocemos el peso y la posición de sus componentes. Un caso aplicado de este procedimiento sería calcular el peso y las coordenadas del centro de gravedad de los pesos cargados en una bodega con carga general, información que luego se debería introducir al cuadro de carga. A continuación se incluye una planilla como modo de ejemplo de la solución de pesos en una bodega.

Descripción	Peso	Posic Longit	Momto Long	Posic Vertical	Momto Vert	Posic Lateral	Momto Lat
Contenedor	25	8	200	2	50	+4	+100
Bulto Algodón	40	2	80	6	240	-5	-200
Camión	12	11	131	3	36	0	0
Tamb aceite	19	6	114	7	133	-4	-76
Fardos	68	9	612	4	272	+3	+204
<b>Resultados</b>	<b>164</b>	<b>6,93</b>	<b>1.137</b>	<b>4,46</b>	<b>731</b>	<b>+0,17</b>	<b>28</b>

## TEOREMA DE VARIGNON

El Cuadro de Carga está basado en el Teorema de Varignon, que pasaremos a explicar, como complemento a la materia vista anteriormente. Su enunciado es:

“El Momento de la Resultante de un sistema de fuerzas, con respecto a un punto o eje, es igual a la suma algebraica de los Momentos de las fuerzas componentes, con respecto al mismo punto o eje”.



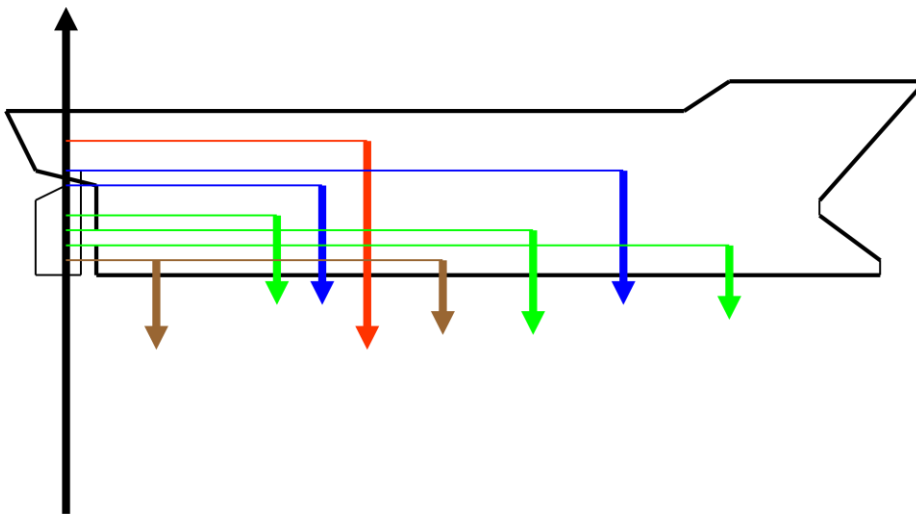
Supongamos que tenemos dos vectores-fuerza,  $F_1$  y  $F_2$  cuya resultante es R. Si se analizan los momentos de las fuerzas con respecto al eje O, tendremos, en base a la definición, que el momento del vector resultante (rojo) con respecto al eje O es igual a la suma del momento del vector azul más el momento del vector verde, ambos vectores con respecto al mismo eje O.

O bien:

- $M_{to_{F_1}} + M_{to_{F_2}} = M_{to_R}$
- $F_1 \times b_1 + F_2 \times b_2 = R \times b_R$

En el caso de una nave trabajaremos con “pesos” de cuerpos, o sea de fuerzas verticales. Tendremos que, en general, la suma de los momentos de las fuerzas componentes (pesos) con respecto a un eje será igual al momento de la resultante (W) con respecto al mismo eje.

Tenemos que podremos conocer todas las fuerzas componentes, todos los brazos de esas fuerzas y el valor de la resultante. La única incógnita será el **brazo de la resultante**, valor que podrá calcularse fácilmente.



Supongamos que en el gráfico superior el vector **rojo** representa a la resultante W (desplazamiento) y la línea roja horizontal es su brazo, o sea es LCG. El resto de los vectores de colores representan a los pesos que conforman la nave.

En base al Teorema de Varignon tendremos:

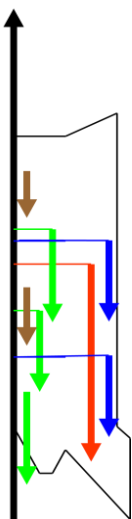
$$\text{peso}_1 \times \text{dist}_1 + \text{peso}_2 \times \text{dist}_2 + \text{peso}_3 \times \text{dist}_3 + \dots + \text{peso}_n \times \text{dist}_n = W \times \text{LCG}$$

Si despejamos LCG:

$$\text{LCG} = \frac{\text{Suma de momentos de los pesos}}{\text{Desplazamiento (W)}}$$

Si nos referimos al cuadro de carga tendremos que el numerador corresponde a la suma de la cuarta columna y el denominador corresponde a la suma de la segunda columna. Esto justifica la expresión matemática que se planteó en la página 4 de este capítulo.

Para analizar los momentos verticales podemos 'suponer' un giro de 90°, para entender mejor la acción de los pesos y sus brazos. Esto se muestra en el gráfico siguiente



Similarmente al caso anterior tendremos que el vector rojo representa la resultante W (desplazamiento). Tendremos:

$$KG = \frac{\text{Suma Momentos Verticales}}{\text{Desplazamiento W}}$$

En la expresión anterior tenemos que el numerador representa la suma de la sexta columna del cuadro de carga y el denominador es la suma de la segunda columna del mismo cuadro.

#### EJERCICIO

El granelero "ANTONIA" navega en lastre, con agua de gravedad específica (s.g.) 1,021, teniendo las siguientes sondas en los estanques que se indican:

Fore Peak	10,5 m	
D.B.W.B.T Nº 2 a Nº 5	10,0 m	(Dobles fondos de lastre)
T.S.T. Nº 1 a Nº 5	4,0 m	(Estanques de lastre altos)
A.P.T.	4,1 m	
D.B. F.O.T. Nº 3 a Nº 5	1,3 m	(Estanques petróleo g.e. 0,94)
D.B. D.O.T. Nº 5 (S)	1,6 m	
F.W. T. (P & S)	3,0 m	

Resolver el cuadro de carga, obteniendo los datos del Manual Granelero "ANTONIA", calcular y dibujar la curva de estabilidad estática.

#### EJERCICIO

Se tiene un sistema de ejes coordenados y los siguientes vectores pesos (indicados en toneladas métrica TM ) con sus respectivos puntos de aplicación (indicados en metros):

$$F1 = 5,25 \text{ TM} \quad x = 5,2 \text{ m} \quad y = 3,3 \text{ m} \quad z = 1,9 \text{ m}$$

$$F2 = 7,93 \text{ TM} \quad x = 3,04 \text{ m} \quad y = 1,95 \text{ m} \quad z = 8,8 \text{ m}$$

$$F3 = 7,77 \text{ TM} \quad x = 0,98 \text{ m} \quad y = 2,38 \text{ m} \quad z = 5,56 \text{ m}$$

Determinar su resultante y las coordenadas de su punto de aplicación.