

T  
623.82  
C837  
e.2



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LXTORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**



**BIBLIOTECA  
CENTRAL**

**OPTIMIZACION ESTRUCTURAL PRELIMINAR USANDO EL METODO  
COPES-CONMIN Y LAS REGLAS DE CONSTRUCCION DE ABS**



\*D-17538\*

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtencion del Título de:

**INGENIERO NAVAL**

Presentado por:

Jorge Manuel Costain **Chang**

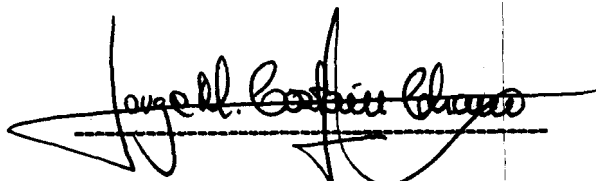
Guayaquil - Ecuador  
1997

## DECLARACION EXPRESA

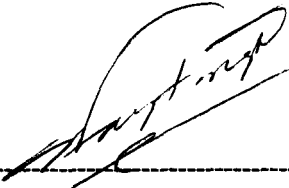


“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual que contiene la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ”.

( Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL )

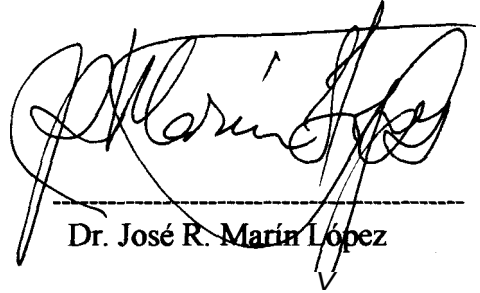


Jorge Costain Chang



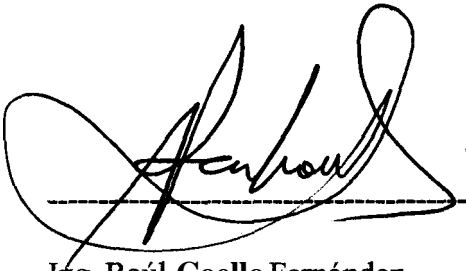
Ing. Jorge Faytong Durango

Presidente del Tribunal



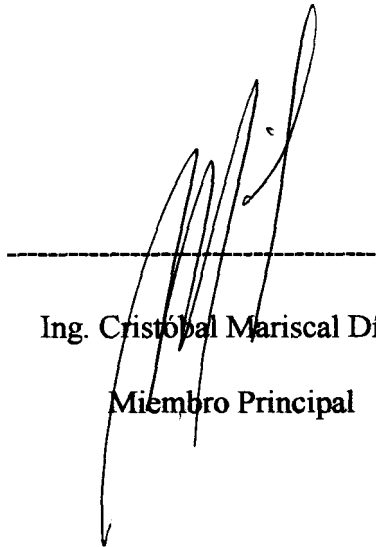
Dr. José R. María López

Director de Tesis



Ing. Raúl Coello Fernández

Miembro principal



Ing. Cristóbal Mariscal Díaz

Miembro Principal

## **AGRADECIMIENTO**

**Al Dr. Jose R. Marín L., por su valiosa  
colaboracion para el desrrolo de e e trabajo**

## **DEDICATORIA**

**A mis PADRES, por su confianza y  
constante apoyo para la culminación de mis  
-  
estudios.**

## **RESUMEN**

En este trabajo se ha implementado un proceso de optimización preliminar de la estructura de una embarcación. Se han tomado como restricciones los requerimientos dados por ABS para embarcaciones menores a 60 metros, y se complementó con algunas formulaciones de DNV.

Cada regla de Clasificación y Construcción está formulada para seleccionar escantillones evitando un cierto tipo de falla. En este trabajo se han analizado algunas formulaciones por falla de resistencia y estabilidad, habiéndose calculado el factor de seguridad para el caso de la viga-buque, refuerzo asociado al planchaje, y, planchaje no reforzado.

Se empleó la rutina de optimización general COPES-CONMIN que utiliza el Método de la Dirección Factible y se concatenó ("linked") con una subrutina preparada para el caso particular, reglas.for. Se han seleccionado nueve variables de diseño, catorce restricciones, siendo la función objetivo, el peso, ó, el costo de construcción del casco. Las restricciones impuestas son los requerimientos mínimos de ABS y DNV. Al final del proceso se logró la definición estructural preliminar de una embarcación, siendo los escantillones continuos a lo largo de la eslora. El programa cambia sistemáticamente los valores iniciales de las variables de diseño y reglas.for evalúa las restricciones y la función objetivo, que dependen de las variables seleccionadas como independientes. El

proceso prosigue con la variación de estas variables hasta cuando se ha logrado convergencia relativa de la función objetivo.

Se aplicó el proceso a una embarcacion de turismo. Se observó la presencia de multiples posibles soluciones, lo que se manifestó como divergencia en los valores finales de ciertas variables de diseño; sin embargo la combinación de estas produce una función objetivo convergente. Al comparar los resultados obtenidos en el proceso de optimización, con los de un buque similar ya construído, se notan ciertas diferencias. La estructura optimizada es más ligera en el costado y cubierta, pero más pesada en el fondo.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
I, FORMULACION UTILIZADA POR ABS.....	15
1.1. Definición de términos en la formulacion de ABS.....	15
1.2. Resumen de fórmulas.....	17
1.3. Criterio de diseño de algunos miembros estructurales.....	21
II. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE OPTIMIZACION A UTILIZARSE.....	32
2.1. Introducción al proceso de optimizacion.....	32
2.2. Selección del método de optimizacion.....	38
2.3. Método de la Dirección Factible.....	40
2.4. Descripción del método de optimizacion COPES-CONMIN.....	44
III. OPTIMIZACION ESTRUCTURAL PRELIMTNAR DE UN BUQUE.....	50
3.1. Variables independientes, función objetivo y restricciones.....	50
3.2. Aplicacion de COPES-CONMIN en optimización estructural.....	58
3.3. Implementación del proceso.....	60



	<b>Pág.</b>
IV. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	63
4.1. Descripción de la embarcacion analizar.....	63
4.2. Aplicación del proceso de optimización estructural.....	68
4.3. Análisis de resultados.....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
APÉNDICES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	127

## INDICE DE FIGURAS

No		Pag.
1.	Diagrama del flujo para el dimensionamiento estructural de la ABS.....	18
2.	Factor de seguridad de la Viga-Buque.....	26
3.	Viga con <b>carga</b> distribuida.....	27
4.	Plancha considerada para pandeo.....	29
5.	Dirección de búsqueda disponible-factible.....	42
6.	Diagrama del programa COPES.....	46
7.	Organización del programa <b>CONMIN</b> .....	49
8.	Diagrama del programa COPES-CONMIN.....	58
9.	Diagrama del archivo REGLAS.FOR.....	59
10.	Implementación del proceso.....	62
11.	Plano del perfil de la embarcacion.....	65
12.	Plano <b>de</b> la vista en planta <b>de</b> la embarcacibn.....	66
13.	Plano de seccion transversal de la embarcación.....	67
14.	Convergencia del espaciamiento de long. del fondo - F.O. Costo.....	70
15.	Convergencia del espaciamiento de long. del costado - F.O. Costo.....	71
16.	Convergencia del espaciamiento de long. de cubierta - F.O. Costo.....	72
17.	Convergencia del espaciamiento de transversales - F.O. Costo.....	73
18.	Convergencia de la función objetivo Costo.....	74



<b>No</b>	<b>Pag.</b>
19. Convergencia del espaciamiento de long. del fondo -F.O. Peso.....	75
20. Convergencia del espaciamiento de long. del costado - F.O. Peso.....	76
21. Convergencia del espaciamiento de long. de cubierta - F.O. Peso.....	77
22. Convergencia del espaciamiento de transversales - F.O. Peso.....	78
23. Convergencia de la funcion objetivo Peso.....	79
24. Comparacion de diseños optimos según la funcion objetivo.....	86

## INDICE DE TABLAS

<b>No.</b>	<b>Pag.</b>
I . Resumen de las formulas empleadas en ABS.....	19
II . Resumen de las formulas empleadas en ABS.....	20
III . Calculo del momento flector.....	25
IV . Calculo del factor de seguridad Viga-Buque.....	25
V . Revision de trabajos en optimizacion estructural de buques.....	35
.VI . Revision de trabajos en optimizacion estructural de buques.....	36
VII . Métodos de optimización.....	37
VII . Opciones del programa COPES.....	45
IX . Descripcion de variables de diseño.....	51
X.- Descripción de las restricciones.....	56
XI.- Descripción de las restricciones.....	57
XII.- Limites de las variables de diseio y restricciones.....	68
XIII.- Valores optimos de las variables.....	69
XIV.- Registro de valores función objetivo Peso.....	80
XV.- Registro de valores función objetivo Costo.....	81
XVI.- Restricciones activas durante el proceso de optimizacion „F. O. Costo...	82
XVII.- Restricciones activas durante el proceso de optimizacion „F. O. Peso...	83
XVIII._ Comparacion del buque analizado y uno construido.....	87

## INTRODUCCIÓN

Haciendo una revisión de algunas embarcaciones de turismo que operan en aguas del Archipiélago de Galapagos, se observan diferencias notorias en el sistema de construcción y los escantillones empleados, como se muestran en las tablas adjuntas en el apéndice. Dichas estructuras siguen una de las herramientas empleadas comúnmente para la definición estructural de embarcaciones que son las reglas de clasificación y construcción. Es posible entonces pensar que el uso de estas reglas de construcción y clasificación, dentro de un esquema de optimización, ayudaría a estandarizar y optimizar la estructura de un bque.

La presente tesis tiene como objetivo desarrollar un proceso de optimización preliminar de la estructura de una embarcación. Se va a emplear una rutina de optimización de gran flexibilidad, acoplada a las reglas de clasificación y construcción de ABS para embarcaciones menores. La metodología que se va seguir es la de un problema de optimización no lineal con restricciones, es decir, se plantea una función objetivo, variables independientes y restricciones, de acuerdo al criterio del diseñador, y a través de un proceso iterativo se busca la minimización de la función objetivo, sin romper las restricciones.



Se espera desarrollar, en este trabajo una primera aplicación en el medio ecuatoriano del proceso de optimización estructural al casco de buques. En otras tesis que tratan sobre diseño estructural, [6], [4], no se considera variación sistemática de escantillones para reducir el peso estructural. Se espera que los resultados a obtenerse, ayuden a los ingenieros involucrados en el diseño y construcción de embarcaciones en la fase de definición estructural, a lograr reducción de peso y principalmente en costo de la misma

## CAPITULO I

### FORMULACION UTILIZADA POR ABS

#### 1.1. Definición de términos en la Norma de ABS.

En las reglas de Construcción y Clasificación del “ American Bureau of Shipping”, (ABS), se emplean las siguientes dimensiones en las formulas para la definición de la estructura de una embarcación menor, [1]:

#### ***Eslora***

“ L es la distancia en metros o pies sobre la línea de flotacion a plena carga, desde el costado a proa de la roda hacia el costado a popa del codaste popel o codaste; donde no exista codaste popel o codaste, L sera medida a la línea central de la mecha del timon. Para uso con las reglas, L no sera menor que el 96% y necesariamente no mayor que el 97% de la eslora sobre la línea de flotacion de diseño. ”

Manga

“ B es la mayor manga moldeada en metros ó pies. ”

### ***Puntal***

“ D es el puntal moldeado en metros o pies medido en la mitad de la eslora L a partir de la línea de quilla moldeada hacia el tope de los baos de cubierta de francobordo al costado del buque. ”

### ***Calado para Escantillones***

“ d es cualquier calado en metros o pies medidos a partir de la línea de quilla moldeada hasta la línea de flotación a plena carga de diseño en la mitad de la eslora L o  $0.66D$ , cualquiera que sea mayor. ”

### ***Cubierta de Francobordo***

“ La cubierta de francobordo normalmente es la más alta cubierta continua teniendo medios permanentes para cerrar todas las aberturas de sus partes a la interperie, y bajo los cuales todas las aberturas al costado del buque son equipados con medios permanentes para cerramientos estancos. En casos donde un buque este diseñado para un calado especial considerablemente menor que el correspondiente para el menor francobordo obtenido bajo las regulaciones internacionales de línea de carga, la cubierta de francobordo para el propósito de las reglas puede ser tomado como la más baja cubierta actual a partir de la cual el calado puede ser obtenido bajo estas regulaciones. ”



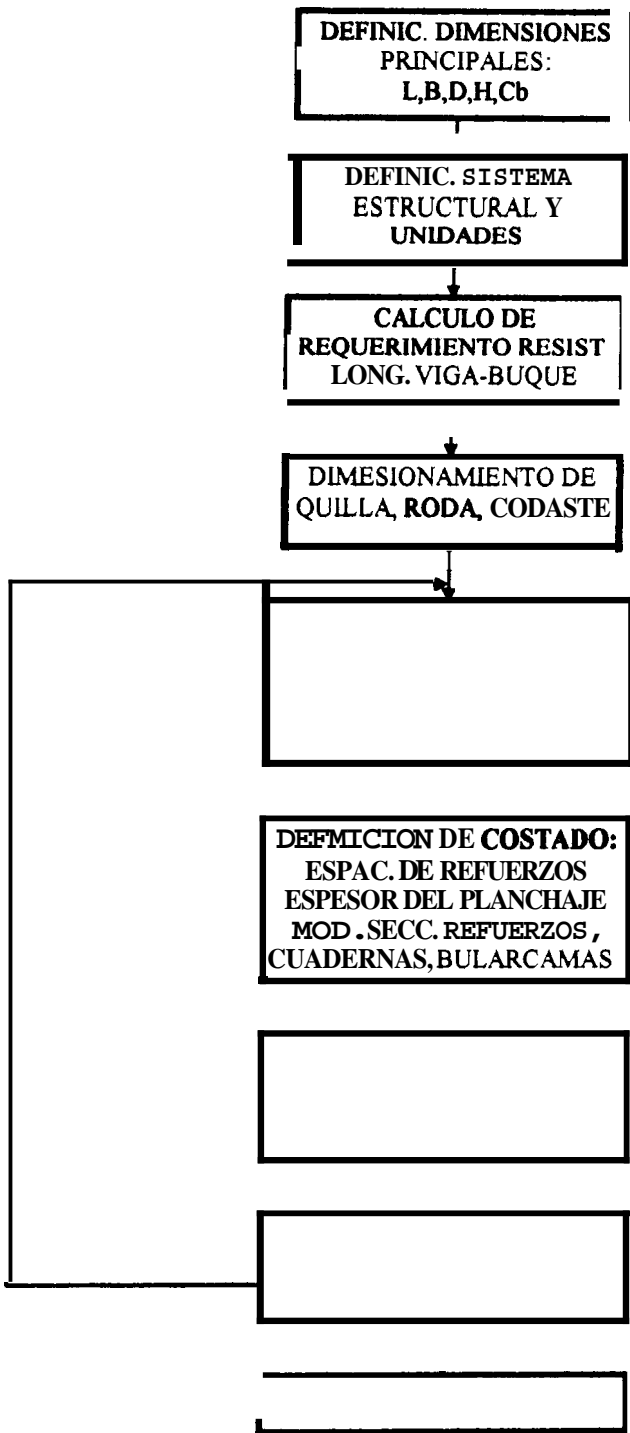
Se observa que **ABS**, toma como eslora de clasificación lo que normalmente se define como eslora entre perpendiculares ( $L_{pp}$ ) en libros sobre Teoría de Buques.

En cuanto a la manga,  $B$ , se refiere a la de trazado, es decir, la **manga máxima** descontando el espesor del forro exterior. Hay que mencionar también que para el uso de las reglas de ABS, el valor del coeficiente bloque a utilizarse deberá ser mayor o igual a 0.60.

## **1.2. de fórmulas.**

En las tablas I y II, se resumen las formulas a utilizarse en la definición estructural preliminar de una embarcacion menor. En la figura 1 se presenta un diagrama de flujo del proceso secuencial que se puede seguir, basado en lo que plantean las reglas de ABS.

Observando la figura 1, una vez establecidos los espaciamientos de refuerzos longitudinales y transversales, se puede proceder a calcular los diferentes espesores de planchaje y módulos seccionales de los refuerzos, considerando las estructuras del fondo, costado y cubierta, para una posterior verificación del modulo seccional se tendra que considerar que las reglas de la ABS establecen un espaciamiento "estandar para las cuadernas transversales, que si es excedido, el diseño deberá complementarse con un análisis de pandeo del panel de planchaje tipico.



**FIGURA 1.- DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ABS.**

**ESPEORES, ALTOS, ANCHOS, ESPACIAMIENTOS**

ITEM	REGLA	Espesor ( t )	Alto ( h )	Acho	Espaciamiento ( s )
<i>Quilla</i>	4.1	0.0075*L + 0.50 (in) 0.6250*L + 12.5 (mm)	0.0175*L + 4.0 (in) 1.4600*L + 100 (mm)	-----	-----
<i>Roda</i>	4.3	0.0075*L + 0.25 (in) 0.6250*L + 6.35 (mm)	-----	0.015*L + 3.50 (in) 1.250*L + 90 (mm)	-----
<i>Codaste</i>	4.5.1	0.0088*L + 0.39 (in) 0.7300*L + 10 (mm)	-----	0.0154*L + 3.44 (in) 1.283*L + 87.4 (mm)	-----
<i>Espaciam. cuadernas</i>	12.1	-----	-----	-----	20.0 + 0.01 * L (in) 508 + 0.83*L (mm)
<i>Planc. fondo Estr. Transv.</i>	12.3.2.a	$s^* \sqrt{d} / 302 + 0.08$ (in) $s^* \sqrt{d} / 167 + 2.00$ (mm)	-----	-----	espaciamiento entre cuadernas
<i>Estr. Long.</i>	12.3.2.b	$s^* \sqrt{d} / 362 + 0.08$ (in) $s^* \sqrt{d} / 200 + 0.08$ (mm)	-----	-----	-----
<i>Planchaje costado</i>	12.5.1	$s^* \sqrt{d} / 362 + 0.08$ (in) $s^* \sqrt{d} / 200 + 2.0$ (mm)	-----	-----	espaciamiento de cuadernas transv. o ref longitudinales
<i>Planchaje cubierta.</i>	13.3	$s^* \sqrt{h} / 460 + 0.10$ (in) $s^* \sqrt{h} / 254 + 2.54$ (mm)	0.028*L + 3.57 (ft) 0.028*L + 1.08 (m)	-----	espaciamiento entre baos o longitudinales
<i>Mamparos</i>	10.5.1	$s^* [(D+20.0)/6000] + 0.12$ (in) $[s^* (D+6.1)/1830] + 3.05$ (mm)	-----	-----	espaciamiento entre refuerzos

$$SM = a c h s l^2 \text{ (plgd}^3 \text{ ó cm}^3\text{)}$$

ITEM	REGLA	a	c	h (ft ó m)	s (ft ó m)	l (ft ó m)
<i>Longit. fondo</i>	7.3.2	0.0041 7.9000	0.915	D	espaciamiento longitudinal	sist. long.: espac. cuadernas sist. transv.: dist. mamparos
<i>Cuadernas fondo</i>	7.7.2	0.0041 7.9000	0.80 estruct. transv. 1.00 estruct. long.	D	espaciamiento cuadernas	sist. long.: dist. mamparos sist. transv.: espac. refuerzos
<i>Longit. costado</i>	8.5	0.0041 7.9000	0.915	D/2	espaciamiento longitudinal	sist. long.: espac. cuadernas sist. transv.: dist. mamparos
<i>Cuadernas costado</i>	8.3.1	0.0041 7.9000	0.915	D/2	espaciamiento cuadernas	sist. long.: 0.90*D sist. transv.: espac. refuerzos
<i>Longit. cubierta</i>	9.2	0.0041 7.9000	-----	0.02*L + 2.5 (ft) 0.02*L + 0.76 (m)	espaciamiento longitudinal	sist. long.: espac. cuadernas sist. transv.: dist. mamparos
<i>Baos</i>	9.1.2	0.0041 7.9000	0.60 estruct. transv. 0.70 estruct. long.	0.02*L + 2.5 (ft) 0.02*L + 0.76 (m)	espaciamiento cuadernas	sist. long.: dist. mamparos sist. transv.: espac. refuerzos
<i>Refuerzos mamparos</i>	10.5.2	0.0041 7.9000	0.38	D/2	espaciamiento refuerzos	D
<i>Bularcamas</i>	8.5.1	0.0041	0.915	D/2	espaciamiento bularcamas	0.90*D
<i>Viga Buque</i>	6.3	f* B*	(Cb + 0.5)	f	f : valor a interpolarse dependiendo de la eslora	

TABLA II.\_ RESUMEN DE FORMULAS EMPLEADAS EN ABS



### **1.3, Criterios de diseño de algunos miembros estructurales.**

En general un elemento estructural puede fallar por cuatro formas:

Resistencia

Rigidez

Estabilidad

Fatiga

Quando nos referimos a Resistencia longitudinal, se está estableciendo que un elemento puede fallar, cuando el esfuerzo de trabajo al que está sometido llega a ser igual que el esfuerzo permisible, para un material establecido. En las reglas de clasificación y construcción de buques, se toma normalmente el esfuerzo de fluencia como el permisible.

Si hablamos de Rigidez, tenemos que pensar en las deformaciones máximas que podría sufrir una estructura. En el caso de la estructura de un buque, esto tiene poca importancia, debido a que se piensa mas en niveles de esfuerzos antes que en deformaciones que podría sufrir el barco.

Si consideramos la Estabilidad como condicion de falla, se debe pensar que al someter un elemento estructural a esfuerzos compresivos, a medida que este esfuerzo llega a alcanzar cierto valor de esfuerzo critico, en el que el equilibrio estable no se mantenga mas. Se presentara entonces una condicion de inestabilidad, lo que daría origen a que el elemento falle por pandeo.

La Fatiga se analiza en detalles estructurales, tales como, conexiones de bularcamas y mamparos, escotillas, etc., porque es en estos casos donde ocurren concentraciones de esfuerzos que **podrían** llevar a fallar a una estructura.

A continuación se presenta el calculo aproximado de las magnitudes de los factores de seguridad para algunos miembros estructurales: viga-buque, refuerzo asociado a planchaje, y planchaje no reforzado.



### **Resistencia de la Viga-Buque**

En el calculo de resistencia de vigas, nos interesa, mas que el momento de inercia, el modulo mínimo de la seccion,  $Z$ , el cual es igual al cociente de dividir la inercia por la distancia al eje neutro de la fibra más alejada:

$$Z = \frac{I}{c} , \quad (1.1)$$

donde:  $I$  = Inercia viga,

$c$  = distancia desde el eje neutro a la fibra más alejada

Segun lo expuesto en la teoria de la flexion simple, conocidos el moimento de flexion,  $M_y$ , y el **módulo** de la seccion de una **viga**, podemos conocer el esfuerzos máximo  $\sigma_x$ , a que estan sometidos sus fibras. Este calculo se hace con la ayuda de la siguiente fórmula, [17]:

$$\sigma_x = \frac{M_y}{Z} = \frac{M}{I/c} \quad (1.2)$$

El Factor de Seguridad, F.S. , y considerando la resistencia de la viga buque, se define mediante la siguiente relación, [17]:

$$\mathbf{F.S. = \frac{\sigma_{ADMISIBLE}}{\sigma_{TRABAJO}}}$$

Normalmente el factor de seguridad, se lo toma con respecto al esfuerzo de fluencia del material, en lugar del esfuerzo ultimo:

$$\mathbf{F.S. = \frac{\sigma_y}{\sigma_T}} \quad , \quad \mathbf{(1.3)}$$

donde:  $\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia =  $235 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> ( acero ), y ,

$\sigma_T$  = Esfuerzo máximo de trabajo.

Reemplazando la formula (1.2) en la (1.3), se obtiene el factor de seguridad en el caso de flexion en funcion del módulo seccional y el momento flector, estos es:

$$\mathbf{F.S. = \frac{Z \sigma_y}{M_r}} \quad \mathbf{(1.4)}$$

El momento flector de la viga-buque, es la suma del momento flector en aguas tranquilas más el momento flector en olas. En este trabajo se emplearan las formulas establecidas por “Det Norske Veritas”, [7], puesto que [1] en sus reglas para embarcaciones menores no los mencionan. Las formulas del momento flector en olas y en aguas tranquilas serán tomadas de [7], Parte 3, Cap. 2, Secc. 4.

El momento flector en olas viene definido como:

$$M_{w_o} = 0.11 C_w L^2 B (C_b + 0.7) , \quad (\text{Arrufo}) \quad [\text{KN.m}] \quad (1.5)$$

$$M_{w_o} = 0.19 C_w L^2 B C_b , \quad (\text{Quebranto}) \quad [\text{KN.m}] \quad (1.6)$$

donde,  $C_w = 0.0792 \times L$

$L = \text{Eslora, [m]}$

$B = \text{Manga, [m]}$

$C_b = \text{Coeficiente bloque (= 0.6)}$ .

El momento flector en aguas tranquilas es definido por:

$$M_{s_o} = 0.0052 L^3 B (C_b + 0.7) , \quad [\text{KN.m}] \quad (1.7)$$

El momento flector total será entonces:

$$M = M_{s_o} + M_{w_o} \quad (1.8)$$

En la sección 6, [1] especifica que el módulo seccional de la viga buque deberá ser mayor a:

$$Z = f B (C_b + 0.5) \quad (1.9)$$

donde:  $f = \text{valor determinado apropiadamente para cada eslora L. (Para f se desarrollo una análisis regresional, a partir de los valores de la eslora.)}$ ,

$B = \text{Manga, y ,}$

$C_b = \text{Coeficiente bloque.}$



Se procedio entonces a calcular el factor de seguridad para algunas embarcaciones, en funcion de sus dimensiones principales. Los resultados se inuestran en las tablas III y IV, y su variación con respecto a la eslora en la figura 2:

L [ m ]	B [ m ]	Cb	Cw	M <sub>woa</sub> [KN.m]	M <sub>woq</sub> [KN.m]	M <sub>so</sub> [KN.m]	M [KN.m]
25.05	6.65	0.6	1.98396	1183.875	943.788	706.629	1890.504
25.32	6.59	0.6	2.00534	1211.539	965.843	723.141	1934.681
25.96	7.34	0.6	2.05603	1454.358	1159.418	868.074	2322.432
26.75	6.8	0.6	2.1186	1474.149	1175.196	879.887	2354.036
30.65	5.2	0.6	2.42748	1695.727	1351.838	1012.142	2707.869
32.6	6.49	0.6	2.58192	2546.588	2030.147	1520.002	4066.590
33.35	6.95	0.6	2.64132	2919.66	2327.567	1742.685	4662.353

**TABLA III . \_ CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR TOTAL**

L [ m ]	f	Z [cm <sup>2</sup> *m]	M [KN.m]	F.S.
25.05	10.96566	517.507	1890.504	6.432897
25.32	11.101003	519.167	1934.681	6.306177
25.96	11.424172	595.087	2322.432	6.021514
26.75	11.827875	570.789	2354.036	5.698104
30.65	13.911017	513.360	2707.869	4.455151
32.6	15.020103	691.795	4066.590	3.997745
33.35	15.460913	762.570	4662.353	3.843639

$$f = 2.3E-08L^4 - 4.53E-06L^3 + 5.49E-04L^2 + 0.103L + 0.261$$

L = eslora en pies.

**TABLA IV . \_ CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD VIGA-BUQUE**

Observando la figura 2, nos damos cuenta que el factor de seguridad disminuye a medida que la eslora aumenta. Para embarcaciones de nuestro medio cuya eslora promedio varía de 25 a 30 metros, el factor de seguridad, considerando la flexion de la Viga-Buque excede a 4.

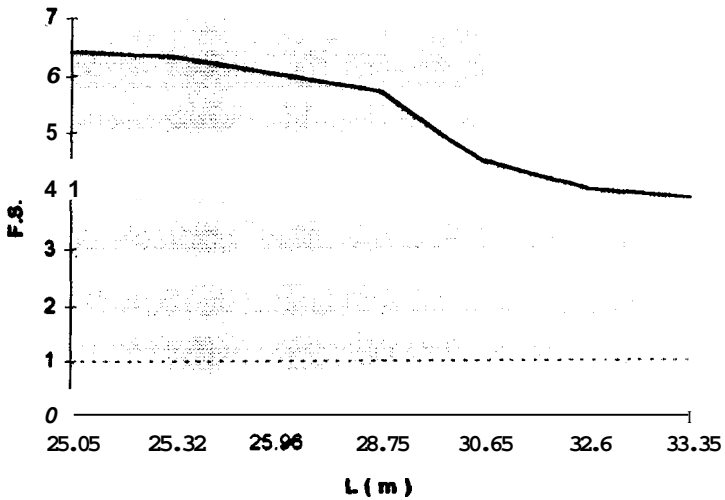


FIG. 2. \_ FACTOR DE SEGURIDAD DE LA VIGA-BUQUE

***Resistencia de un refuerzo con el planchaje asociado.***

Como se definió anteriormente, el factor de seguridad en el caso de flexión viene dado por la siguiente fórmula:

$$F.S. = \frac{Z \sigma_y}{M}$$

donde,  $M$  = Momento flector

$\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia =  $235 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> (acero), y ,

F.S. = Factor de Seguridad.

El momento flector aproximado de una viga con carga distribuida y simplemente soportada, [17], viene dado por:

$$M = q(x)l^2 \quad (1.10)$$

donde,  $q(x)$  = Carga por unidad de longitud

$l$  = longitud no soportada

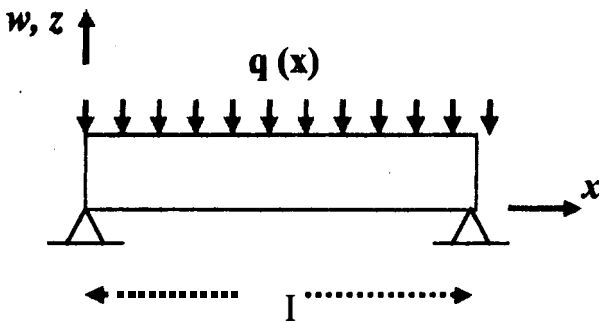


FIGURA 3 . \_ VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA

En [1], sección 13, para cubiertas que transportan peso, la carga por unidad de área ( $p$ ) se recomienda tomar  $2636 \text{ Kg/m}^2$  ( $25832.8 \text{ N/m}^2$ ). La carga por unidad de longitud que soporta un refuerzo se toma como:

$$q(x) = p s \quad (1.11)$$

donde,  $s$  = espaciamiento entre refuerzos.

En la sección 9 de [1], se establece que el Módulo Seccional de cada viga transversal o longitudinal asociado con el planchaje, no será menor que el calculado por la fórmula:

$$Z = 7.9 c h s l^2 \quad (\text{cm}^3) \quad (1.12)$$

donde:  $c = 1.00$

$h = \text{altura} = 3.66\text{m.}$

$s = \text{espaciamiento de baos}$

$l = \text{longitud no soportada}$

Reemplazando las fórmulas (1.10), (1.11), (1.12), en (1.4), obtenemos:

$$\text{F.S.} = \frac{Z\sigma_Y}{M}$$

$$\text{F.S.} = 4.14$$

El factor de seguridad encontrado para este caso, es elevado reflejando probablemente el problema de golpes extras en una cubierta de trabajo.

### ***Pandeo de Planchaje no reforzado.***

Se procederá a calcular el factor de seguridad, valiendose de las formulas planteadas en [7], puesto que ABS en sus reglas para embarcaciones menores no se refiere al pandeo de planchas. El esfuerzo crítico en pandeo,  $\sigma_{cr}$ , de un planchaje no reforzado puede ser estimado con la siguiente formula, planteada en la referencia mencionada :

$$\sigma_{cr} = \sigma_e \quad \text{cuando } \sigma_e < 0.5 \sigma_{cr} \quad ( 1.13 )$$

$$\sigma_{cr} = \sigma_Y ( 1 - \sigma_Y / 4\sigma_e ) \quad \text{cuando } \sigma_e > 0.5 \sigma_{cr} \quad ( 1.14 )$$

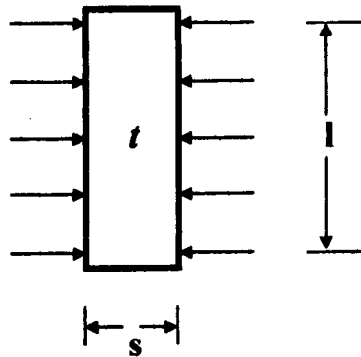
$$\sigma_e = 23 [ 1 + ( s/l )^2 ]^2 ( t^2 / 1000 s ) 10^5 \quad \text{N / mm}^2 \quad ( 1.15 )$$

donde:  $s$  = espaciamiento de transversales ( m. )

$l$  = distancia entre longitudinales ( m. )

$t$  = espesor del planchaje ( mm. )

$\sigma_Y$  = esfuerzo de fluencia ( 235 N / mm<sup>2</sup> )



**FIGURA 4.\_ PLANCHA CONSIDERADA PARA PANDEO [DNV]**

En [17], el valor crítico del esfuerzo para pandeo de una placa rectangular sometida a compresión uniforme considerando los lados simplemente apoyados, viene dado por la ecuación:

$$\sigma_{cr} = \beta \sigma_e \quad [\text{Kg/cm}^2] \quad (1.16)$$

$$\text{donde: } \sigma_e = \pi^2 E t^2 / 12 l^2 (1 - \mu^2), \quad (1.17)$$

$$\beta = (s/ml + ml/s), \quad (1.18)$$

$t$  = espesor de la plancha ,

$l$  = ancho de la plancha ,

$m$  = número entero de ondas en que se divide la placa al pandear ,

$\beta$  = coeficiente que depende del valor de la relación  $a/b$  ,

$E$  = Módulo de Young (=  $2.1 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$  ( $205.8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ , para el acero)),  $\nu$  ,

$\mu$  = relación de Poisson (=0.3) .

Tómando de la referencia [17], los valores para un panel típico, con razón de aspecto 3:

$$s/l = 3, \quad \beta = 4, \quad \mu = 0.3, \quad t/b = 0.01,$$

encontramos los valores de los esfuerzo críticos para pandeo de :

$$\sigma_{cr[\text{TIMOSHENKO}]} = 763 \text{ Kg/cm}^2 = 74.77 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr[\text{DNV}]} = 180.9 \text{ N/mm}^2$$

El factor de seguridad sería entonces:

$$\text{F.S.} = \sigma_{cr[\text{DNV}]} / \sigma_{cr[\text{TIMOSHENKO}]}$$

$$\text{F.S.} = 242$$

El factor de seguridad encontrado que relaciona las referencias [7] y [17] es aceptable, puesto que se considera la situación de lados simplemente apoyados. Este factor aumentaría considerando **otro** tipo de apoyo como empotrado.

Es importante recordar que cada elemento, de acuerdo a sus proporciones puede fallar de diferente forma, de manera que es justificable la selección de altos factores de seguridad, aún considerando cargas externas.

## CAPITULO II

### SELECCION DEL METODO DE OPTIMIZACION A UTILIZARSE.



#### 2.1. Introducción al Proceso de Optimización.

Optimización, " es el proceso de hacer un una seleccion sistematica de entre alternativas factibles basadas sobre varios criterios racionales ", [14]. Con el desarrollo de la tecnologia en computación, es posible especificamente considerar un numero muy amplio de alternativas y si un criterio de seleccion racional puede ser especificamente establecido, entonces los métodos de programación matematica pueden ser usados para seleccionar sistematicamente el mejor diseiro posible bajo este criterio.

Una vez que el modelo de diseiro y el criterio de seleccion son establecidos, la optimización automaticamente retornara el "mejor "diseño. Es por lo tanto muy



importante utilizar un buen criterio de Ingeniería en el desarrollo del modelo y en la interpretación de los resultados para la ejecución de la optimización. Los procedimientos de optimización son solamente herramientas de diseño y nunca podrán ser un reemplazo para los criterios de ingeniería.

Entre las ventajas del uso de la optimización podemos mencionar, la reducción en el tiempo computacional y a su vez producir mejores diseños, esto tiene su importancia cuando el mismo programa de computadora puede ser aplicado a muchos proyectos de diseño. Se puede tratar con un amplia variedad de variables de diseño y restricciones de un problema en particular y no está basada en intuición o experiencia en ingeniería, por lo tanto, la posibilidad de obtener diseños buenos y no tradicionales está avanzando.

Entre las desventajas del uso de la optimización encontramos que el tiempo computacional incrementa cuando el número de variables de diseño incrementa. La mayor parte de algoritmos de optimización tienen dificultad en el trato con funciones discontinuas. También, con problemas fuertemente no lineales pueden converger lentamente o no hacerlo. Esto requiere que seamos particularmente cuidadosos en formular el problema de diseño. Si el programa de análisis no es teóricamente preciso, los resultados de la optimización pueden ser engañosos, por lo tanto los resultados deberían siempre ser chequeados con mucho cuidado.

“ El diseño estructural por estrategias de computadoras ( Ship Structural Design by Computer ), o también llamada Optimización Estructural de buques, es la disciplina de generar nuevas alternativas y mejorar sistemáticamente el diseño estructural de un buque”, [13]. Una revisión de los trabajos realizados de optimización estructural de buques, se muestran en las tablas V y VI, tomadas de dicha referencia. Observando las tablas mencionadas anteriormente podemos mencionar que en todos los casos las funciones objetivas son peso y/o costo. La formulación utilizada por todos estos trabajos fue el método SUMT ( “Secuencial Unconstrained Method Technique- Técnica del Método Secuencial No Restringido” ), que para esos años demostró ser la herramienta de mayor eficiencia en procesos de optimización. Todos estos trabajos de investigación para este campo fueron realizados por Moe, Kavlie, Kowalik, en la Universidad de Michigan, y Lund en Holanda. A todos estos trabajos habrá que agregar otros realizados por diferentes investigadores que son referencias para diferentes trabajos sobre estructuras de buques.

Los procedimientos de optimización son llamados métodos de búsqueda si las derivadas no son usadas, y métodos de gradientes si estas son usadas. Pueden ser para optimización no restringida y restringida. A continuación en la tabla VII, se presenta una clasificación de estos métodos.

NO.	Autor	Año	Aplicación	Variables Diseño	Función Objetivo	Modos falla / Cond. Carga	Formulación	Algoritmo
1	KAVLIE, KOWALIK, MOE	1966	Mamparo Corrugado	4 Parámetros de corrugación	Peso	Reglas de Clasificación	SUMT	Fletcher-Powell
2	KAVLIE, KOWALIK, MOE, LUND	1966	Seccion media, <b>Car</b> Carrier	10 Variables de Cubiertas y refuerzos	Costo	Reglas de Clasificación	SUMT	Metodo directo de Powell
3	KAVLIE	1966	Grillage I Grillage II	Una variable por viga Tres variables/viga	Peso Costo	$\sigma$ , Pandeo local $\sigma$ , $\tau$ , pandeo	SUMT	Metodo directo de Powell
4	MOE, LUND	1968	Sección Media Tanquero	6 Parámetros de sección media	Peso, Costo	Reglas de Clasificación	SUMT	Metodo directo de Powell
5	KAVLIE, MOE	1969	Grillages	Como lo indicado en No. 3	Peso, Costo	Como lo indicado en No. 3	SUMT	Metodo directo de Powell, Fletcher-Powell
6	MOE	1969	Seccion Media Tanquero <b>Car</b> Carrier	12 variables diseño 10 variables diseño	Costo	Reglas de Clasificación	SUMT	Metodo directo de Powell

**TABLA V .\_ REVISIÓN DE TRABAJOS EN OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL DE BUQUES**



Nº.	Autor	Año	Aplicación	Variables Diseño	Función Objetivo	Modos falla / Cond. Carga	Formulación	Algoritmo
7	KAVLIE	1970	Grillages, Bularcamas, etc.	Dimensiones de los Girders	Peso	$\sigma, \tau$ , varias condiciones de carga por caso	Extensión SUMT	Fletcher-Powell
8	KAVLIE, MOE	1971	Grillages, y Cuadernas	Dimemiones de los girders	Peso	$\sigma, \tau$ , varias carga por caso	Extensión	Fletcher-Powell
9	MOE, KAVLIE, LUND	1970	Grillages y Cuadernas	Dimensiones de los girders	Peso	$\sigma, \tau$ , varias carga por caso	Extension	Fletcher-Powell
10	MOE	1971	Sección Media Tanquero y Cuadernas	Diversas	Peso, Costo	Reglas de Clasificación, Esfuerzos	Extensión SUMT	Fletcher-Powell

**TABLA VI.\_ REVISIÓN DE TRABAJOS EN OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL DE BUQUES**

<i>Métodos de Búsqueda para Optimización No-Restringida.</i>	<i>Métodos de Gradiente No-Restringida</i>	<i>Métodos para resolver el Problema de Optimización Restringido</i>
Búsqueda Simplex de Nelder and Mead	Método del Paso Descendente	Programación Lineal
Búsqueda Coordinada de Rotación de Rosenbrock	Método de la Gradiente Conjugada de Fletcher-Reeves	Programación Dinámica
Búsqueda de Dirección Conjugada de Powell	Método de Newton-Raphson	Método de la Dirección Factible de Zoutendijk
Búsqueda de Fibonacci	Método de Powell	Métodos de Aproximación Lineal Secuencial (SLP)
Búsqueda de la Sección Dorada	Método de Fletcher-Powell	Método de la Función Penalidad Externa

**TABLA VII.\_ METODOS DE OPTIMIZACION**

## 22. Selección del método de optimización.

La formulación de un problema de diseño estructural es de crucial importancia para el éxito del proceso de diseño, una pobre formulación puede conducir a resultados de mala calidad o costo prohibitivo. La mayoría de las optimizaciones estructurales no pueden ser formuladas como problemas de minimización no restringida.

El problema básico que consideramos deberá ser **formulado** en la siguiente manera **estándar**:

“Minimizar ( ó maximizar ) la función de medida de merito u objetivo

$$F ( \bar{X} ) = F ( x_1 , x_2 , \dots, x_n )$$

Sujeta a las restricciones

$$g_k = g_k ( x_1 , x_2 , \dots, x_n ) \geq 0 , \quad k = 1, \dots, K$$

donde:  $\bar{X} = x_1 , x_2 , \dots, x_n =$  vector de variables de diseño.

Esto es, el problema deberá **ser** establecido en términos de una medida de merito, restricciones, y variables de diseño.

Las restricciones dividen el espacio de diseño en dos dominios, uno factible donde las restricciones son satisfechas y otro no factible donde al menos una de las restricciones es violada. En muchos problemas prácticos el mínimo es encontrado en el límite entre los dominios factibles y no factible, esto es, un punto donde  $g_k(\bar{X})=0$  para al menos una  $k$ .

Los métodos de solución comúnmente usados para obtener el diseño óptimo en problemas de optimización estructural pueden ser divididos en varias categorías. Una importante clasificación de métodos de solución los separa en específicos y generales. Métodos específicos son aquellos los cuales son usados exclusivamente en optimización estructural, mientras que métodos generales son aquellos, comúnmente aplicados a problemas de optimización en varios campos, como por ejemplo el aviatorio y marino.

Varios procedimientos de optimización no lineal trabajan mejor cuando la función objetivo es lineal y las restricciones son no lineales y otros trabajan mejor cuando la situación es lo contrario [9]. La selección de la formulación puede ser decidida, por lo tanto, sobre las bases del programa de optimización disponible para el diseñador. En un programa de optimización general esta selección tiene diferentes alternativas, debido a su variedad de aplicabilidad.

Las consideraciones más importantes para un análisis estructural usando métodos de optimización general tiene que ver con proporcionar una interfase entre programas de análisis estructural y de optimización. Esta interfase incluye los componentes de formulación y aproximación. Lo que se refiere a la formulación, tienen que ser coherentes en el planteamiento del proceso de análisis y de optimización. Deberá hacerse un análisis de sensibilidad para observar la importancia de las variables de diseño con respecto a la función objetivo. Las técnicas de aproximación utilizadas deberán tener una exactitud razonable. De aquí la importancia que tienen los programas de optimización general.

La mayoría de las herramientas flexibles para el análisis estructural son programas basados en métodos de optimización restringido para propósitos generales. Tales programas pueden ser acoplados con cualquier subrutina de análisis la cual suministrara una interfase para calcular restricciones y sus derivadas. Uno de los métodos de optimización con propósito general para optimización estructural ha sido el método de la Dirección Factible de Zoutendijk, el cual será utilizado en el desarrollo del presente trabajo.

### **23. Método de la Dirección factible.**

El método de la Dirección Factible de Zoutendijk es el utilizado en el programa de optimización COPES (“Control Program for Engineering synthesis) / CONMIN (“A Fortran Program Constrained Function Minimization”),[18] y [19], el cual ha



sido usado en aplicaciones de diseño estructural aerospaciales, automovilísticas, civiles y es al cual se va a referir en lo que sigue.

Zoutendijk, desarrolló un método el cual usa el procedimiento del “paso descendente en la region factible”. Una restricción usa programación lineal (Método Simplex) para establecer una dirección de búsqueda la cual resultará en el máximo rango de disminucibn de  $F(X)$  y también permite varios movimientos en  $X$  antes de alcanzar la restricción nuevamente. Este método es fácilmente entendible refiriéndonos a la figura 5:

Consideremos un diseño  $\bar{X}^0$  (grupo de valores para las variables de diseño) sobre el limite restringido  $g_k(\bar{X})$ . Primero se calcula el gradiente de la función objetivo y de la restricción activa para producir los vectores gradientes mostrados,  $\nabla F$  y  $\nabla g_k$ .

Las tangentes a la línea de la función objetivo constante, y al limite restringido son ahora las aproximaciones lineales al problema en este punto. La tarea es encontrar una dirección de búsqueda  $\vec{S}$  la cual reduce la función objetivo, sin violar la restricción activa para varios movimientos finitos.

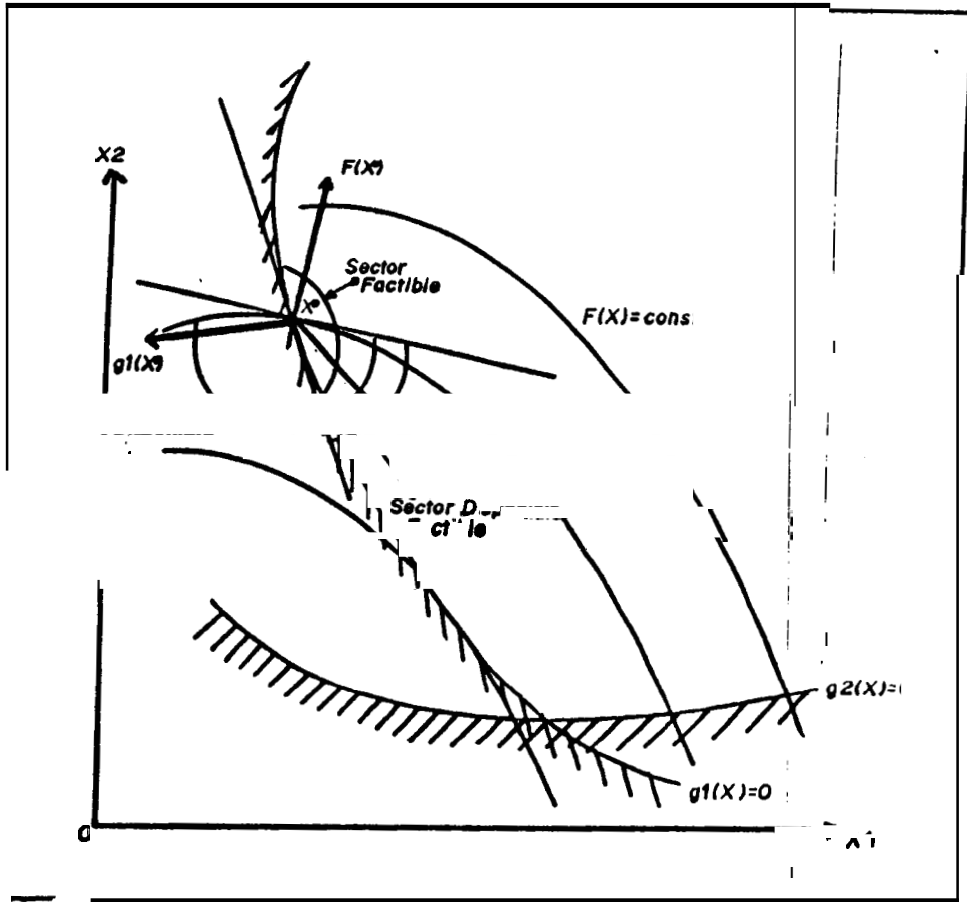


FIGURA 5. \_ DIRECCIÓN DE BUSQUEDA DISPONIBLE-FACTIBLE.

Cualquier vector  $\vec{S}$  que reduce la función objetivo es llamado una *dirección disponible*. El caso del vector  $\vec{S}$ , tangente al plano de la función objetivo constante puede matemáticamente expresarse como:

$$\bar{\nabla}F(\mathbf{X}^*) \cdot \vec{S} \leq 0 \quad ( 2.1 )$$

Una *dirección* es llamada *factible* si, para varios movimientos pequeños en esta dirección, la restricción activa no será violada. Esto es, el producto punto de  $\nabla g_k(\mathbf{X}^0)$  con  $\vec{S}$  deberá ser no positivo. Así,

$$\bar{\nabla} g_k(\mathbf{X}^0) \cdot \vec{S} \leq 0 \quad (2.2)$$

Observese que la mayor reducción en  $F(\bar{X})$  puede ser alcanzada encontrando un  $\vec{S}$  que minimizará la ecuación (2.1), y con la ecuación (2.2) encontramos una igualdad que daría una dirección de búsqueda precisamente tangente al límite restringido. Sin embargo, asumiendo que la restricción es no lineal y convexa, un pequeño movimiento en esta dirección violaría la restricción.

Varias preguntas se presentan entonces, primero, cuándo definimos una restricción como activa?. Segundo, como imponemos límites sobre el vector  $S$ ?

Los dos temas son interdependientes en un algoritmo de optimización práctico. Desde un punto de vista de ingeniería, podemos considerar una restricción como activa si estamos cerca al límite, decimos  $g_k(\bar{X}) \geq \epsilon$ , donde  $\epsilon = -0.1$  al principio de la optimización y es reducido cerca del final,  $\epsilon = -0.001$ . Este amplio "límite restringido" ayuda considerablemente a aliviar el problema conocido como "sigsageo" por medio del cual una restricción alternativamente llegará a ser activa e

inactiva en iteraciones sucesivas, una situación la cual reduce la eficiencia del método.

El problema siguiente ahora es encontrar una manera de imponer límites sobre el vector  $\vec{S}$ . Probablemente la técnica mas usada es limitar las componentes de  $\vec{S}$  de la siguiente manera:

$$-1 \leq S_i \leq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

$S_i$  es una componente del vector  $\vec{S}$ .

A continuación se describirá la rutina de optimización COPES-CONMIN que implementa el proceso de la dirección factible de Zoutendijk.

#### **24. Descripción del método de optimización COPES-CONMIN**

El propósito del programa *COPES* ( **A** **C**ontrol **P**rogram **f**or **E**ngineering **S**ynthesis ) es resolver ciertos problemas donde la función objetivo y las restricciones envuelven términos no lineales y proporcionar un diseño automático, [19]. Este programa encuentra el mínimo de una función multivariable, no lineal, establecido de la siguiente forma:

$$\text{Minimizar :} \quad \mathbf{F}(\bar{X})$$

$$\text{Sujeto a las restricciones de la forma:} \quad \mathbf{G}_j(\bar{X}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, m$$

Donde  $\bar{X}$  es el vector de las variables independientes de diseño, ( $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ )

El programa proporciona seis opciones específicas, véase la tabla VIII. La opción más comúnmente usada del programa COPES es para optimización de diseños,  $N_{CALC}=2$ . Dos aproximaciones son disponibles para este propósito, *In* primera es optimización directa de la función por el sub-programa de optimización CONMIN. Una alternativa a esto es a través del uso de técnicas de aproximación. Esta segunda opción es usualmente más eficiente, especialmente cuando múltiples optimizaciones serán desarrolladas, como se mencionó anteriormente.

N <sub>CALC</sub>	OPCION
1	Análisis simple, como si <b>COPES</b> no fuese usado.
2	Optimización, Minimización o maximización de una función calculada con límites impuestos sobre otras funciones.
3	Análisis de Sensibilidad, el efecto de cambio de <b>una</b> o más variables de diseño sobre una o más funciones calculadas.
4	Espacio de una Función de <b>dos</b> variables, análisis para todas las combinaciones especificadas de dos variables de diseño
5	Sensibilidad del Optimo, como un análisis de sensibilidad excepto que en cada paso, el diseño es optimizado con respecto para las variables de <b>diseño</b> restantes.
6	Optimización Aproximada, Optimización usando técnicas de aproximación. Usualmente más eficiente que la optimización estándar <b>para más</b> de <b>10</b> variables de diseño o si optimizaciones múltiples <b>son</b> desarrolladas.

**TABLA VIII.\_ OPCIONES DEL PROGRAMA COPES**

El programa consiste de un programa principal y un juego de subrutinas (18). El programa principal hace el llamado a una subrutina de analisis proporcionada por el usuario, llamada ANALIZ(ICALC), la cual será concatenada a COPES, para el analisis del problema en particular a ser considerado. El parametro del control de calculo, ICALC, determinará la parte del análisis a ser ejecutado. ICAL puede tomar los siguientes valores:

ICALC = 1, lee los datos de entrada

ICALC = 2, ejecuta el analisis

ICALC = 3, imprime los resultados

El programa COPES dispone la capacidad general para el uso del programa de optimización CONMIN. Un diagrama general de este programa se muestra en la figura 6, tomada de la referencia [19].

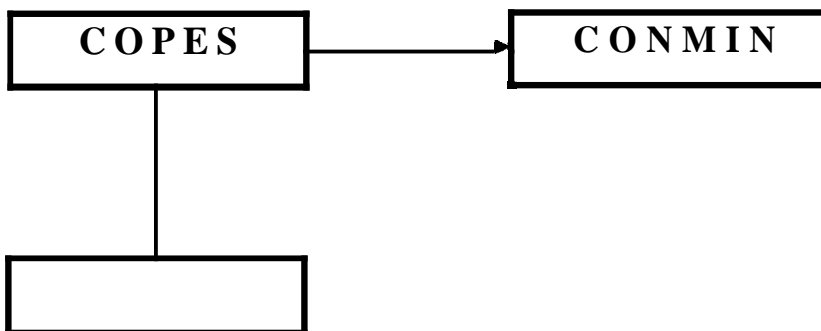


FIGURA 6 .\_ DIAGRAMA DEL PROGRAMA COPES

Los parámetros involucrados en el archivo de datos contenidos en **COPES**, se muestran en el apéndice 2. **Todos** los enlaces entre el programa principal y las dieciocho subrutinas es a través de la declaración de un **COMMON**. El programa principal lee los **datos** abriendo previamente un archivo de datos (unidad 5) y registra los resultados en **otro** archivo (unidad 6), donde se **mostrará también los datos** ingresados además de los resultados finales de las variables de diseño, función objetivo y restricciones incluidas en el proceso de la optimización.

Para desarrollar operaciones de diseño, el programa **COPES** deberá acceder los datos en el bloque común **GLOBCM**. Esto es hecho a través de la ubicación en el **COMMON/GLOBCM** en la posición adecuada de cada uno de los parámetros (variables de diseño, función objetivo, restricciones), por ejemplo:

*COMMON / GLOBCM /  $\bar{X}$ ,  $F(\bar{X})$ ,  $G(\bar{X})$ , DUMMY*

Para ejecutar **COPES** es necesario proporcionar datos formateados, seguidos de datos para la subrutina **ANALIZ**, y estarán segmentados en "BLOQUES por conveniencia. Todos los formatos para las variables alfanuméricas (para el título (**TITLE**), y final (**END**)), son **A40**, F10 para datos reales, e I10 para datos enteros.

**CONMIN** ("A Fortran Program For CONstrained Function MINimization") es un algoritmo escrito en lenguaje Fortran, en forma de subrutina, para la solución de problemas de optimización restringidos, lineales o no lineales, donde se minimiza

una función multivariable sujeta a un juego de restricciones, **tipo** desigualdad. El algoritmo básico de optimización es el método de la Dirección Factible de Zoutendíjk.

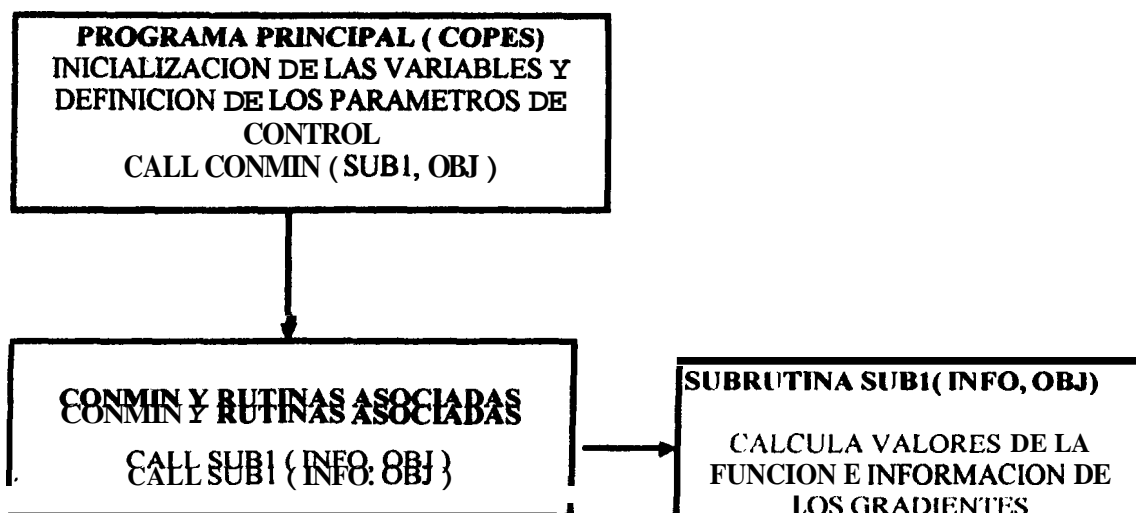
La técnica básica de análisis usada por **CONMIN** es minimizar la función objetivo hasta que una o más restricciones,  $G_k(J)$ , llegue a ser activa. Una restricción es definida como activa si  $CT \leq G_k(J) \leq ABS(CT)$ , y violada si  $G_k(J) < ABS(CT)$ , donde el espesor de la restricción,  $CT$ , es un número negativo pequeño especificado en el archivo de entrada de datos. El proceso de minimización continúa, siguiendo los límites restringidos en una dirección de tal forma que el valor de la función objetivo continúe disminuyendo. Cuando un punto es alcanzado tal que la función objetivo **no** pueda disminuirse, el proceso finaliza.



La organización del programa está mostrada esquemáticamente en la figura 7, tomada de la referencia [19].

Las variables son inicializadas en el programa principal. El vector de las variables de diseño es iterativamente cambiado en la subrutina **CONMIN** y sus subrutinas asociadas, y la subrutina externa **SUB1(ANALIZ)** calcula los valores de la función e información de los gradientes.





**FIGURA 7.\_ ORGANIZACION DEL PROGRAMA CONMIN**

El parámetro de control **INFO**, define la información a suministrar, y **OBJ** es el valor de la función objetivo a ser calculado correspondiente a las variables de decisión contenidas en su vector.

En el archivo de resultados, **CONMIN**, mostrará el nombre del problema y cierta información estadística ( número de variables, número de restricciones, valor actual de variables, restricciones, función objetivo, etc). **En** cada iteración, la solución y los valores de las variables actuales son impresos. Este proceso continúa hasta que el criterio de convergencia ha sido satisfecho, después de lo cual los valores finales de la optimización son mostrados.

Si el lector está interesado en información más detallada de los programas **COPES** y **CONMM**, véase las referencias [18] y [19].

## **CAPITULO III**

### **OPTIMIZACION ESTRUCTURAL PRELIMINAR DE UN BUQUE.**

#### **3.1. Variables Independientes, Función Obietivo y Restricciones.**

En la mayoría de trabajos de optimización estructural realizados, vease las **tablas V y VI**, las variables de diseño se refieren a espesores, espaciamientos y modulos seccionales de los refuerzos longitudinales y transversales, dimensiones de esos refuerzos, espaciamientos entre transversales (cuadernas), y, módulo seccional de la viga-buque. Estos son escogidos debido a su importancia en la resistencia estructural del buque y su influencia directa sobre el peso y el costo del mismo. Los siguientes parametros fueron seleccionados como **variables de diseño** para el presente trabajo:

#	DESCRIPCION	NOMBRE VARIABLE
1	Espaciamiento entre cuadernas	$S_{TRA}$
2	Espaciamiento entre longitudinales del fondo	$S_{LONFO}$
3	Espaciamiento entre longitudinales del costado	$S_{LONCO}$
4	Espaciamiento entre longitudinales de cubierta	$S_{LONCU}$
5	Espesor del planchaje en el fondo del buque	$t_{FON}$
6	Espesor del planchaje en el costado del buque	$t_{COS}$
7	Espesor del planchaje en la cubierta del buque	$t_{CUB}$
8	Módulo seccional de los refuerzos del fondo	$SM_{LF}$
9	Módulo seccional de los refuerzos de cubierta	$SM_{LO}$

TABLA IX . \_ DESCRIPCION DE VARIABLES DE DISENO

El módulo seccional de los refuerzos longitudinales **del** costado, no está incluido entre las variables de diseño debido a que este *parámetro* *varía* de acuerdo **a** la *altura* **sobre** el **fondo del buque**. Generalmente, se lo calcula de acuerdo con un espaciamiento igual al de los longitudinales del fondo.

En la mayor parte de problemas, la función objetivo se plantea **para** minimizar **peso**, en otros casos también para minimizar costo. El **grado** de elaboración en los modelos de **Costo** *varía* de acuerdo a la complejidad de su contenido **y** puede llegar a abarcar hasta unos **100** items. Típicamente los items de costos incluyen materiales y mano de obra **para** el montaje de la estructura.

En este trabajo **se** definirán dos funciones objetivo en forma separada: el peso **y** el costo de **la** embarcación. Originalmente **solo** se iba a considerar el peso, sin embargo el hecho de que el trabajo de soldadura **a** realizarse con diferentes tipos de refuerzos

tiene un esfuerzo adicional, lo cual implica un gasto extra, obligo a definir el costo como una segunda funcion objetivo.

El peso de la estructura de la embarcacion se lo hallara calculando en primer lugar el peso/área para el fondo, costado y cubierta, en función de los espesores del forro, área transversal de los refuerzos, y el espaciamiento entre longitudinales y transversales, como se muestra en la siguiente formula:

$$w = \gamma \left[ t + \frac{A_{TRANS}}{S_{TRANS}} + \frac{A_{LONG}}{S_{LONG}} \right]$$

Donde:  $\gamma$  = Peso específico del acero = 8 ton/m<sup>3</sup> ,

t = espesor

$A_{TRANS}$  = area seccional de los refuerzos transversales,

$A_{LONG}$  = area seccional de los refuerzos longitudinales,

$S_{TRA}$  = espaciamiento entre refuerzos transversales, y,

$S_{LONG}$  = espaciamiento entre refuerzos longitudinales.

Después de esto, se multiplicarán dichos parámetros por las superficies correspondientes, las cuales son calculadas por una subrutina, tomada de [11]. En dicha referencia, la superficie del fondo corresponde al area del casco hasta un calado igual al **25%** del puntal. El peso de la estructura no considera el peso de mamparos y tanques, y se asume además que el tipo de construcción es igual para todo el buque, y los escantillones son uniformes a lo largo de la eslora.

La función objetivo peso (W), incluyendo las variables de diseño definidas, para este proceso es:

$$\begin{aligned}
 W = & \gamma [ t_{FON} + A_{CFON} / S_{TRA} + A_{LFON} / S_{LONFO} ] S_{URFON} + \\
 & \gamma [ t_{COS} + A_{BULA} / S_{TRA} + A_{LCOS} / S_{LONCO} ] S_{URCOS} + \\
 & \gamma [ t_{CUB} + A_{CCUB} / S_{TRA} + A_{LCUB} / S_{LONCU} ] S_{URCUB}
 \end{aligned}$$

Donde:  $\gamma$  = Peso específico del acero =  $8 \text{ ton/m}^3$  ,

$t_{FON}$  = espesor del fondo,

$A_{CFON}$  = Área seccional de las cuernas del fondo,

$A_{LFON}$  = área seccional de los refuerzos longitudinales del fondo,

$S_{URFON}$  = área de la zona del fondo,

$t_{COS}$  = espesor del costado,

$A_{BULA}$  = área seccional de las cuernas del costado,

$A_{LCOS}$  = área seccional de los refuerzos longitudinales del costado,

$S_{URCOS}$  = Área de la zona del costado,

$t_{CUB}$  = espesor de cubierta,

$A_{CCUB}$  = área seccional de los baos,

$A_{LCUB}$  = Área seccional de los refuerzos longitudinales de cubierta,

$S_{URCUB}$  = área de la zona de cubierta,

$S_{TRA}$  = espaciamiento entre refuerzos transversales,

$S_{LONFO}$  = espaciamiento entre refuerzos longitudinales del fondo,

$S_{LONCO}$  = espaciamiento entre refuerzos longitudinales del costado, y,

$S_{LONCU}$  = espaciamiento entre refuerzos longitudinales de cubierta.

La estimación del costo está basada en una detallada evaluación de las operaciones envueltas en la producción de cada elemento estructural. Se propuso un modelo para calcular el costo de producción total ( $F$ ), considerando tres factores referentes a la producción del casco:

- Costo de material ( $f_1$ )
- Costo de mano de obra ( $f_2$ )
- Costo de soldadura ( $f_3$ )

Donde:  $F = f_1 + f_2 + f_3$

En el apéndice se muestra en forma detallada el desarrollo de estos tres items.

Las restricciones utilizadas en trabajos de optimización estructural consideran los modos de falla impuestos por las reglas de clasificación y construcción de buques. El proceso de optimización está requerido para adaptarse a las reglas de la ABS, [1]. La mayor parte de los elementos estructurales actúan simultáneamente como miembros de la viga-buque y como elementos resistentes locales. Planchas y refuerzos longitudinales soportan cargas axiales y además cargas laterales. Debido a que la referencia [1] no menciona nada respecto del pandeo de planchas, fue necesario considerar las reglas del Det Norske Veritas, [7], para establecer limitaciones al problema de diseño sobre este item. Las limitaciones impuestas sobre el diseño en el presente trabajo, se muestran en las tablas X y XI.

La función objetivo costo (F), incluyendo las variables de diseño definidas, para este proceso es:

$$F = C_1 W + (C_{24} C_{26} + C_{28} + C_{25} C_{27}) C_2 + [C_{31} L_{TS} + C_{32} p W]$$

$$C_2 = C_{21} c_{22} / \text{€}$$

Donde: W = peso total de la estructura,

$C_1$  = costo por tonelada de acero,

$C_{24}$  = porcentaje adicional de trabajo para proa,

$C_{26}$  = peso considerado para proa, %W,

$C_{28}$  = peso considerado para cuerpo medio, %W,

$C_{25}$  = porcentaje adicional de trabajo para popa,

$C_{27}$  = peso considerado para popa, %W,

$C_{21}$  = número de semanas de trabajo,

$C_{22}$  = pago por semana,

$C_{23}$  = peso total de la estructura del casco construída,

$C_{31}$  = costo por unidad lineal del cordón de soldadura,

$L_{TS}$  = longitud de soldadura total,

$C_{32}$  = costo del material de soldadura, y,

p = porcentaje del peso de la estructura.

#	DESCRIPCION	MATEMÁTICA	TIPO DE FALLA
1	Espaciamiento entre cuadernas transversales es menor que la distancia entre mamparos transversales	$S_{TRA} < D_{MAMTR}$	Geometria
2	Espaciamiento entre longitudinales del fondo es menor que la semimanga	$S_{LONFO} < B/2$	Geometria
3	Espaciamiento entre longitudinales del costado es menor que el puntal	$S_{LONCO} < D$	Geometria
4	Espaciamiento entre longitudinales del fondo es menor que la semimanga	$S_{LONCU} < B/2$	Geometria
5	Espesor del planchaje del fondo es mayor que el requerido por las reglas	$t_{FON} > t_{FONR}$	Resistencia
6	Espesor del planchaje del costado es mayor que el requerido por las reglas	$t_{COS} > t_{COSR}$	Resistencia
7	Espesor del planchaje de cubierta es mayor que el requerido por las reglas	$t_{CUB} > t_{CUBR}$	Resistencia
8	Espesor del planchaje requerido por las reglas es menor que el calculado, para la condición de quebranto	$t_{FONR} < t_{FON}$	Pandeo
9	Espesor del planchaje requerido por las reglas es menor que el calculado, para la condición de arrufo	$t_{CUBR} < t_{CUB}$	Pandeo

TABLA X.\_ DESCRIPCION DE LAS RESTRICCIONES



#	DESCRIPCION	MATEMATICA	TIPO DE FALLA
10	Módulo seccional requerido por las reglas para el refuerzo longitudinal del fondo es menor que el calculado	$SM_{LER} < SM_{LF}$	Pandeo
11	Módulo seccional requerido por las reglas para el refuerzo longitudinal de cubierta es menor que el calculado	$SM_{LOR} < SM_{LO}$	Resistencia
12	Módulo seccional Viga-Buque requerido por las reglas es menor que el calculado	$SM_{CA} < X_{MOD}$	Resistencia
13	Inercia mínima de refuerzo longitudinal del fondo, en condición de quebranto. El esfuerzo debido a los momentos flectores en olas y aguas tranquilas ( $SIG_{ML}$ ) es menor que el esfuerzo de cedencia ( $SIG_{CR}$ ).	$SIG_{ML} < SIG_{CR}$	Pandeo
14	Inercia mínima de refuerzos longitudinales de cubierta, en cond. de arrufó. El esfuerzo debido a los momentos flectores en olas y aguas tranquilas ( $SIG_{CR}$ ) es menor que el esfuerzo de cedencia ( $SIG_{CR}$ ).	$SIG_{ML} < SIG_{CR}$	Pandeo

TABLA XI, DESCRIPCION DE LAS RESTRICCIONES

Entonces, el problema de optimización para el diseño estructural es minimizar:

$$\bar{X} = [S_{TRA}, S_{LONFO}, S_{LONCO}, S_{LONCU}, t_{FON}, t_{COS}, t_{CUB}, SM_{LF}, SM_{LO}]$$

sujeto a:

$$\bar{p}_r - \bar{p} \leq 0$$

donde:

$\bar{p}$  : valores actuales de  $S_{TRA}$ ,  $S_{LONFO}$ ,  $S_{LONCO}$ ,  $S_{LONCU}$ ,  $t_{FON}$ ,  $t_{COS}$ ,  $t_{CUB}$ ,  $SM_{LF}$ ,  $SM_{LO}$

$\bar{p}_r$  : valor requerido para dichos parámetros por las reglas de [ABS] y [DNV].

### 3.2. Aplicación de COPEs-CONMIN.

El programa COPEs-CONMIN necesita una subrutina de análisis externo que se lo incluye en un archivo que se llamará REGLAS.FOR para el presente trabajo, y es en el cual se basa el esquema de optimización presentado en la figura 8. Dicha subrutina calcula la función objetivo y restricciones.

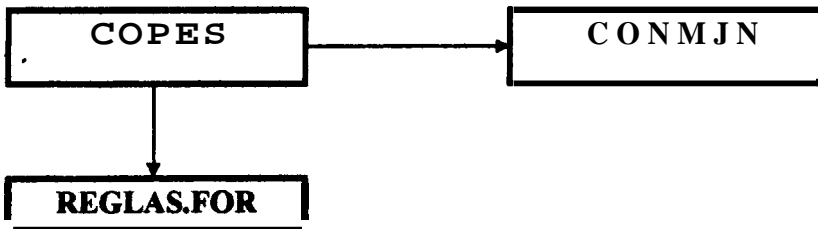


FIGURA 8. \_DIAGRAMA DEL PROGRAMA COPEs-CONMIN

El esquema del archivo REGLAS.FOR es el mostrado en la figura 9.

### SUBROUTINA ANALIZ(ICALC)

#### ICALC = 1

Llamada a subrutina GEOMETR: calculo de superficies para fondo, costado y cubierta.

Definición: sistema de unidades y tipo de construcción, separación de mamparos transversales y longitudinales, y si transporta carga sobre cubierta.

Calculo: resistencia longitudinal requerida Viga-Buque, estructurales de quilla, roda y codaste, momento flector en aguas tranquilas y olas (empleando formulación de DNV).

#### ICALC = 2

Dimensionamiento de la estructura siguiendo reglas de ABS. Calculo de peso de la estructura.

Llamada a subrutina COSTO: cálculo de la función costo de la construcción.

Llamada a subrutina MSVGBQ: calculo del modulo seccional de la viga buque con los valores actuales.

Calculo de las restricciones.

#### ICALC = 3

Impresion de resultados de las variables independientes, funcion objetivo, y restricciones del problema de diseño.

FIG. 9.\_ ESQUEMA DEL ARCHIVO REGLAS.FOR

Para la definición en el COMMON\GLOBCM, primero se incluyen las variables, luego la función objetivo, restricciones, y finalmente todos los parámetros que crea el usuario se deberán incluir. Este comando puede almacenar hasta 1500 elementos.

COMMON\GLOBCM X<sub>1</sub>,X<sub>2</sub>,..., X<sub>N</sub>, F(  $\bar{X}$  ), G(  $\bar{X}$  ), . . . , DUMMY(1500-,F( $\bar{X}$ ),G(  $\bar{X}$  ))

donde:  $\bar{X} = X_1, X_2, \dots, X_N$ : vector de variables de diseño

F(  $\bar{X}$  ): función objetivo

G(  $\bar{X}$  ): vector de restricciones

DUMMY(1500-,F(  $\bar{X}$  ),G(  $\bar{X}$  )): arreglo conteniendo los restantes parámetros

La ubicación de cada variable en el COMMON se especifica en el archivo de datos.

Sumando el número de elementos X , F(  $\bar{X}$  ), G(  $\bar{X}$  ) y DUMMY, debe igualarse a 1500.

En el apéndice se presenta un listado del programa fuente de esta subrutina.

### 3.3. Implementación del proceso.

El paquete de optimización COPES-CONMM, [18], ha sido usado en este trabajo. El método de optimización que se emplea es la de la Dirección Factible de Zoutendijk. El esquema de diseño del proceso esta mostrado en la figura 10. El proceso se inicia con la llamada por parte del programa principal (COPES), a la subrutina CONMIN, que procesa y determina la dirección a cambiar para disminuir

la función objetivo y además es la encargada de la lectura de datos de entrada, almacenados en un archivo (COPREG.DAT). En este archivo se definen los valores inferiores, superiores e iniciales para las variables de diseño y las restricciones, tipo de impresión del problema considerado entre otros datos. Seguido a esto, llamará a la subrutina externa ANALIZ(ICALC) incluida en el archivo REGLAS.FOR, vease figura 10. En esta subrutina se incluye el cálculo del dimensionamiento siguiendo las reglas de ABS y DNV, evalúa el peso y costo de la estructura, y luego evalúa las restricciones. Esta subrutina se concatenará con la subrutina GEOMETR [11], la cual efectuará el cálculo de las superficies del casco a partir de la lectura de la tabla de puntos de las formas de la embarcación seleccionada para el proceso, y, MSVGBQ, para calcular el módulo seccional de la viga bque. Este proceso continúa hasta que CONMIN, determina que no hay dirección factible para disminuir la función objetivo.

COPES, creará un archivo de resultados, cuyo nombre debe ser especificado por el usuario, donde se imprimirán los valores encontrados durante el proceso de optimización, tales como, dimensiones principales, variables de diseño, función objetivo, módulos seccionales de refuerzos, superficies de la embarcación, etc.



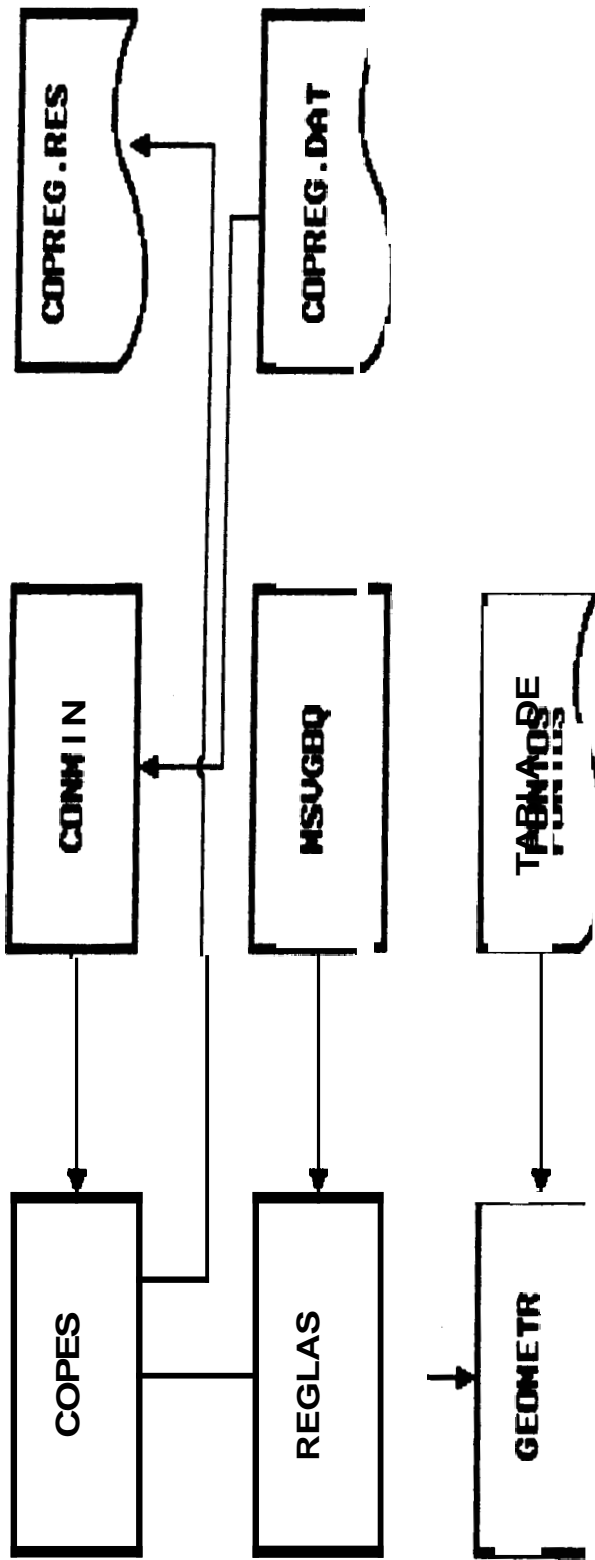


FIG. 10.- IMPLEMENTACION DEL PROCESO

## CAPITULO IV

### EJEMPLO DE LICACION.

#### 4.1. Descripción de la embarcación analizar.

La estructura de un buque de transporte de pasajeros operando en las Islas Galapagos es seleccionado para demostrar las potencialidades del método desarrollado en esta tesis, debido a la diferencias existentes en lo que se refiere al sistema de construcción y escantillonado encontrado en embarcaciones ya construidas en el medio, vease tablas en el apéndice.

Para generar el plano de líneas de formas de la embarcación se utilizó el programa GENFORMS, [12], donde a partir de dimensiones principales y pendientes de curvas se llega al objetivo propuesto. El programa genera las **formas** asumiendo los segmentos entre la quilla, las chinas y la cubierta como líneas rectas.

Las dimensiones principales y algunas características hidrostáticas son:

• Eslora total .....	30.0 m.
• Manga .....	7.42m.
• Puntal .....	3.57m.
• Calado .....	2.36 m.
• Coeficiente Bloque .....	0.84
• Superficie del fondo .....	88.14 m <sup>2</sup>
• Superficie del Costado .....	237.76m <sup>2</sup>
• Superficie de Cubierta .....	199.09m <sup>2</sup>

El plano de secciones transversales y vista en perfil y planta se muestran a continuación:



PERFIL DE LAS CHIRRS  
B/TURISTICO

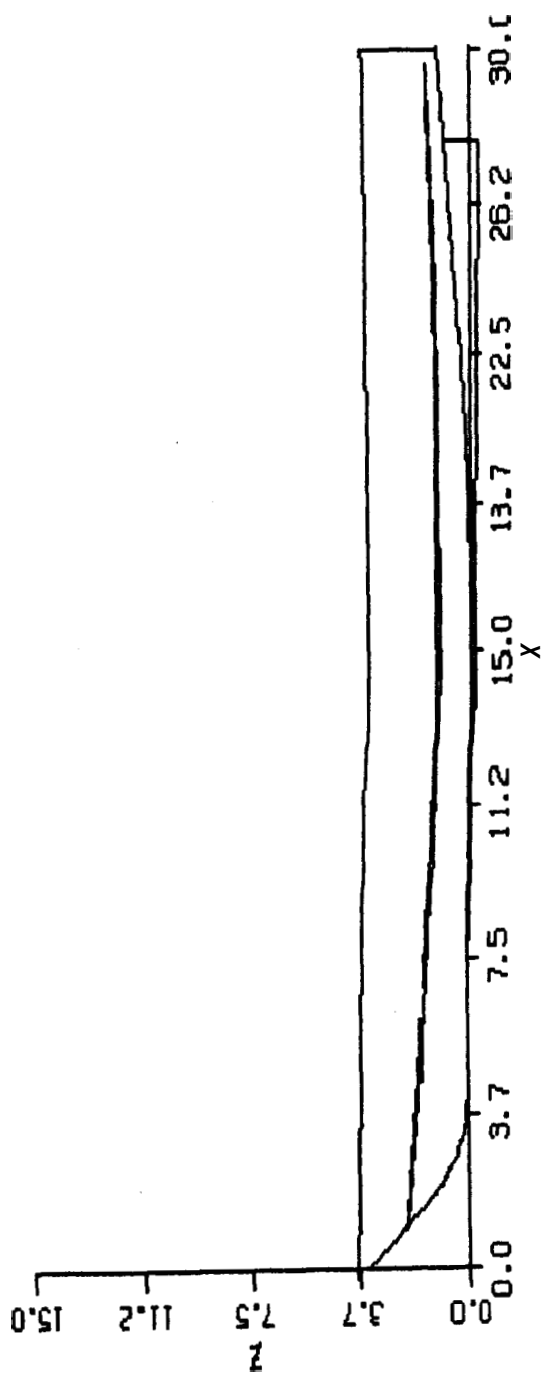


FIG. 11.\_ PLANO DEL PERFIL DE LA EMBARCACION

VISTA EN PLANTA DE LAS CHINAS  
B/TURISTICO

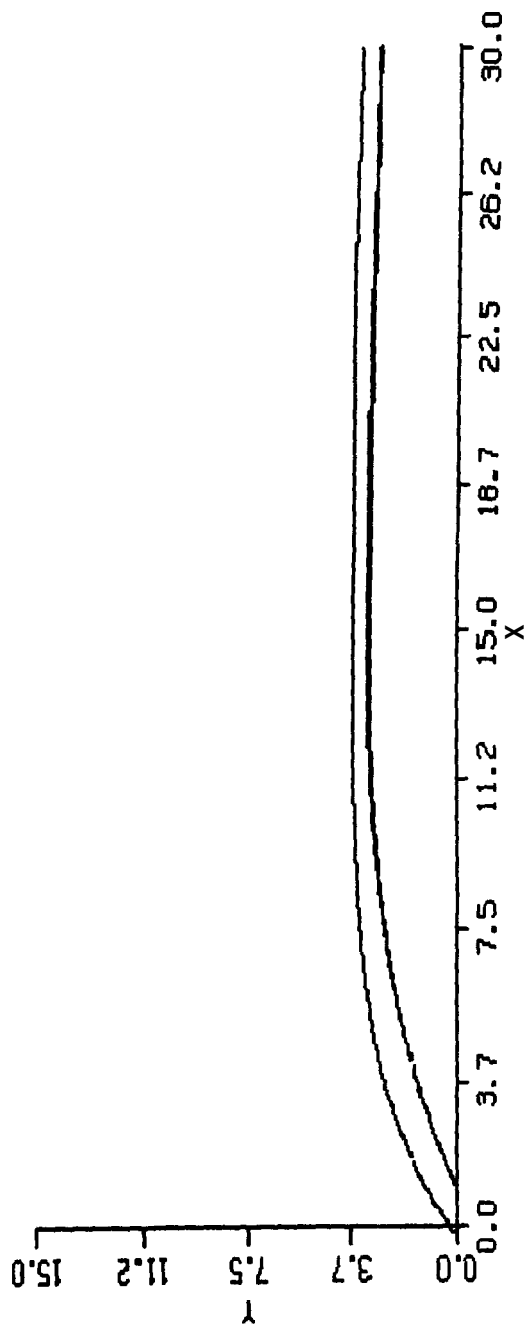


FIG 12 - PLANO DE LA VISTA EN PLANTA DE LA EMBARCACION

CUADRO DE ESTACIONES,  
B/TURISTICO

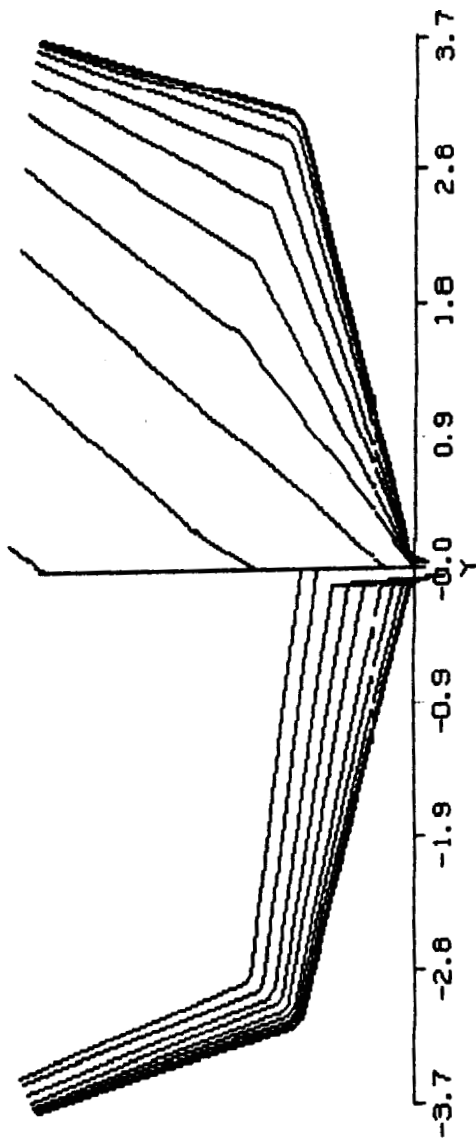


FIG 13. PLANO SECCION TRANSVERSAL DE LA EMBARCACION

#### 4.2. Aplicación del Proceso de Optimización Estructural.

Una vez generadas las líneas de formas se procede a ejecutar el programa de optimización, para lo cual es necesario preparar un archivo de entrada de datos que contiene entre otra información los límites inferior, superior y los valores iniciales, para las variables de diseño y restricciones, las cuales se muestran a continuación:

VARIABLES	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
$S_{TRA}$	0.152 m. ( 0.5 pies )	6.096 m. ( 20.0 pies )
$S_{LONFO}$	0.03048 m. ( 0.1 pies )	7.620 m. ( 25.0 pies )
$S_{LONCO}$	0.03048 m. ( 0.1 pies )	7.620 m. ( 25.0 pies )
$S_{LONCU}$	0.03048 m. ( 0.1 pies )	7.620 m. ( 25.0 pies )
$t_{FON}$	3.988 mm. ( 0.157 pulg. )	12.70mm. ( 0.500 pulg. )
$t_{COS}$	3.988 mm. ( 0.157 pulg. )	12.70mm. ( 0.500 pulg. )
$t_{CUB}$	3.988 mm. ( 0.157 pulg. )	12.70mm. ( 0.500 pulg. )
$S_{MLF}$	1.639 m <sup>3</sup> ( 0.1 pulg <sup>3</sup> )	819.35m <sup>3</sup> ( 50.0 pulg <sup>3</sup> )
$S_{MLO}$	1.639m <sup>3</sup> ( 0.1 pulg <sup>3</sup> )	819.35 m <sup>3</sup> ( 50.0 pulg <sup>3</sup> )
Restricciones	$-2 \times 10^5$	0

**TABLA XII.\_ LÍMITES DE VARIABLES DE DISEÑO Y RESTRICCIONES**

Para la estimación de la función objetivo peso, como se menciona en 3.1, se consideran tres factores de costo: material, mano de obra y soldadura. Dentro de estos factores, existen constantes que se considerarán para este trabajo, tales como semanas

de trabajo, pago a trabajadores, costo de la tonelada de acero, etc., lo cual se muestra en el apéndice.

Los valores óptimos de las variables obtenidas para este trabajo son:

VARIABLE	DISEÑO MENOR COSTO	DISEÑO MENOR PESO
$S_{TRA}$	0.40 m. ( 1.30 pies)	1.01 m. ( 3.30 pies)
$S_{LONFO}$	0.49 m. ( 1.60 pies)	0.25 m. ( 0.830 pies)
$S_{LONCO}$	0.25 m. ( 0.83 pies)	0.25 m. ( 0.830 pies)
$S_{LONCU}$	0.55 m. ( 1.80 pies)	0.26 m. ( 0.860 pies)
$t_{FON}$	5.84 mm. ( 0.230 pulg.)	3.99 mm. ( 0.157 pulg.)
$t_{COS}$	3.99 mm. ( 0.157 pulg.)	3.99 mm. ( 0.157 pulg.)
$t_{CUB}$	5.84 mm. ( 0.230 pulg.)	3.99 mm. ( 0.157 pulg.)
$S_{MLF}$	37.69 cm <sup>3</sup> ( 2.30 pulg <sup>3</sup> .)	6.52 cm <sup>3</sup> ( 0.398 pulg <sup>3</sup> .)
$S_{MLO}$	31.14 cm <sup>3</sup> ( 1.90 pulg <sup>3</sup> .)	3.98 cm <sup>3</sup> ( 0.243 pulg <sup>3</sup> .)
Funcion Objetivo	0.26 x 10 <sup>9</sup> sucres	29.50 tons.
Numero Ref. Long. Fondo	6	13
Número Ref. Long. Costado	7	7
Número Ref. Long. Cubierta	5	12

**TABLA XIII.\_ VALORES OPTIMOS DE LAS VARIABLES**

Para comprobar la convergencia del proceso fue necesario inicializar el proceso con diferentes valores para las variables de diseño, para las funciones objetivo peso y costo. Los resultados se grafican en función de la iteración para las variables de diseño, como se muestran en los siguientes gráficos:

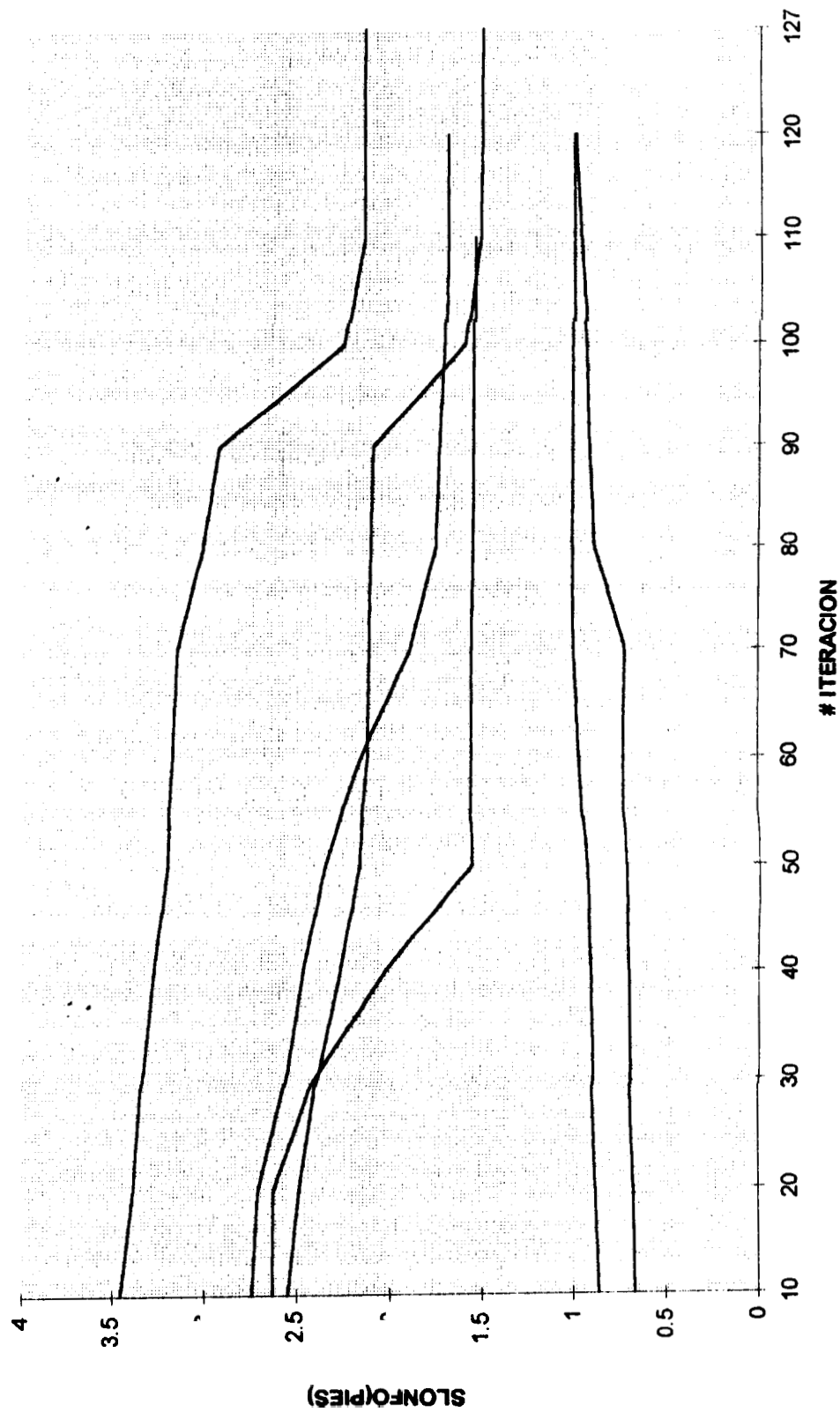


FIG.14 \_ CONVERGENCIA ESPAC. LONG. FONDO (SLONFO)  
F.O. COSTO

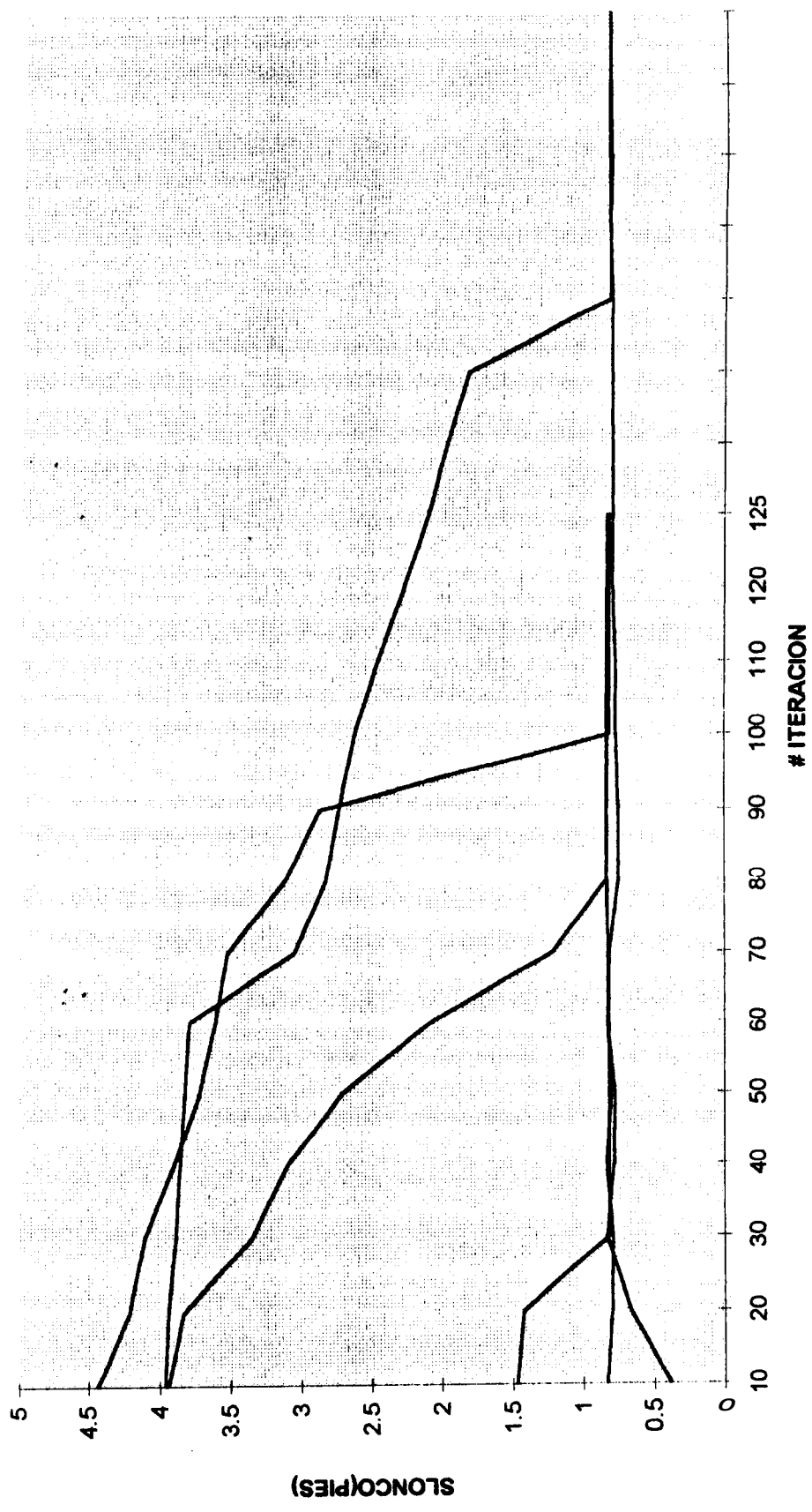


FIG. 15.\_CONVERGENCIA ESPAC. LONG. COSTADO (SLONCO) - F.O. COSTO



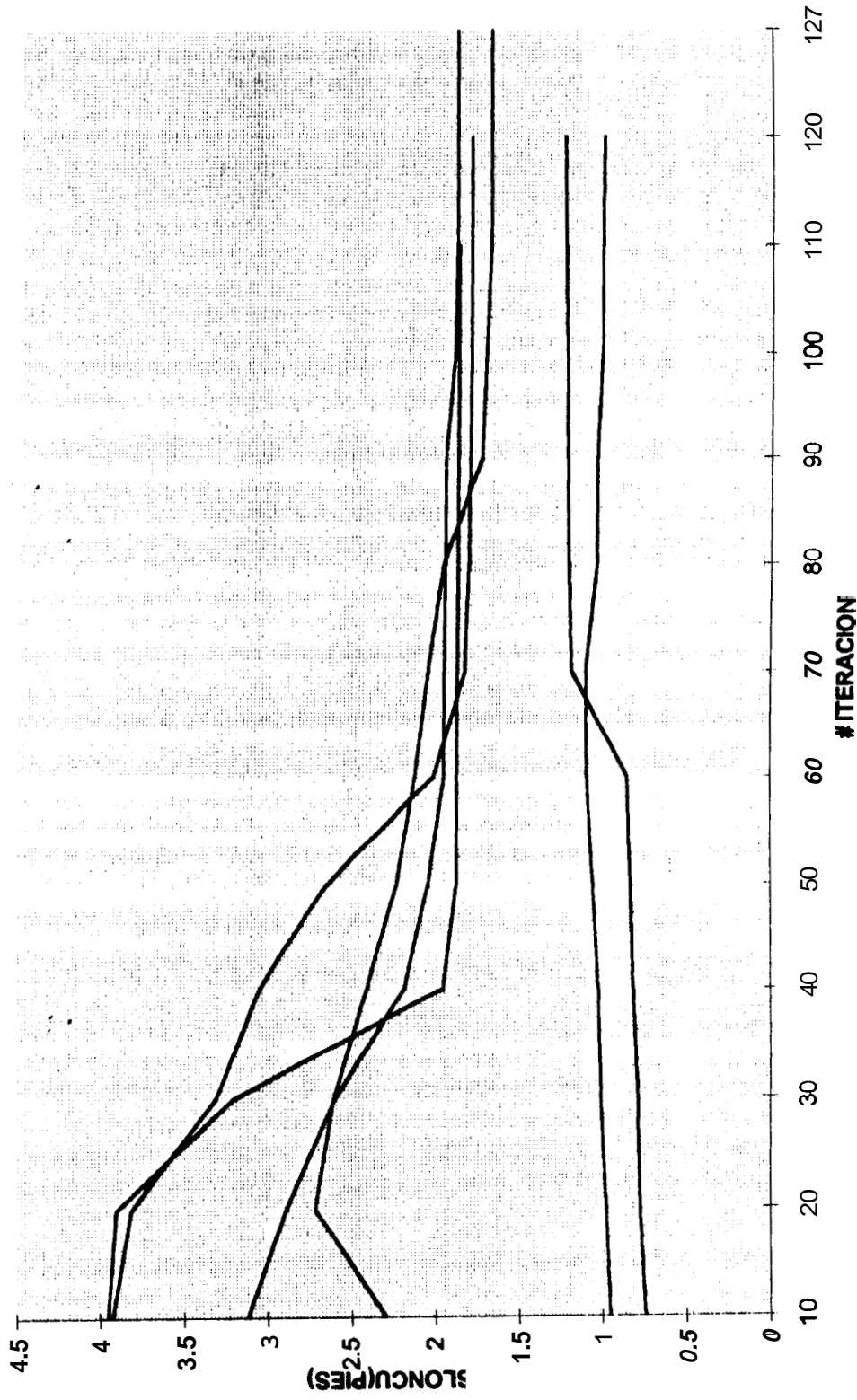


FIG. 16.\_ CONVERGENCIA ESP. LONG. CUBIERTA (SLONCUJ)- F.O. COSTO



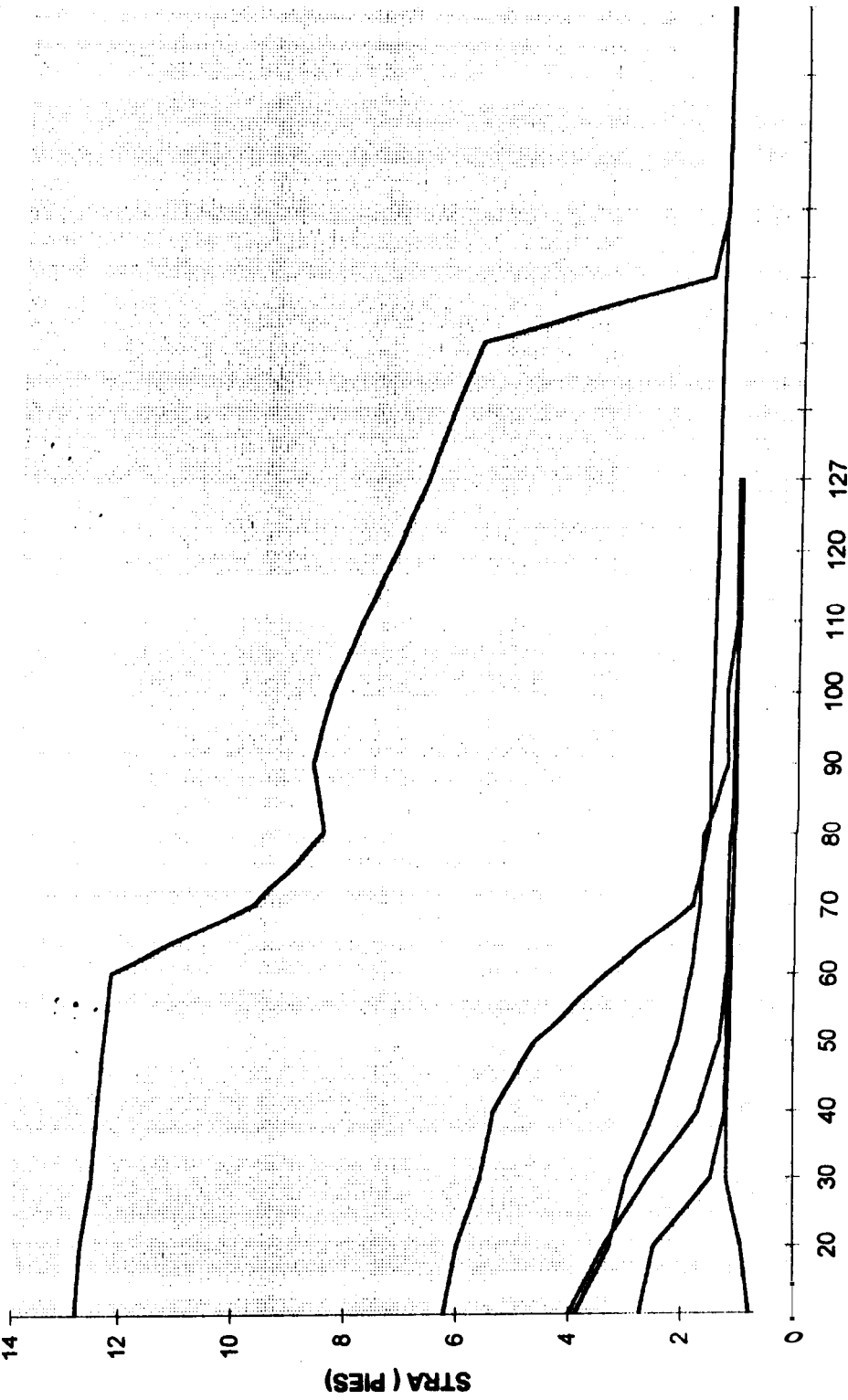


FIG. 17 . \_ CONVERGENCIA ESPAC. TRANSVERSALES (STRA) - F.O. COSTO

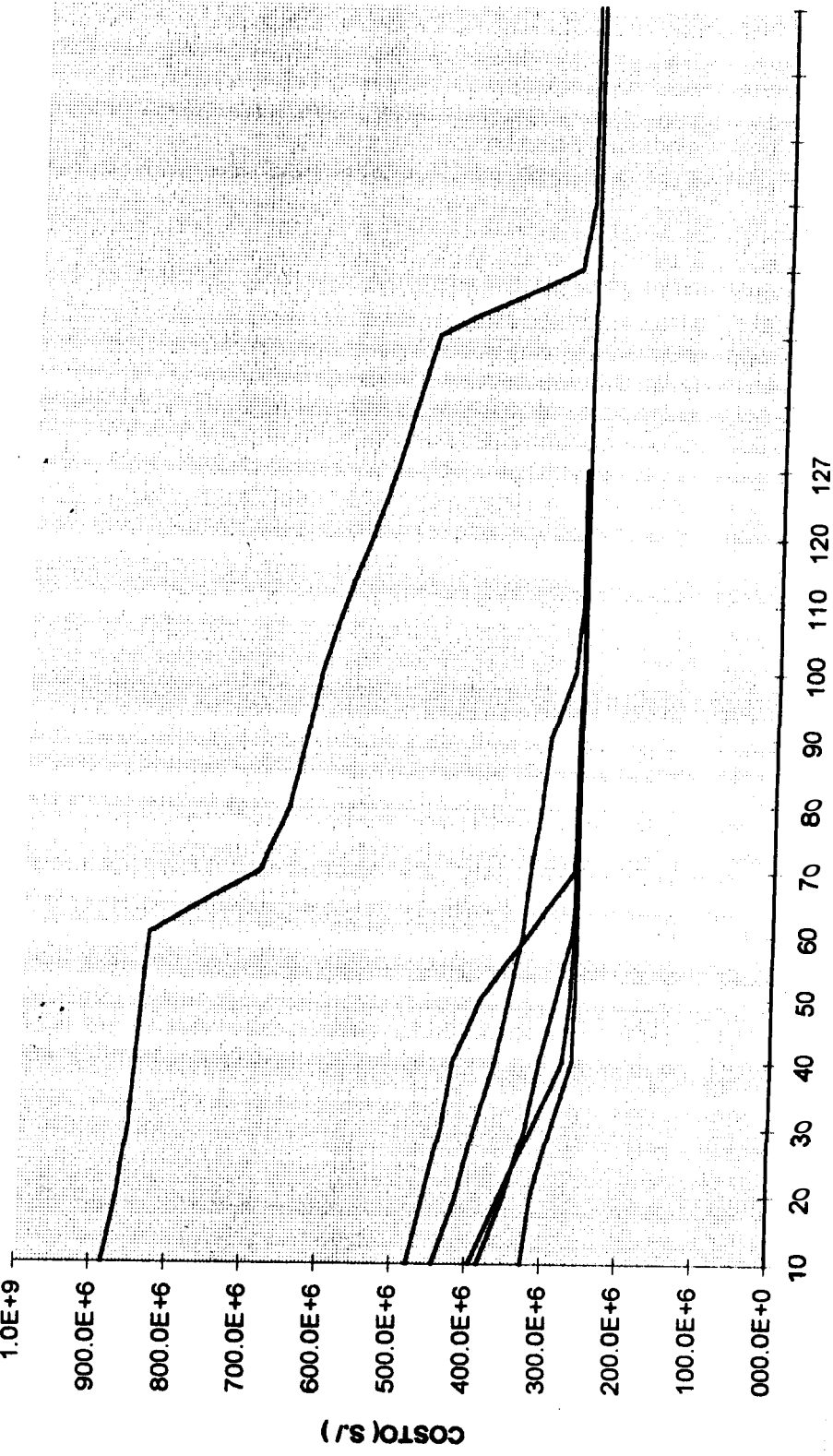


FIG. 18 .- CONVERGENCIA DE LA FUNCION OBJETIVO COSTO

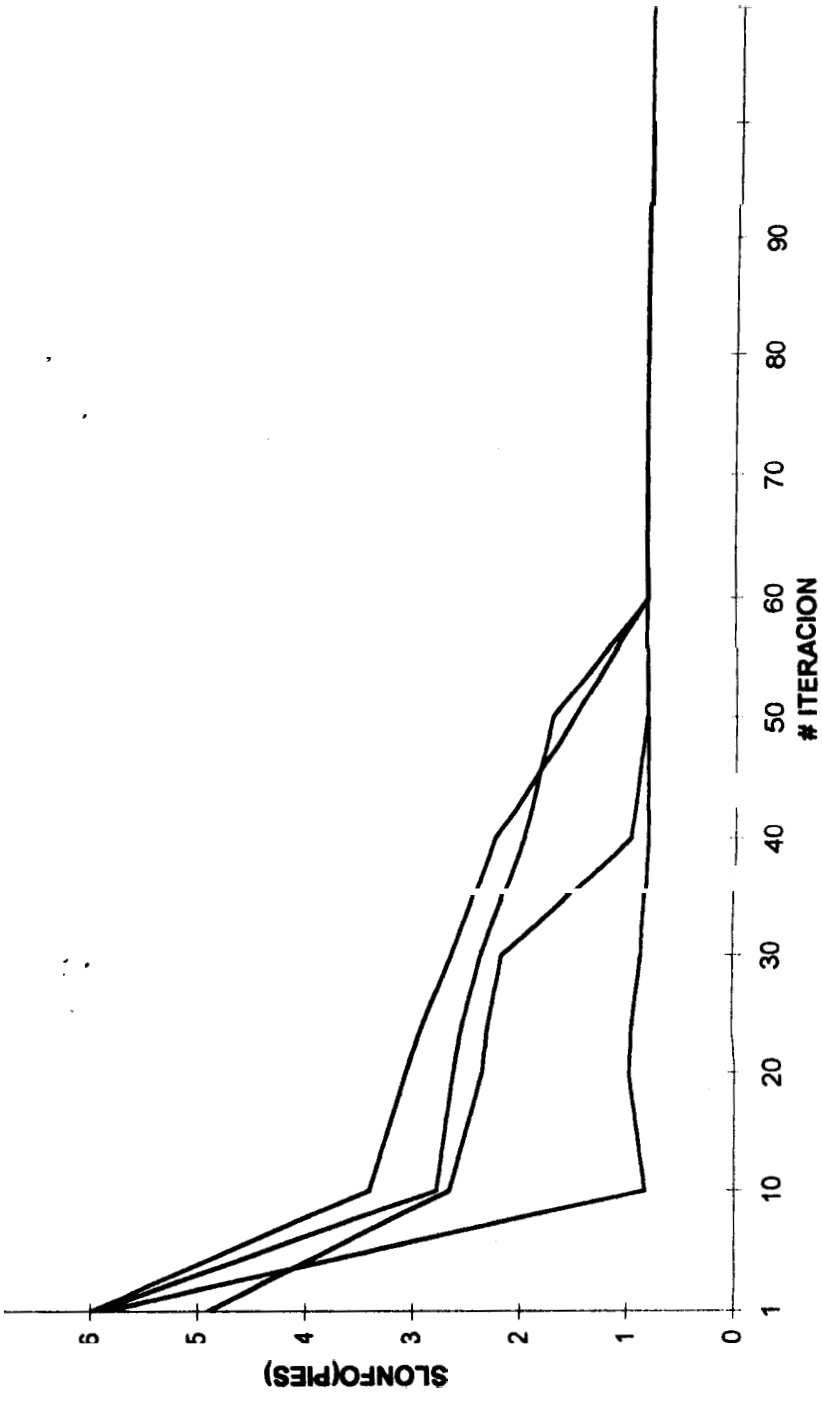


FIG. 19. - CONVERGENCIA ESPAC. LONG. FONDO ( SLONFO )  
EN PESO

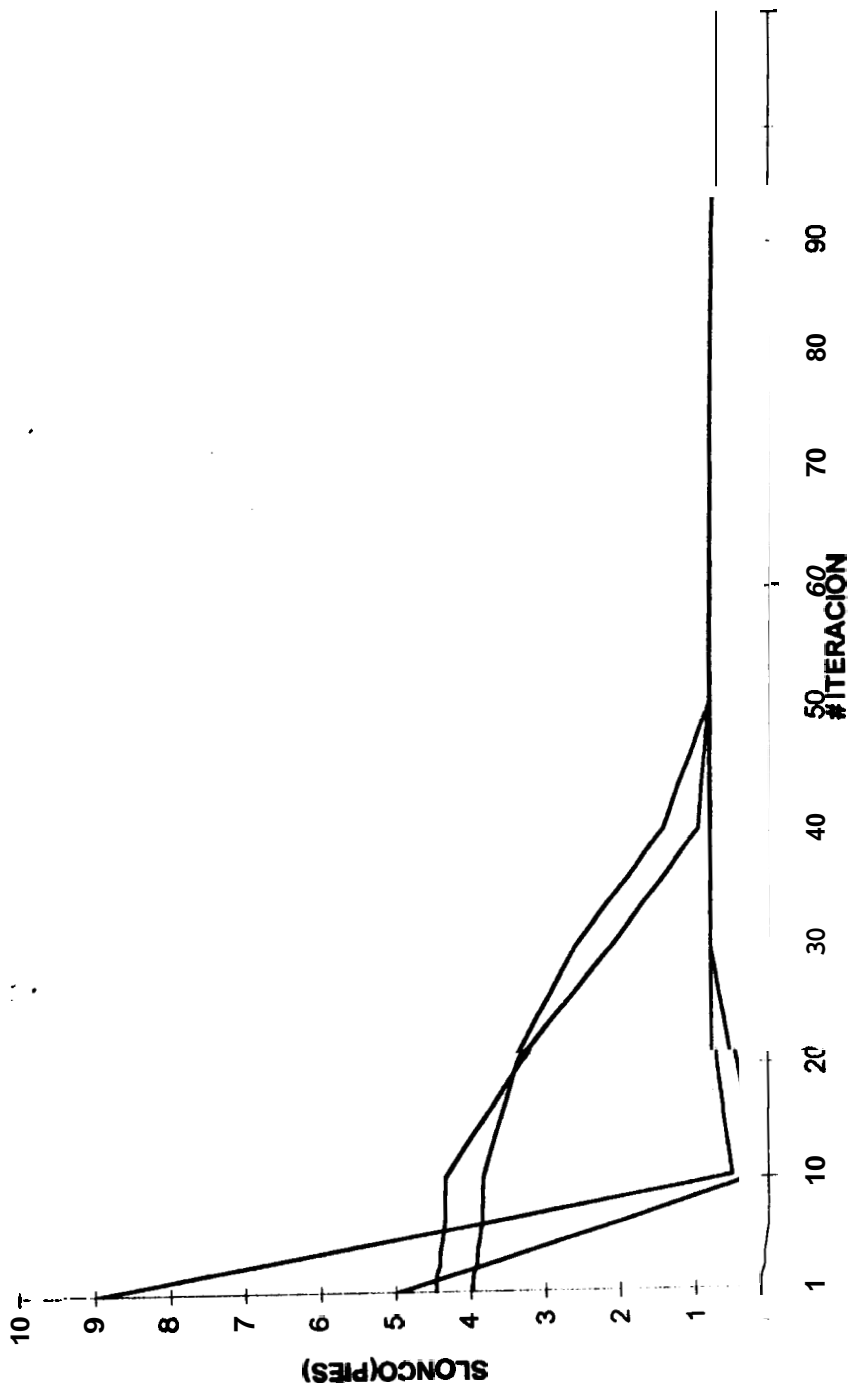
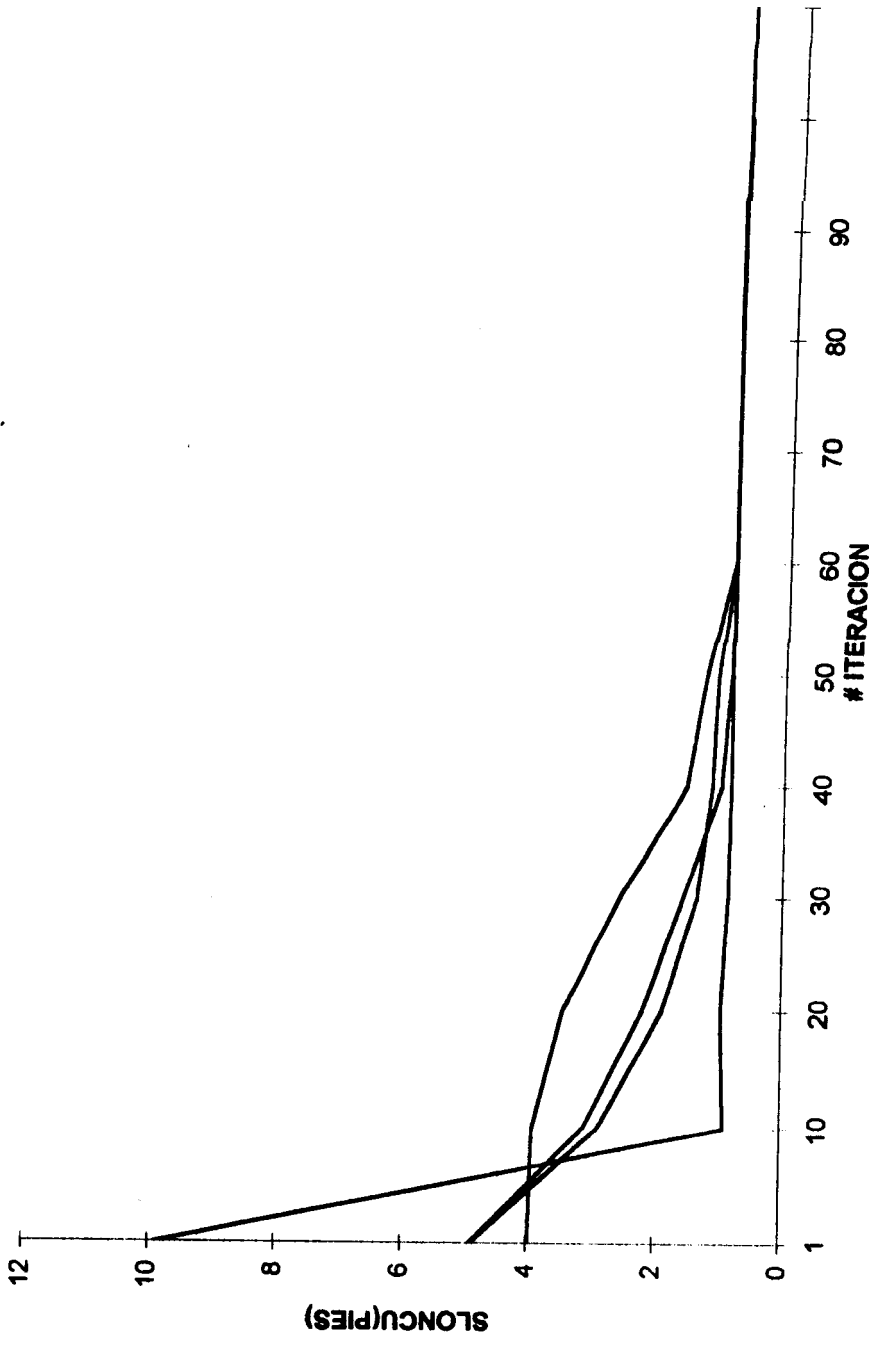


FIG 20 \_ CONVERGENCIA ESPAC LONG. COSTADO ( SLONCO )  
F.O. PESO



**FIG. 21.\_ CONVERGENCIA ESPAC. LONG. CUBIERTA ( SLONCU )  
F.O. PESO**

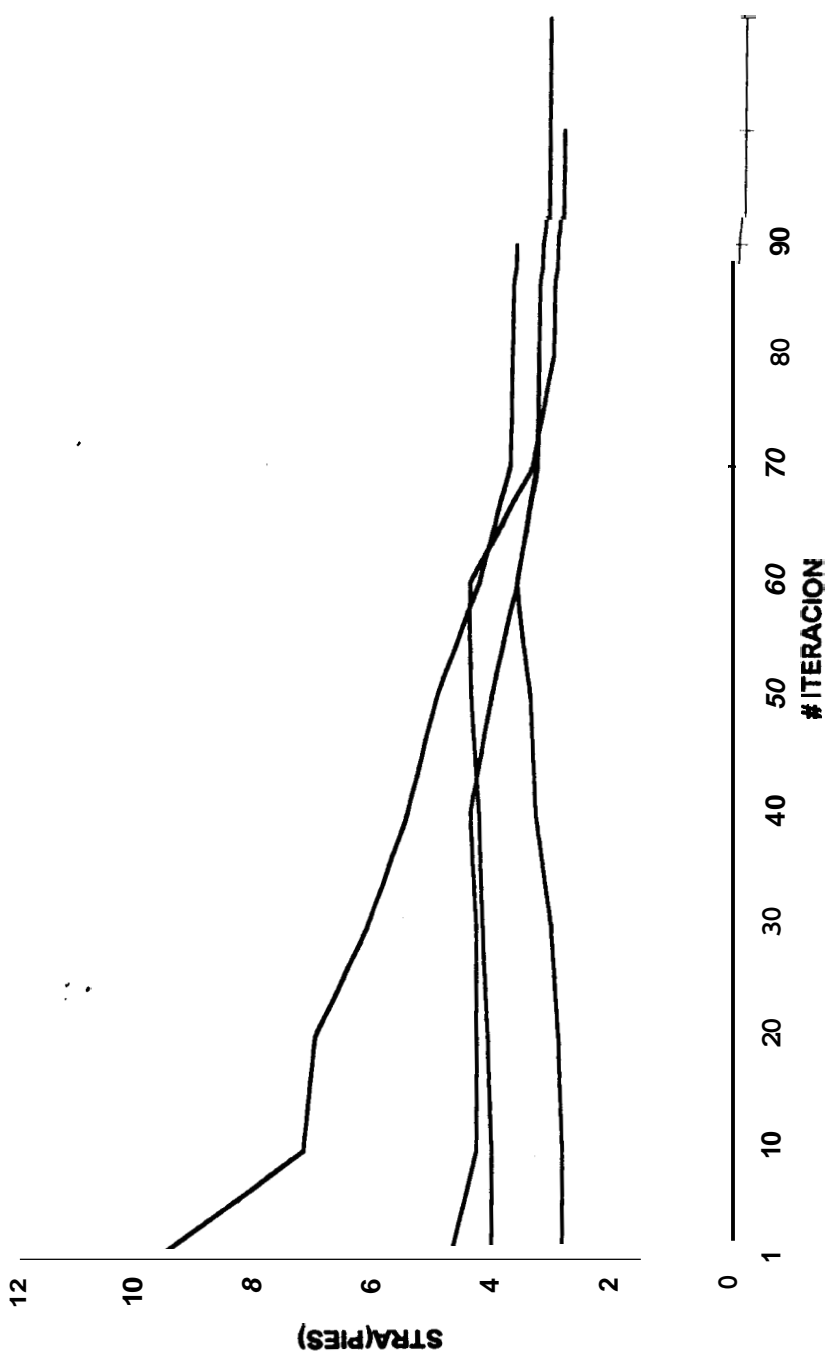


FIG. 22 . \_ CONVERGENCIA ESPAC. TRANSVERSALES ( STRA )  
F.O. PESO

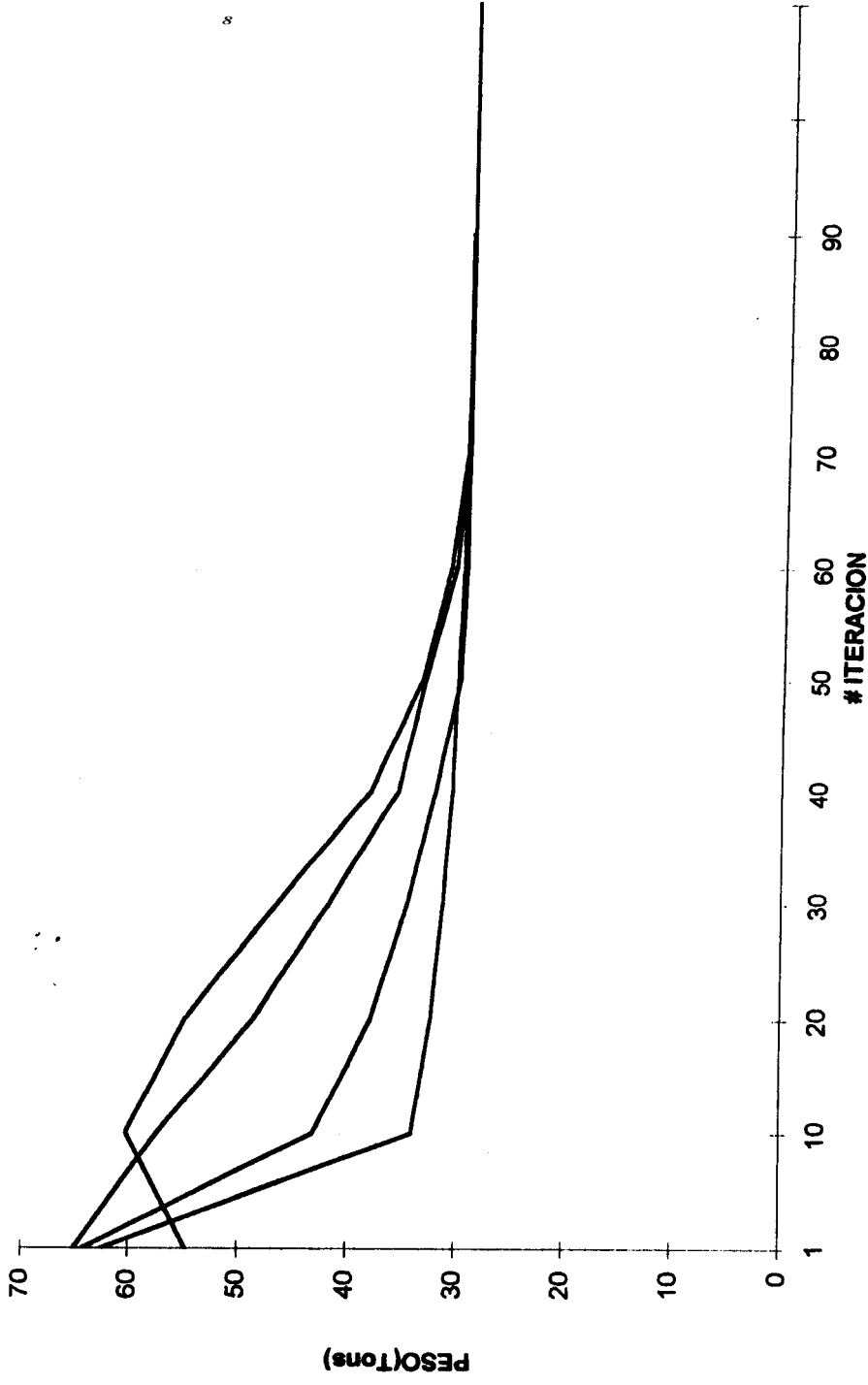


FIG. 23 .- CONVERGENCIA DE LA FUNCION OBJETIVO PESO

VARIABLES	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.	V.L	V.O.
S <sub>TRA</sub> (pies)	5.0	3.302	9.0	3.051	10.0	3.74	12.0	8.626	3.0	3.295	5.0	2.061						
S <sub>LONFO</sub> (pies)	5.0	0.829	8.0	0.824	6.00	0.830	10.0	1.055	6.0	0.832	9.0	2.134						
S <sub>LONCO</sub> (pies)	5.0	0.834	5.0	0.825	9.0	0.834	4.0	0.830	4.0	0.834	7.0	1.929						
S <sub>LONCU</sub> (pies)	5.0	0.859	7.0	0.851	10.0	0.867	8.0	0.866	4.0	0.867	9.0	2.014						
t <sub>RON</sub> (pulg.)	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.178	0.20	0.157	0.20	0.279						
t <sub>cos</sub> (pulg.)	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.258						
t <sub>CUB</sub> (pulg.)	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.254						
S <sub>M<sub>LF</sub></sub> (pulg <sup>3</sup> )	2.0	0.398	2.0	0.337	2.0	0.512	2.0	3.859	2.0	0.398	2.0	2.055						
S <sub>M<sub>Lo</sub></sub> (pulg <sup>3</sup> )	2.0	0.243	2.0	0.206	2.0	0.315	2.0	1.672	2.0	0.244	2.0	2.042						
PESO (Ton.)		29.43		29.41		29.56		33.61		29.42		42.19						
NUM. REFUERZOS FONDO		13		13		13		10		13		4						
NUM. REFUERZOS COSTADO		7		7		7		7		7		3						
NUM. REFUERZOS CUBIERTA		12		12		12		12		12		4						
NUMERO ITERACIONES		90		92		89		189		107		118						
RESTRICCTONES ACTIVAS		6-10-11		10 - 11		5-6-7-10-11		5-6-7-11		5-6-7-10-11		6 - 9						
RESTRICCTIONES VIOLADAS		--		--		--		--		--		--						

VI VALORINICIAL

**TABLA XIV.\_ REGISTRO OE VALORES FUNCION OBJETIVO PESO**



VARIABLES	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.	V.I.	V.O.
S <sub>TRA</sub> (pies)	5.0	1.061	9.0	1.115	10.0	1.34	12.0	1.37	3.0	1.098	5.0	1.099		
S <sub>LONFO</sub> (pies)	5.0	1.508	8.0	2.146	6.00	0.982	10.0	1.145	6.0	1.693	9.0	1.545		
S <sub>LONCO</sub> (pies)	5.0	0.830	5.0	0.816	9.0	0.830	4.0	0.832	4.0	0.834	7.0	0.832		
S <sub>LONCU</sub> (pies)	5.0	1.882	7.0	1.678	10.0	0.960	8.0	1.203	4.0	1.794	9.0	1.870		
t <sub>FOR</sub> (pulg.)	0.20	0.22	0.20	0.278	0.20	0.174	0.20	0.188	0.20	0.237	0.20	0.224		
t <sub>OS</sub> (pulg.)	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157	0.20	0.157		
t <sub>CUB</sub> (pulg.)	0.20	0.228	0.20	0.220	0.20	0.168	0.20	0.168	0.20	0.227	0.20	0.229		
S <sub>MLF</sub> (pulg. <sup>3</sup> )	2.0	2.139	2.0	2.278	2.0	2.752	2.0	4.675	2.0	1.929	2.0	1.952		
S <sub>MLO</sub> (pulg. <sup>3</sup> )	2.0	1.845	2.0	2.245	2.0	1.561	2.0	2.672	2.0	1.612	2.0	1.859		
COSTO MATERIAL (S/.)		0.941x 10 <sup>8</sup>		0.96 x 10 <sup>8</sup>		0.887x10 <sup>8</sup>		0.931x10 <sup>8</sup>		0.94x10 <sup>8</sup>		0.94x10 <sup>8</sup>		
COSTO MANO OBRA (S/.)		0.421x 10 <sup>8</sup>		0.431x10 <sup>8</sup>		0.398 x10 <sup>8</sup>		0.417x10 <sup>8</sup>		0.421x10 <sup>8</sup>		0.421x10 <sup>8</sup>		
COSTO SOLDADURA (S/.)		0.124x 10 <sup>8</sup>		0.124x 10 <sup>8</sup>		0.128 x10 <sup>8</sup>		0.129x10 <sup>8</sup>		0.124x10 <sup>8</sup>		0.124x10 <sup>8</sup>		
COSTO PROMEDIO CASCO (S/.)		0.26 x 10 <sup>9</sup>		0.264x 10 <sup>9</sup>		0.257 x10 <sup>9</sup>		0.263x10 <sup>9</sup>		0.260x10 <sup>9</sup>		0.260x10 <sup>9</sup>		
NUM. REF. FONDO		7		4		11		9		6		6		
NUM. REF. COSTADO		7		7		7		7		7		7		
NUM. REF. CUBIERTA		5		6		10		8		5		5		
NUMERO ITERACIONES		127		125		200		200		117		110		
RESTRICCIONES ACTIVAS		5-6-8-9		5-9		6-8		6-8		5-6-9		6-8-9		
RESTRICCIONES VIOLADAS		--		--		--		--		--		--		

V.I.: VALOR INICIAL

V.O.: VALOR OPTIMIZADO

TABLA XV.\_ REGISTRO VALORES FUNCION OBJETIVO COSTO

### 4.3– Análisis de Resultados.

En las tablas **XIV** y **XV** se resumen los diferentes valores iniciales y optimos encontrados durante el proceso de optimización para las funciones objetivo **peso** y **costo**.

Las restricciones activas que se presentaron con mayor frecuencia durante los procesos para las funciones objetivo **peso** y **costo** se resumen en las tablas **XVI** y **XVII**.

#	RESTRICCION ACTIVA	TIPO DE FALLA
6	Espesor del planchaje del costado ( $t_{COS}$ ) es mayor que el requerido por las reglas ( $t_{COSR}$ )	Resistencia
8	Espesor del planchaje requerido por las reglas ( $t_{FONR}$ ) es menor que el calculado ( $t_{FON}$ ), para la condicion de quebranto	Pandeo
9	Espesor del planchaje requerido por las reglas ( $t_{CUBR}$ ) es menor que el calculado ( $t_{CUB}$ ), para la condicion de <b>arrufo</b>	Pandeo
5	Espesor del planchaje del fondo ( $t_{FON}$ ) es mayor que el requerido por las reglas ( $t_{FONR}$ )	Resistencia

**TABLA XVI . \_ RESTRICCIONES ACTIVAS DURANTE EL PROCESO DE OPTIMIZACION – F.O. COSTO**

#	RESTRICCION ACTIVA	TIPO DE FALLA
11	Módulo seccional requerido por las reglas ( $SM_{LOR}$ ) para el refuerzo longitudinal de cubierta es menor que el calculado ( $SM_{LO}$ )	Resistencia
6	Espesor del planchaje del costado ( $t_{COS}$ ) es mayor que el requerido por las reglas ( $t_{COSR}$ )	Resistencia
10	Modulo seccional requerido por las reglas ( $SM_{LFR}$ ) para el refuerzo longitudinal del fondo es menor que el calculado ( $SM_{LF}$ )	Pandeo
7	Espesor del planchaje de cubierta ( $t_{CUB}$ ) es mayor que el requerido por las reglas ( $t_{CUBR}$ )	Resistencia
5	Espesor del planchaje del fondo ( $t_{FON}$ ) es mayor que el requerido por las reglas ( $t_{FONR}$ )	Resistencia
9	Espesor del planchaje requerido por las reglas ( $t_{CUBR}$ ) es menor que el calculado ( $t_{CUB}$ ), para la condición de arrufo	Pandeo
8	Espesor del planchaje requerido por las reglas ( $t_{FONR}$ ) es menor que el calculado ( $t_{FON}$ ), para la condición de quebranto	Pandeo

**TABU XVII . \_ RESTRICCIONES ACTIVAS DURANTE EL PROCESO DE OPTIMIZACION - F.O. PESO**

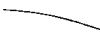
Para el caso de la función objetivo peso, las restricciones activas fueron seis, y la de mayor importancia fue la número once, que se refiere al valor del módulo seccional requerido para el refuerzo longitudinal de cubierta.

Para el caso de la función objetivo costo, las restricciones activas fueron cuatro, y la presentada con mayor frecuencia fue la número seis, refiriéndose al espesor del planchaje del costado para el caso de resistencia.

Debemos notar que la restricción que se refiere a la resistencia del módulo seccional de la Viga-Buque no fue una restricción activa durante los procesos. Esto es algo esperado, dado que debido a la baja eslora, los momentos flectores son pequeños.

De acuerdo a lo que se muestra en la tabla XV, el factor de mayor importancia de los tres componentes de la función objetivo costo durante el proceso, fue el de soldadura. Representa el 48% del costo promedio del casco, mientras que el costo del material y mano de obra que corresponden al 36% y 16% respectivamente, del costo total.

Observando las figuras descritas en 4.2, para el caso de la función objetivo peso, podemos mencionar que el espaciamiento entre transversales no llega a un valor "exacto óptimo" durante las evaluaciones, sin embargo, la convergencia ocurre con cierta variación en el valor optimizado, a pesar de aquello, esto no influye en el valor final del peso calculado como puede verse en la figura 23. En lo que se refiere a los espaciamientos de longitudinales, en estos se nota una mejor convergencia en este proceso, como se muestra en las figuras 19, 20 y 21.



Con respecto al análisis empleando la función objetivo costo, se observa cierta divergencia para el caso del espaciamiento de longitudinales del fondo ( $S_{LONFO}$ ) y cubierta ( $S_{LONCU}$ ), lo cual no ocurre con el espaciamiento de los longitudinales del costado ( $S_{LONCO}$ ) y transversales ( $S_{TRA}$ ) donde la convergencia ocurre con mayor frecuencia. La divergencia que se presenta para este caso, tampoco influye finalmente significativamente en la función objetivo, ya que según se observa en la **figura 18**, si se produce la convergencia de **Csta**.

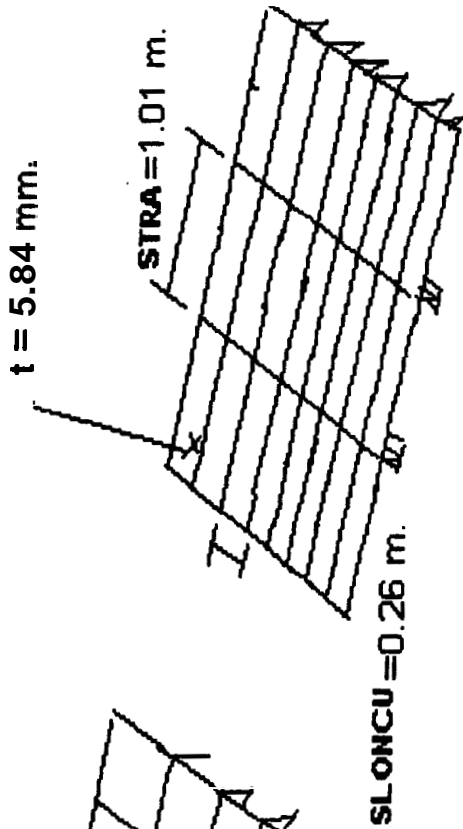
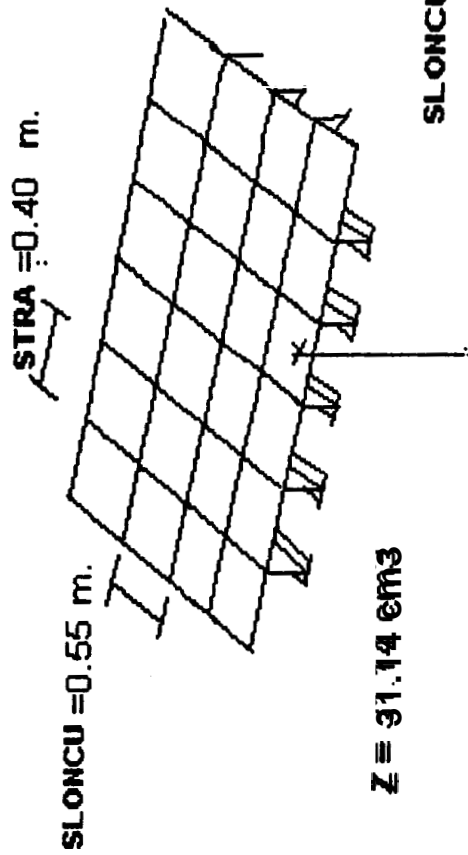
De acuerdo a los valores óptimos encontrados podemos notar diferencias para las funciones **definidas** en el proceso. En el **caso** del panel de cubierta, un mayor espaciamiento entre transversales y correspondiente menor valor del módulo seccional de los refuerzos para el caso del **peso**. Cuando se tiene el costo como función objetivo se tiene un mayor número de refuerzos, y menores espesores para los planchajes, como se muestra en la **figura 24**.

Estos **dos** diseños difieren notablemente en **sus** amplias razones de rango de trabajo al precio del material. El valor de esta razón puede significativamente influenciar el diseño óptimo.

Existen variables de diseño que no convergen para una función objetivo analizada, sin embargo la combinación de ellas produce la convergencia de la objetivo, como se muestra en las **figuras 18 y 23**.

F.O. COSTO

F.O. PESO



$t = 3.99 \text{ mm}$ .

$Z = 3.98 \text{ cm}^3$

FIG. 24.\_ COMPARACION DE DISEÑOS OPTIMOS SEGUN LA FUNCION OBJETIVO

Finalmente en la siguiente tabla se comparan los valores encontrados para los procesos seguidos de las funciones objetivo, **peso** o **costo**, con los datos obtenidos de una embarcación construida, (L/psj. CORAL), vease el apéndice.

<b>Item</b>	<b>Buque Construido</b>	<b>Buque Analizado</b>	
		<b>F.O. Peso</b>	<b>F.O. Costo</b>
Eslora ( m . )	30.65	30.0	30.0
Manga ( m . )	<b>5.20</b>	<b>7.42</b>	<b>7.42</b>
Puntal ( m . )	<b>3.67</b>	<b>3.57</b>	<b>3.57</b>
Peso/Area (fondo) (Ton/m <sup>2</sup> )	0.06331	0.06992	0.1038
Peso/Area (costado) (Ton/m <sup>2</sup> )	0.06331	0.05739	0.0568
Peso/Area (cubierta) (Ton/m <sup>2</sup> )	<b>0.05995</b>	<b>0.04468</b>	<b>0.0749</b>

**TABLA XVIII.\_ COMPARACION DEL BUQUE ANALIZADO Y UNO CONSTRUIDO**

De acuerdo a lo mostrado en la tabla XVIII, los valores del peso/área para el caso del buque analizado, función objetivo **Peso**, son menores para el costado y cubierta, no así para el fondo, donde este valor es mayor, pero el valor total del mismo es inferior con relación al buque construido. Hay que considerar que el valor del espaciamiento entre transversales para el buque analizado y construido son de 1.01 y 0.5 metros respectivamente, y, el número de refuerzos son de 13 y 8 para ambos casos señalados.

## CONCLUSIONES

Una vez concluido el presente trabajo se presentan algunos puntos relevantes que ofrece el **uso** de las reglas de Clasificación y Construcción combinado con un esquema de optimización, para lograr reducción en peso o costo. El esquema de optimización desarrollado, combinado con experiencia constructiva, puede aplicarse en la definición preliminar estructural de **una** embarcación menor.

\* Las formulas descritas en las reglas de Clasificación y Construcción de buques han sido desarrolladas siguiendo un proceso analítico y complementadas con experiencia en la eficiencia de estructuras construídas. En el proceso empleado en este trabajo se determinaron los factores de seguridad, implícitos en ciertas formulaciones de ABS. Los valores encontrados **para** el factor de seguridad de la viga buque por flexión, para un rango de eslora de 25 a 33 metros, varía entre 6,43 a 3,84. Se nota que este **parámetro** disminuye a medida que la eslora aumenta. Para el caso de la flexión de un refuerzo con el planchaje asociado, el factor de seguridad encontrado fue de 4,14; para el pandeo del planchaje no reforzado y asumido como simplemente soportado, de 2,42. Estos altos valores son consistentes con la presencia de combinación de cargas, **fuerzas** de tipo dinámico, difíciles de contabilizar, y ambiente corrosivo en el que trabaja la estructura.



\* Al analizar los resultados de este proceso de optimización se comprueba la ventaja de un proceso iterativo en la reducción del peso estructural o costo del casco de una embarcación. La desventaja de este proceso es que la implementación no es sencilla y nos puede llevar a resultados divergentes o irreales, debido a la complejidad de los componentes del problema. No debe olvidarse que se trata de manejar una función objetivo no lineal con nueve variables de diseño y catorce restricciones, la cual puede tener multiplicidad de soluciones.

\* Originalmente se había planeado emplear el peso como función objetivo. Esto es consistente con lo observado en el medio, en el que se "paga por peso". Sin embargo, es también posible pensar que si la cantidad de trabajo de soldadura se incrementa, probablemente los soldadores exigirán renumeraciones en forma diferente. Por ello se decidió incluir como una opción al costo como otra función objetivo.

\* Cuando en este trabajo se habla de convergencia de la función objetivo, se refiere a una variación numérica máxima del 2%, entre los valores resultantes de la función objetivo, habiéndose iniciado el proceso con diferentes valores de las variables de diseño. Cada optimización incluida en el presente estudio requiere entre 1200 a 2500 - en promedio 1700- evaluaciones de la función objetivo. El tiempo de computación para un análisis completo del tipo descrito en el presente trabajo, fue de alrededor de 2 minutos. Esto se lo **logró** con los parámetros, DELFUN=0.00005 e ITRM=15, que se



refieren al cambio relativo para la función objetivo y el número de iteraciones consecutivas las cuales deberán satisfacer el criterio de convergencia antes que el proceso finalice. Estos valores son incluidos en el bloque C y D del archivo de entrada de datos, vease apéndice 2.

- \* Los resultados obtenidos en este trabajo, comparados con los de una embarcación construida, muestran que se obtiene una embarcación más pesada en el fondo, pero más ligera en las zonas de costado y cubierta, como se muestra en la tabla XVII. Esto se logra al emplear un mayor espaciamiento entre refuerzos transversales, y un menor espaciamiento entre longitudinales. El espesor para lograr una estructura óptima en peso es de 4 mm. En la práctica común se emplea 6mm., lo que probablemente cause discusión con los constructores locales.
  
- \* Durante la trayectoria del trabajo de optimización, se encontró que todos los escantillones son controlados por requerimientos locales, según lo reportado en las tablas XVI y XVII. De acuerdo con esto, el diseñador debe preocuparse del planchaje del panel de cubierta, en lo referente a resistencia y pandeo, y para la flexión del refuerzo longitudinal, lo que tiene que ver con su módulo seccional. El requerimiento de la resistencia longitudinal de la viga-buque, nunca fue una restricción activa.

- \* Se tiene pocas aplicaciones de programación no-lineal a problemas de ingeniería marina en el medio, de manera que la experiencia actual puede servir de guía para futuros trabajos. El método empleado en el presente estudio es de tipo general, pudiendo aplicarse en otros campos de ingeniería.

## RECOMENDACIONES

La Función Objetivo costo podría ser actualizada y posiblemente mejorada, después de desarrollar una más profunda investigación de datos disponibles en el medio. Esta podría incluir componentes como costo de planchas, perfiles estructurales, costo de electricidad, preparación y unión de escuadras, etc. Esto dependerá de la forma de trabajo de cada astillero. Se podría considerar también, si conviene al constructor el uso de los perfiles estructurales disponibles en el medio o se los podría construir, soldando planchas. Una vez que el proceso de optimización establezca los valores de espesores de planchaje, se debería comparar estos valores con los disponibles en el medio, luego de la preparación de una base de datos.

Habría que aplicar en una etapa posterior de diseño, un esquema de optimización de acuerdo al tipo de embarcación y sistema de construcción a diseñar. Se podría implementar este proceso de optimización por bloques, considerando procesos individuales para la proa, sección media y popa de la embarcación, permitiendo por ejemplo incluir que el tipo de cuadernaje para estas zonas no sea el mismo. Por ejemplo, para una embarcación pesquera, se lo podría dividir en zonas de máquinas, bodegas, y lazareto.

**Este tipo de trabajo de optimización, se lo podría también aplicar al diseño de los refuerzos longitudinales y transversales, dividiéndolo en dos etapas. En el primero se generaría los valores óptimos de los módulos seccionales, y un segundo donde se escogería los escantillones adecuados cumpliendo con los requisitos de la etapa anterior.**

## **APENDICES**

APENDICE 1

NAVE/TIPO/NOMBRE	L/Psj. ALBATROS	L/Psj. LETTY	L/Psj. GALAPAGOS	L/Psj. CORAL,
ARMADOR	GALAEX S.A.	TURISMO AMONRA S.A.	ADVENTURE GALAPAGOS	KLEINGALAPAGOS Cia Ltda.
DIMENSIONES (m.) L x B x D	25.32x6.59x3.33	25.96x7.34x3.35	26.75x6.80x3.10	30.65x5.20x3.67
MATERIAL	Acero	Acero	Acero	Acero
ELEM. ESTRUCT.	Tipo Dimensiones (mm)	Tipo Dimensiones (mm)	Tipo Dimensiones (mm)	Tipo Dimensiones (mm)
RODA	Platina 152.4 x 25.4	Platina 100 x 9	Platina 150 x 24	Platina 200x8.0
QUILLA	Platina 152.4 x 25.4	Platina 125 x 19	Platina 150 x 24	-----
CODASTE	-----	Platina 6.0	-----	-----
CUADERNAS	Angulo 102x76x6.4	Angulo 170x50x6	Angulo 100x80x6	Platina 101 x 6.0
BAOS	Angulo 76.2x50.8x6.	Platina 6.0	Angulo 80x50x6	Platina 76 x 6.0
LONG. FONDO	FLG 178x76x6.4	Angulo 50x50x5	-----	Platina 76 x 6.0
LONG. COSTADO	FLG 178x76x6.4	Angulo 50x50x5	-----	Platina 76 x 6.0
LONG. CUBIERTA	FLG 178x76x6.4	Angulo 50x50x5	-----	Platina 63.0 x 6.0
CHINA	-----	Varilla 0=3.10	-----	-----
RUDON	-----	1/2 tubos Ø=100.0	-----	1/2 mbo Ø=100.0
MAMPAROS	Platina 6.0	Platina 5.0	Platina 6.0	Platina 6.0
REF. MAMPAROS	-----	-----	Angulo 80x50x6	-----
FORRO CASCO	Platina 6.0	Platina 5	Angulo 6.0	Platina 6.0
FORRO CUBIERTA	Platina 6.0	Platina 5	Platina 6.0	Platina 6.0
ESPAC. CUADERNAS	500.0	1200.0	575.0	500.0

Fuente: Dirección General de Marina Mercante.

APENDICE 1

NAVE/TIPO/NOMBRE	L/Psj. ALBATROS		L/Psj. LETTY		L/Psj. GALAPAGOS ADVENTURE		L/Psj. CORAL	
ARMADOR	GALAEX S.A.		TURISMO AMONRA S.A.		GALAPAGOS ADVENTURAS		KLEINGALAPAGOS Cia. Ltda.	
DIMENSIONES (m.) L x B x D	25.32x6.59x3.33		25.96x7.34x3.35		26.75x6.80x3.10		30.65x5.20x3.67	
MATERIAL	Acero		Acero		Acero		Acero	
ELEM. ESTRUCT.	Tipo	Dimensiones (mm)	Tipo	Dimensiones (mm)	Tipo	Dimensiones (mm)	Tipo	Dimensiones (mm)
RODA	Platina	152.4 x 25.4	Platina	100 x 9	Platina	150 x 24	Platina	200x8.0
QUILLA	Platina	152.4 x 25.4	Platina	125 x 19	Platina	150 x 24	Platina	200x8.0
CODASTE	-----	-----	PI	6.0	-----	-----	-----	-----
CUADERNAS	Angulo	102x76x6.4	Angulo	170x50x6	PI	28.0	-----	-----
BAOS	Angulo	76.2x50.8x6.	Angulo	6.0	Angulo	100x80x6	-----	-----
LONG. FONDO	FLG	178x76x6.4	PI	6.0	Angulo	80x50x6	Platina	101 x 6.0
LONG. COSTADO	FLG	178x76x6.4	Angulo	50x50x5	Angulo	80x50x6	Platina	76 x 6.0
LONG. CUBIERTA	FLG	178x76x6.4	Angulo	50x50x5	-----	-----	Platina	76 x 6.0
CHINA	-----	-----	Angulo	50x50x5	-----	-----	Platina	76 x 6.0
RUDON	-----	-----	Varilla	Ø=31.0	-----	-----	Platina	63.0 x 6.0
MAMPAROS	PI	6.0	½ tubos	Ø=100.0	-----	-----	-----	-----
REF. MAMPAROS	-----	-----	PI	5.0	-----	-----	½ tubo	Ø=100.0
FORRO CASCO	PI	6.0	-----	-----	PI	6.0	PI	6.0
FORRO CUBIERTA	PI	6.0	PI	5	Angulo	80x50x6	-----	-----
ESPAC. CUADERNAS	500.0	-----	PI	5	PI	6.0	PI	6.0
			1200.0		PI	6.0	PI	6.0
						575.0		500.0

Fuente: Dirección General de Marina Mercante.

TABLA. EMBARCACIONES DE TURISMO OPERANDO EN LAS ISLAS GALAPAGOS



## APENDICE 2

### ARCHIVO DE ENTRADA DE DATOS

L/Psj. GALAPAGOS

2	9						
2	200		15				
0.0	0.0	-0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
0.00005	0.0005	0.0	0.0				
0	10	-1.0					
0.500	20.0	5.00	0.0	STRA			
0.100	25.0	5.00	0.0	SLONFO			
0.100	25.0	5.00	0.0	SLONCO			
0.100	25.0	5.00	0.0	SLONCU			
0.157	.50	0.200	0.0	TFON			
0.157	.50	0.200	0.0	TCOS			
0.157	.50	0.200	0.0	TCUB			
0.100	50.0	2.000	0.0	SMF			
0.100	50.0	2.000	0.0	SMC			
1	1	1.0					
2	2	1.0					
3	3	1.0					
4	4	1.0					
5	5	1.0					
6	6	1.0					
7	7	1.0					
8	8	1.0					
9	9	1.0					
14		NCONS					
11	0	0					
-2.E15	0.	0.0	0.				
12	0	0					
-2.E15	0.	0.0	0.				
13	0	0					
-2.E15	0.	0.0	0.				
14	0	0					
-2.E15	0.	0.0	0.				
15	0	0					
-2.E15	0.	0.0	0.				

16	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
17	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
18	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
19	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
20	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
21	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
22	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
23	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.
24	0	0	
-2.E15	0.	0.0	0.

END

unidades del sistema ingles

### APENDICE 3

#### DESARROLU) DE LA FUNCION OBJETIVO COSTO

Se va a desarrollar una funcion objetivo que evalúe el costo de construcción del casco de un buque. Los factores a considerar son:

- Materiales
- Mano de Obra
- Soldadura

#### ***COSTOS DE MATERIALES.***

Involucra el **costo** del material a utilizarse para el planchaje y refuerzos del casco de un buque. Este costo estará en funcion de las áreas seccionales de los refuerzos transversales y longitudinales, y de los espesores de las planchas, considerando por separado el fondo, costado y cubierta del buque.

Al multiplicar el **peso total** por una constante, que sería el **precio referencial** de la tonelada de acero, **se obtendrá** el costo por materiales.

donde:  $C_1$  = costo por tonelada de acero,

$W$  = **peso total** de la estructura.

**COSTO DE MANO DE OBRA.**

En este **ítem** se consideran los trabajos de corte y preparación de los materiales **para** la estructura, hasta cuando esta esta “punteada”. Aquí no se incluye el costo que se refiere al pago por cordones extensos de soldadura. Este parámetro se lo estima como el producto de **una** constante,  $C_2$ , multiplicada **por** el **peso** de la estructura,  $W$ .

$$f_2 = C_2 \times W$$

Considerando que la construcción **de** las zonas de proa y popa necesitan **de** un trabajo especial, debido a las curvaturas de dichas regiones, se incluirá un porcentaje adicional para dichos ítems. Entonces, subdividiendo el peso de la estructura:

$$f_2 = C_2 \times [ p_{PROA} W_1 + W_2 + p_{POPA} W_3 ]$$

donde  $p_{PROA}$  y  $p_{POPA}$  se refieren a los porcentajes adicionales,  $W_1 = \%W$ , y,  $W_3 = \%W$ , son los pesos para la parte de la proa y popa respectivamente y,  $W_2$ , es el peso considerado para el cuerpo **medio**.

Para estimar  $C_2$  **se van a** considerar los datos de una construcción realizada en el año de 1996, [Andino]. **Así** tenemos, que el número de semanas de trabajo, el pago por semana de trabajo a los trabajadores, y el peso total de la estructura del casco nos permitirá calcular dicho factor.

### **COSTO DE SOLDADURA.**

Esto incluye tanto la mano de obra por los cordones, como el material de soldadura propiamente dicho (palillos y oxígeno). Para estimar este parámetro se necesita saber el costo de mano de obra por unidad de longitud de cordón, y el costo del material por libra de soldadura.

Estimaremos primero la longitud de soldadura a requerirse, para posteriormente estimar su costo. Esta dimensión estará compuesta del cordón para unir las planchas, y el que se requiere para soldar los refuerzos a las planchas.

Para estimar el número de cordones necesarios para unir entre sí las planchas que forman una zona del casco se va a aproximarla como un rectángulo, ( $L_{REP} \times B_{REP}$ ). El número de uniones requeridos en sentido longitudinal,  $N_{CPL}$ , se obtendrá al dividir el ancho promedio representativo,  $B_{REP}$ , para el ancho de una plancha estandar,  $b$ . Para determinar luego el número de uniones transversales,  $N_{CPT}$ , dividimos la longitud representativa,  $L_{REP}$ , para la longitud de la plancha estandar,  $l$ . Esta longitud se la multiplicará por **cuatro**, considerando los cordones de soldadura a efectuarse: una de penetración, una de soporte, y, dos de acabado.

Para el caso de los refuerzos, dividiendo el **area** de la estructura **para** la zona considerada **para** el espaciamiento entre transversales ( $S_{TRA}$ ), se obtendra el número de cordones de **soldadura** para los refuerzos transversales ( $N_{CRT}$ ). Para el caso de los refuerzos longitudinales, se dividirá la superficie de la estructura **para** el espaciamiento entre refuerzos, **y** se obtendrá el número de cordones de soldadura, ( $N_{CRL}$ ). Se está asumiendo que la soldadura del refuerzo con el planchaje es **60%** continuo, para este trabajo.

La longitud total de **soldadura** será entonces:

$$L_{TS} = 4N_{CPL} L_{REP} + 4N_{CPT} B_{REP} + N_{CRL} + N_{CRT}$$

Se repetirá este proceso para las **zonas del fondo**, costado y cubierta como se muestra en la tabla siguiente:

	$B_{REP}$	$L_{REP}$	$N_{CPL}$	$N_{CPT}$	$N_{CRL}$	$N_{CRT}$
<b>FONDO</b>	Manga, B	Eslora entre perpend., $L_{pp}$	$B/b$	$L_{pp}/l$	$A_{FON}/S_{LONFO}$	$A_{FON}/S_{TRA}$
<b>COSTADO</b>	0.70 del Puntal, D	0.90 de $L_{pp}$	$0.70 D/b$	$0.90 L_{pp}/l$	$A_{COS}/S_{LONCO}$	$A_{COS}/0.90S_{TRA}$
<b>CUBIERTA</b>	Manga, B	Eslora entre perpend., $L_{pp}$	$B/b$	$L_{pp}/l$	$A_{CUB}/S_{LONCU}$	$A_{CUB}/S_{TRA}$

Donde:

- $A_{FON}$  : Area de la estructura del fondo,
- $A_{COS}$  : Area de la estructura del costado,
- $A_{CUB}$  : Area de la estructura de cubierta,
- $S_{LONFO}$  : Espaciamiento entre longitudinales del fondo,
- $S_{LONCO}$  : Espaciamiento entre longitudinales del costado, y,
- $S_{LONCU}$  : Espaciamiento entre longitudinales de cubierta.

La longitud total de soldadura a utilizarse sera finalmente considerando las tres regiones: fondo, costado y cubierta sera:

$$L_{TS} = L_{SFO} + L_{SCO} + L_{SCU}$$

Conociendo el costo de mano de obra por unidad de longitud y el costo del material por libra de soldadura, se obtendrán entonces los costos involucrados en el proceso de soldadura.

El costo para la mano de obra en funcion de la longitud total de soldadura será el siguiente:

$$f_{31} = C_{31} L_{ST}$$

donde:  $C_{31}$  es el costo por unidad lineal de cordón de soldadura.

El costo de material a emplearse, se estimara como un porcentaje,  $p$ , del peso total de la estructura,  $W$ , multiplicado por el costo unitario:

$$f_{32} = C_{32} p W$$

donde la constante  $C_{32}$  se la define como:

$$C_{32} = C_{321} + C_{322} ,$$

$C_{321}$  es el precio de cada libra de soldadura, y,  $C_{322}$  es el precio del oxígeno por cada libra de soldadura a utilizarse.

El costo total para la soldadura será la suma de estos dos últimos items,

$$f_3 = f_{31} + f_{32}$$

La función objetivo costo será finalmente:

$$F = f_1 + f_2 + f_3$$





## PRIMERA APROXIMACION DE LAS CONSTANTES PARA LA FUNCION OBJETIVO COSTO.

Los valores que se muestran a continuación se basan en la construcción de una embarcación de turismo desarrollada en Guayaquil en el año de 1995, [ ].

### Costo de Materiales.

$$C_1 = 2'500.000,00 \text{ sucres / tonelada}$$

### Ci de Mano de Obra.

$$W_1 = 20\% W$$

$$W_2 = 60\% W$$

$$W_3 = 20\% W$$

$$C_3 = 1.3 \text{ ( 30\% adicional para proa )}$$

$$C_4 = 1.3 \text{ ( 30\% adicional para popa )}$$

$$C_W = \$(\text{sucres}) / \text{ton , en función de:}$$

40 semanas de trabajo

Pago de 1'000.000,00 de sucres para trabajadores por semana

Peso de estructura a considerar: 40 toneladas

**Costo de Soldadura.**

$L = 4.0$  metros ( longitud de la plancha )

$b = 1.5$  metros ( ancho de la plancha )

$C_{31} =$  se considera a pagarse por 80 pies de longitud de soldadura trabajada; 60.000,00  
sucres.

$P = 4\%$  del peso de la estructura,  $W$

$C_{321} = 3000,00$  sucres por libra de soldadura

$C_{322} = 300,00$  sucres por libra de oxígeno

**APENDICE 4**

**LISTADO FUENTE DE REGLAS.FOR**

**C SUBROUTINA PARA EFECTUAR EL ESCANTILLONADO DE UNA EMBARCACION  
 C BASADO EN LAS REGLAS DE ABS. PARA EMBARCACIONES CON ESLORA  
 C INFERIOR A 61 METROS, 1983**

**SUBROUTINE ANALIZ(ICAL)**

**C DIMENSION VCG2(41),X(41),X2S(41),YWP(41)**

**C CHARACTER\*2 SUNID,SESTR,RSPCBT**

**C REAL LNSOL,LNSOT,KDEK,MAGTR,MOLAR,MOLQB  
 real ltsfo,ltsco,ltsu,lts**

**C COMMON/GLOBCM/STRA,SLONFO,SLONCO,SLONCU,TFON,TCUB,TCOS,  
 1 SMLF,SMLO,WEST,RESTR1,RESTR2,RESTR3,RESTR4,RESTR5,RESTR6,  
 2 RESTR7,RESTR8,RESTR9,RESTR10,RESTR11,RESTR12,RESTR13,RESTR14,  
 3 XMDF,XMDC,XMOD,SMCA,DCAL,CBLOK,DMAMTR,DMAMLO,TQUI,HQUI,TROD,  
 4 WRDOD,TCOD,BCOD,TLCOS,ALFON,SMCF,ACFON,PSARF,SMLC,ALCOS,SMCC,  
 5 ACCOS,SMBU,ABULA,PSARO,TCUBI,ALCUB,SMBA,ACCUB,PSARC,SIGMY,  
 6 TMAM,SMMA,ARMAM,PSAR,PFON,PCOS,PCUB,MAGTR,MOLAR,MOLQB,  
 7 ALPHANRO,NRC,NRB,ASEC,XMIN,XINE,XINO,ZEJE,ZINV.  
 8 XILFO,XILCO,XILCU,I OBJ,DUMMY(1421)**

**C COMMON/DOS/VCG2,VOL,VOLD,V2,WPIL,WPIT,X,XKB,XLBP,XLCB,XLCF,XLCG  
 1,XLCGD,XLOA,XMAX,XMID,X2S,YWP,Y2,ZSCAL,INDST(31),INDWD(201),SDTSV  
 2(7175),KALLT,NAP,NAPND,KINDA(30),SIGNA(30),VOLAP(30),XPRAP(30)  
 3,VPRAP(30),TPRAP(30),INSTA(31),INWDA(201),SDTAP(4000),STSPC,X3S  
 4(51),Y3S(51)**

**C COMMON/CINCO/SURCUB,SURFON,SURCOS,XFON,ZFON,XCOS,ZCOS,XCUB,ZCUB,  
 1 BMAN,DPUN,ZMID1,YMID1,ZMID2,YMID2  
 COMMON/SEIS/SUNID,SESTR,RSPCBT**

**C COMMON/siete/ltsfo,ltsco,ltsu,lts,c32,f31,f32**

**C DEFINICIONES**

**C XLBP ESLORA EN LA LINEA DE AGUA DE MAXIMA CARGA, EN M O PIES**

**C BMAN LA MAYOR MANGA MOLDEADA, EN M O PIES**

**C DPUN PUNTAL AL COSTADO. EN M O PIES**

**C DCAL CALADO PARA ESCANTILLONES, ES MEDIDO DESDE LA LINEA DE  
 C QUILLA MOLDEADA A LA LINEA DE MAXIMA CARCA EN LA MITAD DE  
 C LESL,  $0.66 * DPUN$ , LO QUE SEA MAYOR. EN M O PIES**

**C SLONFO DISTANCIA ENTRE REFUERZOS EN EL FONDO**

**C SLONCO DISTANCIA ENTRE REFUERZOS EN EL COSTADO**

**C SLONCU DISTANCIA ENTRE REFUERZOS EN CUBLERTA**

**C STRA DISTANCIA ENTRE CUADERNAS**

**C SVLO DISTANCIA ENTRE VAGRAS LONGITUDINALES**

**C WEST PESO APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA**

**C TFON PLANCIAJE DEL FONDO**

**C TFONR PLANCIAJE DEL FONDO REQUERIDO POR ABS**

```

C  TCOS  PLANCWE DEL COSTADO
C  TCOSR PLANCJNE DEL COSTADO REQUERIDO POR ABS
C  TCUB  PLANHAJE DE CUBIERTA
C  TCUBR PLANCJAJE DE CUBIERTA REQUERIDO POR ABS
C  XMOD  MODULO SECCIONAL VIGA-BUQUE
C  SMCA  MINIMO MODULO SECCIONAL VIGA-BUQUE REQUERIDO POR ABS
C  SUNID INDICADOR SISTEMA UNIDADES A EMPLEARSE
C  RSPCBT INDICADOR SI SE TRANSPORTA CARGA SOBRE CUBIERTA
C  SESTR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL
C  DMAMTR DISTANCIA ENTRE MAMPAROS TRANSVERSALES
C  DMAMLO DISTANCIA ENTRE MAMPAROS LONGITUDINALES
C
IF (ICAL.EQ.1) THEN
C
  CALL GEOMETR
C
  DCAL = 0.66*DPUN
  CBLOK = 0.84
  SIGMY = 235.
C
  30 WRITE(*,40)
  40 FORMAT(/, INGRESE EL SISTEMA DE UNIDADES DE LA TABLA DE PUNTOS)
  WRITE(*,50)
  50 FORMAT(' Internacional (SI/si) • Inglés (IN/in)')
  READ(*,60)SUNID
  60 FORMAT(A2)
C
  IF (SUNID NE 'SI' AND SUNID NE 'si' AND SUNID NE 'IN' AND
  1 SUNID.NE.'in') THEN
    WRITE(*,*) ERROR EN EL TIPO DE SISTEMA DE UNIDADES'
    GOTO 30
  ENDIF
C
  100 WRITE(*,150)
  150 FORMAT(' DIGITE EL TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL',/
  1 ' Longitudinal (LO/lo) • Transversal (TR/tr)')
  READ(*,60)SESTR
C
  IF (SESTR.NE.'LO'.AND.SESTR.NE.'lo'.AND.SESTK.NE.'TR' AND
  1 SESTR.NE.'tr') THEN
    WRITE(*,*) ERROR EN EL TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL'
    GOTO 100
  ENDIF
C
  ESPACIAMIENTO ENTRE MAMPAROS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES
  200 WRITE(*,*) DIGITE LA SEPARACION ENTRE MAMPAROS TRANSVERSALES'
  READ(*,*)DMAMTR
C
  IF (DMAMTR.GT.XLBP) THEN

```

```

WRITE(*,*)'ERROR EN LA SEPARACION ENTRE MAMPAKOS TRANSVERSALES'
WRITE(*,*)'LA ESLORA ES:',XLBP
GOTO 200
ENDIF
C
300 WRITE(*,*)' DIGITE LA SEPARACION ENTRE MAMPAROS LONGITUDINALES'
READ(*,*)DMAMLO
C
IF (DMAMLO.GT.BMAN) THEN
WRITE(*,*)' ERROR EN LA SEPARACION ENTRE MAMPAROS LONGITUD.'
GOTO 300
ENDIF
C
WRITE(*,*)' LLEVA CARGA SOBRE CUBIERTA? (SI,si/***)'
READ(*,60)RSPCBT
C
ICOSTO = 2
DO WHILE ((ICOSTO.NE.0).AND.(ICOSTO.NE.1))
WRITE(*,*)
I ' DIGITE EL TIPO DE FUNCION OBJETIVO: 0: PESO, 1: COSTO '
READ(*,*)ICOSTO
END DO
C
IF (SUNID.EQ.'SI'.OR.SUNID.EQ.'si') THEN
XLBP = 3.28*XLBP
BMAN = 3.28*BMAN
DPUN = 3.28*DPUN
DCAL = 3.28*DCAL
DMAMTR = 3.28*DMAMTR
DMAMLO = 3.28*DMAMLO
SURCUB = SURCUB*3.28*3.28
SURFON = SURFON*3.28*3.28
SURCOS = SURCOS*3.28*3.28
XFON = XFON*3.28
ZFON = ZFON*3.28
XCOS = XCOS*3.28
ZCOS = ZCOS*3.28
XCUB = XCUB*3.28
ZCUB = ZCUB*3.28
ENDIF
C
C REGLAS NO APLICABLES CUANDO L > 200 PIES
IF (XLBP.GT.200) THEN
WRITE(*,*)' LA ESLORA ES MAYOR QUE LA PERMITIDA, 200 pies'
STOP
ENDIF
C
C 6.RESISTENCIA LONGITUDINAL:
C 6.3.1.MODULO SECCIONAL DE LA VIGA BUQUE : SMCA. EN PLG2*PIE

```

```

C FTAB : VALORES TOMADOS DE LA TABLA 6 J
FTAB = 2.3E-8*XLBP**4 - 4.53E-6*XLBP**3 + 5.49E-4*XLBP**2
1 + 0.103*XLBP + 0.261
SMCA = FTAB*BMAN*(CBLOK + 0.5)
C
C 4. QUILLAS, RODAS Y CODASTES.
C 4.1. QUILLAS DE BAKRA
TQU = 0.0075*XLBP + 0.50
HQU = 0.0175*XLBP + 4.00
C
C 4.3. RODAS DE BARRA, (TAMBIEN FUNDIDAS O FORJADAS)
TROD = 0.0075*XLBP + 0.25
WROD = 0.0150*XLBP + 3.50
C
C 4.5. CODASTES DE BARRA (FUNDIDOS O FORJADOS)
TCOD = 0.0088*XLBP + 0.39
BCOD = 0.0154*XLBP + 3.44
C
C ' CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR EN AGUAS TRANQUILAS Y OLAS
C >>> DNV. STEEL SHIPS WITH L<100m, 1991, PT.3 CH.2 SEC.4<<<
MAGTR = 0.0052*(XLBP/3.28)**3*(BMAN/3.28)*(CBLOK+0.7)
CW = MAX(7.0, 5.7+0.022*XLBP/3.28)
MOLAR = 0.11*CW*(XLBP/3.28)**2*(BMAN/3.28)*(CBLOK+0.7)
MOLQB = 0.19*CW*(XLBP/3.28)**2*(BMAN/3.28)*CBLOK
RETURN
C
C *****APLICACION DE LAS KEGLAS PARA DIMENSIONAR LA ESTRUCTURA*****
C
C ELSE IF (ICALEQ.2) THEN
C
C >>>> CALCULOS PARA SISTEMA DE CONSTRUCCION TRANSVERSAL <<<<
C
C IF (SESTR.EQ.'TR'.OR.SESTR.EQ.'r') THEN
C
C 7. ESTRUCTURA DEL FONDO
C
C LNSOL = DMAMTR
C LNSOT = SLONFO
C
C 12.3. PLANCHAJE DEL FONDO(Plg)
C 12.3.2. A. FONDOS DE ESTRUCTURA TRANSVERSAL:
C TFONR = (STRA*12.0)*SQRT(DCAL)/302.00 + 0.08
C
C 7.3. FONDO SIMPLE CON CUADERNAJE TRANSVERSAL O LONGITUDINAL
C
C MODULO SECCIONAL DE LONGITUDINALES DEL FONDO(Plg**3)
C SMLFR = 0.0041*(0.915)*(DPUN)*SLONFO*(LNSOL)**2
C
C ESPESOR LONGITUDINALES DEL COSTADO(SIDE GIRDERS)

```

```

TLCOSR = 0.0008 * XLBP + 0.20
C
C AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES DEL FONDO (Plg**2)
ALFON = (0.783 * ((SMLF * (2.54**3)) ** 0.666)) / 2.54**2
C
C MODULO SECCIONAL DE CUADERNAS DEL FONDO
SMCF = 0.0041 * (0.915) * (DPUN) * STRA * (LNSOT)**2
C
C AREA APROXIMADA DE CUADERNAS DEL FONDO (Plg**2)
ACFON = (0.783 * ((SMCF * (2.54**3)) ** 0.666)) / 2.54**2
C
C CALCULO DEL PESO POR UMDAD DE AREA PARA EL FONDO PSARF (Lb/plg**2)
PSARF = 0.2886 * (TFON + (ACFON / (12.0 * STRA)) + (ALFON / (12.0 * SLONFO)))
C
C 8. ESTRUCTURA DEL COSTADO
C
C 12.5. PLANCHAJE DEL COSTADO
C • ESPESOR MINIMO DEL COSTADO : TCOS , EN MM O PLG
TCOSK = (STRA * 12.0) * SQRT(DCAL) / 362.00 + 0.08
C
C MODULO SECCIONAL DE LONGITUDINALES.
C
C HVER = DPUN / 2.0
SMLC = 0.0041 * (0.915) * HVER * SLONCO * (LNSOL)**2
C
C AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES DEL COSTADO (Plg**2)
ALCOS = (0.783 * ((SMLC * (2.54**3)) ** 0.666)) / 2.54**2
C
C 8.3. CUADERNAS.
C MODULO SECCIONAL CUADERNAS COSTADO (Plg**3)
SMCC = 0.0041 * (0.915) * HVER * STRA * (LNSOT)**2
C
C AREA APROXIMADA DE CUADERNAS DEL COSTADO (Plg**2)
ACCOS = (0.783 * ((SMCC * (2.54**3)) ** 0.666)) / 2.54**2
C
C CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE AREA DEL COSTADO. PSARO (Lb/plg**2)
C PSARO = 0.2886 * (TCOS + (ACCOS / (12.0 * STRA)) + (ALCOS / (12.0 * SLONCO)))
C
C 9. ESTRUCTURA DE CUBIERTA
C
C HALT = 0.028 * XLBP + 3.57
C 9.1.2 SI SE TRANSPORTA CARGA SOBRE CUBIERTA , HALT = 12 PIES
IF (RSPCBT.EQ.'SI'.ORRSPCBT.EQ.'SI') THEN
  HALT = 12.00
ENDIF
C
C 13. PLANCHAJE DE CUBIERTA
C ESPESOR MINIMO DE LA CUBIERTA . TCUB , EN MM O PLG

```



```

C   ESPACIAMIENTO ENTRE LONGITUDINALES  SLONCU ,EN MM O PLG
C   VALORES DE HALT  (LITERALES A,B, C, D )
C
C   PARA CUBIERTAS CON ESTRUCTURA TRANSVERSAL
C
C       KDEK = 700 + 0.30*(2000 - XLBP)
C
C       TCUB1 = (SLONCU*12.0) * SQRT(HALT) / 4600 + 0.10
C       TCUBR = (SLONCU*120) / KDEK
C
C       IF (TCUB1.GT TCUBR) THEN
C           TCUBR = TCUB1
C       ENDIF
C
C   9.2 BAOS LONGITUDINALES (ESLORAS)
C       MODULO SECCIONAL SMLO, EN PLG3
C   LA SEPARACION ENTRE BAOS LONGITUDINALES ES IGUAL AL DE KEF LONG
C
C       SMLOR = 0.0041*HALT*SLONCU*(LNSOL)**2
C
C   AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES CUBIERTA (Plg**2)
C       ALCUB = (0.783*((SMLO*(2.54**3))**0.666))/2.54**2
C
C   9.1.BAOS
C   9.1.1 ESPACIAMIENTO ENTRE BAOS TRANSVERSALES
C   9.1.2 MODULO SECCIONAL  SMBA ,EN PLG3
C       PARA UNA CUBIERTA AL INTERPERIE EN QUE SE LLEVE CARGA
C       A CUBIERTA DE FRANCO BORDO A LA INTEMPERIE (CFI) QUE NO TENGA
C       NINGUNA CUBIERTA DEBAJO
C
C       HALT = 0.02*XLBP + 2.5
C       SMBA = 0.0041*0.60*HALT*STRA*(LNSOT)**2
C
C   AREA APROXIMADA DE BAOS TRANSVERSALES (Plg**2)
C       ACCUB = (0.783*((SMBA*(2.54**3))**0.666))/2.54**2
C
C   CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE AREA PARA CUBIERTA
C   PSARC = 0.2886 * (TCUB + (ACCUB/(120*STRA)) + (ALCUB/(120*SLONCU)))
C
C   >>>> CALCULOS PARA SISTEMA DE CONSTRUCCION LONGITUDINAL <<<<<
C
C   ELSEIF (SESTR EQ 'LO' OR SESTR EQ 'lo') THEN
C
C   CALCULO PARA SISTEMA DE CONSTRUCCION LONGITUDINAL
C
C   7. ESTRUCTURA DEL FONDO
C
C       LNSOL = STRA
C       LNSOT = DMAMLO

```

C  
C 12.3. PLANCHAJE DEL FONDO (Plg)  
C  
C B. FONDOS DE ESTRUCTURA LONGITUDINAL  
C  $TFONR = (SLONFO * 12.0) * SQRT(DCAL) / 362.00 + 0.08$   
C  
C 7.3 FONDO SIMPLE CON CUADERNNE TRANSVERSAL O LONGITUDINAL  
C  
C MODULO SECCIONAL DE LONGITUDINALES DEL FONDO (Plg\*\*3)  
C  $SMLFR = 0.0041 * (0.915) * (DPUN) * SLONFO * (LNSOL)**2$   
C  
C 7.5.2 ESPESOR LONGITUDINALES DEL COSTADO (SIDE GIRDERS)  
C  $TLCOS = 0.00065 * XLBP + 0.16$   
C  
C AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES DE FONDO (Plg\*\*2)  
C  $CALL AREFR(12 * SLONFO, TFON, SMLF, XILFO, ALFON)$   
C  
C MODULO SECCIONAL DE CUADERNAS DEL FONDO  
C  $SMCF = 0.0041 * (0.915) * (DPUN) * STRA * (LNSOT)**2$   
C  
C AREA APROXIMADA DE CUADERNAS DEL FONDO (Plg\*\*2)  
C  $ACFON = (0.783 * ((SMCF * (2.54**3))**0.666)) / 2.54**2$   
C  
C CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE AREA PARA EL FONDO PSARF (Lb/plg\*\*2)  
C  $PSARF = 0.2886 * (TFON + (ACFON / (12.0 * STRA)) + (ALFON / (12.0 * SLONFO)))$   
C  
C 8. ESTRUCTURA DEL COSTADO  
C  
C  $LNSOT = 0.90 * DPUN$   
C  
C 12.5. PLANCHAJE DEL COSTADO  
C ESPEOR MINIMO DEL COSTADO TCOS, EN MM O PLG  
C  $TCOSK = (SLONCO * 12.0) * SQRT(DCAL) / 362.00 + 0.08$   
C  
C MODULO SECCIONAL DE LONGITUDINALES (Plg\*\*3)  
C  
C  $HVER = DPUN / 2.0$   
C  $SMLC = 0.0041 * (0.915) * HVER * SLONCO * (LNSOL)**2$   
C  
C AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES COSTADO (Plg\*\*2)  
C  $CALL AREFR(12 * SLONCO, TCOS, SMLC, XILCO, ALCOS)$   
C  
C 8.3. BULARCAMAS  
C  $SMBU = 0.0041 * (0.915) * HVER * STRA * (LNSOT)**2$   
C  
C AREA APROXIMADA DE BULARCAMAS (Plg\*\*2)  
C  $ABULA = (0.783 * ((SMBU * (2.54**3))**0.666)) / 2.54**2$   
C  
C CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE AREA DEL COSTADO PSARO (Lb/plg\*\*2)

```

C
C PSARO=0 2886 * (TCOS +(ABULA/(120*STRA))+(ALCOS/(120*SLONCO)))
C
C 9. ESTRUCTURA DE CUBIERTA
C
C LNSOT = DMAMLO
C
C HALT = 0 028 * XLBP + 3 57
C 9 1 2 SI SE TRANSPORTA CARGA SOBRE CUBIERTA , HALT = 12 PIES
C IF (RSPCBT.EQ.'SI' OR RSPCBT.EQ.'si') THEN
C HALT= 12.00
C ENDIF
C
C 13 PLANCHAJE DE CUBIERTA
C ESPESOR MINIMO DE LA CUBIERTA TCUB , EN MM O PLG
C ESPACIAMIENTO ENTRE LONGITUDINALES SLONCU , EN MM O PLG
C VALORES DE HALT (LITERALES A,B, C, D)
C
C PARA CUBIERTAS CON ESTRUCTURA LONGITUDINAL
C KDEK = 100.0
C
C TCUBI =(SLONCU*12 0)* SQRT(HALT)/ 460 0 + 0 10
C TCUBR =(SLONCU*12 0)/ KDEK
C
C IF (TCUB I GT.TCUBR) THEN
C TCUBR =TCUB I
C ENDIF
C
C 9 2 BAOS LONGITUDINALES (ESLORAS )
C MODULO SECCIONAL SML0. EN PLG3
C LA SEPARACION ENTRE BAOS LONGITUDINALES ES IGUAL AL DE REF LONG
C
C SMLOR = 0 0041 * HALT * SLONCU * (LNSOL)**2
C
C AREA APROXIMADA DE LONGITUDINALES DE CUBIERTA
C CALL AREFR(12.*SLONCU,TCUB,SMLO,XILCU,ALCUB)
C
C 9.1.BAOS
C 9 1 1 ESPACIAMIENTO ENTRE BAOS TRANSVERSALES
C 9.1 2 MODULO SECCIONAL . SMBA , EN PLG3
C PARA UNA CUBLERTA AL INTERPERIE EN QUE SE LLEVE CARGA :
C A CUBIERTA DE FRANCO BORDO A LA INTEMPERIE (CFI) QUE NO TENGA
C NINGUNA CUBIERTA DEBAJO
C
C HALT = 0 02 * XLBP + 2 5
C SMBA = 0.0041 * 0.60 * HALT * STRA * (LNSOT)**2
C
C AREA APROXIMADA DE BAOS TRANSVERSALES (Plg**2)
C ACCUB = (0 783 * ((SMBA * (2 54**3))**0 666))/2 54**2

```

```

C
C  CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE AREA PARA CUBIERTA:PSARC(Lb/plg**2)
PSARC = 0.2886 * (TCUB +(ACCUB/(12.0*STRA))+(ALCUB/(12.0*SLONCU)))
C
C  ENDEF
C
C  ESTIMACION DE PESOS
C
C  PESO ESPECIFICO DEL ACERO: 0.2886 LB/PLG^3 (=8 GR/CM^3)
C  PSARi: LB/PLG^2
C
C  FONDO
PFON = SURFON * PSARF
C
C  COSTADO
PCOS = SURCOS * PSARO
C
C  CUBIERTA
PCUB = SURCUB * PSARC
C
C  ESTIMACION PESO DE UN MAMPARO TRANSVERSAL (LB/PIES^2)
C  10.MAMPAROS ESTANCOS
C  10.5.1.PLANCHAS
C    ESPACIAMIENTO ENTRE REFUERZOS .SREF, EN PLG
C    ESPESOR DE LA PLANCHA : TMAM , EN PLG
C  SE ASUME QUE LOS REFUERZOS DEL MAMPAKO, VERTICALES.
C  ESTAN SEPARADOS IGUAL DISTANCIA QUE LOS REF. LONGITUD. DE CBTA.
C  TMAM = (SLONCU*(DPUN + 20.0)/6000.0) + 0.12
C
C  10.5.2.REFUERZOS DEL MAMPARO
C = 0.38
HMAM = DPUN/2.0
SMMA = 0.0041 * C * HMAM * SLONCU * DPUN**2
C
C  AREA APROXIMADA DE REFUERZOS DEL MAMPAKO
AKMAM = (0.783*((SMMA*(2.54**3))**0.666))/2.54**2
C
C  PESO POR UNIDAD DE AREA PARA UN MAMPARO TRANSVERSAL PSAR
PSAR = 0.2886*(TMAM +(ARMAM/(12.0*SLONCU)))*144
C
C  CALCULO DEL PESO APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA:WEST(Ton)
C  DENTRO DE LA SUBROUTINA COSTO
C  llamada a la subrutina para el calculo del costo
C
C  call costo(icosto,cmat,cmob,csol)
C
C  >>>> CALCULO DE RESTRICCIONES<<<<<
C
C  I- ESPAC. ENTRE CUADERNAS MENOR QUE LA SEPARAC ENTRE MAMP TRANV

```

```

RESTR1 = ( STRA - DMAMTR )
C
C 2- ESPAC. ENTRE LONG. FONDO MENOR QUE LA SEMIMANGA
RESTR2 = ( SLONFO * BMAN/2. )
C
C 3- ESPAC. ENTRE LONG. COSTADO MENOR QUE EL PUNTAL
RESTR3 = ( SLONCO - DPUN )
C
C 4- ESPAC. ENTRE LONG. CUBIERTA MENOR QUE LA SEMIMANGA
RESTR4 = ( SLONCU * BMANR. )
C
C 5- ESPESOR MÍNIMO DEL FONDO - FLEXION
RESTR5 = ( TFONR * TFON )
C
C 6- ESPESOR MÍNIMO DEL COSTADO - FLEXION
RESTR6 = ( TCOSR * TCOS )
C
C 7- ESPESOR MÍNIMO DE LA CUBIERTA - FLEXION
RESTR7 = ( TCUBR * TCUB )
C
C LLAMADA A LA SUBRUT. MSVGBQ PARA EL CALC. MOD SECC. VIGA-BUQUE
CALL MSVGBQ
C
C 8- ESPESOR MÍNIMO DEL FONDO - PANDEO (QUEBRANTO)
SIGML = 1000. * ( MAGTR + MOLQB ) / ( XMDF * 12. * 2 54 ** 3 )
SIGME = 2.3 * ( 1 + ( STRA / SLONFO ) ** 2 ) ** 2 *
1 ((TFON-0.0787)/(STRA*12.))**2 * 1.E05
IF (SIGME.LT.0.5*SIGMY) THEN
  SIGCR = SIGME
ELSE
  SIGCR = SIGMY*(1-SIGMY/(4.*SIGME))
ENDIF
RESTR8 = ( SIGML - SIGCR )
C
C 9- ESPESOR MÍNIMO DE LA CUBLERTA - PANDEO (ARRUFO)
SIGML = 1000. * ( MAGTR + MOLAR ) / ( XMDC * 12 * 2 54 ** 3 )
SIGME = 2.3 * ( 1 + ( STRA / SLONCU ) ** 2 ) ** 2 *
1 ((TCUB-0.0787)/(STRA*12.))**2 * 1.E05
IF (SIGME.LT.0.5*SIGMY) THEN
  SIGCR = SIGME
ELSE
  SIGCR = SIGMY*(1-SIGMY/(4.*SIGME))
ENDIF
RESTR9 = ( SIGML - SIGCR )
C
C 10- MODULO SECC. MÍNIMO DE LOS LONGITUDINALES DEL FONDO
RESTR10 = ( SMLFR - SMLF )
C
C 11- MODULO SECC MÍNIMO DE LOS LONGITUDINALES DE CUBIERTA

```

RESTR11=(SMLOR-SMLO)

C

C **12-MODULO SECC. MINIMO DE LA VIGA BUQUE**  
RESTR12=(SMCA-XMOD)

C

C **13-INERCIA MINIMA DE LOS LONGITUD. DEL FONDO - PANDEO (QUEBRANTO)**  
SIGML=1000.\*(MAGTR+MOLQB)/(XMDF\*12.\*2.54\*\*3)  
SIGME=2.1E06\*XILFO/(ALFON\*(STRA\*12.)\*\*2)  
IF(SIGME.LT.0.5\*SIGMY) THEN  
  SIGCR=SIGME  
ELSE  
  SIGCR=SIGMY\*(1-SIGMY/(4.\*SIGME))  
ENDIF  
RESTR13=(SIGML-SIGCR)

C

C **14-INERCIA MINIMA DE LOS LONGITUD DE CUBIERTA - PANDEO (ARRUFO)**  
SIGML=1000.\*(MAGTR+MOLAR)/(XMDC\*12.\*2.54\*\*3)  
SIGME=2.1E06\*XILCU/(ALCUB\*(STRA\*12.)\*\*2)  
IF(SIGME.LT.0.5\*SIGMY) THEN  
  SIGCR=SIGME  
ELSE  
  SIGCR=SIGMY\*(1-SIGMY/(4.\*SIGME))  
ENDIF  
RESTR14=(SIGML-SIGCR)

C

C \*\*\*\*\*IMPRESION DE RESULTADOS\*\*\*\*\*

C

ELSEIF(ICALAQ.3) THEN

WRITE(6,1)

1 FORMAT(//,

1' OPTIMIZACION ESTRUCTURAL PRELIMINAR',//,

2' DEFINICION ESTRUCTURAL SEGUN REGLAS A B S (L. < 200 PIES). 1983')

WRITE(6,2)XLBP,BMAN,DPUN,DCAL,CBLOK,ALPHA\*180/3.1416

2 FORMAT(/,' DIMENSIONES PARA APLICACION DE LAS REGLAS',//,

1 5X,'ESLORA :',F6.2,1X,'pies',/,

2 5X,'MANGA :',F6.2,1X,'pies',/,

3 5X,'PUNTAL :',F6.2,1X,'pies',/,

4 5X,'CALADO :',F6.2,1X,'pies',/,

5 5X,'COEFIC. BLOQUE :',F6.2,/,

6 5X,'ANG. AST. MUERTA :',F6.2,1X,'GRADOS',//)

WRITE(6,22)

22 FORMAT(//,' EL SISTEMA DE ESTRUCTURA ES:')

WRITE(6,\*)SESTR

WRITE(6,4)TQUI,HQUI

4 FORMAT(' ESPESOR DE LA QUILLA DE BARRA:',F7.3,' plgd',/,

1 ' ALTURA DE LA QUILLA DE BAKRA:',F7.3,' plgd',/)

WRITE(6,5)TROD,WROD

5 FORMAT(' ESPESOR DE LA RODA: ',F7.3,' plgd',/,

1 ' ALTURA DE LA RODA: ',F7.3,' plgd',/)

```

WRITE(6,6)TCOD,BCOD
6 FORMAT( ' ESPESOR DEL CODASTE: ',F7.3,' plgd',/,
1 ' ALTURA DEL CODASTE: ',F7.3,' plgd',/)
WRITE(6,8) SMLF,SMLFR,ALFON,XILFO
8 FORMAT( ' MOD. SECC. IONGIT. DEL FONDO :',F7.3,' plgd**3',/,
1 ' MOD. SECC. IONGIT. DEL FONDO ABS:',F7.3,' plgd**3',/,
2 ' AREA DE LONGIT. DEL FONDO :',F7.3,' plgd**2',/,
3 ' INERCIA DE LONG. DEL FONDO :',F7.3,' plgd**4',/)
WRITE(6,10) SMLC,ALCOS,XILCO
10 FORMAT( ' MOD. SECC. LONGIT. DE COSTADO :',F7.3,' plgd**3',/,
1 ' AREA DE LONGIT. DE COSTADO :',F7.3,' plgd**2',/,
2 ' INERCIA DE LONGIT. DE COSTADO :',F7.3,' plgd**4',/)
WRITE(6,13) SML0,SMLOR,ALCUB,XILCU
13 FORMAT( ' MOD. SECC. LONGIT. DE CUBIERTA :',F7.3,' plgd**3',/,
1 ' MOD. SECC. LONGIT. DE CUBTA. ABS:',F7.3,' plgd**3',/,
2 ' AREA DE LONGIT. DE CUBIERTA :',F7.3,' plgd**2',/,
3 ' INERCIA DE LONGIT. DE CUBLERTA :',F7.3,' plgd**4',/)
WRITE(6,14) SMCF,ACFON,SMBU,ABULA,SMBA,ACCUB
14 FORMAT( ' MOD. SECC. CUADERNAS DEL FONDO :',F7.3,' plgd**3',/,
1 ' AREA DE CUADERNAS DEL FONDO :',F7.3,' plgd**2',/,
2 ' MOD. SECC. CUADERNAS DEL COSTADO:',F7.3,' plgd**3',/,
3 ' AREA DE CUADERNAS DEL COSTADO :',F7.3,' plgd**2',/,
4 ' MOD. SECC. BAOS :',F7.3,' plgd**3',/,
5 ' AREADEBAOS :',F7.3,' plgd**2',/)
WRITE(6,7)STRA
7 FORMAT(/, ' ESPACIAM. ENTRE CUADERNAS :',F7.3,' pies')
C WRITE(6,27)SVLO
C 27 FORMAT( ' ESPAC. VAGRAS LONGIT. :',F7.3,' pies')
WRITE(6,25)SLONFO
25 FORMAT( ' ESPAC. LONGITUD. DEL FONDO :',F7.3,' pies')
WRITE(6,23)SLONCO
23 FORMAT( ' ESPAC. LONGITUD. DE COSTADO :',F7.3,' pies')
WRITE(6,24)SLONCU
24 FORMAT( ' ESPAC. LONGITUD. DE CUBIERTA :',F7.3,' pies',/)
WRITE(6,15)TFON,TFONR
15 FORMAT( ' ESPESOR PLANCHAJE DEL FONDO :',F7.3,' plgd',/,
1 ' ESPESOR PLANCHAJE DEL FONDO ABS :',F7.3,' plgd')
WRITE(6,16)TCOS,TCOSR
16 FORMAT( ' ESPESOR PLANCHAJE DE COSTADO :',F7.3,' plgd',/,
1 ' ESPESOR PLANCHAJE DE COSTADO ABS :',F7.3,' plgd')
WRITE(6,17)TCUB,TCUBR
17 FORMAT( ' ESPESOR PLANCHAJE DE CUBLERTA :',F7.3,' plgd',/,
1 ' ESPESOR PLANCHAJE DE CUBIERTA ABS:',F7.3,' plgd',/)
WRITE(6,18)SURFON,PFON*144.0/2200.0
18 FORMAT(/, ' SUPERFICIE DEL FONDO :',F7.1,' pies**2',
1 /, ' PESO PROMEDIO DEL FONDO :',F7.1,' tons')
WRITE(6,19)SURCOS,PCOS*144.0/2200.0
19 FORMAT(/, ' SUPERFICIE DEL COSTADO :',F7.1,' pies**2',
1 /, ' PESO PROMEDIO DEL COSTADO :',F7.1,' tons')

```

```

WRITE(6,20)SURCUB,PCUB*144 0/2200 0
20 FORMAT(/, ' SUPERFICIE DE LA CUBIERTA . ',F7.1,' pies**2',
1 /, ' PESO PROMEDIO DE LA CUBIERTA ',F7.1,' tons')
if (icosto.eq 0) then
WRITE(6.21)WEST
21 FORMAT(/, ' peso PROMEDIO DEL BUQUE ',e12.6,' tons',/)
else
WRITE(6,221)WEST
221 FORMAT(/, ' costo PROMEDIO DEL BUQUE ',e12.6,' sucres',)
WRITE(6,222)cmat
222 FORMAT(/, ' costo materiales ',e12.6,' sucres',)
WRITE(6,223)cmob
223 FORMAT(/, ' costo mano de obra ',e12.6,' sucres',)
WRITE(6,224)csol
224 FORMAT(/, ' costo de soldadura ',e12.6,' sucres',/)
WRITE(6,225)tsfo
225 FORMAT(/, ' long. tot sold. fondo ':f7.1,' pies ',/)
WRITE(6,226)tsco
226 FORMAT(/, ' long. tot. sold. costado ':e12.6,' pies ',/)
WRITE(6,227)ltscu
227 FORMAT(/, ' long. tot. sold. cubierta ':f7.1,' pies ',/)
WRITE(6,228)lts
228 FORMAT(/, ' longitud total soldadura ':e12.6,' pies ',/)
WRITE(6,229)c32
229 FORMAT(/, ' costo mat./ton. acero proc. sold.: ',e12.6,' sucres',/)
WRITE(6,230)l31
230 FORMAT(/, ' costo mano obra proc sold. ':e12.6,' sucres',/)
WRITE(6.231)l32
231 FORMAT(/, ' costo material proc. sold. ':e12.6,' sucres',/)
end if
WRITE(6,3)SMCA
3 FORMAT(' MIN. MODULO SECCIONAL CASCO ',F7.1,' plgd**2 pie',/)
CALL MSVGBQ
WRITE(6.35) XMOD
35 FORMAT(' MODULO SECCIONAL VIGA BUQUE: ',F7.1,' plgd**2 pie',/)
C
: WRITE(6,2500)NRO,NRC,NRB
2500 FORMAT(' NUMERO DE REFUERZOS DEL FONDO ',12,/,
1 ' NUMERO DE REFUERZOS DEL COSTADO ':12,/,
2 ' NUMERO DE REFUERZOS DE CUBIERTA ':12,/) |
WRITE(6,2600)ASEC,XMIN,XINE,XINO
2600 FORMAT(' AREA SECCIONAL ESTRUCTURAL ',F7.1,1X,'PIES**2',/,
1 ' MOMENTO DE INERCIA (LINEA BASE) ',F7.1,1X,'PIES**3',/,
2 ' INERCIA DE LA SECC.(LINEA BASE) ',F7.1,1X,'PIES**4',/,
3 ' INERCIA PROPIAS ',F7.1,1X,'PIES**4')
WRITE(6,2700)MAGTR,MOLAR,MOLQB
2700 FORMAT(' MOMENTO FLECTOR - AG. TRANQUILAS:',F7.1,1X,'kNm',/,
1 ' MOMENTO FLECTOR - ARRFUO ',F7.1,1X,'kNm',/,
2 ' MOMENTO FLECTOR - QUEBRANTO ',F7.1,1X,'kNm')

```



```

ENDIF
C
RETURN
END
C
C *****
C
C SUBROUTINA PARA EL CALCULO DEL MODULO SECCIONAL DE LA VIGA-BUQUE
C
SUBROUTINE MSVGBQ
DIMENSION VCG2(41),X(41),X2S(41),YWP(41)
C
REAL MAGTR,MOLAR,MOLQB
C
COMMON/GLOBCM/STRA,SLONFO,SLONCO,SLONCU,TFON,TCUB,TCOS,
1 SMLF,SMLO,WEST,RESTR1,RESTR2,RESTR3,RESTR4,RESTR5,RESTR6,
2 RESTR7,RESTR8,RESTR9,RESTR10,RESTR11,RESTR12,RESTR13,RESTR14,
3 XMDF,XMDC,XMOD,SMCA,DCAL,CBLOK,DMAMTR,DMAMLO,TQUI,HQUI,TROD,
4 WROD,TCOD,BCOD,TLCOS,ALFON,SMCF,ACFON,PSARF,SMLC,ALCOS,SMCC,
5 ACCOS,SMBU,ABULA,PSARO,TCUBI,ALCUB,SMBA,ACCUB,PSARC,SIGMY,
6 TMAM,SMMA,ARMAM,PSAR,PFON,PCOS,PCUB,MAGTR,MOLAR,MOLQB,
7 ALPHA,NRO,NRC,NRB,ASEC,XMIN,XINE,XINO,ZEJE,ZINV,
8 XILFO,XILCO,XILCU,DUMMY(1422)
C
COMMON /DOS/VCG2,VOL,VOLD,V2,WPIL,WPIT,X,XKB,XLBP,XI,CB,XLCF,XLCG
1,XLCGD,XLOA,XMAX,XMID,X2S,YWP,Y2,ZSCAL,INDST(31),INDWD(201),SDTSV
2(7175),KALLT,NAP,NAPND,KINDA(30),SIGNA(30),VOLAP(30),XPRAP(30)
3,VPRAP(30),TPRAP(30),INSTA(31),INWDA(201),SDTAP(4000),STSPC,X3S
4(51),Y3S(51)
C
COMMON /CINCO/SURCUB,SURFON,SURCOS,XFON,ZFON,XCOS,ZCOS,XCUB,ZCUB,
1 BMAN,DPUN,ZMID1,YMID1,ZMID2,YMID2
C
C ALPHA ANGULO DE ASTILLA MUERTA
C NRO NUMERO DE LONGITUDINALES DEL FONDO
C NRC NUMERO DE LONGITUDINALES DE COSTADO
C NRB NUMERO DE LONGITUDINALES DE CUBIERTA
C ASEC AREA SECCIONAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES
C XMIN SUMATORIA DE AREA*DISTANCIA
C XINE SUMATORIA DE AREA*DISTANCIA**2
C XINO SUMATORIA DE INERCIA PROPIAS DE CADA ELEMENTO
C ZEJE DISTANCLA DESDE LINEA REFERENCLA AL EJE NEUTRO REAL
C XINV INERCIA VIGA-BUQUE
C XMOD MODULO SECCIONAL VIGA-BUQUE
C
ASEC = 0.0
XMIN = 0.0
XINE = 0.0

```

XINO = 0.0

C CONTRIBUCION DE LOS REFUERZOS DEL FONDO  
 ALPHA = ATAN( (ZMID2-ZMID1)/(YMID2-YMID1) )  
 NRO = NINT( (0.9\*BMAN/2.0)/(COS(ALPHA)\*SLONFO) ) - 1  
 ASEC = ASEC + NRO\*ALFON/144  
 DO 500 I=1,NRO  
 XMIN = XMIN +(ALFON/144) \* ( ZMID1+I\*SLONFO\*SIN(ALPHA) )  
 XINE = XINE +(ALFON/144.) \* ( ZMID1+I\*SLONFO\*SIN(ALPHA) )\*\*2  
 500 CONTINUE

C  
 C CONTRIBUCION DE LOS REFUERZOS DEL COSTADO  
 ALH = ( ZMID1 + BMAN/2.0\*TAN(ALPHA) )  
 ALT = DPUN - ALH  
 NRC = NINT( 0.9\*ALT/SLONCO ) - 1  
 ASEC = ASEC + NRC\*ALCOS/144.  
 DO 1500 I=1,NRC  
 XMIN = XMIN +(ALCOS/144.) \* ( ALH+I\*SLONCO )  
 XINE = XINE +(ALCOS/144.) \* ( ALH+I\*SLONCO )\*\*2  
 1500 CONTINUE

C  
 C CONTRIBUCION DE LOS REFUERZOS DE CUBIERTA  
 NRB = NINT( 0.9\*BMAN/2./SLONCU ) - 1  
 ASEC = ASEC + NRB\*ALCUB/144.  
 XMIN = XMIN + NRB\*(ALCUB/144)\*DPUN  
 XINE = XINE + NRB\*(ALCUB/144.)\*DPUN\*\*2

C  
 C CONTRIBUCION DEL PLANCHAJE DEL FONDO  
 ASEC = ASEC + BMAN/2 /COS(ALPHA)\*TFON/12  
 ALTF = ZMID1 + BMAN/4.0\*TAN(ALPHA)  
 XMIN = XMIN + BMAN/2 /COS(ALPHA)\*TFON/12 \*ALTF  
 XINE = XINE + BMAN/2./COS(ALPHA)\*TFON/12.\*ALTF\*\*2  
 XLFON = BMAN/2.0/COS(ALPHA) \* (TFON/12)\*\*3 / 12  
 YLFON = (BMAN/2.0/COS(ALPHA))\*\*3 \* (TFON/12.) / 12.  
 XINO = XINO + XLFON\*(COS(ALPHA))\*\*2 + YLFON\*(SIN(ALPHA))\*\*2

C  
 C CONTRIBUCION DEL PLANCHAJE DEL COSTADO  
 DVER = ( ZMID1 + BMAN/2.0\*TAN(ALPHA) ) + ALT/2.0  
 ASEC = ASEC + ALT\*TCOS/12.  
 XMIN = XMIN + ALT\*TCOS/12.\*DVER  
 XINE = XINE + ALT\*TCOS/12.\*DVER\*\*2  
 XINO = XINO + TCOS/12.\*ALT\*\*3 / 12.

C  
 C CONTRIBUCION DEL PLANCHAJE DE CUBIERTA  
 ASEC = ASEC + BMAN/2.0\*TCUB/12.  
 XMIN = XMIN + BMAN/2.0\*TCUB/12.\*DPUN  
 XINE = XINE + BMAN/2.0\*TCUB/12.\*DPUN\*\*2

C  
 C CONTRIBUCION DE LA QUILLA  
 ASEC = ASEC + TQUI\*HQUI/144

```

XMIN = XMIN + TQUI*HQUI/144 *ZMID1
XINE = XINE + TQUI*HQUI/144 *ZMID1**2
XINO = XINO + TQUI*HQUI**3/12./(12.**4)
C
ZEJE = XMIN / ASEC
XINV = 2.0 * (XINE + XINO - ASEC*ZEJE**2 )
CFON = ZEJE - ZMID1
CCUB = DPUN - ZEJE
XMDF = XINV / CFON * 144.0
XMDC = XINV / CCUB * 144.0
XMOD = MIN(XMDF,XMDC)
RETURN
END
C
C *****
C
C SUBROUTINE AREFR(SLON,TPL,ZMD,XIREF,AREF)
C
C 'CALLRAIZ(SLON/3.,TPL,ZMD,RZ,0.01)
C
C AREF = 2. * RZ * TPL
C POSCEN = RZ*((0.5*RZ*TPL+RZ*TPL)/(2.*RZ*TPL) )
C
C XIREF = (RZ**3*TPL/12) +
1 ((RZ*TPL)*(RZ/2-POSCEN)**2) + ((RZ*TPL)*(RZ-POSCEN)**2)
C
C RETURN
C END
C *****
C
C SUBROUTINE RAIZ(bpl,tpl,zmd,rtflsp,XACC)
C PARAMETER (MAXIT=300)
C distancia de la fibra mas alejada, a
C aw(x) = x * tpl
C af(x) = x * tpl
C
C ' poscen(h) = h*((0.5*h*tpl+h*tpl)/(h*tpl+h*tpl+bpl*tpl))
C poscen(x) = x*((0.5*aw(x)+af(x)) / (af(x)+aw(x)+ap) )
C
C I-Z*(h-a)=0.0
C func(x) = ap*(poscen(x))**2 + (x**3*tpl/12) +
1 aw(x)*(x/2-poscen(x))**2 + af(x)*(x-poscen(x))**2
2 - (zmd*(x - poscen(x)))
C
C ap = bpl*tpl
C determinacion del rango de busqueda
C x1 = 0.001
C x2 = x1
C f = func(x1)

```

```

do while(f.lt.0.0)
  x2=x2+1.0
  f=func(x2)
end do
FL=FUNC(X1)
FH=FUNC(X2)
IF(FL*FH.GT.0.) PAUSE 'Root must be bracketed for false position'
IF(FL.LT.0.)THEN
  XL=X1
  XH=X2
ELSE
  XL=X2
  XH=X1
  SWAP=FL
  FL=FH
  FH=SWAP
ENDIF
DX=XH-XL
DO 11 J=1,MAXIT
  RTFLSP=XL+DX*FL/(FL-FH)
  F=FUNC(RTFLSP)
  IF(F.LT.0.) THEN
    DEL=XL-RTFLSP
    XL=RTFLSP
    FL=F
  ELSE
    DEL=XH-RTFLSP
    XH=RTFLSP
    FH=F
  ENDIF
  DX=XH-XL
  IF(ABS(DEL/rtflsp) I.T XACC OR F EQ 0 ) RETURN
11 CONTINUE
PAUSE 'RTFLSP exceed maximum iterations'
END

```

**C subrutina para el calculo de la funcion objetivo costo  
subroutine costo(icosto,cmat,cmob,csol)**

**C**

REAL MAGTR,MOLAR,MOLQB,lrep,l,neplf,  
1 neptf,nerlf,nerf,ltso,neplco,neptco,nerlco,nerlco,  
2 ltso,neplcu,neptcu,nerleu,nerleu,ltscu,ltscu,ltscu,b

**C**

COMMON/GLOBCM/STRA,SLONFO,SLONCO,SLONCU,TFON,TCUB,  
1TCOS,SMLF,SMLO,WEST,RESTR1,RESTR2,RESTR3,RESTR4,RESTR5,  
2RESTR6, **RESTR7,RESTR8,RESTR9,RESTR10,RESTR11,RESTR12,**  
3RESTR13,RESTR14,XMDF,XMDC,XMOD,SMCA,DCAL,CBLOK,  
4DMAMTR,DMAMLO,TQUI,HQUI,TROD,WROD,TCOD,BCOD,TLCOS,  
5ALFON,SMCF,ACFON,PSARF,SMLC,ALCOS,SMCC, ACCOS,SMBU,  
6ABULA,PSARO,TCUB1,ALCUB,SMBA,ACCUB,PSARC,SIGMY,TMAM,  
7SMMA,ARMAM,PSAR,PFON,PCOS,PCUB, MAGTR,MOLAR,MOLQB,  
**8ALPHA,NRO,NRC,NRB,ASEC,XMIN,XINE,XINO,ZEJE,ZINV, XILFO,**  
9XILCO,XILCU,IJOB,DUMMY(1421)

**C**

COMMON/DOS/VCG2,VOL,VOLD,V2,WPIL,WPIT,X,XKB,XLBP,XLCB,  
1 XLCF,XLCG,XLCGD,XLOA,XMAX,XMID,X2S,YWP,Y2,ZSCAL,  
2INDST(31),INDWD(201),SDTSV2(7175),KALLT,NAP,NAPND,KINDA(30),  
3SIGNA(30),VOLAP(30),XPRAP(30),VPRAP(30),TPRAP(30),INSTA(31),  
4INWDA(201),SDTAP(4000),STSPC,X3S(51),Y3S(51)

**C**

COMMON/CINCO/SURCUB,SURFON,SURCOS,XFON,ZFON,XCOS,  
1ZCOS,XCUB,ZCUB,BMAN,DPUN,ZMID1,YMID1,ZMID2,YMID2  
COMMON/SEIS/SUNID,SESTR,RSPCBT

**C**

COMMON/siete/ltso,ltso,ltscu,ltscu,ltscu,c32,f31,f32

**C**

west1 = (pfon + pcos + peub)\*144./2200.  
IF (ICOSTO.EQ.0) THEN  
WEST = WEST1  
ELSE

**C**

constantes a utilizarse para la funcion objetivo costo

**C**

c1: costo por tonelada de acero (\$/ton)  
c1 = 2500000.

**C**

c21: numero de semanas planificadas para la construcción  
c21 = 40.0

**C**

c22: pago por semana  
c22 = 1000000.0

**C**

c23: peso **total** de la estructura del casco considerada(tons)  
c23 = 40.0

**C**

c2: costo de mano de obra por tonelada de acero (\$/ton)  
c2 = c21\*c22/c23

- C c24: porcentaje adicional trabajo para proa  
 $c24 = 1.3$
- C c25: porcentaje adicional trabajo para popa  
 $c25 = 1.3$
- C c26: peso considerado para la proa  
 $c26 = 0.20 * west1$
- C c27: peso considerado para la popa  
 $c27 = 0.20 * west1$
- C c28: **peso** considerado cuerpo medio  
 $c28 = 0.60 * west1$
- C Longitud representativa, LREP  
 $lrep = xlp$
- C Ancho **representativo**, BREP  
 $brep = bman$
- C dimensiones de la plancha a considerarse  
 $l = 4.0 * 3.28$   
 $b = 1.5 * 3.28$
- C
- C calculo de la funcion objetivo costo
- C
- C costo de materiales  
 $cmat = c1 * west1$
- C
- C costo de mano de obra  
 $cmob = (c24 * c26 + c28 + c25 * c27) * c2$
- C
- C costo de soldadura
- C **fondo**
- C numero de cordones soldadura longitudinalmente para planchas  
 $ncplf = brep / b$
- C **numero de** cordones soldadura transversalmente para planchas  
 $ncptf = lrep / l$
- C numero de cordones soldadura longitudinalmente para refuerzos  
 $nrcrf = surfon / slonfo$
- C numero de cordones soldadura transversalmente para refuerzos  
 $nrcrf = surfon / stra$
- C longitud de soldadura total  
 $ltsfo = 4 * ncplf * lrep + 4 * ncptf * brep + nrcrf + nrcrf$
- C
- C **costado**
- C numero de cordones soldadura longitudinalmente para planchas  
 $ncplco = 0.70 * dpun / b$
- C numero de cordones soldadura transversalmente para planchas  
 $ncptco = 0.90 * lrep / l$

```

C numero de cordones soldadura longitudinalmente para refuerzos
ncrlco = surcos/slonco
C numero de cordones soldadura transversalmente para refuerzos
ncrtco = surcos/0.90*stra
C longitud de soldadura total
ltsco = 4*ncplco *lrep+4*ncptco *brep+ncrlco+ncrtco
C
C cubierta
C numero de cordones soldadura longitudinalmente para planchas
ncplcu = brep / b
C numero de cordones soldadura transversalmente para planchas
ncptcu = lrep / l
C numero de cordones soldadura longitudinalmente para refuerzos
ncrlcu = surcub/sloncu
C numero de cordones soldadura transversalmente para refuerzos
ncrtcu = surcub/stra
C longitud de soldadura total
ltscu = 4*ncplcu*lrep+4*ncptcu*brep+ncrlcu+ncrtcu
C
C longitud de soldadura total
lts = ltsfo + ltsco + ltscu
C
C costo por unidad lineal del cordon de soldadura
c31 = 60000./80.
C porcentaje del peso de la estructura
p = 0.04
C costo de libra de soldadura
c321 = 3000.
C costo de libra de oxigeno
c322 = 300.
C costo de material proceso de soldadura por tonelada de acero
c32 = (c321 + c322)*2200.
C costo mano de obra para soldadura
f31 = c31*lts
C costo material para soldadura
f32 = c32*p*westl
C costo total para soldadura
csol = f31 + f32
C funcion objetivo costo
west = cmat + cmob + csol
ENDIF
return
end

```

**BIBLIOGRAFÍA.**

1. American Bureau of Shipping, RULES FOR BUILDING AND CLASSING FOR STEEL VESSELS UNDER 61 METERS ( 200 FEET ) IN LENGTH, ABS, Usa, 1983.
2. Andino, Luis, COMUNICACION PERSONAL, Noviembre, 1996.
3. Alaña Pine, Carlos, OPTIMIZACIÓN APLICADA AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS, Tesis de Grado de Ingeniero Mecánico - ESPOL, 1985.
4. Alvarez, José, DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN BUQUE TANQUE PARA CABOTAJE NACIONAL EMPLEANDO LAS RECOMENDACIONES DE LA O.M.I. (I.M.C.O.T) Tesis de Grado de Ingeniero Naval - ESPOL, 1988



**5. Brito, Augusto Oscar - Nuñez Díaz, Carlos ,THE OPTIMUM SHIP STRUCTURE DESIGN, XIV Congreso Panamericano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria, Perú, 1995.**

11. Marin, Jose R., **DISEÑO ESTRUCTURAL PRELIMINAR**, MANUAL DEL USUARIO, 1992.
12. Marín, Jose R., **PROGRAMA GENFORMS-GENERACION PRELIMINAR DE LÍNEAS DE FORMA**, MANUAL DEL USUARIO, 1993.
13. Nowacki, Horst, Woodward, John B. , **SHIP STRUCTURAL DESIGN BY COMPUTER, COMPUTER-AIDED SHIP DESIGN**. University of Michigan, 1987.
14. ~~Parsons~~ Michael, **INFORMAL COURSE NOTES FOR NA470 SHIP DESIGN II**, The Department of Naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, 1990.
15. Parsons Michael, **OPTIMIZATION METHODS FOR USE IN COMPUTER-AIDED SHIP DESIGN**, Proceedings of the First Ship Technology and Research (STAR) Symposium, Washington, D.C. ,1975.
16. Rahman, M.K., **RULED-BASED OPTIMIZATION OF MIDSHIP STRUCTURES** ,Marine Structures, Great Britain, 1990.
17. Timoshenko S., **RESISTENCLA DE MATERIALES**, España, 1978.

**18. Vanderplaats, Garret N., CONMIN - A FORTRAN PROGRAM FOR  
CONSTRAINEDFUNCTIONMINIMIZATION, User's Manual, 1973.**

**19. Vanderplaats, Garret N., COPES - A FORTRAN CONTROL PROGRAM FOR  
ENGINEERING SYNTHESIS, User's Manual, 1973.**

**20. Vanderplaats, Garret N., NUMERICAL OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR  
ENGINEERING DESIGN: WITH APPLICATIONS, Usa, 1984**