

XIX COPINAVAL

Embarcación Alta Velocidad Multipropósito.

Se establece un criterio para el diseño básico de una embarcación siguiendo los pasos del trabajo realizado por D. E. Calkins, en el SNAME Transactions, Vol. 91, 1983, pp 49-87. "An Interactive Computer-Aided Design Syntjesis Program for Recrational Powerboats"

La embarcación propuesta es de gran tamaño como para satisfacer variados requerimientos: Transporte de containers (TEU); Transporte de 300 personas para trayectos costeros; De salvamento y rescate; Defensa costera para la evitar la pesca foránea; Uso para la Armada como porta-helicopteros; equipo rodante, etc. El desarrollo de la misma, prioriza planta propulsora de bajo peso compatible con la turbina aero derivada.

Básicamente el trabajo se divide en tres secciones: 1ª, determinación de la eslora mojada; determinación del peso del casco, planta propulsora, combustible y personas; determinación de la fuerza sustentante a la velocidad de servicio en equilibrio con los pesos. 2ª, equilibrio de las fuerzas y momentos actuantes: de fricción, de pesos, de sustentación, de propulsión, e hidráulica a la velocidad requerida y asiento de planeo. Algoritmo para el equilibrio de las fuerzas actuantes. Calculo de ehp [sf]. 3ª, Determinación del uso del Flap, para disminuir la resistencia hidráulica, por ende la potencia. Cálculo de ehp [cf].

Apéndices, Esquemas, Gráficos, Figuras y plano de la embarcación al final.

Autor del Presente Trabajo:

Efraín D. C. Ledesma

Ingeniero Naval y Mecánico de la Universidad de Buenos Aires, Profesor Adj. de Turbomáquinas.

Estudio Técnico: Consultora L & L Ingenieros

Av. Del Libertador 844, 8vo piso, depto E, [1001] Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

email: ingpayledesma@uolsinectis.com.ar te: 054 11 4812 3317

Objetivo:

Diseño embarcación con capacidad de transporte y rápida: +50knots.

Se trata entonces de un diseño de empuje hidrodinámico (ó en modo planeo) Ver figura 1: Rt/Δ función (Nº de Froude Volumétrico)

Primera Parte.

De la serie de la tabla “Geometric Particulars of Models used in Reg

gression Analysis” NPL, de Norsdtrom, DeGroot, SSPA, serie/64, s/63 y s/62; Tabla 4, vol 13, nº 4, pp381-400 oct. 1976 in Marine Technology: ‘Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water’ por Daniel Savitsky y Ward Brown se elige esta ultima, s/62, por ser el inicio de las series de cascos prismáticos. Esto nos es útil pues es una referencia para los datos de carena de la embarcación. La velocidad es siempre un elemento requerido por el Cliente. (Ver figura 2: Table 4--‘Geometric particulars of models used in regression analysis’)

Se usan unidades inglesas.

Factores a considerar antes de iniciar los cálculos; Todos los paréntesis con números indican la ecuación original dada en el trabajo de Calkins.

1. Determinar el coeficiente de velocidad, nº adimensional, que relaciona la energía de elevación necesaria mínima del centro de gravedad para el planeo con el parámetro manga, a una determinada velocidad. (Ver apéndice). Demostraciones empíricas para planeo estable indican C_v igual o mayor a dos. En estas condiciones el centro de gravedad de la embarcación se eleva y deja de existir empuje hidrostática (igual a desplazamiento), para convertirse en empuje hidrodinámico.

C_v = Coef. de velocidad [2]

$$C_v = v / (32,2 \times B\Phi) \perp |$$

Se adopta $C_v = 2,35$ para una manga en sección maestra $B = 40\text{ft}$, $v = 50\text{knots} = 84,34\text{fps}$, y $B_t = 38\text{ft}$

2. Angulo de astilla muerta β , pudiendo variar de 10° a 30° según estado de mar.
(valores estadísticos)

Se adopta $\beta = 20^\circ$

3. Angulo de asiento longitudinal de planeo τ para sin flap ronda entre 4° y 6°

Valores recomendados en el trabajo de A. Murray 'The Hydrodynamics of Planning Hulls'

Adoptamos $\tau = 5,5^\circ$ de asiento longitudinal en planeo.

4. Determinación de pesos: Ver estimación de pesos en el Apéndice. Se establece la posición del centro de gravedad según series 62 recomendada, o sea 0,06 de LPP a popa de la sección media. Una primera corrida con dicho valor no satisfizo, con lo que una segunda corrida determina $LCG = 55,33'$ desde AP (ubicación del transom)

Para nuestro caso; $W_{\text{casco}[3]} = 5.345\text{E}5\text{ lb}$ -Peso casco vacío-

Se estima la potencia efectiva según figura 1, $e_{hp}[4] = 23221\text{ hp}$, en la curva de 'Slenderness ratio' ($L/V^{1/3} \geq$), $SR = 4,067$ y $F_n \nabla$ (N° de Froude volumétrico) = 2,835 obtenemos $R_t/\Delta = 0.115$, $R_t = 1.51\text{E}5\text{ lb}$, para $\Delta = 1.328\text{E}6\text{ lb}$ (s/ec. De Hobbs); con un rendimiento propulsivo de 0,591 obtenemos $shp = 39.2\text{E}3\text{ hp}$.

Con estos datos estimamos el peso de la planta propulsora equipada con turbina de gas aero derivada con reducción, factor 4 lb/shp; luego $W_{pp} = 1.571\text{E}5\text{ lb}$; peso del combustible $N_g [7] = 4.38\text{E}5\text{ lb}$ ($= 0.19\text{Kg comb/h} \times shp \times 1/0,454\text{ Kg/lb} \times 26.7\text{ h}$, ó un radio de acción de 668 millas marinas), $W_{\text{carga}} = \Delta - (W_{\text{casco}} + W_{pp} + N_g) = 1.98\text{E}5\text{ lb}$; $\Delta = C_{\Delta h} \times B^3 \times w = 1.33\text{E}6\text{ lb}$, siendo el coeficiente de carga $C_{\Delta h} [6] = 0.324$, $w = 64\text{ lb/ft}^3$ el peso específico del agua salada. Δ es el desplazamiento de la embarcación a velocidad cero.

- Cálculo de la longitud media mojada λ

Tenemos tres ecuaciones y cuatro incógnitas: λ , T_k , L_k , L_c

$$\lambda = (L_k + L_c) / 2 \times B = T_k / (B \cdot \sin \tau) - \operatorname{tg} \beta / (2\pi \cdot \operatorname{tg} \tau) \text{ para } C_v > 2 \quad [16]$$

$$T_k = L_k / \sin \tau \quad [28]$$

$$L_k = \lambda \cdot B + (B \cdot \operatorname{tg} \beta / (2\pi \cdot \operatorname{tg} \tau)) \quad [27]$$

Con lo que nos valemos de la ecuación de Savitsky para resolver el problema:

$$\lambda = 0,16 \cdot (\operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg} \tau) + 3 \cdot C_v'' \cdot \sin \tau$$

$$\lambda = 2,19$$

donde L_k es la longitud mojada al centro del plano de crujía y L_c al borde, “chine line” ó cantonera a la velocidad (v), B manga en sección media, β es el ángulo de astilla muerta al centro, en sección media y también en popa, consideramos casco prismático luego: $\beta_t = \beta_{\tau} = \beta$

En este punto es donde en el trabajo de Calkins -SNAME Transactions, Vol. 91, 1983, pp 49-87. - introduce la ec. [3] del trabajo Savitsky y Brown: (vol 13, nº 4, pp381-400 oct. 1976 in Marine Technology: ‘Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water’); Obtenido λ se obtienen:

$$L_k = \lambda \cdot B + (B \cdot \operatorname{tg} \beta / (2\pi \cdot \operatorname{tg} \tau)) = 111,7 \text{ ft}$$

$$L_c = \lambda \cdot B - (B \cdot \operatorname{tg} \beta / (2\pi \cdot \operatorname{tg} \tau)) = 63,64 \text{ ft}$$

El asiento en popa será: $T_k = L_k \times \sin \tau = 10,71 \text{ ft}$

Cálculo de coeficientes: \dot{A} , K y k_1 para resolver el área del “SPRAY”

- $K = 1,5708 - 0,1515 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{sen}''\beta - 0,2809 \cdot \operatorname{tg}''\beta \cdot \operatorname{cos} \beta = 1,529$ (coeficiente de Astilla Muerta)
- $k_1 = \operatorname{tg} \tau \cdot K / \operatorname{tg} \beta = 0,404$ (coeficiente de Asiento)

- $\dot{A} = [\sin''\tau \cdot (1-2K) + \{K'' \cdot \text{tg}''\tau / (\sin''\beta - \sin''\tau)^{1/2}\}] / [\cos\tau + K \cdot \text{tg}\tau \cdot \sin\tau] = 0.044$
(coeficiente del Área de Sustentación)
- $\phi = \arctg \{[\dot{A} + k_1] / [1 - \dot{A} \cdot k_1]\} = 24,569$ (coeficiente del Flujo)

Se establece el Área Mojada del plano de sustentación:

$$S_p = \lambda \cdot B'' / \cos\beta = 3734 \text{ ft}^2$$

El “spray”, área secundaria:

$S_s = \{\text{tg}\beta / (\pi \cdot \text{tg}\tau) - (\text{tg}\phi \cdot \cos\beta) / 2\} \cdot B'' / (2 \cos\beta) = 1023 \text{ ft}^2$ dicha área no interviene en la sustentación pero sí en la resistencia al avance.

- Cálculo de la velocidad [Vm] que origina *el campo de sustentación* para una dada velocidad v:

$$V_m = v \{ [1 - (\kappa - 0,0065 \cdot \beta \cdot \kappa \pm 0,6) / (\lambda \cdot \cos\tau)] \pm 0,5 \} = 82,774 \text{ ft/s}$$

$$\text{Donde, } \kappa = 0,012 \cdot [\lambda \pm 0,5] \cdot [\tau \pm 1,1] = 0,116$$

- Cálculo del coeficiente de sustentación y por ende del empuje “Lift” ó Sustentación hidrodinámica:

$$C_{l0} = \{ [(\lambda \pm 5 / 2) \cdot 0,0055 / C_v''] + [0,012 \cdot \lambda^{1/2}] \} \cdot \tau \pm 1,1 = 0,16 \text{ [18]}$$

Donde C_{l0} es el coeficiente de sustentación para $\beta = 0^\circ$, y para $\beta = 20^\circ$, será:

$$C_{l\beta} = C_{l0} - 0,0065 \cdot \beta \cdot C_{l0} \pm 0,6 = 0,12 \text{ [18]}$$

Determinación de la sustentación, (ó lift) *debiendo* este, igualar al desplazamiento, o peso total de la embarcación.

$\Delta = C_{l\beta} \cdot v'' \cdot B'' \cdot \gamma / 2 = 1.34E6 \text{ lb [18]}$, siendo la densidad $\gamma = w / 32,2 = 64 / 32,2 = 1,988 \text{ lb} \cdot \text{s}'' / \text{ft}'' \cdot \text{ft}''$, $v = 84,335 \text{ fps}$, $B = 40 \text{ ft}$, $C_{l\beta} = 0,12$ donde $w = 64$ y 62 para agua salada y dulce respectivamente (lb/cuft) y la aceleración de la gravedad: $32,2 \text{ ft/s}''$

Y el desplazamiento: $\Delta = 1.33E6 \text{ lb [18]}$; que para continuar los cálculos se considera lo suficientemente exacto. La sustentación y los pesos totales igual al desplazamiento

son:

Entonces: $\Delta \sim \Lambda$

Segunda Parte

Se calculan las fuerzas actuantes, brazos y momentos.

- Fuerza de Presión

Dp: Es la componente de los pesos que debido al movimiento del plano en el sentido de la velocidad, se opone a esta.

$$Dp = \Delta \cdot \text{tg}\tau = 127900 \text{ lb [19]}$$

- Fuerzas de Fricción

Dtp: fuerza resistente correspondiente a la fricción del flap cuando este actúa.

$Dtp = [\tau + \delta] \cdot \Lambda t \cdot 0,0052 = 0(\text{lb})$ (Drag transom pressure); $\delta = 0^\circ$, $\Lambda t = 0 \text{ lb}$, siendo δ el ángulo deflector del flap y Λt la fuerza ascensional del flap, en la tercera parte se dará parte a la acción del mismo.

Df: fuerza resistente correspondiente a la fricción del área del casco, Sp

$Df = \gamma/2 \cdot [V_m'' \cdot S_p \cdot (C_{f1} + \Delta c_f)] = 5,974 \text{ E4 lb}$ (drag frictional), siendo Δc_f el coeficiente de rugosidad superficial del plano = 0.0004 in. ó consultar con tablas hidráulicas en función de la altura de las imperfecciones. C_{f1} es el coeficiente de fricción del casco en función del Reynolds.

Dsp: Es la resistencia que corresponde al “spray”

$$Dsp = \gamma/2 \cdot [v'' \cdot S_s \cdot (C_{f1} + \Delta c_f)] = 1.707 \text{ E4 lb (drag surface plane)}$$

Dsk: Es la resistencia de la/s pata/s de gallo

$Dsk = C_{f2} \cdot S_{Sk} \cdot V_m'' \cdot \gamma / \cos\tau$ (lb) (drag skeg), siendo S_{Sk} la proyección del lateral en (ft²). C_{f2} es el coeficiente de fricción del elemento en función del Reynolds.

Dr: Es la resistencia del timón o los timones

$D_r = C_{f3} \cdot [1 + 2t/c + 60 (t/c)^{1.4}] \cdot \gamma \cdot S_r \cdot v''$ (lb) (rudder drag), siendo t/c (ancho/cuerda) la relación en perfiles alares y S_r el área lateral del timón en (ft²).

- Cálculo de los Números de Reynolds para obtener los coeficientes de fricción actuantes por fricción:

$Re_{\text{casco}} = \lambda \cdot B \cdot V_m / \nu = 5,7 E8$ donde $\nu = 1,2817 E-5$ es la viscosidad cinemática del agua para 15°

$Re_{\text{apéndice}} = i \cdot V_m / \nu$ donde el primer factor i , es el ancho del perfil característico de la pata de gallo de la línea de ejes.

$Re_{\text{timón}} = i \cdot v / \nu$ donde el primer factor i , es la semisuma de los anchos superior e inferior del timón. Nota: A los efectos de simplificar, se toma $D_r + D_{sk} = 10\% D_f = 5.97 E3$ lb

- Cálculo de los coeficientes de fricción

Utilizando las fórmulas de ITTC o por gráfico de Schoengerr:

1° $C_f = 0,075 / (\log Re - 2)^2$

2° $0,242 / C_f^{0,5} = \log(Re \cdot C_f)$ siendo C_f el coeficiente de fricción respectivo a los apéndices y timón, C_{f2} y C_{f3} en consecuencia tendremos recomendado el uso, para calcular por Schoengerr $C_{f1} = 1,96 E-3$

- Cálculo de los brazos de balance

La nomenclatura usada es el resultado de tener en cuenta el detalle; $l =$ “lift” y $d =$ “drag”

Comenzamos por el principal l_{cp} , distancia del centro de presión de Λ , al centro de gravedad de la embarcación; Λ actúa perpendicular a la línea de horizonte.

Para obtener el centro de gravedad es necesario tener una distribución de pesos preliminar, determinar sus coordenadas (vertical [VCG] y horizontal [LCG]) y a partir de la conocida fórmula: $[VCG] = (W_{gi} \cdot Y_{gi}) / (W_{gi})$ y $[LCG] = (W_{gi} \cdot X_{gi}) / (W_{gi})$, respectivamente, debiéndose elegir y mantener el centro de gravedad como

referencia para el cálculo. Realizando calculos previos de ajuste, se determina LCG = 55.33 ft. y VCG = 15 ft se tomo estimativamente.

$lcp[24] = LCG - \lambda \cdot B \{0,75 - 1/ [(5,21 \cdot Cv'' / \lambda'') + 2,39]\} = 0.0364$ ft (a popa del centro de gravedad).

df: brazo de la fuerza friccional del casco, Df:

$$df = VCG - tg\beta \cdot B/4 = 11,36 \text{ ft}$$

dsp: distancia de las superficie del 'spray' de la Dsp:

$$dsp = VCG - tg\beta \cdot B/3 = 10,14 \text{ ft}$$

lt: brazo de la fuerza ascensional del flap Δt :

$lt = \{LCG + CT \cdot \cos\delta\} \cos\tau - (0,6 \cdot BT) = 33,81$ ft para $BT = 40,44$ ft que es la longitud del flap y $CT = 3$ ft, la cuerda del mismo; $BT = Bt/\cos\beta$ en este caso delta δ es cero.

dtp: brazo de la fuerza de fricción del flap:

$$dtp = VCG \cdot \cos\tau + LCG \cdot \sin\tau - tg\beta \cdot \cos\tau \cdot BT/4 = 16.57 \text{ ft}$$

dsk: brazo de Dsk, del skeg, medido en obra o en plano, se estima en 14,5 ft

dr: idem respecto a Dr, timón, medido en obra o en plano se estima en 15,5 ft

se tomará el conjunto a 15 ft de AP, ó $dr,sk = 40.33$ ft de LCG.

- Calculo del empuje de la hélice

La proyección de todas las fuerzas en el horizonte suma cero, es decir: $\Sigma F_x = 0$, Como la unica fuerza que se opone al movimiento es el empuje de la hélice que trasmite por el eje un valor T tal que:

$$T \cdot \cos(\tau + \varepsilon) = (Df + Dsp) \cdot \cos\tau + Dp + Dtp + Dsk \cdot \cos\tau + Dr$$

$$T = [(5,974 \text{ E4} + 1.707 \text{ E4}) \cdot \cos 5,5^\circ + 1,279 \text{ E5} + 5,974 \text{ E3}] / \cos 18.5^\circ = 2.218 \text{ E5 lb}$$

Donde ϵ es el ángulo de la línea de eje con la quilla; D_{sk} y D_r se supone un 10% de D_f siendo T el empuje colineal con la línea de ejes, $\epsilon = 13^\circ$

- Momentos Actuantes

Para el cálculo de la distancia (L_{tt}) de aplicación del empuje (T) debido al propulsor, lo resolvemos como incógnita:

Sentido de los momentos: (+) con las agujas del reloj. Para la correcta aplicación se recomienda esquematizar en un plano las fuerzas en sus puntos de aplicación y el sentido de las mismas, para así, ubicar los signos de los momentos.

Tomando momentos c/respecto a CG), deberá ser $\sum M_y = 0$ Sentido de los momentos: (+) con las agujas del reloj. Para la correcta aplicación se recomienda esquematizar en un plano las fuerzas en sus puntos de aplicación y el sentido de las mismas, para así, ubicar los signos de los momentos.

$$T \cdot L_{tt} = \Lambda \cdot l_{cp} / \cos \epsilon + D_f \cdot d_f + D_{sp} \cdot d_{sp} + \Lambda_t \cdot l_t + D_{tp} \cdot d_{tp} + (D_{sk} + D_r) \cdot d_{r,sk} \quad [26]$$

(lb•ft)

Con las consideraciones de flap no aplicado: $\Lambda_t \cdot l_t + D_{tp} \cdot d_{tp} = 0$ lb.ft

$T \cdot L_{tt} = \Lambda \cdot l_{cp} / \cos \epsilon + D_f \cdot d_f + D_{sp} \cdot d_{sp} + (D_{sk} + D_r) \cdot d_{r,sk}$, en esta ecuación debemos observar lo siguiente:

Siendo L_{tt} la distancia del eje propulsor al centro de gravedad, podremos jugar con ese valor de acuerdo a la instalación a proyectar. Y también disponemos con l_{cp} , que depende de la posición del centro de gravedad. Es común que la posición inicial del centro de gravedad sea tal, que fija el l_{cp} , y de la ecuación anterior sea incompatible la determinación de L_{tt} . Para el caso, debemos entonces fijar L_{tt} y predeterminar l_{cp} . Si hubiésemos aplicado el flap, en este paso, nos encontramos con LCG fijo, y el problema podría no tener solución. (dada la incompatibilidad física de satisfacer L_{tt}), haciendo:

$$D_f \cdot d_f + D_{sp} \cdot d_{sp} + (D_{sk} + D_r) \cdot d_{r,sk} = M_{drags} = 1.093E6 \text{ lb ft}$$

$N \cdot l_{cp} = 4.899E4 \text{ lb ft}$; siendo $N = \Delta / \cos \tau = 1.346E6$ y $l_{cp} = 0.0364 \text{ ft}$

$T L_{tt} = N l_{cp} + M_{drags}$,

$L_{tt} = - 5,15 \text{ ft}$

El signo negativo corresponde a que el empuje produce un par contrario al sentido horario. Significa que la línea de ejes esta a 5,15 ft por debajo del centro de gravedad.

- Cálculo de la fuerza de remolque, R_t

D_f , D_{sp} , actúan bajo el campo de V_m , por ello se ven afectadas por $\cos t$ para dar lugar a la dirección de R_t sobre el eje x u horizonte, notar que no es la proyección sino la componente.

$R_t = [(D_f + D_{sp}) / \cos \tau] + D_p + D_{sk} + D_r$ [29]

$R_t = (5,974E4 + 1.707E4) / \cos 5,5^\circ + 1,279E5 + 0 + 5.974E4 = 2.11E5 \text{ lb}$ para sistemas con eje y timón.

Observar que R_t es independiente a la posición de T , empuje del propulsor. –

Como resultado, la Potencia Efectiva de Remolque:

$e_{hp} = R_t \cdot v / 550$

$$\underline{e_{hp}} = 2.11E5 \text{ lb} \cdot 84,335 \text{ fps} / 550 = \underline{32350 \text{ hp}}$$

Siendo R_t la fuerza de remolque en (lb) y v la velocidad en pies por segundo (fps = ft/s).

Debe verificarse que la sumatoria de las componentes verticales de las fuerzas actuantes de cero:

$$\Sigma F_z = \Delta - N \cos \tau - T \sin (\varepsilon + \tau) + (D_f + D_{sp}) \sin \tau - \Delta t$$

Dado que el empuje en el eje portahelice tiene una componente vertical, siendo esta del orden de: $T_z = T \sin (\varepsilon + \tau) = 2.218 E5 \sin 18,5^\circ = 7.038 E4 \text{ lb}$ en contra de los pesos.

En principio este beneficio podría asegurar un transporte de carga equivalente.

Tercera Parte

Aplicación del flap popel

$\Delta t = 0,046 \cdot CT \cdot BT1 \cdot \delta \cdot \cos \beta \cdot \gamma \cdot v''$ para $CT = 3\text{ft}$, $BT1 = 40.44\text{ ft}$, aplicando $\delta = 7,5^\circ$ para $\gamma = 1,988\text{ lb s}''/\text{ft}''\text{ ft}''$, $v = 84,335\text{ fps}$, se obtiene:

$\Delta t = 2.959\text{E}5\text{ lb}$, la variación de desplazamiento (peso) resultante, s/desarrollo de Savitsky: (vol 13, nº 4, pp381-400 oct. 1976 in Marine Technology: 'Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water')

$$\Delta e = \Delta - \Delta t = 1328\text{ E}3 - 295.9\text{ E}3 = 1033\text{ E}3\text{ lb}$$

Por otro lado; Aplicando momentos con respecto a AP:

$$LCGe = LCG \Delta - 0,6 BT1 \Delta t / \Delta e = 64,23\text{ft}$$

$$Cl\beta = 2 \Delta e / \gamma \cdot v'' \cdot B'' = 0.091$$

$$Clo = 0.130 \text{ s/Gráfico de Murray.}$$

$LCGe / B = p/b = 1,606$, donde p es el nuevo centro de presión, $B = b$ (manga) donde en la figura nº 3 del mencionado trabajo se obtiene:

$Clo / t_{\perp 1.1} = 0.031$; $\lambda = 2,65$ (ambos valores función de p/b y Cv), despejando $t_{\perp 1.1} = Clo / 0.031$, obtenemos $\tau = 3.681^\circ$ siendo este el nuevo ángulo de trim en planeo estable con el flap.

Debemos verificar que la eslora mojada Lk es menor que la eslora prevista de 150 ft,

$$\underline{Lk} = \lambda \cdot B + (B \cdot \text{tg } \beta / (2\pi \cdot \text{tg } \tau)) = \underline{142\text{ ft} < 150\text{ ft}}$$

$$Lc = \lambda \cdot B - (B \cdot \text{tg } \beta / (2\pi \cdot \text{tg } \tau)) = 70\text{ ft}$$

La resistencia de fricción contemplando el flap s/ Savitsky igual a la resistencia al avance:

$$Rt(\text{cf}) \text{ con flap} = \text{Drag} = 87470\text{ lb} + 10\%Df = 91440\text{ lb} < Rt\text{ sf}(\text{sin flap})$$

Como resultado, la Potencia Efectiva de Remolque:

$$\text{ehp} = R_t \cdot v / 550$$

$$\underline{\text{ehp}} = 91440 \text{ lb. } 84,335 \text{ fps} / 550 = \underline{14020 \text{ hp}}$$

Conclusiones:

Hemos visto se como ha reducido la potencia en un 130%. y otro tanto con el consumo de combustible.

El limite de la a aplicación de la flap es la eslora mojada

La línea de ejes con ángulo de salida respecto del casco ofrece mayor capacidad de carga de la embarcación.