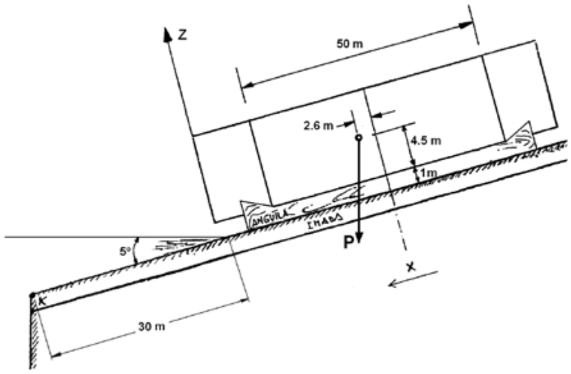
7.- Una barcaza de dimensiones 70 x 20 x 9 m, con sección en planta constante y forma la de la figura izquierda, tiene una eslora de tanques de carga de 50 m (zona rectangular) y los extremos son de igual eslora y la popa es circular. El desplazamiento en botadura es de 2500 T con el centro de gravedad a 2.6 m a popa de la sección media y 4,5 m sobre la quilla. El extremo de los santos de proa está a 6 metros desde la perpendicular de proa y no se tendrá en cuenta el empuje de las anguilas. La densidad del agua de mar es de 1.025 T/m^3.

a) Determinar las toneladas máximas permitidas que pueden soportar cada una de las dos llaves, si en la condición de esta botadura tienen un coeficiente de seguridad de 1.5.
b) Calcular el empuje y la distancia del extremo de proa de los santos al extremo K de la grada cuando comienza el giro. Comprobar si hay arfada.
c) Comprobar si hay saludo, calculando la distancia recorrida durante el giro y a cuantos metros se quedan los santos de proa del extremo K de la grada, sabiendo que el centro de flotación está a 1.321m a popa de la sección media.
d) Calcular la velocidad del barco en el momento de tocar el agua si el extremo de popa de la barcaza está a 29 m del extremo K de la grada.
e) Calcular la velocidad de la barcaza en el momento de iniciar el giro. Utilizar sólo dos tramos iguales para su cálculo, suponiendo una variación lineal del empuje hasta ese instante. Los valores del coeficiente de resistencia anguila-imada f en el primer y segundo tramo son respectivamente 0.015 y de 0.01. Los valores medios del coeficiente μ en cada tramo son 250 y 400 respectivamente.

Nota: en el apartado c, haga los cálculos no despreciando y también despreciando el efecto de la posición vertical del centro de carena en las distancias del empuje y realizad los cálculos de volúmenes, etc, utilizando las reglas de simpson. Coeficientes de rozamiento estático y dinámico valen 0.025 y 0.02 respectivamente.



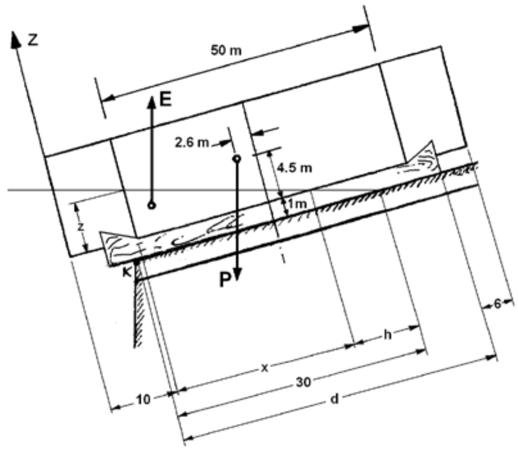
Solución:

a.- La fuerza que permite iniciar el movimiento es:

$$P \cdot \text{sen}\ \alpha - f_0 \cdot P \cdot \cos\ \alpha = 2500 \cdot (\text{sen}\ 5 - 0.025 \cdot \cos\ 5) = 155.63\ \text{T}.$$

Por tanto, cada llave debe soportar al menos 155.63 · 1.5/2= 116.73 T.

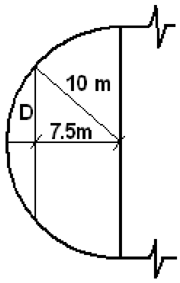
b.-



El momento del peso respecto a los santos de proa es:

$$2500 \cdot (31.6 \cdot \cos\ 5 + 5.5 \cdot \text{sen}\ 5) = 79897.77\ \text{Tm}$$

El empuje se compondrá con el volumen de carena como suma de la zona de popa hasta los 10 m en que empieza la sección transversal constante y la parte correspondiente de la zona de sección transversal constante.. La primera ordenada tiene de área de sección 0; la segunda ordenada a 2.5 m desde la popa, será una sección rectangular que tendrá una manga:



$$D = \sqrt{10^2 - 7.5^2} = 6.614 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad 2 \cdot 6.614 = 13.23 \text{ m}$$

de 2 · 6.614 = 13.23 m, y una altura de (z + 7.5 · tg 5) m; la tercera ordenada a 5 m desde la popa será una sección rectangular que tendrá una manga de 2 · 8.66 = 17.32 m, y una altura de (z + 5 · tg 5) m; la cuarta ordenada a 7.5 m desde la popa será una sección rectangular que tendrá una manga de 2 · 9.68 = 19.36 m, y una altura de (z + 2.5 · tg 5) m; la quinta ordenada a 10 m desde la popa, será una sección rectangular que tendrá una manga de 20 m y una altura de z m.

(1)	(2)	(3)=(1)*(2)	(4)	(5)=(3)*(4)
Área Secc. Volumen/m	F.S.	F.A.	Posic. longit. respecto popa	F.M.H.
0	0.833	0	0	0
13.23 · (x+7.5)*tg5	3.333	44.096 · (x+7.5) · tg5	2.5	110.24·(x+7.5)·tg5
17.32 · (x+5)*tg5	1.667	28.872 · (x+5) · tg5	5	144.36·(x+5)·tg5
19.36 · (x+2.5) · tg5	3.333	64.527 · (x+2.5) · tg5	7.5	483.953·(x+2.5)·tg5
20 · x · tg5	2.5/3+x/6	(16.667 · x+3.333 · x^2) · tg5	10	(166.667·x+33.333·x^2)·tg5
20 · x/2 · tg5	2/3 · x	6.667 · x^2 · tg5	x/2+10	(3.333·x^3+66.667·x^2)·tg5
0	x/6	0	x+10	0
Suma		(10 · x^2+154.162·x+636.398) · tg 5		(3.333·x^3+100·x^2+905.22·x+2758.483)·tg 5

$$V = (10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398) \cdot \text{tg } 5$$

$$E = 1.025 \cdot (10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398) \cdot \text{tg } 5$$

$$d' = \left(64 - \frac{3.333 \cdot x^3 + 100 \cdot x^2 + 905.22 \cdot x + 2758.483}{10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398} \right) \cdot \cos 5$$

$$E \cdot d' = 1.025 \cdot (10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398) \cdot \left(64 - \frac{3.333 \cdot x^3 + 100 \cdot x^2 + 905.22 \cdot x + 2758.483}{10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398} \right) \cdot \text{sen } 5 = 79897.77$$

$$E \cdot d' = (10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398) \cdot \left(64 - \frac{3.333 \cdot x^3 + 100 \cdot x^2 + 905.22 \cdot x + 2758.483}{10 \cdot x^2 + 154.162 \cdot x + 636.398} \right) = 894364.978$$

$$E \cdot d' = 640 \cdot x^2 + 9866.368 \cdot x + 40729.472 - 3.333 \cdot x^3 - 100 \cdot x^2 - 905.22 \cdot x - 2758.483 = 894364.978$$

$$f(x) = -3.333 \cdot x^3 + 540 \cdot x^2 + 8961.148 \cdot x - 856393.989 = 0$$

Para x = 35 ; f(x) = -24156.2
Para x = 36 ; f(x)= 10542.9
Para x = 35.5 ; f(x) = -6852.9
Para x = 35.7 ; f(x) = 94.5
Para x = 35.697 ; f(x) = -9.9

Luego x = 35.69)77 m, y $E = 1.025 \cdot (10 \cdot 35.697^2 + 154.162 \cdot 35.697 + 636.398) \cdot \text{tg } 5 = 1693.28$ t

$$d' = \left(64 - \frac{3.333\cdot 35.697^3 + 100\cdot 35.697^2 + 905.22\cdot 35.697 + 2758.483}{10\cdot 35.697^2 + 154.162\cdot 35.697 + 636.398}\right)\cdot \cos\ 5 = 47.185\ \mathrm{m}$$

Se utiliza como referencia para la distancia el extremo de los santos de proa y el corte de la flotación con la imada. La distancia del extremo de proa de los santos al extremo K de la grada cuando comienza el giro es:

$$d = 70 - (10 + x + h) - 6 + 30 = 94 - (10 + 35.697 + 1 / \mathrm{tg}\ 5) = 36.86\ \mathrm{m}$$

No hay arfada ya que cuando empieza a girar el centro de gravedad de la barcaza está a 36.86 – (25 + 2.6 + 4) = 5.26 m antes de pasar por el extremo K de la grada.

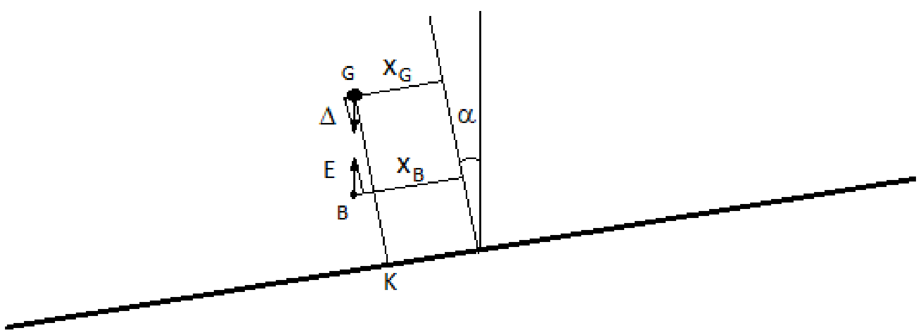
c.- Para calcular los calados se integra por simpson la curva de empujes a lo largo de la eslora. Sea y = tg α, siendo α el ángulo de asiento. Si no despreciamos el efecto de la posición vertical del centro de carena en las distancias del empuje:

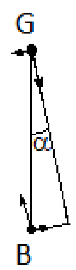
(1) Sección	(2) Volumen/m	(3) F.S	(4) = (2)·(3) F.A.	(5) Dist. a maestra	(6) = (4)·(5) F.M.H.
0	$T_{pp}\cdot 0$	0.1	0	-33.679	0
2.5	$(T_{pp}-2.5\cdot y)\cdot 13.23$	0.4	$5.292\cdot T_{pp} - 13.23\cdot y$	-31,179	$-164.999\cdot T_{pp} + 412.498\cdot y$
5	$(T_{pp}-5\cdot y)\cdot 17.32$	0.2	$3.464\cdot T_{pp} - 17.32\cdot y$	-28.679	$-99.344\cdot T_{pp} + 496.72\cdot y$
7.5	$(T_{pp}-7.5*y)\cdot 19.36$	0.4	$7.744\cdot T_{pp} - 58.08\cdot y$	-26.179	$-202.73\cdot T_{pp} + 1520.476\cdot y$
10	$(T_{pp} - 10\cdot y)\cdot 20$	1.1	$22\cdot T_{pp} - 220\cdot y$	-23.679	$-520.938\cdot T_{pp} + 5209.38\cdot y$
35	$(T_{pp} - 35\cdot y)\cdot 20$	4	$80\cdot T_{pp} - 2800\cdot y$	1.321	$105.68\cdot Tpp - 3698.8\cdot y$
60	$(T_{pp} - 60\cdot y)\cdot 20$	1.2	$24\cdot T_{pp} - 1440\cdot y$	26.321	$631.704\cdot T_{pp} - 37902.24\cdot y$
65	$(T_{pp} - 65\cdot y)\cdot 10$	0.8	$8\cdot T_{pp} - 520\cdot y$	31.321	$250.568\cdot T_{pp} - 16286.92\cdot y$
70	$(T_{pp} - 70\cdot y)\cdot 0$	0.2	0	36.321	0
			$150.5\cdot T_{pp} - 5068.63\cdot y$		$-0.059\cdot T_{pp} - 50248.885\cdot y$

$$E = \Delta = \nabla\cdot\gamma = \frac{50/2}{3}(150.5\cdot T_{pp} - 5068.63\cdot y)\cdot 1.025 = 1285.52\cdot T_{pp} - 43294.55\cdot y = 2500\ \mathrm{T}$$

$$x_B = \frac{-0.059\cdot T_{pp} - 50248.885\cdot y}{150.5\cdot T_{pp} - 5068.63\cdot y}$$

(7) Dist. a línea base	(8) = (4)·(7) F.M.V.
$T_{pp}/2$	0
$(T_{pp}-2.5\cdot y)/2$	$2.646\cdot T_{pp}^2 - 13.23\cdot y\cdot T_{pp} + 16.538\cdot y^2$
$(T_{pp}-5\cdot y)/2$	$1.732\cdot T_{pp}^2 - 17.32\cdot y\cdot T_{pp} + 43.3\cdot y^2$
$(T_{pp}-7.5*y)/2$	$3.872\cdot T_{pp}^2 - 58.08\cdot y\cdot T_{pp} + 217.8\cdot y^2$
$(T_{pp} - 10\cdot y)\cdot/2$	$11\cdot T_{pp}^2 - 220\cdot y\cdot T_{pp} + 1100\cdot y^2$
$(T_{pp} - 35\cdot y)/2$	$40\cdot T_{pp}^2 - 2800\cdot y\cdot T_{pp} + 49000\cdot y^2$
$(T_{pp} - 60\cdot y)/2$	$12\cdot T_{pp}^2 - 1440\cdot y\cdot T_{pp} + 43200\cdot y^2$
$(T_{pp} - 65\cdot y)/2$	$4\cdot T_{pp}^2 - 520\cdot y\cdot T_{pp} + 16900\cdot y^2$
$(T_{pp} - 70\cdot y)/2$	0
	$75.25\cdot T_{pp}^2 - 5068.63\cdot y\cdot T_{pp} + 110477.638\cdot y^2$





$$KB = \frac{75.25 \cdot T_{pp}^{\ 2} - 5068.63 \cdot y \cdot T_{pp} + 110477.638 \cdot y^2}{150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y}$$

$$E \cdot \cos\ \alpha \cdot x_B = \Delta \cdot \cos\ \alpha \cdot x_G + \Delta \cdot \text{sen}\ \alpha \cdot (KG - KB)$$
$$x_B \cdot \cos\ \alpha = \cos\ \alpha \cdot x_G + \text{sen}\ \alpha \cdot (KG - KB)$$
$$x_B = x_G + (KG - KB) \cdot \text{tg}\ \alpha$$

$$\frac{-0.059 \cdot T_{pp} - 50248.885 \cdot y}{150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y} = (-2.6 + 1.321) - y \cdot \left(4.5 - \frac{72.25 \cdot T_{pp}^2 - 5068.63 \cdot y \cdot T_{pp} + 110477.638 \cdot y^2}{150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y} \right)$$

Como el centro de carena está a popa, el término a la izquierda de la igualdad es negativo, por eso el término de la derecha es negativo también.

$$-0.059 \cdot T_{pp} - 50248.885 \cdot y =$$
$$= -1.279 \cdot (150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y) - y \cdot \left(4.5 \cdot (150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y) - 72.25 \cdot T_{pp}^2 + 5068.63 \cdot y \cdot T_{pp} - 110477.638 \cdot y^2 \right)$$

$$192.431 \cdot T_{pp} - 56731.663 \cdot y =$$
$$= -677.25 \cdot y \cdot T_{pp} + 22808.835 \cdot y^2 - 72.25 \cdot y \cdot T_{pp}^2 + 5068.63 \cdot y^2 \cdot T_{pp} - 110477.638 \cdot y^3$$

$$T_{pp} \cdot \left(192.431 + 677.25 \cdot y + 72.25 \cdot y \cdot T_{pp} \right) - 56731.663 \cdot y - 22808.835 \cdot y^2 + 110477.638 \cdot y^3 = 0$$

$$1285.52 \cdot T_{pp} - 43294.55 \cdot y = 2500$$
$$T_{pp} = \frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52}$$

$$\frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52} \cdot \left(192.431 + 677.25 \cdot y + 72.25 \cdot y \cdot \frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52} \right) - 56731.663 \cdot y - 22808.835 \cdot y^2 + 110477.638 \cdot y^3 = 0$$

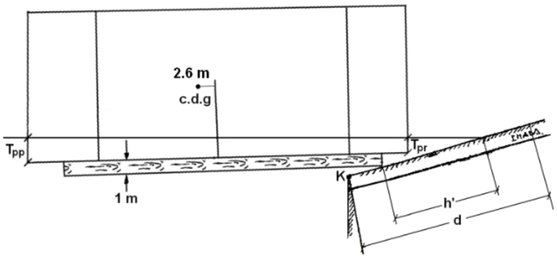
$$\frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52} \cdot \left(192.431 + 817.757 \cdot y + 2433.281 \cdot y^2 \right) - 56731.663 \cdot y - 22808.835 \cdot y^2 + 110477.638 \cdot y^3 = 0$$

$$374.228 + 1590.323 \cdot y + 4732.095 \cdot y^2 + 6480.812 \cdot y + 27540.934 \cdot y^2 + 81949.566 \cdot y^3 -$$
$$-56731.663 \cdot y - 22808.835 \cdot y^2 + 110477.638 \cdot y^3 = 0$$

$$f(y) = 192427.204 \cdot y^3 + 9464.194 \cdot y^2 - 48660.528 \cdot y + 374.228 = 0$$

Para α = 0.4º $\rightarrow$ y =0.00698143 $\rightarrow$ f(y) = 35.03
Para α = 0.5º $\rightarrow$ y =0.00872687 $\rightarrow$ f(y) = -49.58
Para α = 0.45º $\rightarrow$ y =0.00785414 $\rightarrow$ f(y) = -7.28
Para α = 0.44º $\rightarrow$ y =0.0076796 $\rightarrow$ f(y) = 1.18
Para α = 0.441º $\rightarrow$ y =0.00769705 $\rightarrow$ f(y) = 0.33

Por tanto, y = 0.00769705 $\rightarrow \alpha$ = 0.441º $\rightarrow$ $T_{pp} = \dfrac{2500 + 43294.55 \cdot 0.00769705}{1285.52} = 2.204$ m



$$h' = \frac{\left[\left(T_{pr} + 6 \cdot \text{tg } \alpha\right) + 1\right] \cdot \cos\ \alpha}{\text{sen } 5} = \frac{\left[\left(1.675 + 6 \cdot 0.00769705\right) + 1\right] \cdot \cos\ 0.4441}{\text{sen } 5} = 31.22 \text{ m} > 30, \text{ luego hay saludo.}$$

La distancia recorrida durante el giro es de: d – 30 + h': es d = 36.40 m en este caso ya que hay saludo.
La distancia a la que se quedan los santos de proa del extremo K de la grada es: excede el extremo de la grada

- Si despreciamos el efecto de la posición vertical del centro de carena en las distancias del empuje, como dice el enunciado, no tenemos que realizar los cálculos de la última tabla, es decir, las columnas (7) y (8) para el factor momento vertical del centro de carena, y nos queda:

$$E = \Delta = \nabla \cdot \gamma = \frac{50/2}{3} \cdot (150.5 \cdot T_{pp} - 5068.63 \cdot y) \cdot 1.025 = 1285.52 \cdot T_{pp} - 43294.55 \cdot y = 2500 \text{ T}$$

$$\frac{25}{3} \cdot (-0.059 \cdot T_{pp} - 50248.885 \cdot y) \cdot 1.025 = -2500 \cdot (2.6 - 1.321) \quad \Rightarrow \quad -0.508 \cdot T_{pp} - 429209.228 \cdot y = -3197.5$$

$$T_{pp} = \frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52}$$

$$0.508 \cdot \frac{2500 + 43294.55 \cdot y}{1285.52} + 429209.228 \cdot y = 3197.5$$

$$0.988 + 17.109 \cdot y + 429209.228 \cdot y = 3197.5$$

$$429226.337 \cdot y = 3196.512$$

$$y = \frac{3196.512}{429226.337} = 0.00744715$$

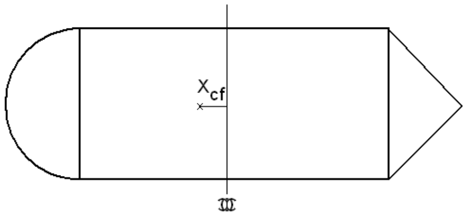
$$\alpha = 0.4267^{o}$$

$$x = T_{pp} = \frac{2500 + 43294.55 \cdot 0.00744715}{1285.52} = 2.196 \text{ m}$$

$$T_{pr} = 2.196 - 70 \cdot 0.00744715 = 1.674 \text{ m}$$

La diferencia del calado en popa entre ambos métodos es de 2.204 – 2.196 = 0.008 m, es decir 8 mm.

Otra forma aproximada de calcular el calado en proa suficientemente exacta cuando el asiento es menor que L/150 (lo que no se cumple en este ejercicio por muy poco), es:



$$T_{medio} \cdot \left(\pi \cdot \frac{10^2}{2} + 50 \cdot 20 + \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10\right) \cdot 1.025 = 2500 \qquad ; \qquad T_{medio} = \frac{2500}{1288.507} = 1.940 \text{ m}$$

y	FS	FA	x sec. Media	FM	X a cf	X²	y·X²	FI	FV=FA·T_{medio}	F. XB F.A.·T_{medio}·x sec. media
0	0.1	0	-35	0	-33.679	1134.275	0	0.000	0	0
13.23	0.4	5.292	-32.5	-171.99	-31.179	972.130	12861.280	5144.512	10.266	-333.645
17.32	0.2	3.464	-30	-103.92	-28.679	822.485	14245.441	2849.088	6.720	-201.6
19.36	0.4	7.744	-27.5	-212.96	-26.179	685.340	13268.183	5307.273	15.023	-413.133
20	1.1	22	-25	-550	-23.679	560.695	11213.901	12335.291	42.68	-1067
20	4	80	0	0	1.321	1.745	34.901	139.603	155.2	0
20	1.2	24	25	600	26.321	692.795	13855.901	16627.081	46.56	1164
10	0.8	8	30	240	31.321	981.005	9810.050	7848.040	15.52	465.6
0	0.2	0	35	0	36.321	1319.215	0.000	0.000	0	0
		150.5		-198.87				50250.889	291.969	-385.778

$$X_{CG} = \frac{FM}{FA} = \frac{-198.87}{150.5} = -1.321\,\text{m} \qquad ; \qquad X_{CB} = \frac{F.XB}{F.V} = \frac{-385.778}{291.969} = -1.321\,\text{m}$$

$$I_L = \frac{h}{3} \cdot FI = \frac{25}{3} \cdot 50250.889 = 418757.408\ \text{m}^4$$

$$BM_L = \frac{I_L}{\nabla} = \frac{418757.408}{2500/1.025} = 171.691\ \text{m}$$

$$BG = KG - KB = \frac{D}{2} - \frac{T_{medio}}{2} = \frac{9}{2} - \frac{1.94}{2} = 3.53\ \text{m}$$

$$\text{Momento para asentar 1 metro } = MT1 = \frac{\Delta \cdot GM_L}{L} = \frac{\Delta \cdot (BM_L - BG)}{L} = \frac{2500 \cdot (171.691 - 3.530)}{70} = 6005.75 \frac{\text{Tm}}{\text{m}}$$

$$t = \frac{\text{Momento } \Delta \text{ entre centro de gravedad y centro de carena}}{MT1} = \frac{2500 \cdot (2.6 - 1.321)}{6005.75} = 0.532\ \text{m}$$

$$\text{tg}\ \alpha = \frac{0.532}{70} = 0.0076 \quad ; \quad \alpha = \text{arctg}\ 0.0076 = 0.4354$$

$$T_{pp} = T_{medio} + \frac{L/2 + X_{cf}}{L} \cdot t = 1.940 + \frac{35 + (-1.321)}{70} \cdot 0.532 = 2.196\ \text{m}$$

$$T_{pp} = T_{medio} - \frac{L/2 - X_{cf}}{L} \cdot t = 1.940 - \frac{35 - (-1.321)}{70} \cdot 0.532 = 1.664\ \text{m}$$

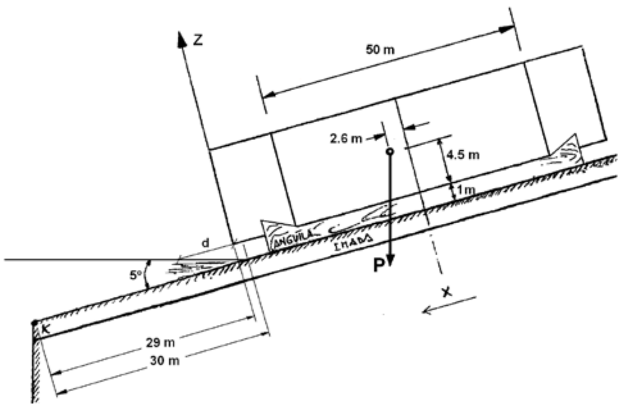
$$h' = \frac{\left(T_{pr} + 6 \cdot \text{tg}\ \alpha + 1\right) \cdot \cos\ \alpha}{\text{sen}\ 5} = \frac{\left(1.664 + 6 \cdot 0.0076 + 1\right) \cdot \cos\ 0.4354}{\text{sen}\ 5} = 31.09\ \text{m} > 30\ \text{m, luego hay saludo}$$

d.- La velocidad máxima del barco durante el movimiento es cuando empieza a tocar el agua. La expresión de la velocidad al final de esta fase del movimiento es:

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{d^2e}{dt^2} = P \cdot \text{sen}\ \alpha - f_1 \cdot P \cdot \cos\ \alpha \qquad ; \qquad \frac{d^2e}{dt^2} = g \cdot \text{sen}\ \alpha - f_1 \cdot \cos\ \alpha$$

$$\frac{d^2e}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = v \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dt}{de} = v \cdot \frac{dv}{de} \qquad ; \qquad v \cdot dv = g \cdot \left(\text{sen}\ \alpha - f_1 \cdot \cos\ \alpha\right) \cdot de$$

La distancia que recorre la barcaza hasta que toca la grada es:



$$d + 1 = \frac{1}{\text{tg}\ 5} = 11.43\,\text{m}$$

$$d = 11.43 - 1 = 10.43\,\text{m}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\text{sen}\ \alpha - f_1 \cdot \cos \alpha\right) \cdot d} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (\text{sen}\ 5 - 0.02 \cdot \cos 5) \cdot 10.43} = 3.71\ \text{m/s}$$

e.- La velocidad inicial en este tramo es de v_i = 3.71 m/s.

Cuando la barcaza toca el agua, los santos de proa están a una distancia de K:

$$10 + 50 + 4 + 29 - 10.43 = 82.57\ \text{m}$$

La distancia que recorre la barcaza desde que toca el agua hasta que inicia el giro es de:

$$82.57 - 36.86 = 45.71\,\mathrm{m}$$

Cada tramo tiene e = 45.71 / 2 = 22.855 m. La expresión de la velocidad en cada tramo es:

$$\left(\frac{P}{g \cdot e} + \mu_i\right) \cdot v_i^2 = \left(\frac{P}{g \cdot e} - \mu_i\right) \cdot v_{i-1}^2 + 2 \cdot \left(P - E_i\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ \alpha - f_i\right) \cdot \cos\ \alpha$$

$$v_i = \sqrt{\frac{\left(\frac{P}{g \cdot e} - \mu_i\right) \cdot v_{i-1}^2 + 2 \cdot \left(P - E_i\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ \alpha - f_i\right) \cdot \cos\ \alpha}{\frac{P}{g \cdot e} + \mu_i}}$$

La velocidad al final del primer tramo es:

$$v_1 = \sqrt{\frac{\left(\frac{P}{g \cdot e} - \mu_1\right) \cdot v_0^2 + 2 \cdot \left(P - E_1\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ \alpha - f_1\right) \cdot \cos\ \alpha}{\left(\frac{P}{g \cdot e} + \mu_1\right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{2500 \cdot 10^3}{9.81 \cdot 22.855} - 250\right) \cdot 3.71^2 + 2 \cdot \left(2500 \cdot 10^3 - \frac{1693.53 \cdot 10^3}{2}\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ 5 - 0.015\right) \cdot \cos\ 5}{\left(\frac{2500 \cdot 10^3}{9.81 \cdot 22.855} + 250\right)}} = 6.696\ \mathrm{m/s}$$

La velocidad pedida es la velocidad final del segundo tramo:

$$v_2 = \sqrt{\frac{\left(\frac{P}{g \cdot e} - \mu_2\right) \cdot v_1^2 + 2 \cdot \left(P - E_2\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ \alpha - f_2\right) \cdot \cos\ \alpha}{\left(\frac{P}{g \cdot e} + \mu_2\right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{2500 \cdot 10^3}{9.81 \cdot 22.855} - 400\right) \cdot 6.696^2 + 2 \cdot \left(2500 \cdot 10^3 - 1693.53 \cdot 10^3\right) \cdot \left(\mathrm{tg}\ 5 - 0.01\right) \cdot \cos\ 5}{\left(\frac{2500 \cdot 10^3}{9.81 \cdot 22.855} + 400\right)}} = 7.246\ \mathrm{m/s}$$