

La Navegabilidad del Canal Tamengo

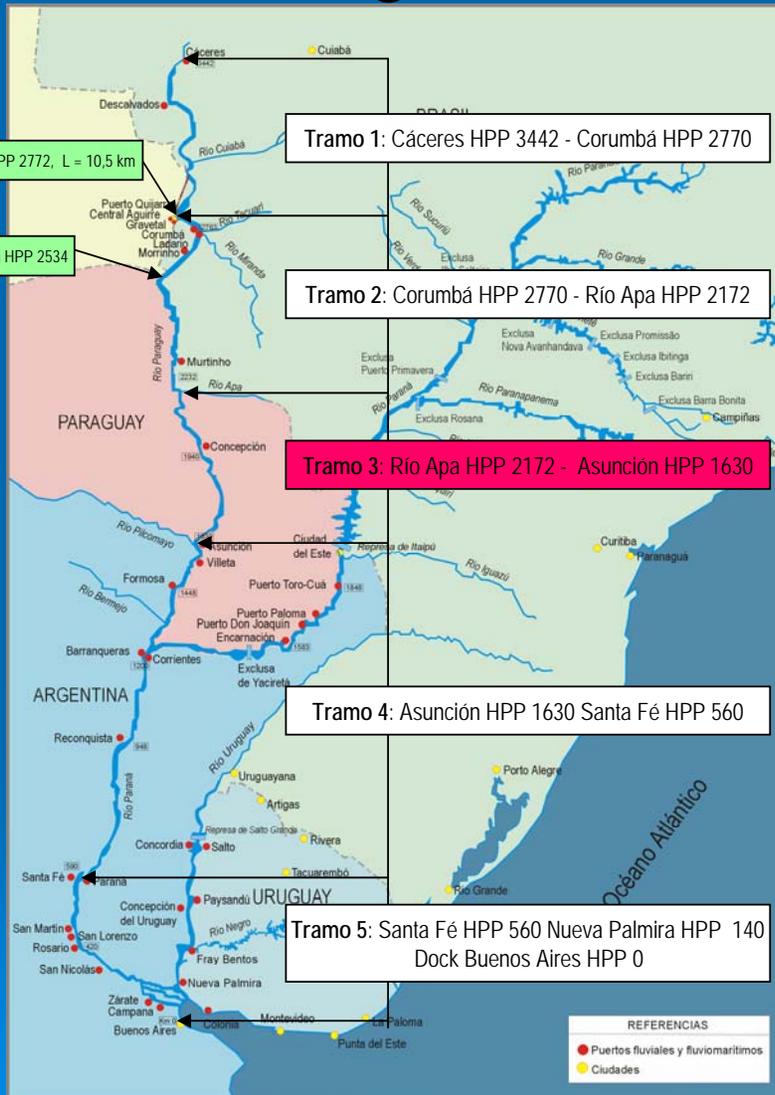
Simposio Importancia de las Hidrovías en el Desarrollo de Bolivia

Cochabamba, Bolivia 22 de agosto 2008

La Navegabilidad del Canal Tamengo



La Navegabilidad del Canal Tamengo



La navegabilidad del Canal Tamengo se debe estudiar en función de las rutas de navegación desde los puertos de origen en el Canal Tamengo hacia los puertos fluviomarítimos.

NO SE PUEDE DESACOPLAR DE LA NAVEGABILIDAD DE LA HIDROVIA PARAGUAY-PARANA

TRAMO 3: RIO APA - ASUNCION = EL MAS CONFLICTIVO EN CUANTO A CALADO Y PASOS CRITICOS

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

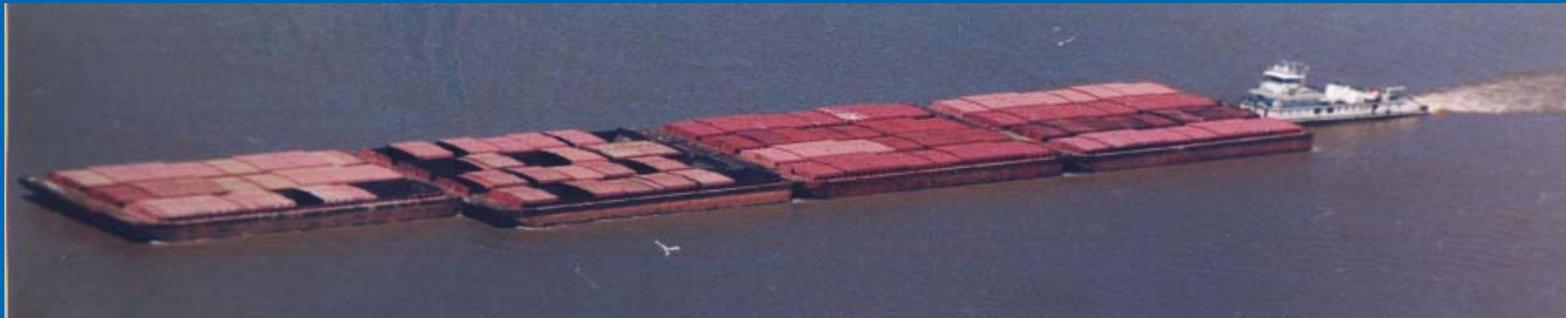
Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

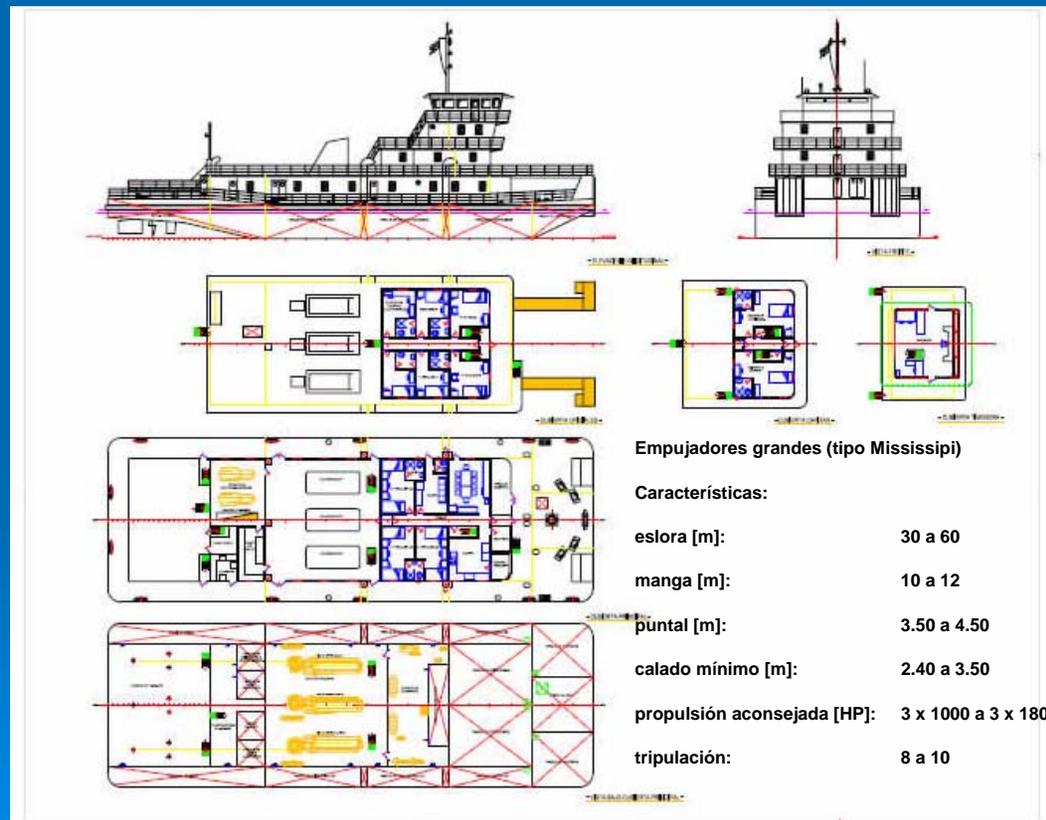
Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]

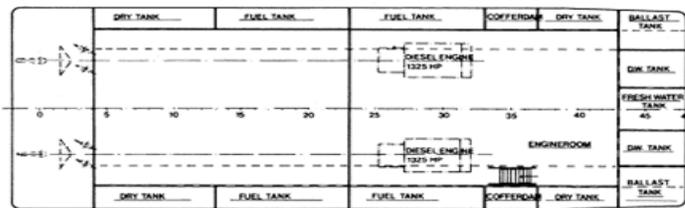
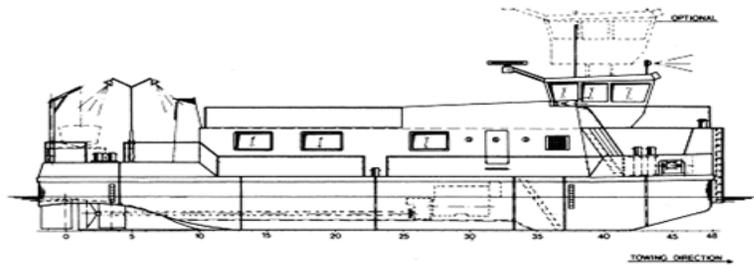


Empujadores Grandes (tipo Mississippi)

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



Empujadores Medianos

Características:

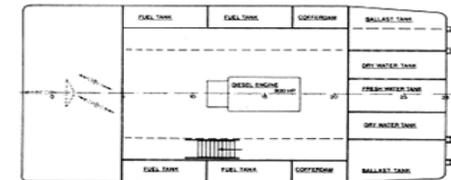
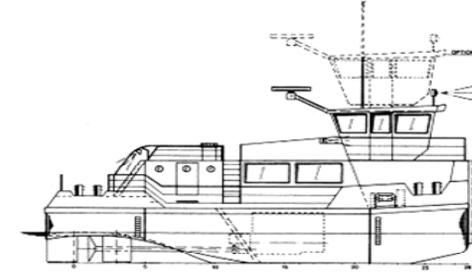
Eslora: [m]
Manga: [m]
Puntal: [m]
Calado mínimo: [m]
Propulsión aconsejada: [HP]
Tripulación:

Tipo Schelde

25.00
9.50
2.50
1.25
2x1500
6

Tipo Donau

30.00
10.50
2.50
1.20
2x2500
6



Empujadores Pequeños

Tipo Rhone

15.00
8.00
2.50
1.20
1x800 ó 2x400
3

Tipo Rhin

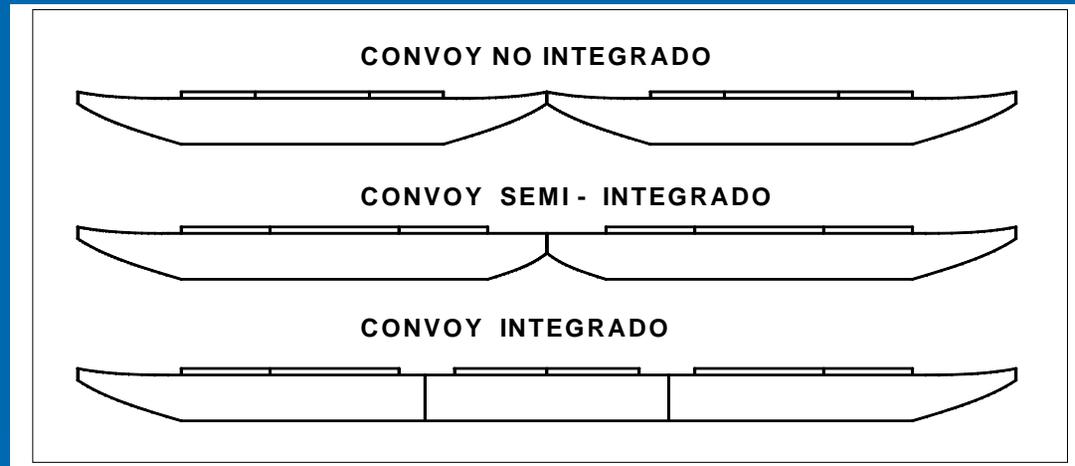
19.85
9.50
2.50
1.25
2x900
3

Empujadores Medianos y Pequeños (tipos europeos)

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]

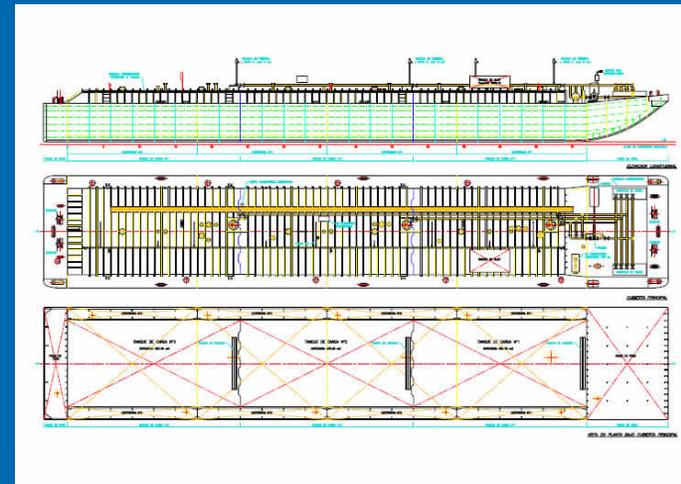
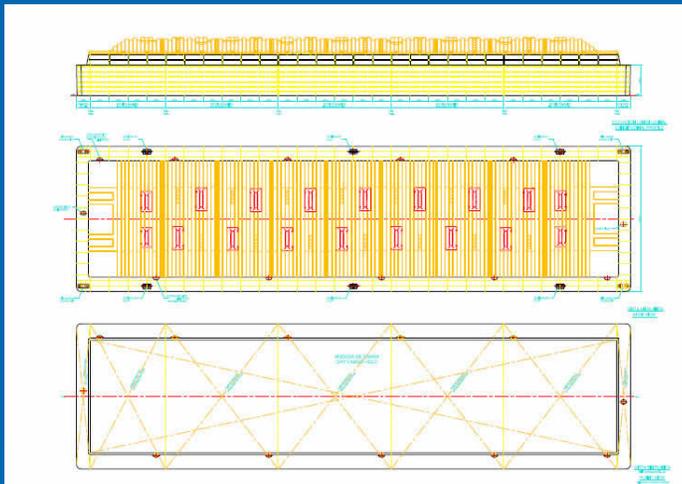


Barcazas para carga general / granos / minerales / combustibles y aceites vegetales

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



Barcazas para carga seca y para carga líquida

Tipo jumbo 1:

Eslora:	60.00 m
Manga:	12.00 m
Puntal:	3.60 m
Calado máximo:	3.30 m
Cap. Carga:	1.600 t

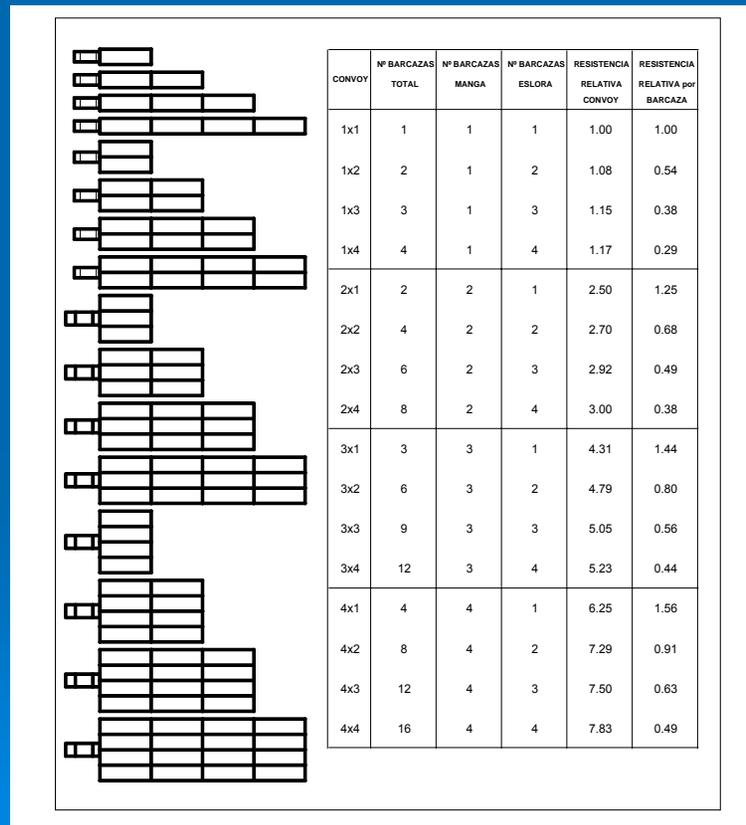
Tipo jumbo 2:

Eslora:	60.00 m
Manga:	14.00 m
Puntal:	3.00 m
Calado máximo:	2.40 m
Cap. Carga:	1.600 t

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcasas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]



Resistencia total de un convoy mediante factores de formación y la resistencia unitaria de una barcasas

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthrustrer)]



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Transporte Fluvial por el Sistema de Empuje [convoy de barcazas + empujador + evt. Empujador de proa (=Boatthruster)]

Comparación Ambiental

kilogramos de monóxido de carbono producido
al mover una tonelada mil kilómetros



0.536 kg



0.180 kg



0.056 kg

Comparación Consumo Combustible

por tonelada y por litro de combustible
se puede recorrer el siguiente kilometraje



25 km



86 km



219 km

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

TRAMO 1 HPP		Prog.	Calado	Manga	Eslora	Fraccionamientos
672 km		[km]	[m]	[m]	[m]	
Cáceres	3442					
		1.20 a 2.30 en época aguas altas	22 en época aguas altas	150 en época aguas altas	No	
Barra Norte Do Bracinho	3242					
			11	150	Varios	
Ponta Do Morro	2988					
		1.50 a 2.70 en época aguas altas	36	150	No	
Corumbá	2770					

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

TRAMO 2 HPP	Prog.	Calado	Manga	Eslora	Fraccionamientos
598 km	[km]	[m]	[m]	[m]	

Corumbá	2770				
		3.00 en época aguas altas 2.10 a 2.40 en época aguas bajas	36 en época aguas altas	300 en época aguas altas	Reducidos 1 a 5 pasos críticos 1 puente crítico (Puente Esperanza km 2630)

Río Apa	2172
---------	------

TRAMO 3 HPP	Prog.	Calado	Manga	Eslora	Fraccionamientos
542 km	[km]	[m]	[m]	[m]	

Río Apa	2172				
		3.00 en época aguas altas 1.80 a 2.40 en época aguas bajas	36 en época aguas altas	250-300 en época aguas altas	Varios 14 a 38 pasos críticos, 7 son afloramientos rocosos 2 puentes

Asunción	1630
----------	------



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

TRAMO 4 HPP 1040 km	Prog. [km]	Calado [m]	Manga [m]	Eslora [m]	Fraccionamientos
------------------------	---------------	---------------	--------------	---------------	------------------

Asunción	1630				
		2.70 a 3.00 durante todo el año 3.00 garantizado mediante dragado	36-48	300	11 pasos críticos y 1 puente (Puente General Belgrano 1205)

Santa Fé	590				
----------	-----	--	--	--	--

TRAMO 5 HPP 450 km	Prog. [km]	Calado [m]	Manga [m]	Eslora [m]	Fraccionamientos
-----------------------	---------------	---------------	--------------	---------------	------------------

Santa Fé	590				
		9.60 garantizado mediante dragado	36-48-60	300	No

Nueva Palmira	140				
---------------	-----	--	--	--	--

Dock Aires	Buenos Aires	0			
---------------	-----------------	---	--	--	--

Este tramo de 450 km es FLUVIO MARITIMO



La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Sitios de desmembramiento de convoy	km	Formación	Nº de desmembramientos del convoy			
			Convoy 1x4	Convoy 2x4	Convoy 3x4	Convoy 4x4
TRAMO I : CORUMBÁ - ASUNCIÓN						
1 Puente Eperanza	2,630	4 barcazas por vez	Sin desmembramiento	2	3	4
2 Paso Piuva	2,570 - 2,568	4 barcazas por vez		2	3	4
3 Paso San José	2,118 - 2,116	4 barcazas por vez		2	3	4
4 Paso Piedra Partida	2,116 - 2,112	4 a 6 barcazas por vez		2	2	3
5 Paso Carayacito	2,107 - 2,106	4 barcazas por vez		2	3	4
6 Paso Aguirre	2,098 - 2,095	4 barcazas por vez		2	3	4
7 Paso Arrecifes	2,047 - 2,046	4 barcazas por vez		2	3	4
8 Paso Toldo Cue	1,972.5 - 1,971.5	4 barcazas por vez		2	3	4
9 Paso Riacho Negro	1,944 - 1,930	4 barcazas por vez		2	3	4
10 Paso Pedemal	1,885 - 1,880	4 barcazas por vez		2	3	4
11 Paso Piri Pucu	1,851 - 1,842	4 barcazas por vez		2	3	4
12 Paso Santa Rosa	1,808 - 1,807	4 barcazas por vez		2	3	4
13 Paso Burro Ygua	1,797.5 - 1,790	4 barcazas por vez		2	3	4
14 Paso Palmita	1,767 - 1,760	4 barcazas por vez		2	3	4
15 Paso San Juan	1,745 - 1,744	4 barcazas por vez		2	3	4
16 Paso Remanso Castillo	1,646 - 1,644	4 barcazas por vez		2	3	4
TRAMO II : ASUNCIÓN - CORRIENTES						
17 Paso Itapytapunta	1,628 - 1,627	6 barcazas por vez	Sin desmembramiento	2	2	3
18 Paso San Antonio	1,603	4 a 6 barcazas por vez		2	2	3
19 Paso Guyrati	1,581	6 barcazas por vez		2	2	3
20 Paso Lovato	1,535	6 barcazas por vez		2	2	3
21 Paso Vuelta de Formosa	1,448	6 barcazas por vez		2	2	3
Paso desembocadura río Bermejo	1,321	6 barcazas por vez		2	2	3
23 Paso Puente Gral. Belgrano	1,205	8 barcazas por vez		-	2	2
TRAMO III : CORRIENTES - SAN LORENZO						
24 Paso Empedrado	1,135	6 a 8 barcazas por vez	Sin desmembramiento	2	2	3
25 Paso Las Cañas	943 - 940	6 barcazas por vez		2	2	3
26 Paso Raigones	783 - 780	6 a 8 barcazas por vez		2	2	3
27 Paso Feliciano	705	8 barcazas por vez		-	2	2
Nº total de desmembramientos :			-	50	69	94

Fraccionamiento del convoy de empuje en pasos críticos

Tramo 3: Río Apa HPP 2172 – Asunción HPP 1630
542 km

50 % de los pasos críticos se encuentran en el Tramo 3 Río Apa – Asunción en ± 20 % de la longitud de la ruta máxima

Desembocadura Canal Tamengo: HPP 2772

Puerto Busch: HPP 2534

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La Navegabilidad de la Hidrovía Paraguay - Paraná

Lugares de fraccionamiento del convoy

La práctica de realizar fraccionamientos de convoy depende principalmente del nivel de agua en el río, ordenanzas existentes y criterio del Capitán. No existe un número absoluto de veces que un convoy debe fraccionarse.

Periodo de aguas altas entre Abril y Julio

Se practican muy pocos fraccionamientos.

Periodo de aguas medias entre Febrero a Abril y Agosto a Octubre

El número de fraccionamientos depende del Capitán, número de motores, potencia de máquinas, visibilidad y varias otras condiciones. Cada Capitán tiene su criterio y puede flanquear los pasos con 4 a 6 barcazas por vez. Ver cuadro anterior.

Periodo de aguas bajas entre Noviembre a Enero

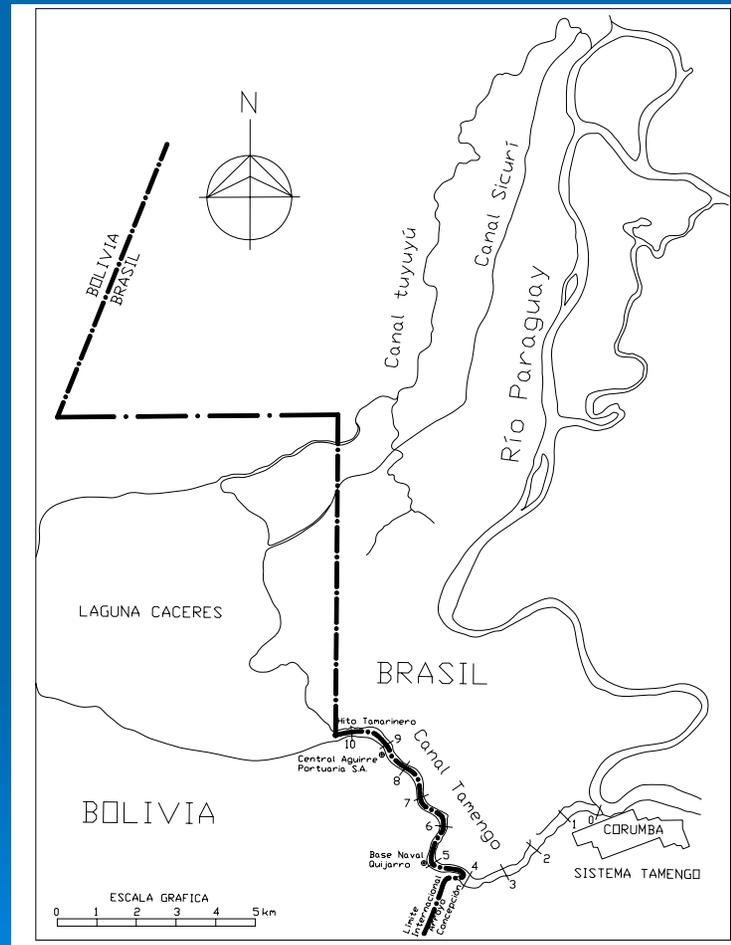
El agua está en su nivel mas bajo y la navegación es más complicada (mayor número de fraccionamientos)

La Navegabilidad del Canal Tamengo

ANALISIS DE LA NAVEGABILIDAD =

1. Estudio tridimensional de la vía de navegación en el cauce natural
 - Tirantes de agua dentro del ancho y a lo largo de la vía
 - La disponibilidad de suficiente ancho de la vía en tramos rectos y curvas
2. Análisis estadístico de los niveles de agua
 - ¿Qué periodo analizar?
 - ¿Qué criterio de análisis para definir el nivel de aguas bajas?
3. Obstáculos: pasos - puentes - vegetación flotante - vientos - velocidades del agua - pendientes de la superficie de agua
4. Intervenciones artificiales de apoyo a la navegación
 - Señalización diurna – nocturna del canal de navegación y de los obstáculos
 - Actividades de prácticos – pilotos por sectores
 - Reglamentación específica por parte de la Autoridad Competente
 - Trabajos de mejoramiento de lecho (dragados)

La Navegabilidad del Canal Tamengo

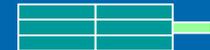


Sistema Canal Tamengo

La Navegabilidad del Canal Tamengo

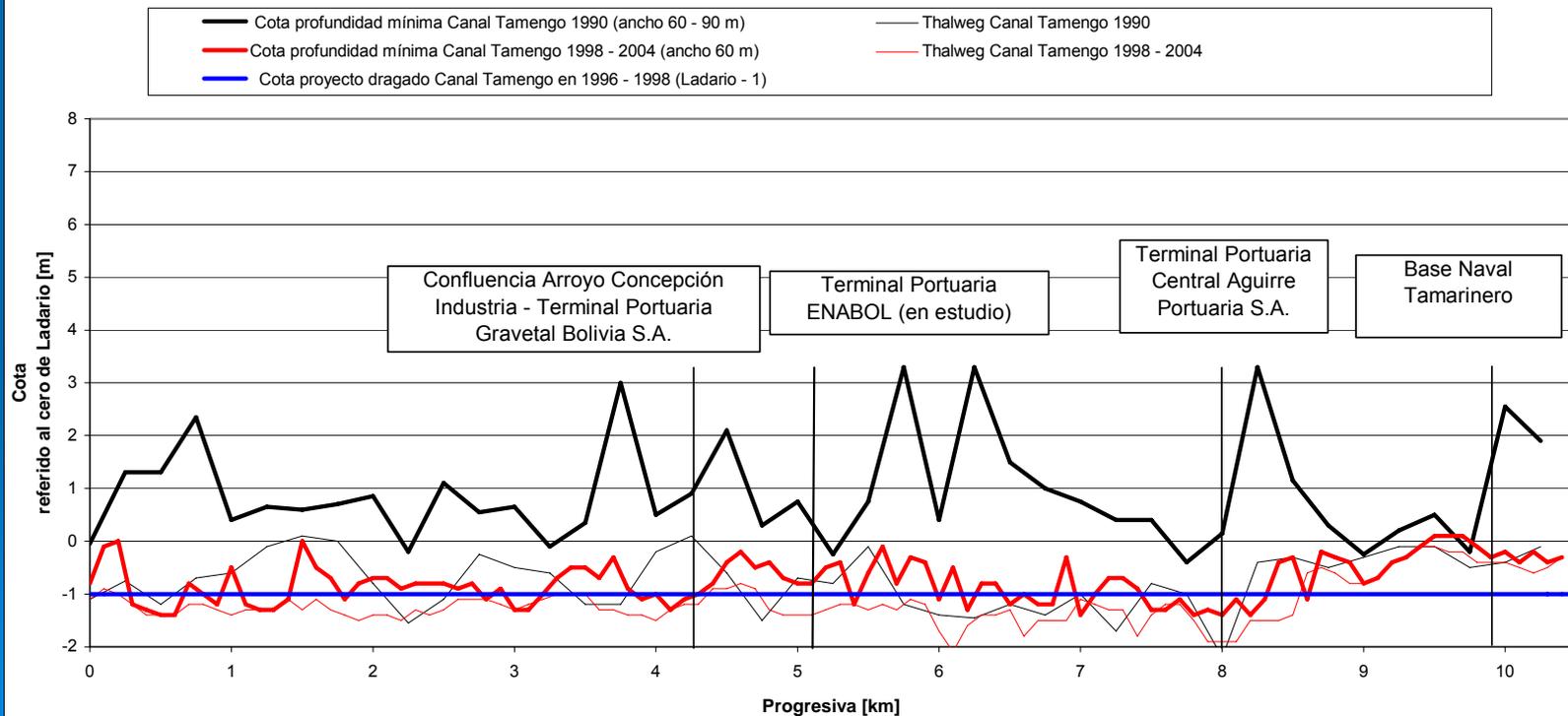
Evaluación cotas lecho (1998 – 2004 – 2008) p/ vía fluvial 60 (r) / 90 (c) m
según proyecto dragado LHUMSS 1990 - convoy 3x2 (3 barcazas en manga y 2 en eslora)
(de 1996 a 1998 se efectuaron trabajos de dragado sobre el Canal Tamengo en periodos discontinuos)

Profundidad mínima = Cero Ladario = 0 m



COMPARACIÓN THALWEG Y COTA DE PROFUNDIDAD MÍNIMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL TAMENGO EN
1990 Y 1998-2004

Niveles referidos al cero de la regla de Ladario (82.15 m.s.n.m.)

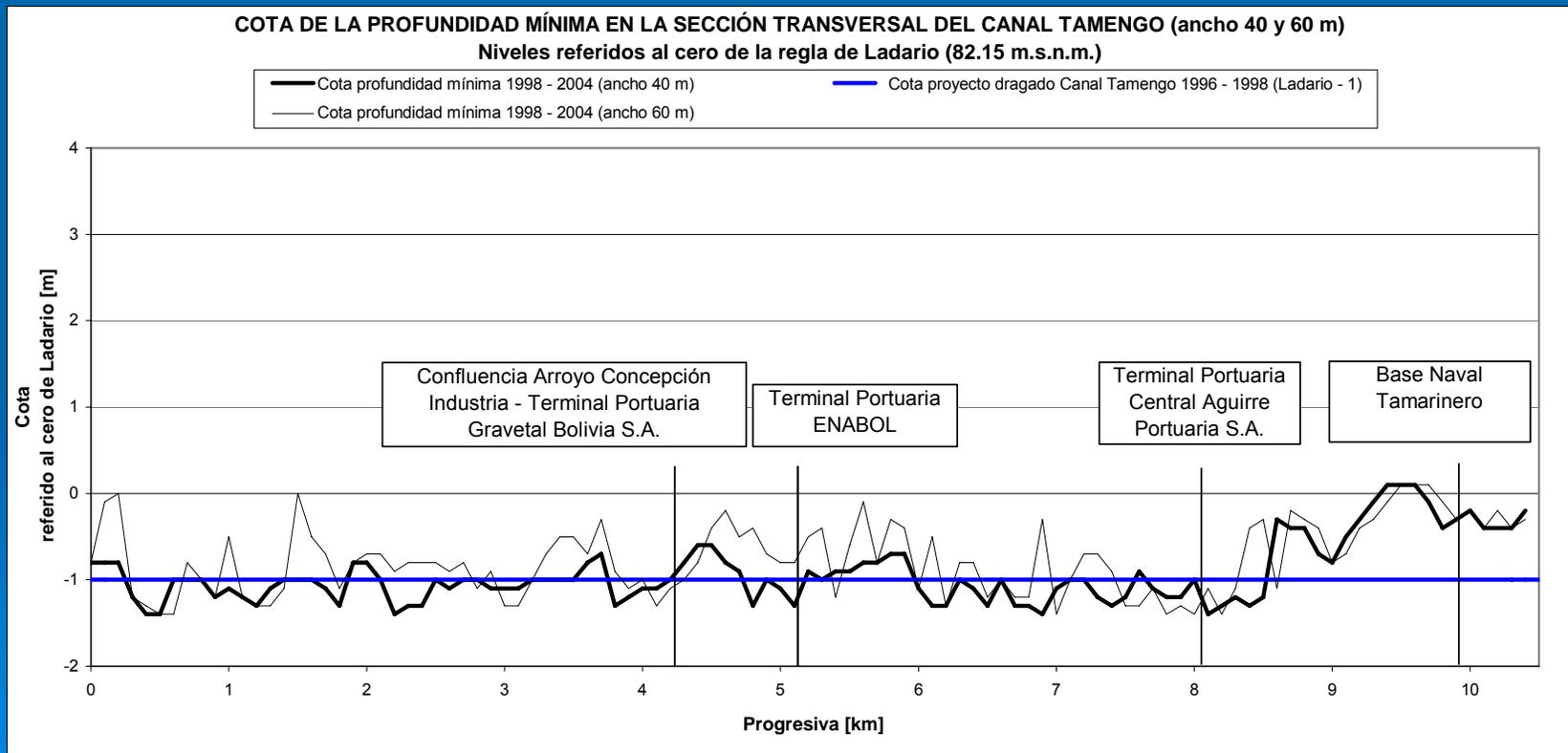


La Navegabilidad del Canal Tamengo

Evaluación cotas lecho (1998 – 2004 – 2008) **dragados faltantes**

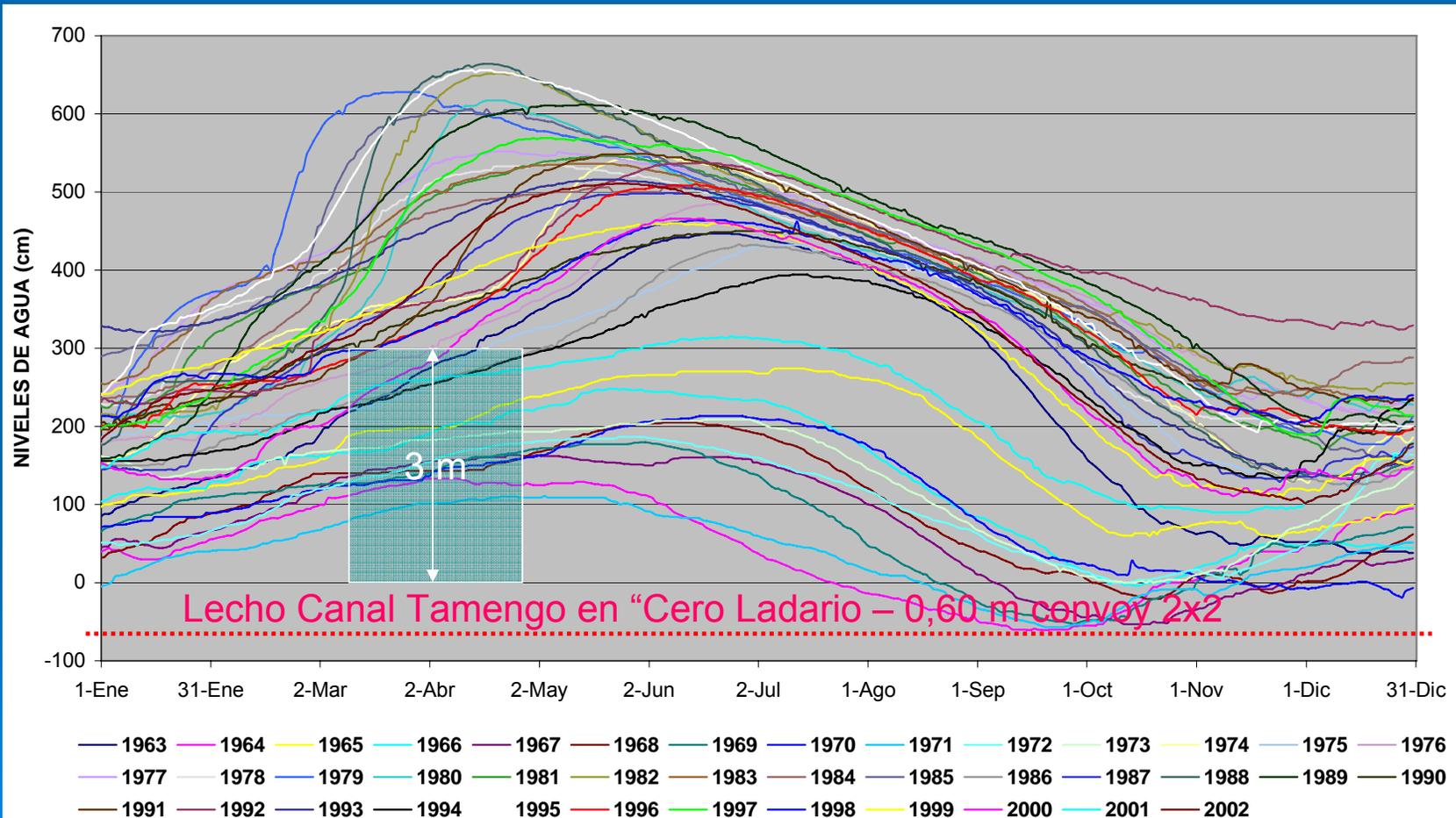
p/ vía fluvial 40 m convoy 2x2 a “Cero Ladario – 1,0 m” **volumen < 50.000 m³** 

p/ vía fluvial 60 m convoy 3x2 a “Cero Ladario – 1,0 m” **volumen < 150.000 m³** 
(incluye hasta el km 8.5)



La Navegabilidad del Canal Tamengo

Convertir profundidades mínimas a tirantes mínimos vía **análisis estadístico** de limnigramas

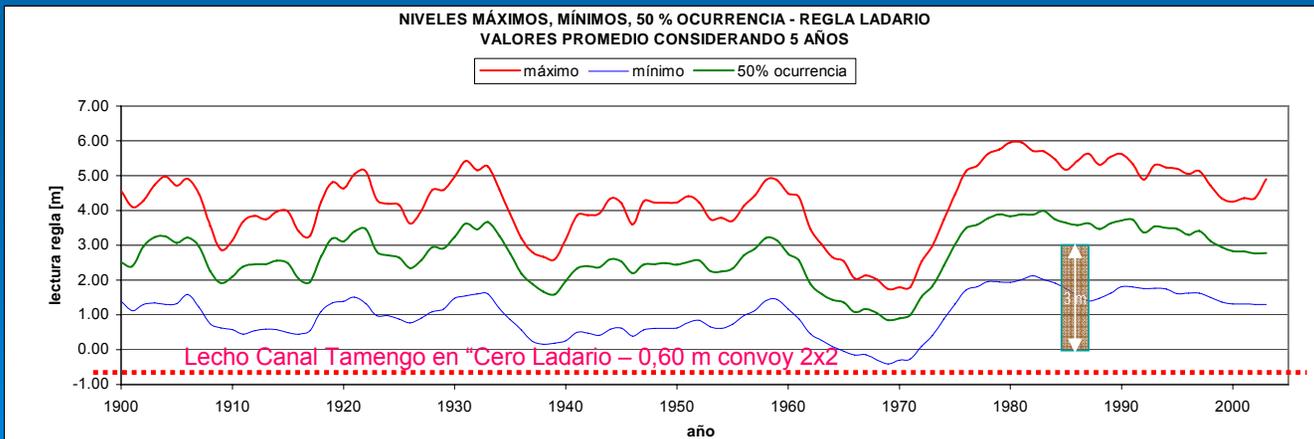
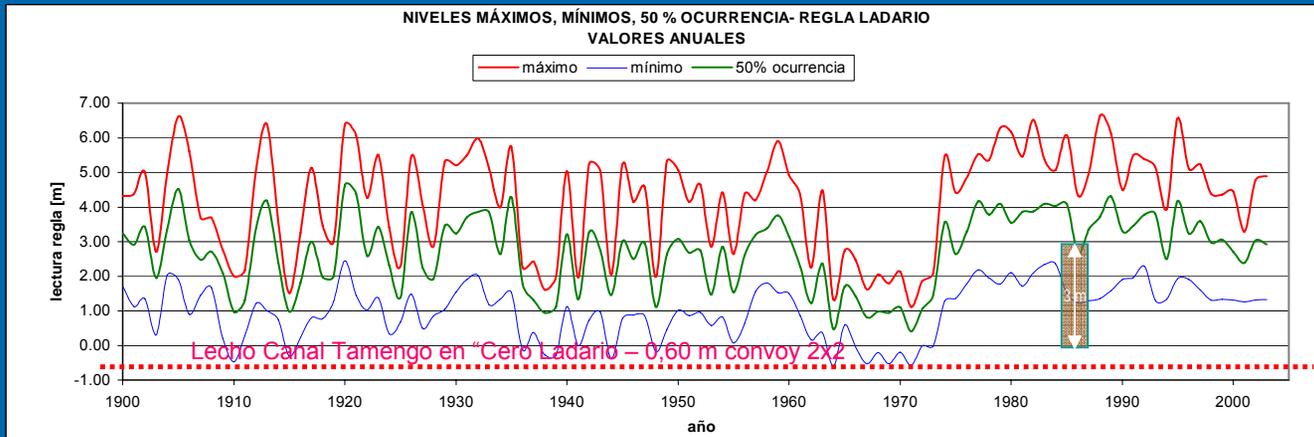


Limnigrama Ladarfo HPP km 2765

La Navegabilidad del Canal Tamengo

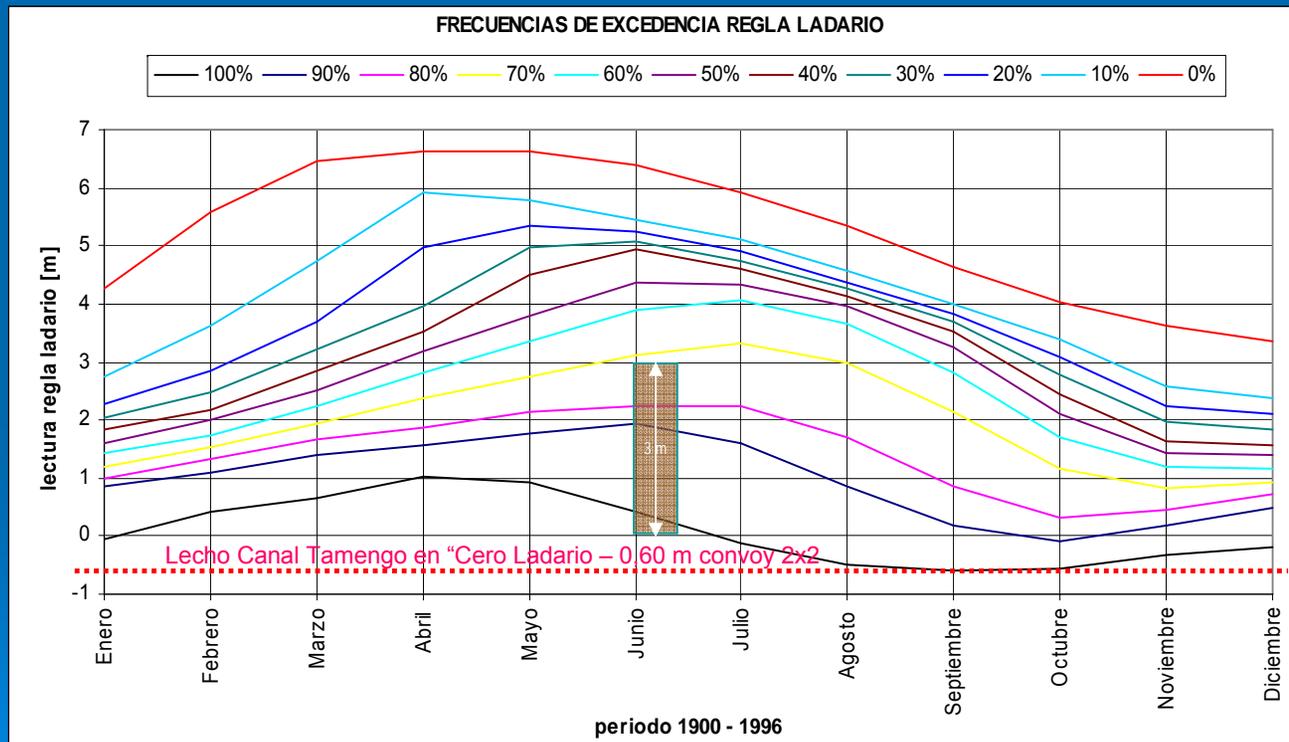
¿Análisis estadístico representativo? ¿Qué periodo? ¿Qué criterio como referencia?

Riesgo de colapso de la Hidrovía



La Navegabilidad del Canal Tamengo

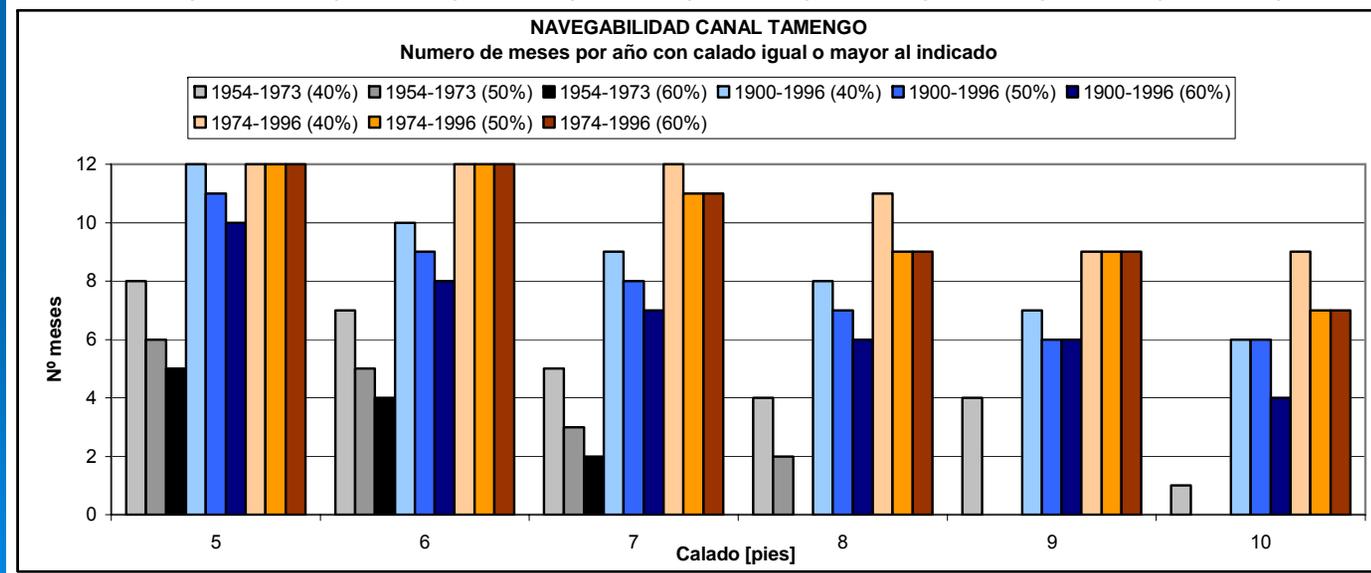
Ejemplo: análisis estadístico de frecuencias de excedencias de un periodo de 97 años de 1900 a 1996 en base mensual - ¿Qué criterio ahora a utilizar para determinar los tiempos de persistencia de un nivel (→tirante → calado)? ¿40 % - 50 % - 60 %?
Para otros periodos se obtendrá resultados diferentes



La Navegabilidad del Canal Tamengo

Análisis de persistencia tirantes (→ calados) según tres periodos de análisis (en base mensual) y tres criterios

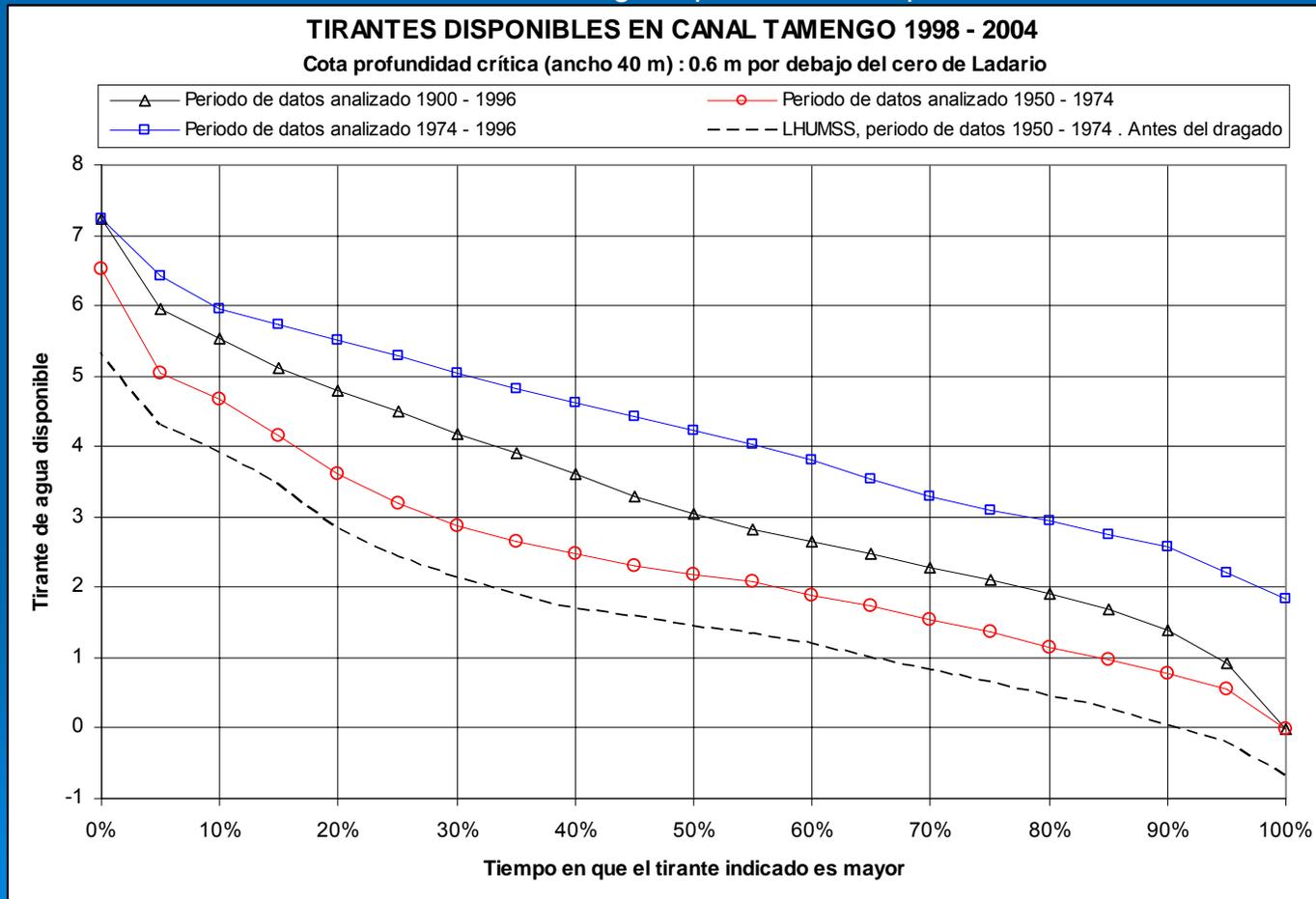
DISPONIBILIDAD DE TIRANTES DE AGUA EN CANAL TAMENGO											
expresado en número de meses por año											
Calado		Tirante de agua	Probabilidad de excedencia 40%			Probabilidad de excedencia 50%			Probabilidad de excedencia 60%		
			Periodo de aguas bajas	Periodo total	Periodo de aguas altas	Periodo de aguas bajas	Periodo total	Periodo de aguas altas	Periodo de aguas bajas	Periodo total	Periodo de aguas altas
[pies]	[m]	[m]	1954-1973	1900-1996	1974-1996	1954-1973	1900-1996	1974-1996	1954-1973	1900-1996	1974-1996
5	1.5	2	8	12	12	6	11	12	5	10	12
6	1.8	2.3	7	10	12	5	9	12	4	8	12
7	2.1	2.6	5	9	12	3	8	11	2	7	11
8	2.4	2.9	4	8	11	2	7	9	0	6	9
9	2.7	3.2	4	7	9	0	6	9	0	6	9
10	3	3.5	1	6	9	0	6	7	0	4	7



Canal Tamengo: análisis disponibilidad de tirantes de agua y calados conforme varios criterios p/ convoy 2x2

La Navegabilidad del Canal Tamengo

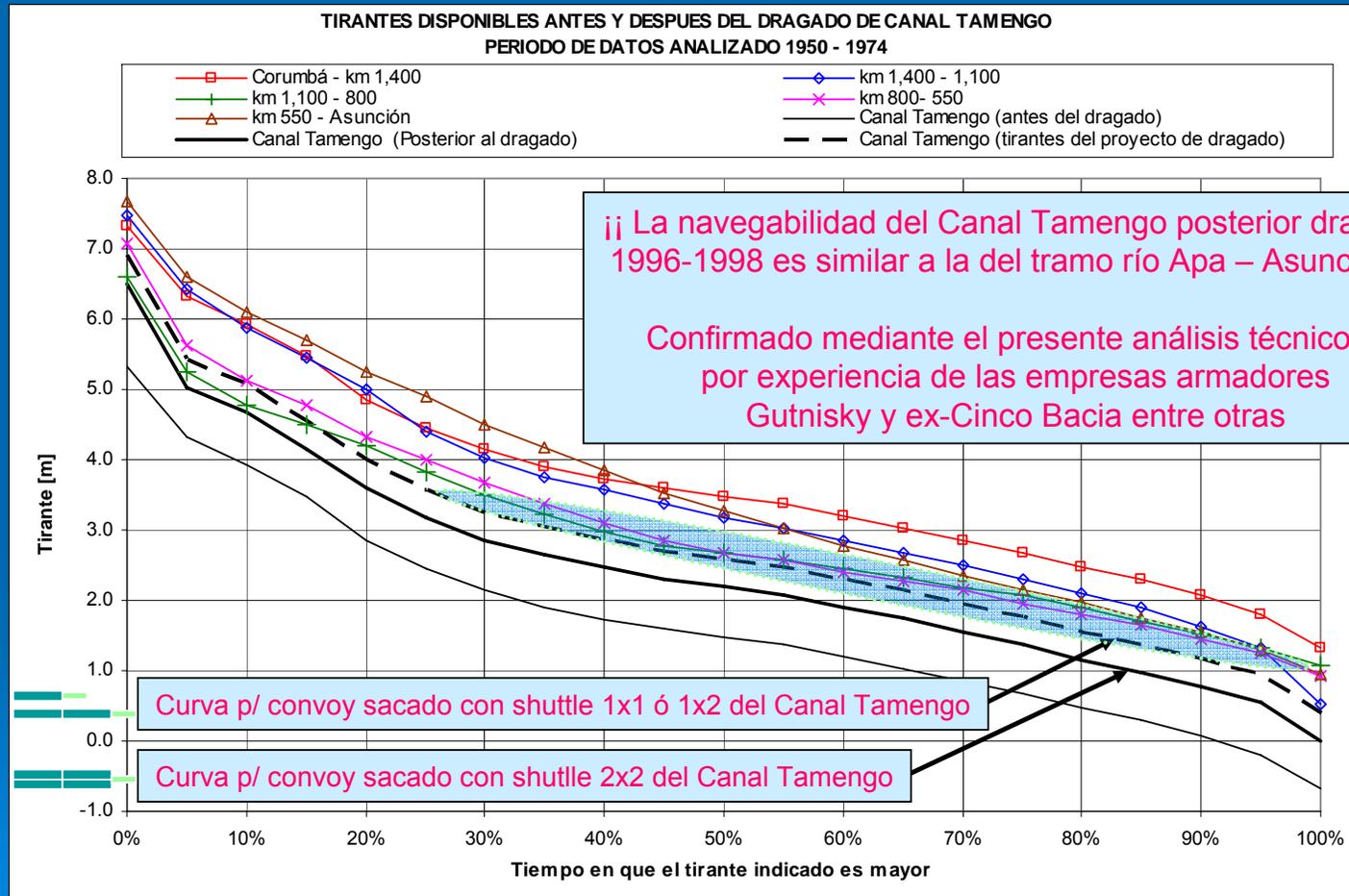
Análisis de persistencia tirantes (→ calados) según tres periodos de análisis (en base anual)
La situación de antes del dragado está estudiada para el periodo 1950 – 1974 y debe compararse con el nuevo lecho dragado para el mismo periodo.



Canal Tamengo: Análisis gráfico disponibilidad de tirantes de agua conforme varios criterios p/ convoy 2x2

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Análisis gráfico disponibilidad de tirantes en el Canal Tamengo y en el río Paraguay



kilometrajes desde Confluencia (= confluencia con el río Paraná HPP 1240) Asunción: HPP 1630 ≈ 390; Río Apa: HPP 2172 ≈ 932; Corumbá HPP 2770 ≈ 1530

La Navegabilidad del Canal Tamengo

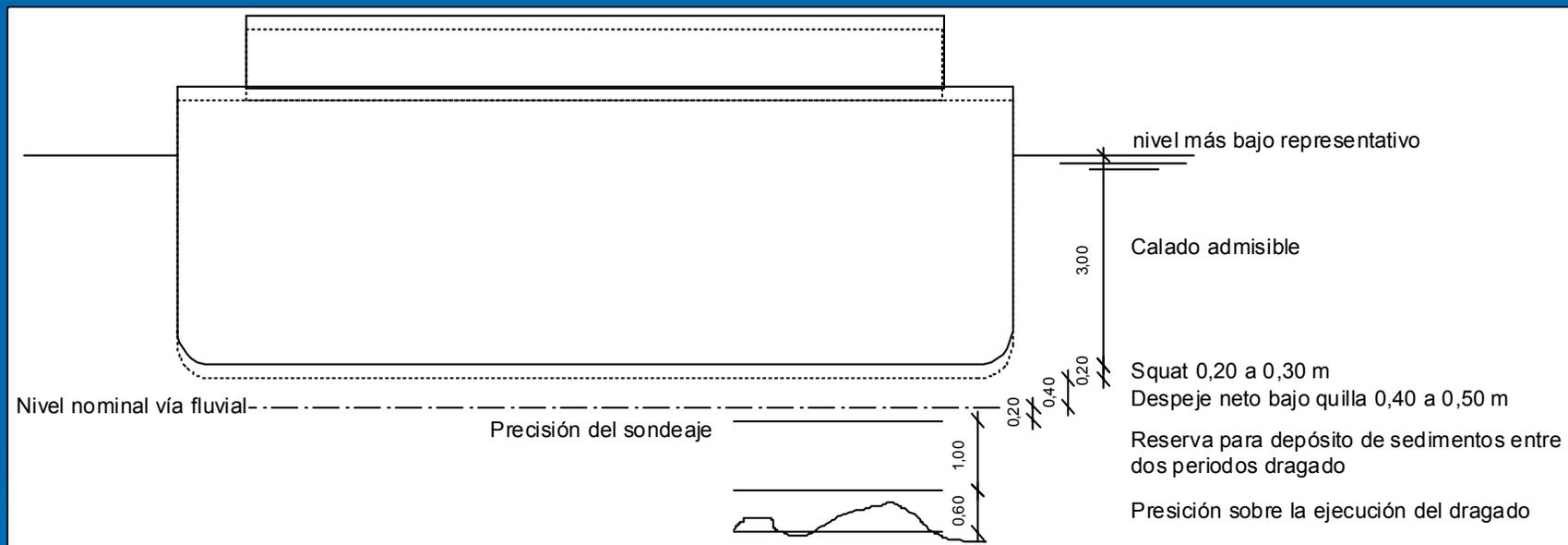
Tirante y p/ navegar con calado x



Squat provocado por el descenso del agua y por el flujo de retorno (= inclinación)
Mínimo despeje bajo la quilla p/ no exagerar en la potencia de los motores y
p/ disminuir el riesgo de accidentes

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Tirante y p/ navegar con calado x



Mínimo tirante de agua y p/ navegar con un calado admisible $x =$
calado admisible + squat + despeje bajo quilla =
 $3,00 + 0,20 + 0,40 = 3,60$ m (8-10 km/h y $n \geq 4$)

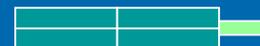
COINHI – 2004 – alternativas A-8, A-10, B-8, B-10, A-m y B-m;
squat + despeje bajo quilla 0,30 m para lechos arenosos y 0,60 m para lechos rocosos.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

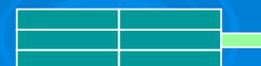
Ancho vía fluvial – tramos rectos – curvas – proyecto dragado 1990

El ancho del Canal Tamengo varía de 300 m en época de aguas altas a 100 m en época de aguas bajas. Lamentablemente en estos anchos no es enteramente navegable con grandes calados.

El ancho de la vía fluvial dragado en el Canal Tamengo fue ejecutado con 60 m en los partes rectos y curvas. De forma práctica se realizó únicamente 40 m de ancho a nivel cero de Ladario menos 0.60 m



El proyecto técnico de dragado considero una navegación a velocidad baja con un empujador “convencional” en configuración 3x2 (3 filas cada uno de dos barcasas de 12 m de manga y 60 m de eslora) conforme normas europeas PIANC. Para los tramos rectos determinó un ancho de 52 m para la vía fluvial y para tramos curva 90 m. Los 90 m es la envolvente para las diez curvas que se tiene en el Canal Tamengo considerando sobre ancho y un ángulo de derivación de 5 %, ver Cuadro.

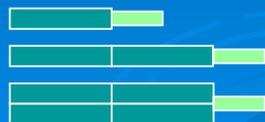


La Navegabilidad del Canal Tamengo

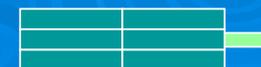
No	Progresiva		Radio	Angulo de desarrollo	Lugar	Ancho Normal en tramo recto	Sobre ancho	Ancho para 5° derivación	Ancho curva
	Inicio	Final							
	[km]	[km]	[m]	[°]		[m]	[m]	[m]	[m]
1	0.250	0.750	500	62.0		51.8	14.5	14.8	81.2
2	1.736	1.896	1,225	75.0		51.8	5.9	14.8	72.5
3	2.481	2.966	750	35.5		51.8	9.6	14.8	76.3
4	3.636	4.156	400	69.0	Ingreso a Arroyo Concepción +4.200 km	51.8	18.1	14.8	84.8
5	4.233	4.617	400	55.0		51.8	18.1	14.8	84.8
6	4.617	5.451	375	127.5	Ingreso a futura Terminal ENABOL +5.300km	51.8	19.3	14.8	85.9
7	5.806	6.556	500	86.0		51.8	14.5	14.8	81.2
8	6.891	7.332	500	43.5		51.8	14.5	14.8	81.2
9	7.332	7.746	500	47.5		51.8	14.5	14.8	81.2
10	8.351	8.893	875	35.5	Ingreso a Central Aguirre S.A. +8.300km	51.8	8.6	14.8	75.3
11	8.893	9.535	400	92.0		51.8	18.1	14.8	84.8

Análisis de las curvas Canal Tamengo - proyecto de dragado de 1990

Comparando los resultados obtenidos del dragado y los datos del Cuadro, se deriva que en las curvas falta ancho para operar con el convoy 3x2 é inclusive 2x2 en condiciones de niveles extremos.



Posibles convoyes en época de aguas bajas y medias



Posible convoy aguas altas

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Caudales, velocidades del agua, gradientes hidráulicos

Varían en un rango de aprox. -200 a 200 m³/s. Flujos positivos corresponden a flujos del Río Paraguay hacia la Laguna Cáceres (época de creciente del Río Paraguay) y flujos negativos corresponden a reflujos de la Laguna Cáceres al Río Paraguay (época de la vaciante del Río Paraguay).

Velocidades de agua aforados son: 0.03 – 0.05 – 0.07 - 0.11 m/s. Estas velocidades son muy inferiores a la velocidad de un convoy. Por lo tanto las velocidades de agua del Canal Tamengo no exigen una reserva de potencia a los motores de los empujadores.

Por las bajas velocidades el gradiente hidráulico es inferior a 1 cm por km. En situaciones de un alto flujo ó refluo puede alcanzar hasta 4 cm/km. Los gradientes tampoco son problema para la navegación sobre el Canal Tamengo.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Señalización

Desde la desembocadura hasta la terminal de combustible (F.P.T.C - CAPSA), existen señales ciegas de margen con pintura reflectiva. La margen derecha del canal es una zona elevada, donde se llega a encontrar pequeños acantilados de piedra, especialmente en las cercanías de la ciudad de Corumbá.

La margen izquierda, en cambio, es baja y pantanosa, con zonas inundables que dificultan la instalación de señales. La vegetación en ambas márgenes consiste de plantas acuáticas y árboles de escasa altura, llegando a cubrir algunas señales tapadas por los pocos árboles existentes.

En general, no es zona de nieblas y existe buena visibilidad de las riberas. Se practica navegación inclusive en horas de la noche.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Obstáculos a la navegación

Vegetación flotante



Existe un riesgo para tener islas de vegetación flotante - camalote, proveniente de los márgenes del Canal Tamengo, de la Laguna Cáceres y del Río Paraguay mismo. Este riesgo también se presenta en el Arroyo de Concepción. Existe solución a este problema: p.e. colocación de pilotes unido con redes.

Vientos

Normales: moderados en verano de 5-6 km/h del norte, en invierno de 9-11km/h del este.

Máximos: velocidades máximas de 35-75 km/h que pueden elevarse a 110-150 km/h, predominante del este. Los vientos fuertes son un riesgo para la navegación sobre el Canal Tamengo.



La Navegabilidad del Canal Tamengo

Obra de toma de agua potable de la ciudad de Corumbá

La obra de toma de agua potable que se ubica en la confluencia del Canal Tamengo con el Río Paraguay es un fuerte obstáculo por una combinación de varios factores que obliga a los pilotos a maniobras difíciles.

El espacio horizontal libre entre las dos pilas que delimitan el canal navegable.

La distancia entre las pilas por donde cursa el canal navegable tiene un ancho de aprox. 90 m, la distancia proyectada perpendicularmente a la vía fluvial solamente es de 65 a 70 m.

La geometría en planta del Canal Tamengo respecto a la geometría del Río Paraguay.

La vía fluvial del Canal Tamengo en planta es una curva que entra en contra curva en la curva del Río Paraguay.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

El ataque lateral del Río Paraguay que hace derivar el convoy de su rumbo normal.

Por el ángulo que forma la desembocadura del Canal Tamengo con el curso principal del Río Paraguay, la corriente del Río Paraguay ejerce una fuerza lateral sobre el convoy que intenta derivar el convoy de su rumbo normal y que exige una buena reacción de la potencia y del sistema de gobierno de timones.

La diferencia en comportamiento del convoy en las aguas profundas del Río Paraguay y en las aguas no-profundas del Canal Tamengo.

Para ingresar cómodamente al Canal Tamengo, es preciso que el convoy pueda suministrar potencia adicional en el momento de ingresar del Río Paraguay al Canal Tamengo. Esto por el hecho que el Río Paraguay presenta a la confluencia profundidades de una orden dos á tres veces mayor que las de la desembocadura del Canal Tamengo. En aguas profundas la eficiencia de un empujador con potencia pequeña es mejor que en aguas no profundas.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Efectos negativos por vientos fuertes.

Eventuales problemas con la altura libre en época de aguas altas para empujadores con varios pisos.

La altura libre con la máxima crecida es del orden de 12 m. Empujadores altos bajan antenas.



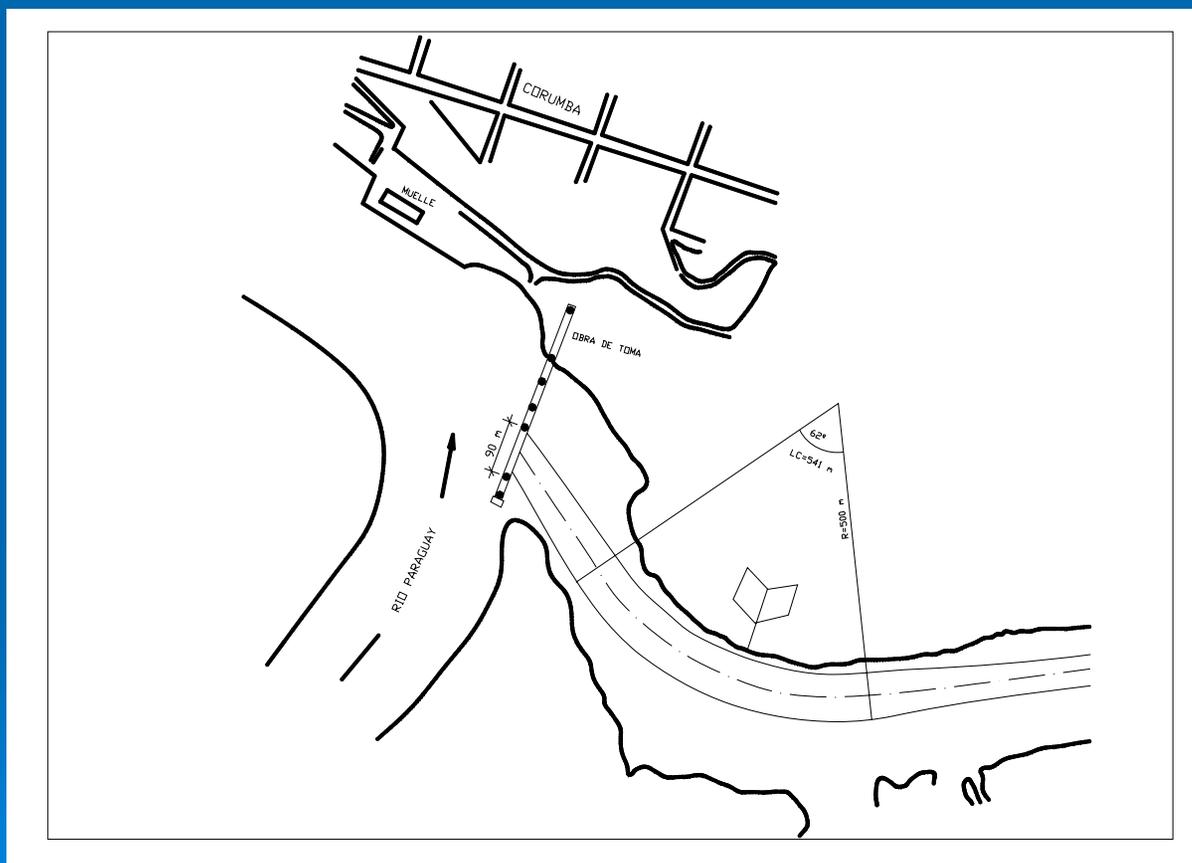
Obra de toma de agua potable de Corumbá con convoy 1x2

La Navegabilidad del Canal Tamengo



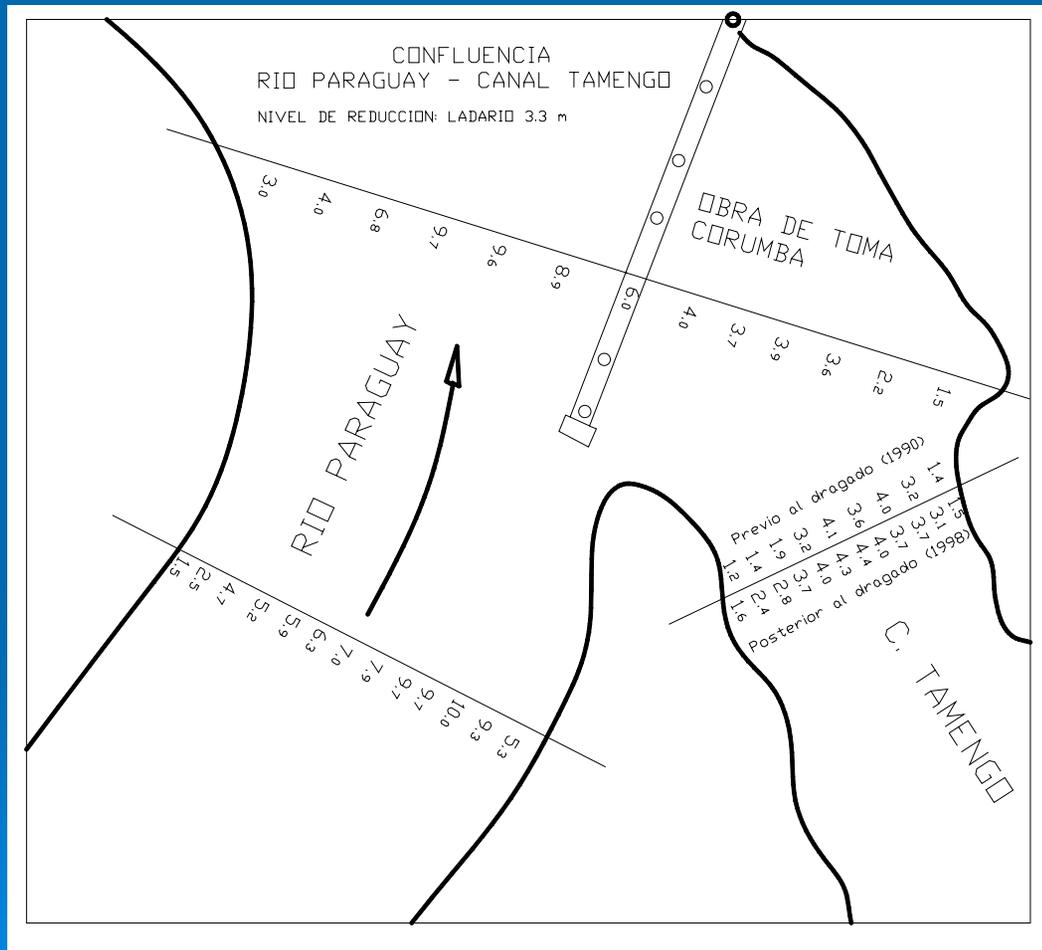
Obra de toma de agua potable de Corumbá

La Navegabilidad del Canal Tamengo



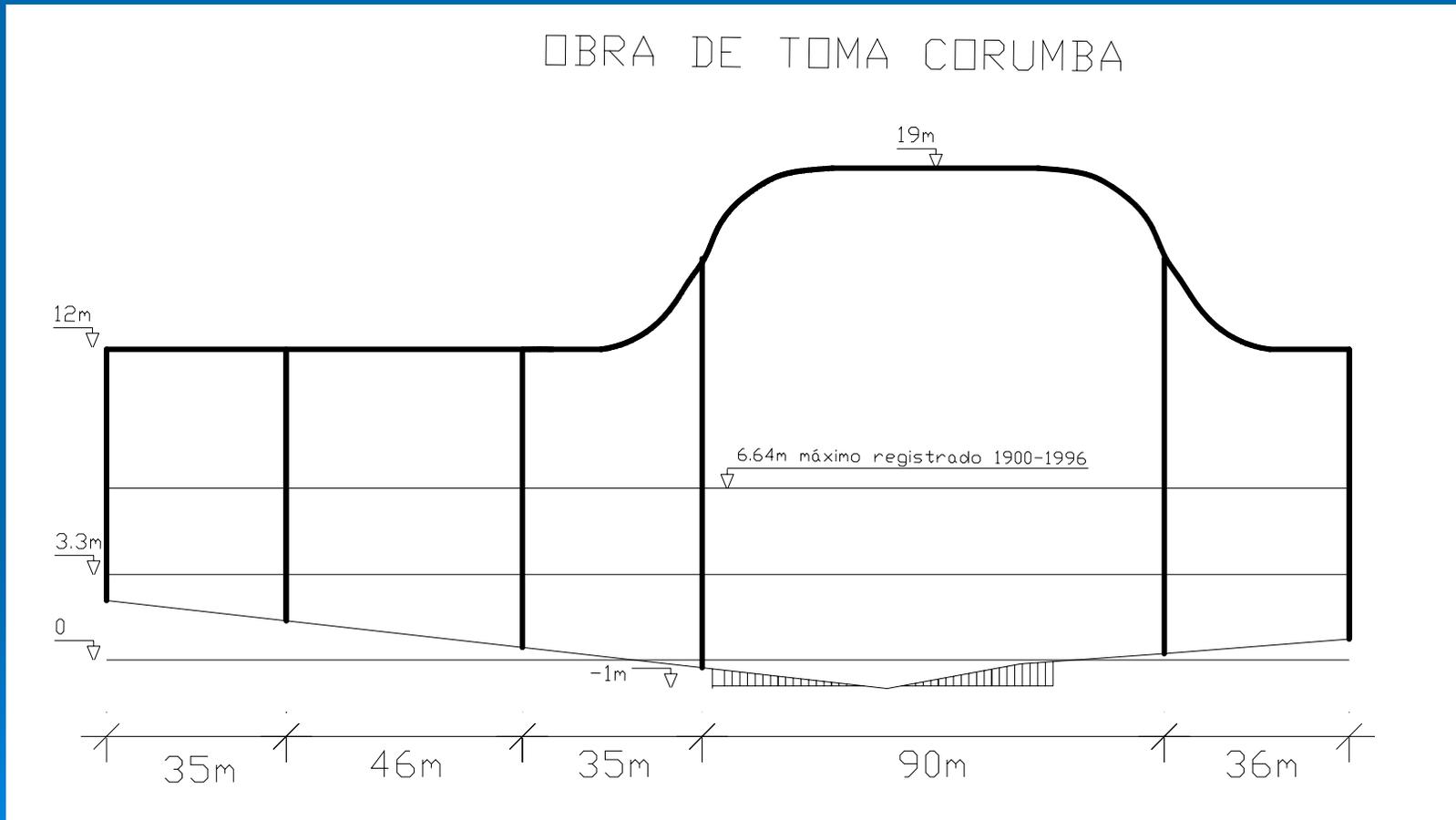
Canal Tamengo – Detalle en planta del puente de la obras de toma de agua potable de Corumbá

La Navegabilidad del Canal Tamengo



Canal Tamengo – Detalle en planta del puente de la obra de toma de agua potable de Corumbá con profundidades batimétricas

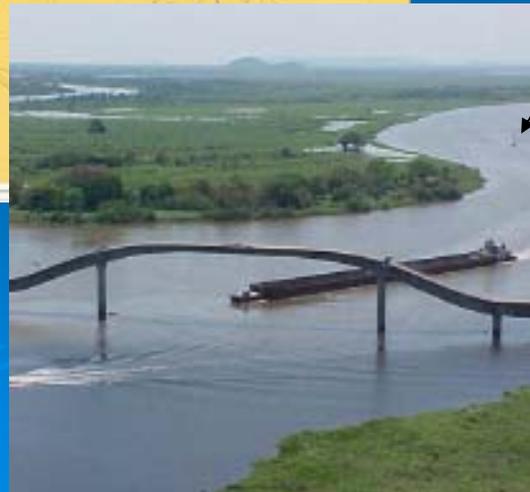
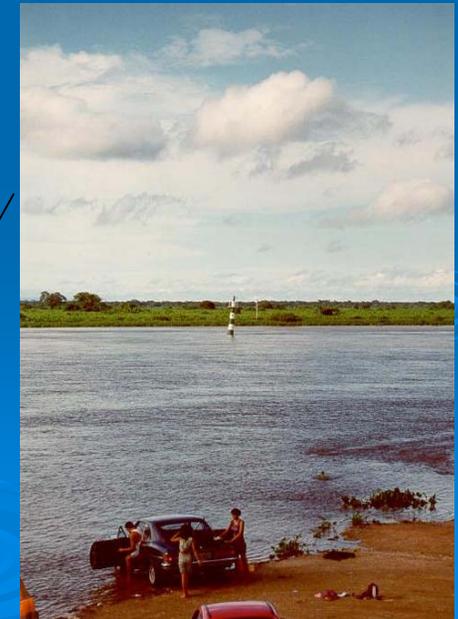
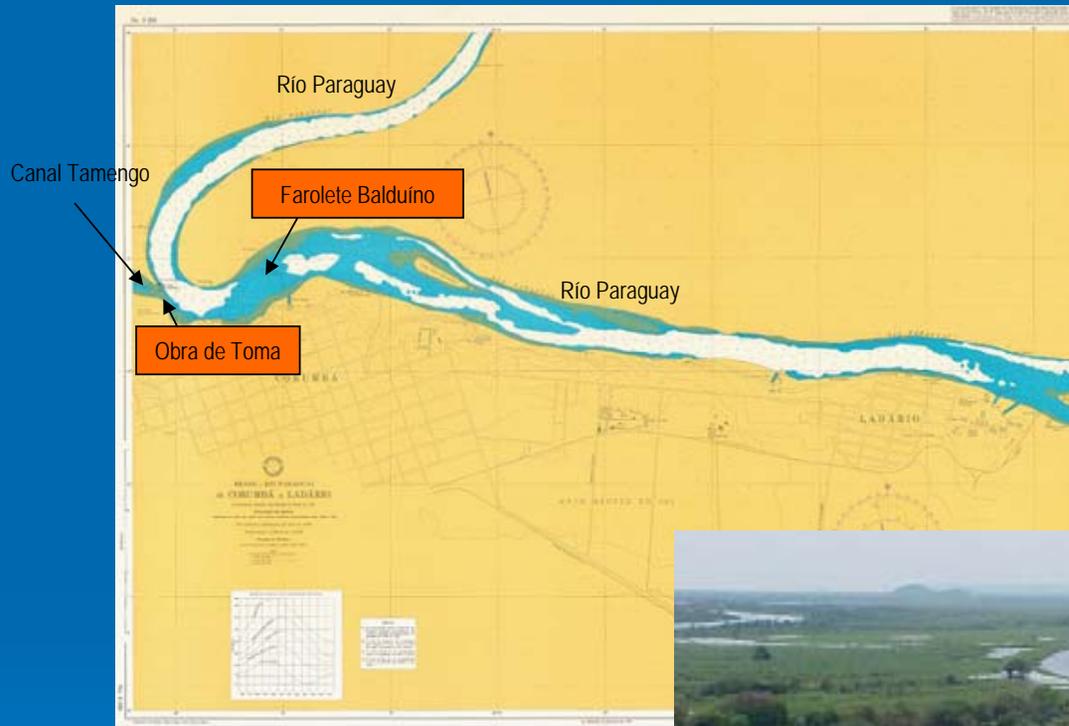
La Navegabilidad del Canal Tamengo



Canal Tamengo – Perfil longitudinal puente de la obra de toma de agua potable de Corumbá con cotas

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Farolete Balduino (Río Paraguay – Brasil) → afloramiento rocoso



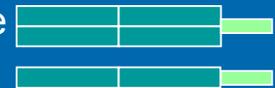
**Paso obligado en la
margen izquierda**

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Farolete Balduino (Río Paraguay – Brasil) → afloramiento rocoso
Obra de toma

Actualmente Brasil obliga a los convoyes desde y hacia Canal Tamengo:
fraccionar en Fondeadero Ladario a:

2x2+1 - empujador debe tener mínimo 900 HP sobre dos ejes + boatthruster de
mínimo 200 HP (solo de día, con buena visibilidad y poco viento) [170 x 25 m]



2x1+1 – empujador debe tener mínimo 500 HP sobre dos ejes [100 x 25 m]



1x1+1 – empujador de un eje [90 x 12 m]



Solo con niveles de la regla de Ladario ≥ 1.50 m

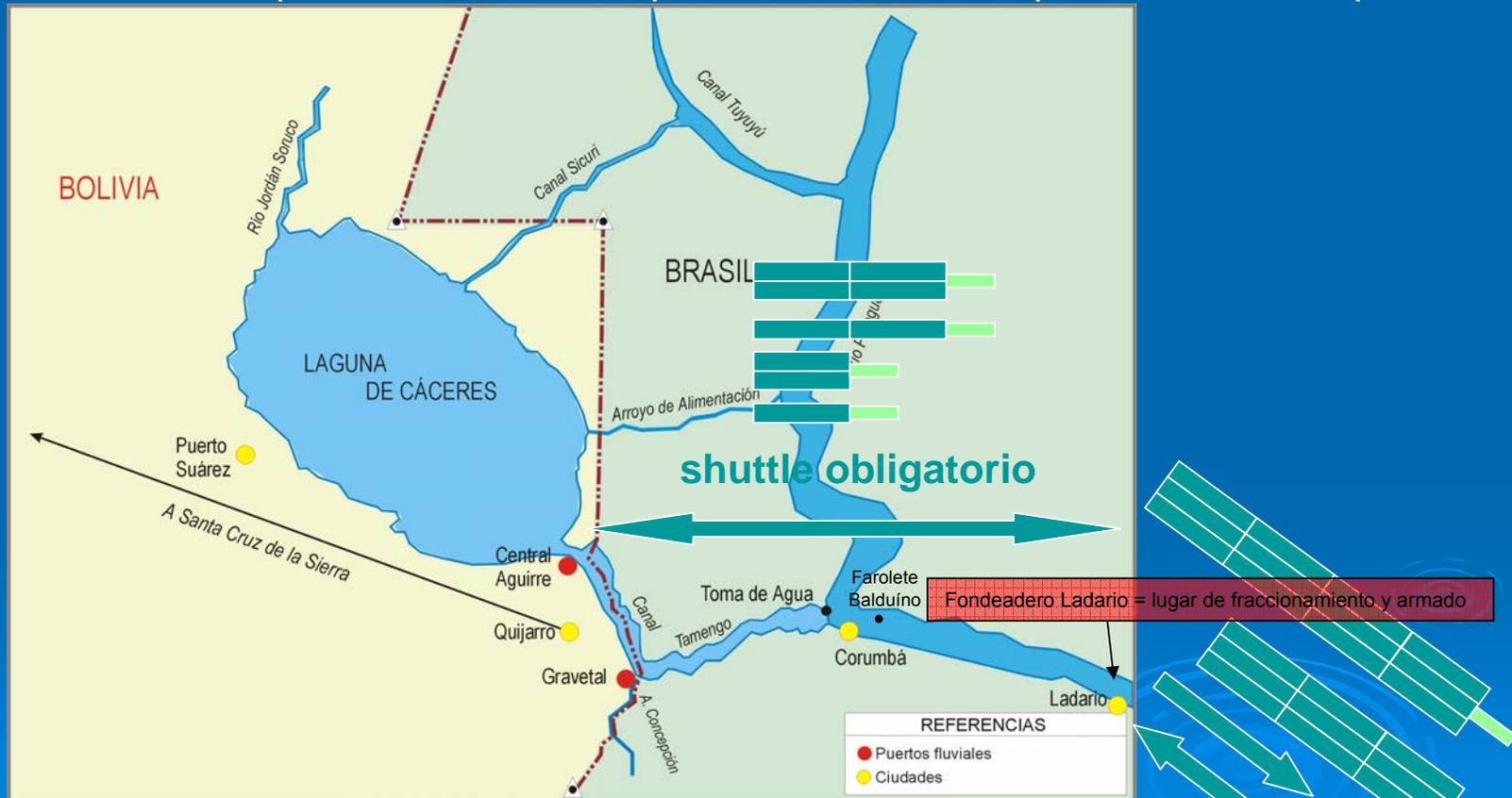
Ídem para los convoyes desde y hacia Cáceres

Bolivia en 2002-2003 ha exigido a Brasil dentro del marco del Tratado de la Cuenca del Plata, el Acuerdo de Transporte Fluvial de la Hidrovía Paraguay Paraná y el CIH la remoción de la Obra de Toma. En 2005 Brasil ha informado que siguen los estudios técnicos y que aún no se ha elegido la alternativa definitiva. Situación 2008 ... sigue todo igual.

Legalmente la HPP es desde Cáceres (Brasil) hasta Dock Buenos Aires incluyendo el Canal Tamengo.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Obligatoria actividad shuttle ó maniobras con barcazas 1x1, 2X1, 1x2, 2x2 entre Puertos Canal Tamengo y Fondeadero Ladario sobre una distancia promedio de 15 km que toma 4 a 5 horas para un ciclo completo



Una actividad shuttle 1x1 existe casi en todos los puertos por que el costo de inversión y operación de infraestructura portuaria para atender dos, tres ó cuatro barcazas amadrinadas es muy elevado. La distancia de 15 km es algo largo.

zarpe y atraque de los convoyes troncales

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Cartas de navegación y derrotero

Después de las obras de dragado en 1998 el Servicio Nacional de Hidrografía Naval de Bolivia ha elaborado nuevas cartas de navegación y nuevo derrotero para el Canal Tamengo a disposición de los navegantes. Se tiene indicación de los tirantes.

Dragados de Mantenimiento

El Canal Tamengo por la baja velocidad precisa con intervalos regulares de dragado de mantenimiento.

1. Con frecuencia regular, a escala de un par de años, los umbrales que se forman a la entrada en el Canal Tamengo mismo en su confluencia con el Río Paraguay. Las aguas que ingresan del Río Paraguay al Canal Tamengo, por las bajas velocidades en el Canal Tamengo, están obligados a precipitar inmediatamente a la entrada del Canal Tamengo los sedimentos gruesos, creando umbrales de arena perjudiciales al posible calado de las barcazas en aguas bajas, ver perfil longitudinal.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

2. Con frecuencia regular, a escala de uno, dos, tres años dragar a la altura de la confluencia del Arroyo de Concepción con el Canal Tamengo. Las crecidas del Arroyo de Concepción se amortiguan directamente contra el casi inmóvil cuerpo de agua del Canal Tamengo, donde se crea condiciones propicias a la precipitación inmediata de los sedimentos gruesos que lleva el Arroyo de Concepción. Últimamente este problema se ha trasladado aguas arriba sobre el mismo Arroyo de Concepción en frente al muelle Tamengo II y en su acceso, debido a que artificialmente mediante los trabajos de dragado se ha creado allí un espejo de agua varias veces mas grande que el espejo de agua original.
3. En vista a las velocidades bajas del Canal Tamengo, la concentración de sedimentos gruesos es mínima y casi inexistente. Durante condiciones de flujo del Río Paraguay hacia la Laguna Cáceres únicamente entra la fracción de sedimentos finos que son difíciles de precipitar. Con refluo de la laguna hacia el río, el agua sin contenido de sedimentos tiene una leve capacidad erosiva y se vuelve a cargar con una pequeña cantidad de sedimentos finos. En global por las bajas velocidades de flujo la sedimentación anual en el curso del Canal Tamengo es mínima y alcanza a 2 - 3 cm. Cada 10 a 15 años se precisa de un dragado general de limpieza de estos materiales finos.
4. A corto plazo dragar los derrumbes que se han producido en los taludes de la sección transversal dragado en 1996 – 1997 – 1998.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Futuros niveles de navegabilidad de la HPP incluyendo Canal Tamengo
CIH - COINHI 2004

Preocupación del CIH de emprender a mediano plazo **obras** para prevenir un posible colapso de las actividades económicas que se canalizan por la HPP por el riesgo de un periodo de aguas muy bajas.

¿Qué nivel de servicio en cuanto a calado?

Trayecto en HPP	Plan de Desarrollo de la Hidrovía – Estudio Louis Berger -1996
Corumbá – Asunción	8.5 pies ó 2.60 m
Asunción – Santa Fé	10 pies ó 3.00 m
navegación durante el 90 % del tiempo de un año seco	
año seco = año con niveles mínimos con periodo de recurrencia 10 años periodo 1911 a 1993	
Costos: inversión inicial: \$us. 80.000.000 - mantenimiento anual \$us. 14.000.000	

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Trayecto en HPP	Actualización Plan de Desarrollo de la Hidrovía – Estudio COINHI -2004		
	variante tipo 10	variante tipo 8	variante tipo m
Corumbá – Asunción	10 pies ó 3.00 m	8 pies ó 2.40 m	8 pies ó 2.40 m
Asunción – Santa Fé	10 pies ó 3.00 m	8 pies ó 2.40 m	10 pies ó 3.00 m

variante tipo **A**: navegación durante el 90 % del tiempo de un año seco
año seco = año con niveles mínimos con periodo de recurrencia 10 años **periodo 1963 a 2003**

variante tipo **B**: navegación durante el 75 % del tiempo de un año seco
año seco = año con niveles mínimos con periodo de recurrencia 50 años **periodo 1963 a 2003**

Volumenes a dragar para apertura en pasos Alternativa A-8

	Arena [m3]	Roca [m3]	Volumen total [m3]
Tramo HPP 636 a HPP 2772 incluyendo Canal Tamengo	10.500.000	1.600.000	12.100.000
Tramo HPP 636 a HPP 2534 = Puerto Busch	6.500.000	1.000.000	7.500.000
Tramo HPP 2534 = Puerto Busch a HPP 2772 incluyendo Canal Tamengo	4.000.000	600.000	4.600.000
Solo Canal Tamengo A-8 ? cero Ladario - 3 m para 2x2+1	550.000	550.000	1.100.000

fuelle: COINHI + propia elaboración

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Costos por alternativas, miles de U\$S						
Costos de inversión y costos externos a precios económicos						
	A-10	A-8	B-10	B-8	Am	Bm
Apertura Arena	38.118	21.82	59.442	39.583	25.607	44.804
Apertura Roca	11.705	7.206	16.36	11.775	7.498	12.302
Balizamiento	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781
Otros	3.156	1.908	4.715	3.248	2.153	3.593
Sub-Total	55.759	33.715	83.298	57.387	38.039	63.479
Ambiental	2.136	2.136	2.136	2.136	2.136	2.136
Total	57.895	35.851	85.434	59.523	40.175	65.615
	161%	100%	238%	166%	112%	183%
Mantenimiento del dragado y el balizamiento a precios económicos. Costos externos						
	A-10	A-8	B-10	B-8	Am	Bm
Dragado	15.395	9.674	18.694	14.919	11.954	17.003
Balizamiento	2.562	2.562	2.562	2.562	2.562	2.562
Otros	1.077	734	1.275	1.049	871	1.174
Sub-Total	19.035	12.97	22.532	18.53	15.387	20.739
Ambiental	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974	1.974
Total anual	21.009	14.944	24.506	20.504	17.361	22.713
	141%	100%	164%	137%	116%	152%

¡ actualmente solamente se mueve 9 a 10 millones de toneladas por el sistema de empuje!

La Navegabilidad del Canal Tamengo

La concesión para la alternativa A-8 financieramente no es rentable

Se requiere:

el subsidio total del dragado de apertura: $\pm 36.000.000$ \$us.

y

anualmente un subsidio de $\pm 3.000.000$ \$us.

Esto por que se exige una alta inversión inicial y sucesivos montos de mantenimiento con respecto al nivel de ingresos que es posible de generar por el cobro de peajes si se quiere evitar desvíos de carga y perdida de beneficios económicos.

¿Cómo los 5 países se pondrán de acuerdo para financiar estos montos?

¿Los costos unitarios de dragado parecen bajos: arena 2,1 \$us./m³ y roca 4,5 \$us/m³?

Tomará todavía mucho tiempo para tener un nivel de servicio en toda la Hidrovía Paraguay Paraná tipo A-8, pero es necesario.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Determinación Capacidad Transporte Anual CANAL TAMENGO - Exportaciones ¹									
Número de Empujadores	Empujadores destinados a Puertos en Canal Tamengo					Capacidad [millones de toneladas]			
	G.B.	T.E.	F.P.	F.P.	C.A.	actual		obras A-8	
	km 4	km 5	km 6	km 7	km 8	con OT	sin OT	con OT	sin OT
1					1	2,9	9,0	3,7	11,1
1	1					5,1	15,8	6,4	19,3
2					2	5,1	15,8	6,4	19,3
2	1				1	5,9	18,1	7,3	22,1
3					3	6,9	21,1	8,5	25,8
3	1				2	7,7	23,7	9,6	29,0
2	2					8,2	25,3	10,3	30,9
3	1	1			1	8,8	27,1	11,0	33,2
3	2				1	8,8	27,1	11,0	33,2
5					5	9,4	28,7	11,7	35,2
3	3					10,3	31,6	12,8	38,7
4	2				2	10,3	31,6	12,8	38,7
6					6	10,3	31,6	12,8	38,7
7					7	11,1	34,0	13,8	41,7
5	2				3	11,4	35,1	14,2	43,0
4	3				1	11,8	36,1	14,7	44,2
5	1	1	1	1	1	12,9	39,5	16,0	48,4
5	3				2	12,9	39,5	16,0	48,4
5	5					12,9	39,5	16,0	48,4
6	6					13,7	42,1	17,1	51,6
7	3	2			2	14,4	44,2	17,9	54,2
7	7					14,4	44,2	17,9	54,2
6	2	1	1	1	1	15,4	47,4	19,2	58,0
6	3				3	15,4	47,4	19,2	58,0

G.B. = Gravelal Bolivia, T.E. = Terminal ENABOL, F.P. = futuro puerto y C.A. = C.A.P.S.A.
 OT = Obra de Toma de agua potable ciudad de Corumbá
¹ los mismos valores del cuadro valen para Importaciones

Proportionalidad Importaciones / Exportaciones	Volumen de Saturación Capacidad Anual de Transporte sobre el Canal Tamengo [millones de toneladas]			
	actual		obras A-8	
	con OT	sin OT	con OT	sin OT
0	13,0	40,0	16,5	49,0
0,2	15,6	48,0	19,8	58,8
0,4	18,2	56,0	23,1	68,6
0,5	19,5	60,0	24,8	73,5
0,8	23,4	72,0	29,7	88,2
1	26,0	80,0	33,0	98,0

Situación actual = escenario 1954-1973 PEN 40 %
 con solamente 330 días de navegación al año (100 días 2x1+1 y 230 días 1x1+1).

Se trabaja 20 horas al día con eficiencia de 70 %.

Situación futura = escenario A-8 Tr= 10 años PEN 90%

Con 330 días de navegación al año

La **capacidad anual actual** del Canal Tamengo

≥ 15 millones de toneladas al año considerando la

proporcionalidad entre importaciones y exportaciones 0,2 a 1,0 **CON**

Obra de Toma y shuttle 1x1 y 2x1.

Sin obra de toma ≥ 48 millones de toneladas con shuttle 2x2.

Sin obra de toma y con alternativa A-8 ≥ 58 millones de toneladas con shuttle 2x2

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Conclusiones:

1. Es función de las rutas a navegar hacia los puertos fluviomarítimos.
2. Actualmente 2008, posterior al dragado de 1996 - 1998 la navegabilidad en cuanto a calado del Canal Tamengo (convoy 1x1) y de la HPP son similares.
3. Anterior a 1996 los calados críticos estaban ± 1.20 m inferior.
4. El tramo del río Apa a Asunción de ± 540 km restringe actualmente la navegabilidad de la HPP (calado y máximo convoy). Más del 50 % de los pasos críticos se encuentran en este tramo.
5. La navegabilidad en cuanto a calado desde Puerto Busch y desde Canal Tamengo es igual.
6. El máximo convoy está restringido por Brasil (Farolete Balduino – Obra de toma de agua) a 2x2, 1x2, 2x1 y 1x1 obligando a una actividad de maniobras ó shuttle con las barcasas sobre 15 km entre Puertos Canal Tamengo y Fondeadero Ladario donde se desarma y arma el convoy grande 3x3, 4x4, ..X..

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Conclusiones:

6. Brasil no efectiviza sus compromiso de remover la obra de toma dentro del marco del Tratado de la Cuenca del Plata, del Acuerdo de Transporte Fluvial en la HPP y del CIH.
7. Para aprovechar a lo máximo un convoy 2x2 con condiciones de calado similar a la actual HPP, se precisa dragar 50.000 m³ (roca dura y material blando). Un convoy 2x2 funciona sin la remoción de la Obra de Toma.
8. Para aprovechar a lo máximo un convoy 3x2 con condiciones de calado similar a la actual HPP, se precisa dragar 150.000 m³ (roca dura y material blando) y remover la obra de toma y ¿realizar dragado a la altura del Farolete Balduino?.
9. El Canal Tamengo no precisa de frecuentes dragados de mantenimiento de volúmenes grandes.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Conclusiones:

10. Para tener toda la Hidrovía Paraguay Paraná a la alternativa A-8 para evitar el riesgo del colapso se precisa dragar 12.000.000 m³, incluyendo 1.100.000 m³ en el Canal Tamengo.
11. Para tener la Hidrovía Paraguay Paraná a la alternativa A-8 hasta Puerto Busch se precisa dragar 7.500.000 m³.
12. Los países del Acuerdo de Transporte Fluvial de la Hidrovía Paraguay Paraná deben ponerse de acuerdo respecto a como ejecutar y financiar las obras de la alternativa A-8.
13. La capacidad anual de transporte fluvial por el Canal Tamengo:
 - 15 millones de toneladas para condiciones actuales
 - 48 millones de toneladas si la Obra de Toma no existiese
 - 20 millones de toneladas con alternativa A-8 manteniendo Obra de Toma
 - 58 millones de toneladas con alternativa A-8 sin Obra de Toma
14. El volumen actual de transporte fluvial por Canal Tamengo es del orden de 1.5 a 2.0 millones de toneladas por año y está lejos del punto de saturación.

La Navegabilidad del Canal Tamengo

Recomendaciones:

1. Definir acciones respecto los proyectos bolivianos para acceder con carga a la HPP en base a análisis objetivo de datos existentes.

2. Gestionar el cumplimiento de parte de Brasil con:

La remoción de la obra de toma.

Trabajos en el afloramiento rocoso del Farolete Balduino.

3. Realizar el diseño final técnico y ambiental de los dragados 2x1 a -1 y 2x2 a -1 y gestionar su aprobación ante Brasil.

4. Realizar los dragados 2x1 a -1 y 2x2 a -1.

5. Realizar obras para contener los camalotes.

6. Gestionar la realización de la alternativa A-8 en la HPP y en el Canal Tamengo.