

Diseño de embarcación para transporte de contenedores a través del río Napo para el eje multimodal Manta Manaos del Amazonas

Espinosa Sèmpèr, Rafael
Construcciones Navales

Durán - Ecuador

r_espinosa_astillero@hotmail.com

Resumen

En Suramérica se encuentran doce corredores intermodales con importantes trayectos fluviales, complementados con trayectos por carretera y por ferrocarril. Dichos corredores unen, a través del subcontinente, puertos marítimos en el Atlántico con puertos marítimos en el Pacífico, como inicio o final de los corredores. Las vías navegables naturales son los ríos los cuales tienen un cauce natural, pendiente del fondo y de la superficie libre, corrientes, cauces cambiantes, movimiento de sedimentos. Es de resaltarse que ecológicamente tienen como orden de prioridad estos corredores porque se escogen los modos de transporte que sean menos contaminantes. Adicionalmente, en los puertos fluviales en dichos ríos se embarcan volúmenes de carga que se suman al flujo de bienes, de comercio nacional e internacional, que transportan por los citados corredores. Esto requiere del desarrollo de planes de Transporte, planes nacionales, provinciales y locales, comercio exterior, macroeconomía nacional, movimiento estadístico de cargas. Al iniciar el diseño de las hidrovías de navegación fluvial y puertos fluviales, es necesario incluir el diseño del Transporte Fluvial. En el 2008, el Ministerio de Transporte del Ecuador solicitó un diseño de una embarcación para el desarrollo del *eje multimodal Manta Manaos del Amazonas*, disponiéndose como información primaria: ratios de transporte de contenedores, autonomía de la nave, ruta de navegación, ubicaciones de puertos y niveles de profundidad a lo largo de la ruta. La extensión de este trabajo va desde las posibilidades de modelos de nave hasta la propuesta de diseño de una embarcación utilizando sistemas de propulsión que no se afectado por el nivel de calado del río, solucionando como primera instancia el diseño de esta Hidrovía.

Palabras claves:

1. Introducción

Los ríos constituyen las vías fluviales o hidrovías por donde transitan diferentes tipos de embarcaciones trasladando pasajeros y/o carga entre puertos ubicados en las márgenes de estas vías para facilitar el transporte de mercancías, estableciéndose rutas y tráficos de acuerdo a la demanda del transporte.

El sueño de unir a los océanos Pacífico y Atlántico a través de una ruta aero-terrestre-fluvial se pudo establecer por los convenios acordados por Ecuador y Perú luego de la firma del acuerdo de Paz y límites suscrito en octubre de 1998 que empujan y enriquecen el proyecto de la Vía Multimodal.

El desarrollo del proyecto, es parte de la Iniciativa de Integración Regional Sudamericana (IIRSA), de realización del corredor logístico multimodal que impulsará el desarrollo socioeconómico de los países de la Cuenca del Pacífico y la Cuenca Amazónica. Por este corredor circulará un flujo de productos y servicios originados en los centros de desarrollo de toda esta región, así como de las regiones de ultramar de ambos océanos.

Este proyecto busca una ruta más corta y económica para las mercancías asiáticas en el Atlántico, lo que implica que los buques provenientes de ese continente no utilicen el Canal de Panamá; así se ahorrará 20 días de navegación y un costo de al menos el 40% en los productos originarios del Asia.

El Puerto de Manta actualmente tiene un calado de 38 pies y se aspira tener 45 pies. Por ser un Puerto marítimo no requiere de ayuda especial para recibir a los barcos. El Puerto De Orellana está a orillas del río Napo, será el punto de encuentro desde el Puerto de Manta desde donde se efectuará el traslado fluvial hacia Manaos y por consiguiente a Belém en el océano Atlántico.

El eje multimodal Manta - Manaos, por lo tanto es una alternativa al transporte por el Canal de Panamá, debido a los siguientes beneficios:

- Tiene un alto interés de países como China, Japón, Corea, Canadá, Brasil para concesionar todo o parte del proyecto.
- Presenta menores costos y tiempos de transporte entre puertos Asiáticos, Australianos o Neozelandeses (60 % del comercio mundial) y Manaus.
- Es una de las más importantes obras de Infraestructura Continental, alineada al Plan de Iniciativa de Integración Regional Sudamericana (IIRSA)

- Ahorra 20 días de navegación marítima.
- Menor costo del transporte y de inmovilización de capital en cargas de alto valor.
- Nuevas oportunidades de negocios:
 - Desarrollo turístico.
 - Desarrollo de servicios.
 - Desarrollo tecnológico.
 - Creación de fuentes de trabajo.
- Tráficos exitosos de empresarios Ecuatorianos, Colombianos y Brasileños, han probado su efectividad y conveniencia.

Es de resaltarse que ecológicamente el orden de prioridad de los corredores con los modos de transporte menos contaminantes en Suramérica son: unimodales, ferroviarios eléctricos, ferroviarios a petróleo e intermodales fluvio-ferroviarios, fluvio-carreteros, ferro-carreteros, y carreteros.

2. Consideraciones generales de la Hidrovía Coca- Nuevo Rocafuerte Manaos

La alternativa del eje bioceánico multimodal Pacífico-Atlántico integra rutas que utilizan las vías marítima, terrestre, fluvial y aérea, que enlazan desde el Puerto Internacional de Transferencia de Carga y el aeropuerto Eloy Alfaro, en Manta, utilizando en su primera etapa la vías terrestres desde Manta, Chone, El Carmen, Santo Domingo, Alóag, Pifo, Papallacta, Baeza, Lago Agrio y Shushufindi, hasta llegar al Puerto de Providencia en Napo.

Esta ruta tiene 882 km, que se recorren en 15 horas. Sin embargo, para que sea totalmente una realidad, se requiere de obras como: encauzamiento de tramos, repotenciación de puentes y obras de mantenimiento. Esta ruta se muestra, con trazo rojo en la figura 2.1



Figura 2.1: Ruta Terrestre y Fluvial Eje Multimodal Manta - Manaos

A su vez, otra ruta terrestre se proyecta desde Manta hacia San Plácido, Pichincha, Quevedo, La Maná, Saquisilí, Chalupas, Archidona, Narupa, Loreto y Coca, hasta el Puerto de Providencia; este tramo tiene 776 km y se recorre en 12 horas.

Desde el Puerto de Providencia, en el Bajo Napo, la ruta continúa por una vía fluvial de 185 km, que se recorre en 12 horas por el río Napo hasta Cabo Pantoja (zona fronteriza entre Ecuador y Perú). Este tramo también requiere obras de dragado y balizamiento. Además posee cinco puntos críticos ubicados en Puerto Providencia, San Roque, Chiro Isla, Nuevo Rocafuerte y San Antonio (Orellana), que requieren obras complementarias. La figura 2.2 indica estos sectores críticos.

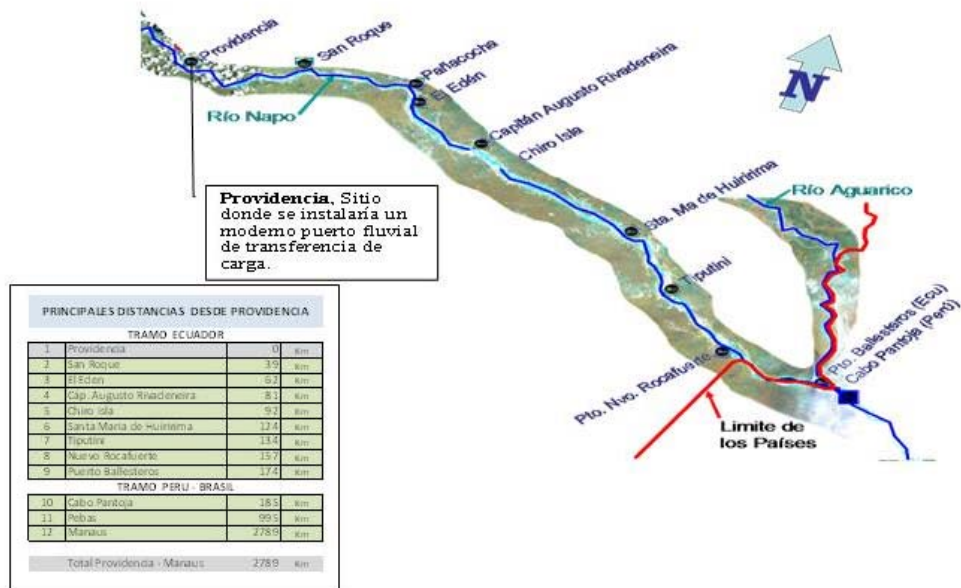


Figura 2.2: Ruta Fluvial del Bajo Napo, Ecuador

De Cabo Pantoja a Puerto de Manaus en el Brasil, son 2 789 km. Aquí, las mercancías seguirán camino al Puerto de Belem, de donde se distribuirán al mercado europeo y africano.

Las condiciones para la navegación dependen, no sólo del nivel del río, sino de muchos factores, tales como la cantidad de árboles y otros residuos que flotan en la superficie, el deseo de viajar de noche o sólo de día, o la familiaridad del piloto con los últimos cambios en el cauce.

Los ríos de la región amazónica son geológicamente jóvenes, continuamente cambian su cauce erosionando sus orillas en algunas partes y formando nuevas playas e islas en otras. El proceso de erosión y sedimentación es altamente complejo. Cualquier cambio en el cauce de un río en un determinado punto, ocasiona otros cambios en el cauce del río a grandes distancias aguas arriba y aguas abajo, dando lugar a una cadena interminable de cambios, haciendo imposible la predicción del futuro comportamiento de un río.

3. Tipos de Naves que trabajan en las Hidrovías

El movimiento de mercaderías en embarcaciones mediante transporte por agua se ha realizado desde el comienzo de los tiempos. Sin duda los primeros que se navegaron fueron los ríos, o sea, navegación fluvial. En la economía del transporte por agua, su importancia se fundamenta en elegir la embarcación mas adecuada para el curso, o en etapa mas avanzadas, adaptar el curso de agua a la embarcación.

El parque fluvial en los ríos podemos dividirlo de las siguientes maneras:

Por su uso: De pasajeros

- De carga
- Mixtas

Naves con propulsión propia:

- Motonave
- Motochata
- Remolcador o Empujador
- Bote motor

Naves sin propulsión:

- Chata y Chata cisterna
- Barcaza y Barcaza cisterna
- Albarenga

Para efectos de la Operación Comercial, se considera como unidad de transporte:

- Motonave : Embarcación con propulsión y bodega
- Motochata: Embarcación con propulsión y bodega
- Comboy: Conformado por un remolcador o empujador con propulsión y una o más unidades sin propulsión.

En las figuras 3.1 ,3.2 y 3.3 se muestran las ventajas que presenta el transporte fluvial y condiciones de velocidad de acuerdo a las necesidades.



Figura 3.1: Barcaza con remolcador en el río Napo – Ecuador AGRINCSA velocidad 7 nudos.

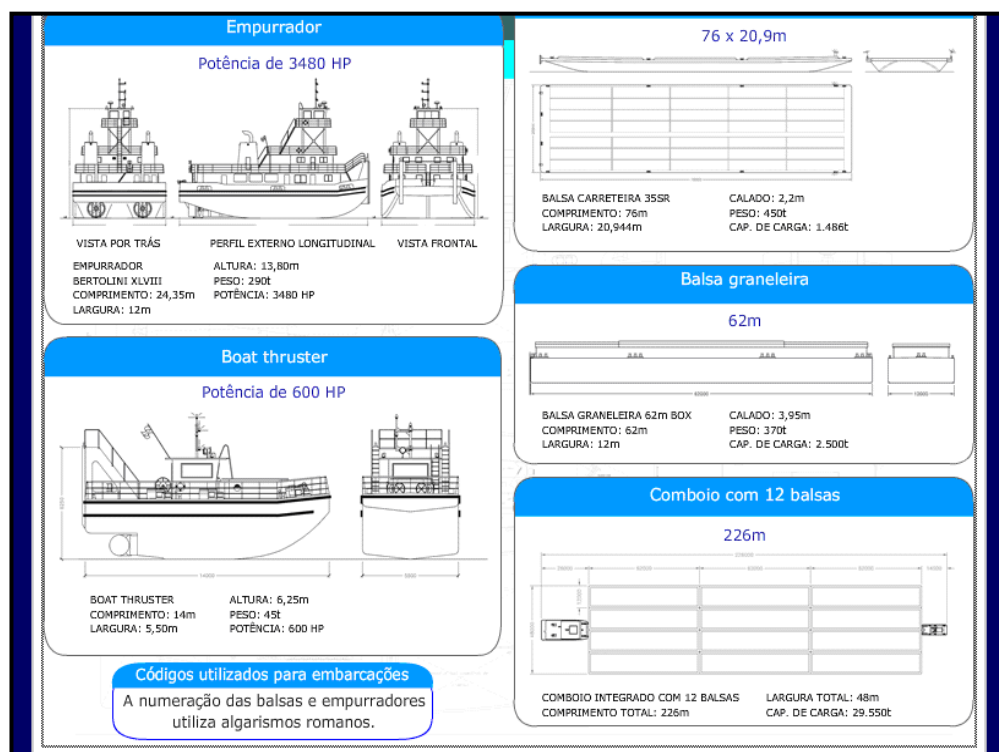


Figura 3.2: Comboio de Barcazas con remolcador en el río Amazonas - Brasil BERTOLINI, Velocidad 10 nudos



Servicio	Carga rápida
Eslora	20.9 m
Manga	5.0 m
Calado (estático)	0.7 m
Construcción	Aluminio
Desplazamiento	30 ton cargado
Velocidad	20 nudos
Propulsión	Water jets Hamilton

Figura 3.3: BARCAZA CON HIDROJET- R. Maldivas, Velocidad 20 nudos

4. Diseños propuestos de acuerdo a requerimientos

Un aspecto importante a considerar es la diferencia de precio de los fletes en los diferentes modos de transporte. El medio más barato de todos después del buque de ultramar lo sigue el transporte por barcazas.

Con la ruta de navegación: Providencia Nuevo Rocafuerte integrando Iquitos Manaos, se ha considerado para el diseño de la nave un calado del río en las zonas críticas después de dragado de 3 metros.

En la definición del diseño de las barcazas las limitaciones deben ser incluidas.

Estas limitaciones consideradas son:

- Capacidades por nave
- Impacto ambiental
- Impacto antropológico
- Autonomía del flete
- Número de unidades
- Tiempo de transporte

En la ruta de navegación se ha conderado los ratios de transporte: mínimo 50 contenedores mes de 20 TEUS y máximo 200 contenedores día de 20 TEUS. Las dimensiones físicas consideradas de los contenerodres de 20 TEUS son mostradas en la tabla 4.1:

20 Pies Standard 20' x 8' x 8'6"	
Tara	2300 kg / 5070 lb
Carga	28180
Max.	kg/62130 lb
Max. P.	30480
B.	kg/67200 lb
Medidas	Internas
Largo:	5898 mm / 19'4"
Ancho:	2352 mm / 7'9"
Altura:	2393 mm / 7'10"
Capacidad Cub.	33,2 m3 / 1172 ft3

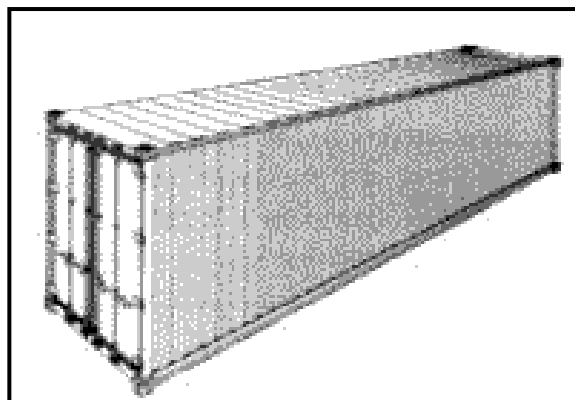


Tabla 4.1: Dimensiones físicas del contenedor 20 TEUS.

El flete a coste está en función de: Recuperación del capital invertido, gasto de explotación económica del buque y el beneficio (oferta y demanda).

El costo estimado por contenedor para la ruta dependerá del costo inicial de la nave, el mantenimiento, y la operación (tripulación, combustible, aceite). En la tabla 4.2 se presenta una comparación entre el flete marítimo y la proyección fluvial.

RUTA DE TRANSPORTE	TIPO TRANSP.	DISTANCIA	TIEMPO	Velocidad A Favor	TIEMPO	Velocidad En Contra	Costo Flete
		Km	días	nudos	días	nudos	\$
Manta - Santos	Marítimo	8100	20	x	20	x	2346.00
Manta - Belem	Marítimo	5660	20	x	20	x	2050.00
RUTA DE TRANSPORTE	TIPO TRANSP.	DISTANCIA	TIEMPO	Velocidad A Favor	TIEMPO	Velocidad En Contra	Costo Flete
		Km	días	nudos	días	nudos	\$
Manta - Providencia	Terrestre	776	1.00	x	1.00	x	400.00
Providen. - Nvo. Rocafuerte	Fluvial	157	0.33	14	0.50	10	250.00
Nvo. Rocafuerte - Manaos	Fluvial	2632	4.25	14	5.50	10	850.00
Manaos - Belem	Fluvial	1495	3.75	10	4.67	7	800.00
	Total	5060	9.33		11.67		2300.00

Tabla 4.2: Cuadro comparativos entre flete marítimo y fluvial para Contenedores de 20 TEUS.

Ecuación de negocio marítimo depende de la estructura del flete: del tamaño del barco o capacidad de transporte y el tiempo de duración de contrato. Dado que el tipo de contrato de fletamento entre el armador y el fletador (Bare bost, time charter & Spot), que nos es objeto de este trabajo, fueron requeridos dos propuestas de transporte de acuerdo a limitaciones, que son:

- Naves de tipo Hovercraft,
- Naves tipo barcaza autopropulsadas o tipo comboy.

Para el primer caso se presentó el modelo de hovercraft barcaza con las siguientes características.

Hovercraft NM-61/TF

- Transporte fluvial de carga.
- Configurable: Carga a granel, contenedores y/o vehículos.
- Totalmente anfibio.
- Carga útil: 130 Tm. (5 contenedores)
- Otra carga / Tripulación: 5 Tm.
- Velocidad de crucero: 32 nudos
- Combustible: 30.000 litros
- Alcance máx.: 850 Km
- Autonomía máx.: 13 horas
- Altura colchón de aire: 2 metros
- 04 Motores Diesel / Turbinas de vapor
- Sistema de Sustentación tipo “D.A.T.A.”
- Construcción en Aluminio.

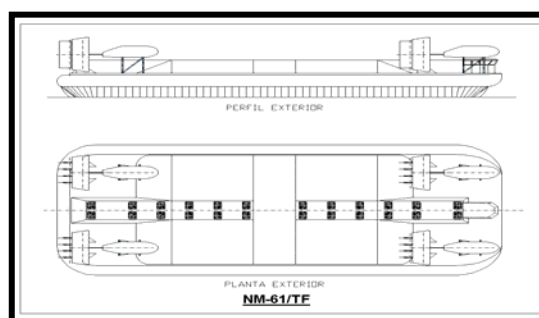


Figura 4.1: Hovercraft NM-61/TF

El precio cada unidad está alrededor de los \$22.000.00 fabricado en Ecuador, pero este modelo propuesto no permite transportar más de 5 contenedores por viaje. Adicionalmente el número de unidades para cumplir con los ratios de transporte estarían alrededor de las 10 unidades.

En la selección de las formas de la nave se ha considerado los parámetros geométricos que permitan analizar su resistencia y por ende la selección del sistema de propulsión adecuada para el desarrollo de velocidades de alrededor 12 nudos con aguas en calma, (la velocidad de la corriente es de alrededor 2 nudos promedio). Estos parámetros geométricos considerados son:

- Razón L/B, B/T
- Coeficiente block, plano e agua, sección media, volumétrico
- Medio ángulo de entrada de popa
- Número de Froude
- Entre otros

<u>Condiciones Primarias:</u>	<u>Condiciones Secundarias:</u>
Length between PP: 70.000 m	
Length on WL: 70.000 m	
Max beam on WL: 20.000 m	
Draft at mid WL: 2.000 m	Transom area: 7.000 m ²
Displacement bare: 2150.0 t	Transom beam: 4.000 m
Max section area: 36.500 m ²	Transom draft: 7.000 m
Waterplane area: 1260.0 m ²	Half ent angle: 67.000 deg
Wetted surface: 1285.9 m ²	Lwl/B: 3.5000
LCB aft of FP: 33.600 m	B/T: 10.0000
Bow shape: U-shape [vert	Cb: 0.7485
Stern shape: U-shape [vert	Cws: 3.3572
Chine type: Round bilge	Cx: 0.9125
Loading: Load draft	Cw: 0.9000

En el proceso de cálculo ha incluido 04 equipos de propulsión, 02 a cada banda, en donde la hélice considerada es del tipo Kaplan 37 y de 4 palas.

```

----- Propulsor data -----
Series: Kaplan 37                      Scale corr: None
Blades: 4                               Kt mult: [X]Std  1.000
Exp area ratio: 0.7000                 Kq mult: [X]Std  1.000
Diameter: 25.00 in                     Blade t/c: [ ]Std  0.000
Pitch: 20.00 in                         Roughness: [ ]Std  0.000 mm
Pitch type: FPP                          Cav breakdown: [ ]Apply

```

En barcasas pequeñas, la profundidad del casco es por lo general insuficiente para utilizar en el interior del casco sistemas propulsores. Se ha considerado como proveedor del sistema propulsor a Thrustmaster de Texas quienes poseen un sistema portátil de posicionamiento dinámico que consiste en un equipo modular, montado en la cubierta, con propulsores azimutales, unidades de energía hidráulica y un control de consola. Todo el sistema se puede instalar el muelle, toma un mínimo de espacio de cubierta y no requiere

ninguna modificación de buques permanente. El accionamiento hidráulico es especialmente adecuado para poco profundas, las aplicaciones de agua de color marrón, donde los desechos en el agua o fondos poco profundos puede ser un problema.

El accionamiento hidráulico proporciona plenamente proporcional de control de velocidad de la hélice en adelante y atrás mientras que el motor funciona a velocidad constante así como hidráulica el ajuste de la profundidad de la hélice, paneles de control remoto, etc

Los métodos regresionales usados para el cálculo de resistencia y propulsión son *Basic formulation* y el de *University of Denmark*, que corresponden al software de análisis HydroComp, Inc. De acuerdo a estos se escogerá la potencia adecuada para la autopropulsión de cada nave. Los detalles sobre los parámetros y sus limitaciones que incluyen estos métodos son detallados:

Basic formulation

HydroComp, Inc. in-house development, 1992.

Hull: Any displacement hull.

Parameters: C_{vol} 4.1..11.3 ($L_{wl} / Vol^{1/3}$)

Speed range: $F_n(L_{wl})$ 0.0..0.4

Methodology: 2-D CR, ITTC-57 CF

University of Denmark method

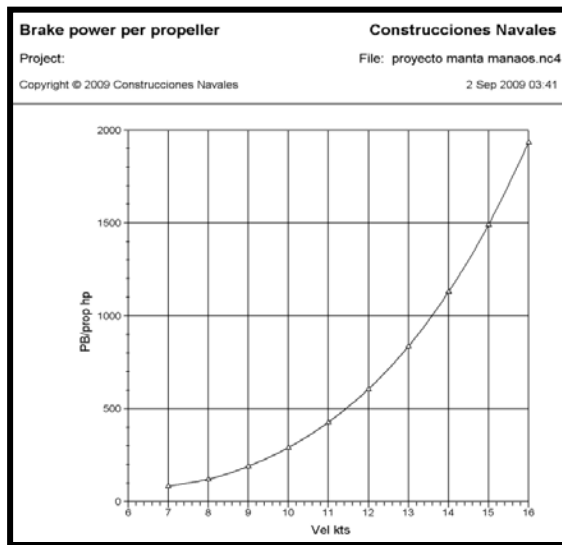
Andersen, P. & Guldhammer, H.E., "A Computer-Oriented Power Prediction Procedure", CADMO, 1986. Harvald, Sv.Aa., "Resistance and Propulsion of Ships", John Wiley & Sons, New York, 1983.

Hull: Single and twin-screw cargo ships

Parameters: $C_b(L_{wl})$ 0.55..0.85, L_{wl}/B_{wl} 5.0..8.0, C_{vol} 4.0..6.0 ($L_{wl} / Vol^{1/3}$)

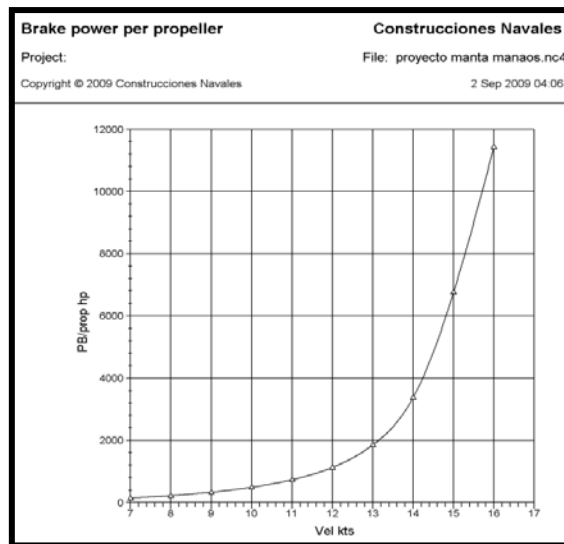
Speed range: $F_n(L_{wl})$ 0.05..0.33

Methodology: 2-D CR, ITTC-57 CF, random model tests



4.4 Curva de BHP vs. Velocidad, Basic formulation

Vel kts	PD/prop hp	OPC	PS/prop hp	PStotal hp	PB/prop hp	PBtotal hp
10.00	274	0.3888	280	1119	291	1165
11.00	402	0.3825	410	1641	427	1710
12.00	571	0.3765	583	2331	607	2428
13.00	788	0.3711	804	3215	837	3349
14.00	1063	0.3658	1084	4337	1129	4518



4.4 Curva de BHP vs. Velocidad, University of Denmark

Vel kts	PD/prop hp	OPC	PS/prop hp	PStotal hp	PB/prop hp	PBtotal hp
10.00	459	0.3445	468	1874	488	1952
11.00	688	0.3363	702	2809	732	2926
12.00	1061	0.3244	1083	4331	1128	4511
13.00	1742	0.3067	1778	7111	1852	7407
14.00	3180	0.2808	3245	12979	3380	13520

Con estos resultados obtenidos se estima que la selección de propulsión, deberá estar alrededor de los 4000 BHP para velocidades de alrededor de 12 a 13 nudos, debido a que el método de University of Denmark, considera relaciones L/B entre 5.0 - 8.0. y nuestro modelo posee una relación de L/B 3.5000. A efecto de comparación, las barcazas no autopropulsadas, con dimensiones geométricas similares y formas más llenas, utilizan 01 remolcador cuyas potencia está alrededor de los 3500 HP y una velocidad de 12 nudos. El precio cada unidad está alrededor de los \$3.500.00 fabricado en Ecuador, para transportar hasta 60 contenedores por viaje, siendo el número de unidades para cumplir con los ratios de transporte de 04 unidades.

5. Conclusiones

- El eje multimodal Manta - Manaos, por lo tanto es una alternativa al transporte por el Canal de Panamá y se ahorrará 20 días de navegación y con un costo de al menos el 40% en los productos originarios del Asia.
- Siendo el medio más barato de transporte de todos después del buque de ultramar lo sigue el transporte por barcazas, se ha considerado para el diseño de la nave un calado del río en las 05 zonas críticas después de dragado de 3 metros.
- El costo estimado por contenedor para la ruta dependerà del costo inicial de la nave, el mantenimiento, y la operación (tripulación, combustible, aceite). Este costo se considera que debería estar alrededor de \$185.00/día/ 20 TEUS.
- Las Naves de tipo Hovercraft no permiten transportar más de 5 contenedores por viaje y su costo es muy alto para el modelo de transporte y limitaciones de la ruta.
- Las naves tipo barcaza para las limitaciones de la ruta en el que se incluye el calado, son consideradas con un sistema de Auto Propulsión Azimutal Retráctil, anulando el uso de remolcadores para su operación a 12 nudos.
- Usando los métodos regresionales *Basic formulation* y el de *University of Denmark*, del software HydroComp, Inc, la potencia deberá estar alrededor de los 4000 BHP para velocidades de alrededor de 12 a 13 nudos. Este valor de potencia está dentro de los límites de naves con dimensiones geométricas similares y formas más llenas, utilizando 01 remolcador para su empuje.

6. Referencias Bibliográficas y Tecnológicas

- ✓ Autoridad Portuaria Nacional del Perú (APN) y la Comisión Interamericana de Puertos (CIP) de la Organización de los Estados Americanos (OEA), seminario internacional desarrollo de puertos fluviales e Hidrovías, Ciudad de Iquitos - Perú, Agosto del 2008
- ✓ Comisión Especial Interinstitucional del Proyecto del Puerto de Transferencia Internacional de Carga del Ecuador en el Puerto de Manta, PROYECTO EJE MULTIMODAL MANTA – MANAUS, Ecuador 2008
- ✓ H. Consejo Provincial de Orellana 2008, La ruta Manta Manaos se hará realidad, Noviembre de 2007, Orellana - Ecuador
- ✓ Métodos regresionales usados para el cálculo de resistencia y propulsión. Disponible en: <http://www.HydroComp.com>
- ✓ Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción Dirección General de Transporte Acuático, Transporte Fluvial y Vías Navegables en el Perú,
- ✓ Soria, Franklin Eduardo, REVISTA ECONOMADA ESPECIALIZADA ENLATINOAMERICA "BIOCEANICO" sobre el EJE MANTA-MANAUS. abril, 2007
- ✓ Tipos de contenedores. Disponible en: <http://www.affaigroup.com>
- ✓ Transporte naviero Manta - Puerto Francisco de Orellana – Manaos. Disponible en: <http://www.manabita.com>
- ✓ Transporte Fluvial en Brasil. Disponible en: <http://www.TransportesBertoliniLtda.com>
- ✓ Transporte Fluvial en Ecuador. Disponible en: <http://www.Agrinca.com>