
SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL CANAL DE PANAMÁ

Evaluación de la Capacidad Sostenible
del Canal de Panamá Bajo Distintos
Escenarios Operativos y de Inversión

CONTENIDO

1	Introducción.....	4
1.1	Antecedentes.....	4
1.2	Alcance y objetivos.....	5
1.3	Factores físicos que limitan la capacidad del Canal existente.....	6
1.3.1	El tamaño del buque como factor que condiciona la capacidad del Canal.....	6
1.3.2	La cantidad de tránsitos y el tamaño de los buques que pueden transitar por las esclusas	9
1.3.3	Reglas y restricciones en los cauces de navegación	10
1.4	Tendencias que evidencian que el Canal funciona cerca de su máxima capacidad.....	12
1.4.1	Nivel de servicio del Canal como condicionante de la capacidad	12
1.4.2	Se reduce la holgura para realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación	13
1.4.3	Se satura la capacidad para tránsitos diurnos	15
1.4.4	Se intensifica el uso del sistema de reservaciones	16
2	Conceptos Importantes Sobre la Capacidad del Canal.....	20
2.1	Demanda.....	20
2.1.1	Mezcla de buques	20
2.1.2	Cantidad de la demanda y estacionalidad.....	20
2.2	Capacidad a largo plazo y nivel de servicio del Canal.....	21
2.2.1	Capacidad y nivel de servicio	22
2.3	Componentes del Canal.....	22
2.3.1	Cauces de navegación.....	23
2.3.2	Esclusas.....	24
2.3.3	Fondeaderos y estaciones de amarre.....	25
2.4	Un Sistema impulsado por la programación de buques	25
3	Metodología para el análisis de capacidad del Canal	27
3.1	Marco conceptual para el Plan Maestro	27
3.2	Desarrollo del modelo de capacidad del Canal	29
3.2.1	Alcance y objetivos del modelo	29
3.2.2	El software de simulación Arena	30
3.3	Escenarios a simular, uso de los resultados e interacción con otros modelos	30
3.3.1	El modelo integrado de pronóstico de demanda	30
3.3.2	El modelo HEC-5 de confiabilidad hídrica	31
3.3.3	El modelo de análisis financiero	31
3.4	Modelo conceptual del Canal como un sistema restringido.....	32
3.4.1	Entrada del atlántico.....	32
3.4.2	Canal de acceso y las esclusas de Gatún.....	32
3.4.3	Lago Gatún	32
3.4.4	Bordada de Gamboa	33
3.4.5	Corte Culebra.....	33
3.4.6	Esclusas de Miraflores, lago Miraflores y esclusas de Pedro Miguel	33
3.4.7	Entrada del pacífico.....	33
3.5	Descripción general del modelo.....	34
3.5.1	Generalidades del modelo	34
3.5.2	Demanda y mezcla de buques.....	35

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

3.5.3	Reglas y restricciones de navegación	37
3.5.4	Secuenciador de buques.....	41
3.5.5	La lógica de la programación de buques.....	43
3.5.6	Definición de los puntos de programación de buques.....	43
3.5.7	División del día en períodos de tiempo basados en eventos importantes.....	44
3.5.8	Criterios de prioridad la salida de buques durante cada periodo de tiempo.....	44
3.5.9	El Sistema de reservación.....	45
3.6	Verificación y validación	46
3.6.1	Validación de la composición de la demanda	46
3.6.2	Verificación del patrón de programación de buques	46
3.6.3	Verificación de las reglas y restricciones de navegación	47
3.6.4	Validación de la capacidad y nivel de servicio	47
4	Análisis de la capacidad del Canal.....	48
4.1	Capacidad del Canal en su configuración actual.....	48
4.1.1	Pronóstico de demanda para el Canal	48
4.1.2	Premisas del análisis de capacidad del Canal	49
4.1.3	Frontera de capacidad del Canal	52
4.1.4	Impacto de la demanda potencial en la capacidad del Canal	55
4.2	Estrategias para optimizar la capacidad del Canal	60
4.2.1	La capacidad y utilización de las esclusas existentes definen la capacidad del Canal	61
4.2.2	Factores que limitan la utilización de las esclusas existentes	64
4.3	Capacidad del Canal mejorado.....	68
4.3.1	Programa para aumentar la capacidad y el valor del Canal	68
4.3.2	Impacto de las mejoras en la operación del Canal.....	69
4.3.3	Premisas del análisis del Canal mejorado.....	70
4.3.4	Frontera de capacidad del Canal mejorado	72
4.3.5	Impacto de la demanda en la capacidad del Canal mejorado	73
4.3.6	Capacidad máxima del Canal sin la ampliación	76
4.4	Capacidad del Canal ampliado	78
4.4.1	Programa de ampliación del Canal	78
4.4.2	Demanda objetivo del Canal para los próximos 20 años	80
4.4.3	Premisas del análisis de capacidad del Canal ampliado	81
4.4.4	Frontera de capacidad del Canal ampliado.....	83
4.4.5	Impacto de la demanda en la capacidad del Canal ampliado	84
4.5	Mejoras al Canal ampliado más allá del 2025	85
4.5.1	Estaciones de amarre	86
4.5.2	Ensanche del Corte Culebra	86
4.5.3	Fondeaderos	87
5	Conclusiones.....	88

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Durante más de noventa años el Canal de Panamá ha sido un importante elemento en la industria del transporte marítimo mundial. A pesar del tiempo transcurrido, su construcción sigue siendo considerada como un triunfo de la visión, ingeniería y determinación humana que se sobrepuso a las limitaciones y obstáculos impuestos por la naturaleza. Su administración eficiente y segura ha convertido al Canal en un importante componente de la red mundial de transporte. Sin embargo, el creciente volumen de comercio y el aumento en la utilización de buques grandes que físicamente no caben por las esclusas del Canal existente han elevado interrogantes sobre cuáles deberían ser las futuras inversiones del Canal, incluyendo cuestionamientos sobre la conveniencia y oportunidad de construir nuevas esclusas pospanamax.

Para responder a estos cambios en las preferencias navieras por dimensiones pospanamax en los buques, la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) se ha sumergido en un proceso de planificación estratégica que involucra un número de alternativas de inversión, modernización y expansión para el Canal. El propósito de este proceso de planificación decide desarrollar el Plan Maestro del Canal de Panamá en una perspectiva temporal que contenga y proyecte los próximos veinte años. Un elemento clave de este proceso es el análisis de la capacidad operativa actual y futura del Canal para servir y cumplir las expectativas del mercado, así como también a las recientes y futuras tendencias del movimiento comercial mundial.

El estudio de la capacidad y del nivel de servicio del Canal de Panamá a largo plazo puede definirse como un problema complejo de ingeniería, para el cual existe una amplia gama de posibles enfoques, metodologías y respuestas. Por ejemplo, análisis anteriores realizados por la ACP han examinado, entre otras cosas: (1) *el rendimiento histórico máximo* alcanzado por el Canal, (2) la *capacidad teórica máxima* que el Canal puede alcanzar en un día dado y (3) el impacto de un sólo componente de ingeniería en la capacidad diaria máxima del Canal - tal como el tipo de sistema de posicionamiento de buques en las esclusas. Estos trabajos precedentes han configurado una fundación de datos e información muy útil respecto a las tendencias históricas, los componentes y elementos individuales del Canal y del impacto en capacidad y nivel del servicio de cada uno de ellos.

El presente estudio procurará incorporar trabajos previos en esta área a un ejercicio riguroso de modelaje y simulación con el objeto de proporcionar una evaluación estratégica, de alto nivel, sobre los factores operativos críticos que afectan la capacidad y el nivel del servicio del Canal a corto, mediano y largo plazo.

1.2 Alcance y objetivos

El análisis de la capacidad y del nivel de servicio del Canal de Panamá – conocido en términos más genéricos como *planificación de capacidad* – es un componente crítico en el desarrollo del Plan Maestro del Canal de Panamá. Como tal, este análisis debe entenderse en el contexto de un plan más amplio, tanto en el contenido temático como en la cobertura y proyección temporal, de largo plazo, para el desarrollo y las mejoras del Canal.

El objetivo de este estudio fue desarrollar los conceptos, herramientas y metodologías necesarios para responder una de las preguntas más fundamentales del proceso principal de planeación: *¿Cuál es la capacidad máxima del Canal?* Para contestar esta pregunta, nuestro estudio desarrolla una metodología que evalúa una combinación particular de parámetros físicos y operativos frente una demanda particular. Como resultado, esta metodología permite estimar el potencial del Canal en términos de capacidad y de nivel de servicio a sus clientes.

Este estudio de planificación a largo plazo, basado en criterios de capacidad y servicio, define su propósito principal en términos de dirigir el proceso de diseño de los programas de mejoras al Canal hacia los parámetros óptimos para: (1) poder atender los niveles previstos de demanda y (2) proporcionar una base robusta y confiable de información que permita realizar proyecciones de rendimiento e ingresos, basada no solamente en la demanda probable, sino también en la capacidad que tiene el Canal de satisfacerla.

Tal como será discutido posteriormente, este análisis estudió los componentes principales del Canal, específicamente esclusas, cauces de navegación, estaciones de amarre y anclajes. Además se enfoca en la capacidad desde el punto de vista de las operaciones de tránsito de buques del Canal específicamente. Por otra parte, el análisis supone que el agua y el resto de los recursos requeridos para el tránsito por el Canal – tales como personal, suministros y materiales, combustible y energía eléctrica – serán proporcionados, de manera suficiente e ininterrumpida.

1.3 Factores físicos que limitan la capacidad del Canal existente

La evaluación de una propuesta para ampliar la capacidad del Canal requiere una clara comprensión de los factores que la condicionan, de cómo estos factores interactúan entre sí y del comportamiento de la demanda que ha llevado al Canal a su condición actual, funcionando cerca de su máxima capacidad. En la sección anterior se estableció que la capacidad sostenible del Canal está definida por la confluencia de todas las variables físicas y operacionales del Canal aplicadas a combinaciones variadas de tamaños y tipos de buques y bajo variadas condiciones climáticas y modos de operación. Esta sección analizará en mayor detalle los factores físicos que determinan los límites de esta capacidad. Sobre estos factores el Canal puede actuar para dotarse de capacidad adicional. A continuación se presenta un análisis detallado de los principales factores físicos y operacionales que establecen los límites de la capacidad sostenible del Canal.

1.3.1 El tamaño del buque como factor que condiciona la capacidad del Canal

Entre los factores más importantes que definen la capacidad del Canal figura la variedad de tipos y tamaños de buques que componen la mezcla que transita por el Canal, en un día cualquiera. En consecuencia, uno de los axiomas que miden la capacidad del Canal señala que mientras mayor sea el tamaño de los buques, menor será la capacidad medida en función del número de buques. Otro axioma dictamina que en la medida en que aumente el tamaño de los buques, mayor será el tonelaje promedio por tránsito. Por tanto, a medida que transitan por el Canal buques más grandes, se reducirá la capacidad del Canal en número de tránsitos pero aumentará en términos de tonelaje, hasta un límite establecido por la capacidad física de la infraestructura. Como no existe una relación simple, directa y lineal entre la capacidad medida en tránsitos y en tonelaje, es necesario conocer la mezcla de buques para poder definir la capacidad máxima del Canal.

Los registros de la ACP evidencian que cada año transitan por el Canal buques de mayor tamaño. Este incremento en el tamaño del buque promedio es el resultado de la migración de la carga a buques de mayor tamaño, principalmente en el

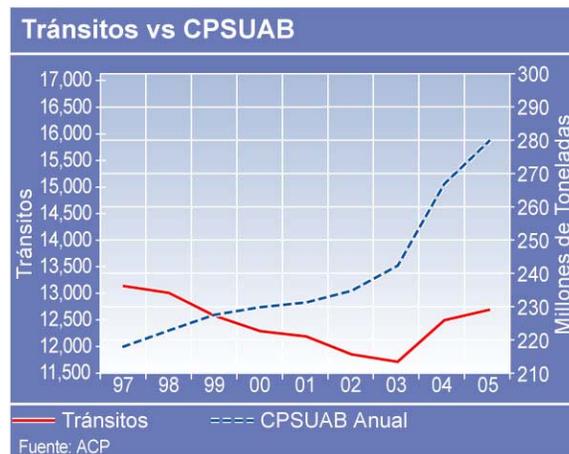


Figura 1 La tendencia histórica ha sido que el volumen de tonelaje CPSUAB aumente mientras que la cantidad de tránsitos disminuye. Esta tendencia ha sido posible porque las navieras han migrado a barcos Panamax en la ruta por Panamá. Desde el AF 2003 se observa un crecimiento en los tránsitos, señalando que los navieros ya despliegan en la ruta por el Canal los buques más grandes que pueden.

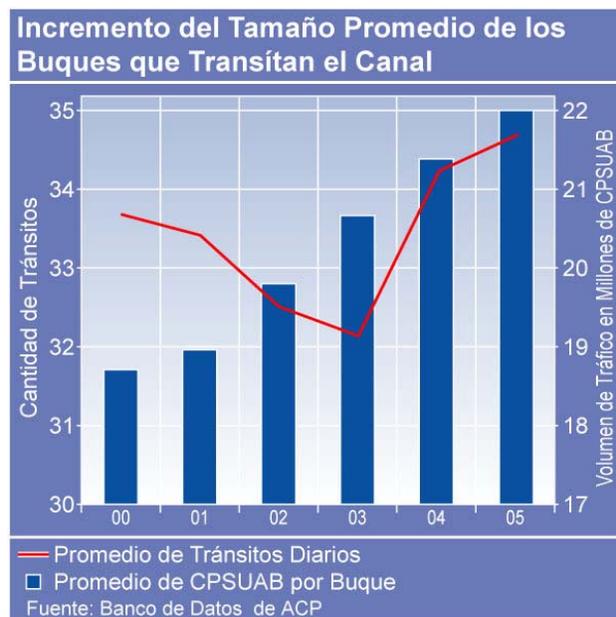


Figura 2 Del AF 2000 al AF 2005 el tamaño promedio del buque que transita el Canal ha aumentado 20%. Desde el AF 2003 se observa un cambio en la tendencia hacia el crecimiento en la cantidad de tránsitos.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

segmento de portacontenedores. Esta migración tiene por objeto poder aprovechar las ventajas en costo que genera el uso del buque más grande que puede transitar por el Canal. El resultado de esto ha sido un continuo aumento del tonelaje CPSUAB que transita por el Canal, mientras se reduce la cantidad de tránsitos (ver figura 1). En los últimos cinco años, el tonelaje CPSUAB promedio y el tamaño de los buques que transitan por el Canal han aumentado en más de 20%. En el AF 1997, el buque promedio que transitó era de 16,572 toneladas CPSUAB, mientras que en el AF 2005 había alcanzado un promedio de 22,064 toneladas CPSUAB por buque (figura 2).

En el AF 1980 sólo el 16% de los buques que transitaron por el Canal fueron Panamax¹. En el AF 1990, esta cantidad ascendió a 23%. En el AF 1997, el 29% de los tránsitos fueron Panamax y, en el AF 2005, el 45% de los buques que transitaron eran Panamax (ver figura 3).

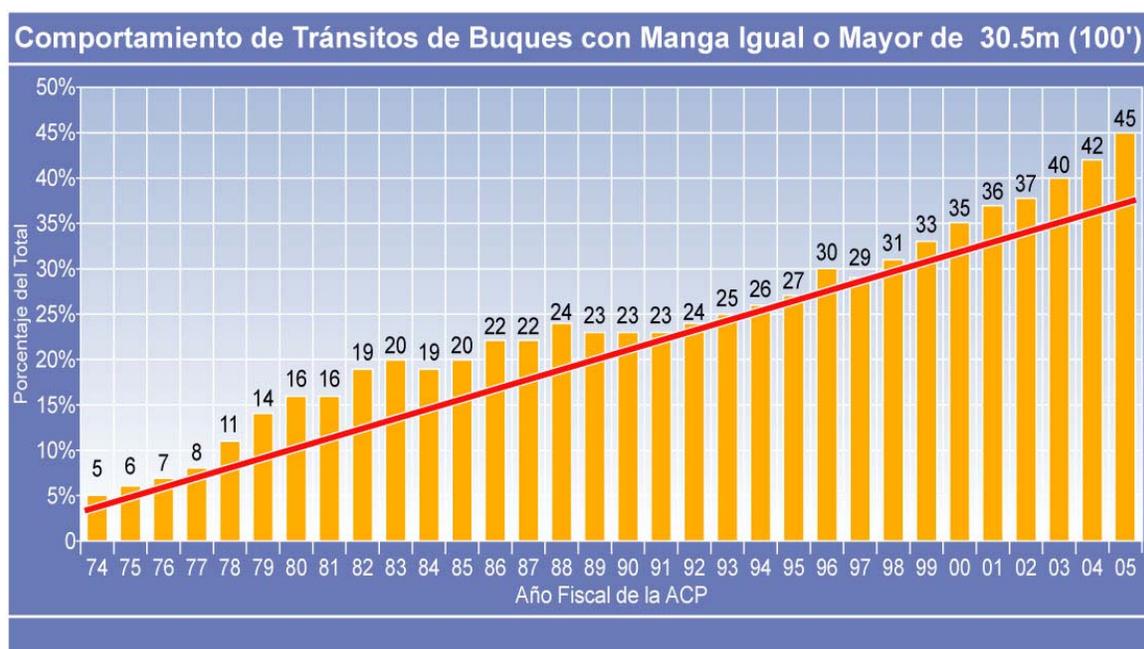


Figura 3 En el AF 2005, el 45% de los buques que transitaron el Canal eran Panamax con manga superior a 30.5 metros (100').

Al mismo tiempo que ha aumentado el tamaño de los buques que transitaron por el Canal, se ha dado una reducción en el número de buques pequeños (menores de 27.7 metros ó 91' de manga), que usualmente tienen poca o ninguna restricción y pueden transitar, tanto de noche como de día (ver figura 4). Por ejemplo, del AF 2000 al AF 2003 se redujo en 24% la cantidad de tránsitos de buques pequeños. Del total de buques que transitaron por el Canal en el AF 1995, más del 60% correspondió a buques con manga menor de 27.7 metros (91')

¹ Buques Panamax son todos aquellos buques cuya manga (ancho) es mayor de 30.5 metros (100') y menor a 32.3 metros (107'). Esta categoría agrupa a los buques más grandes que pueden transitar regularmente por las esclusas existentes. El ancho de las cámaras de las esclusas es de 33.5 metros (110').

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

denominados buques regulares; y menos del 40% correspondió a buques con manga superior a los 27.7 metros (91'), denominados supers. Para el AF 2005 los buques regulares representaron el 46% de los tránsitos, y los buques supers el 54%

Al igual que ha aumentado la manga de los buques que transitan por el Canal, también está aumentando su eslora o largo. En el AF 1995, los buques de más de 275 metros (900') de eslora representaban menos del 2% de los tránsitos, cifra que para el AF 2003 había aumentado a más del 8% de los tránsitos. En el AF 2003 transitaron más de 980 buques con eslora superior a 275 metros (900')². En el AF 2005, transitaron 1,310 buques con eslora superior a 275 metros, lo que representó el 10.3% del total de tránsitos de alto calado (ver figura 5).

El aumento del tamaño de los buques que transitan por el Canal es liderado por el segmento con el mayor potencial de crecimiento: el de portacontenedores. En la ruta por Panamá, los operadores de buques portacontenedores utilizan el buque más grande que pueda transitar por el Canal, con el fin de reducir sus costos unitarios por contenedor y maximizar las reducciones de costo que les ofrecen las economías de escala. Son precisamente estos buques los que requieren mayor cantidad de recursos y a los cuales actualmente se les asignan las máximas restricciones operacionales (ver figura 6)³.

Por consiguiente, el aumento del tamaño de los buques no sólo reduce la capacidad del Canal, sino que también exige mayor uso de recursos. Por ejemplo, los buques *regulares* con manga menor de 27.7 metros (91') usualmente transitan por las esclusas con cuatro locomotoras, mientras que los buques *supers* y Panamax, requieren entre seis y ocho locomotoras. Esto conlleva la necesidad de mayor cantidad de pasacables⁴ y operadores de locomotoras, entre otros recursos.

Actualmente el 95% de los buques Panamax tiene que transitar por el Corte Culebra de día y en una sola dirección debido a restricciones que fueron establecidas cuando el Corte Culebra medía 152 metros (500') de ancho⁵. El 100% de los buques Panamax con más de 248 metros (800') de eslora debe

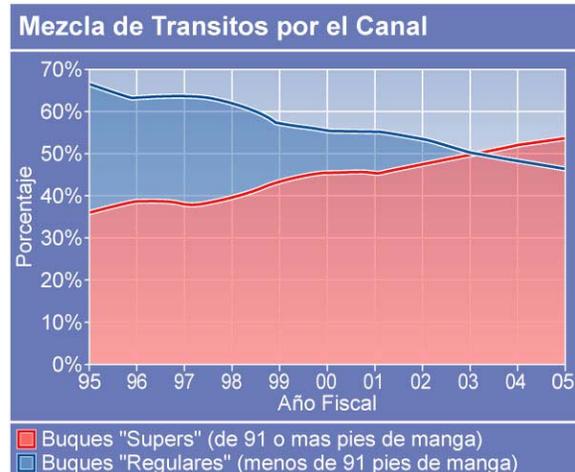


Figura 4 La gráfica ilustra la disminución de volumen CPSUAB y tránsito de buques de menor tamaño denominados regulares y el aumento sostenido de buques con manga mayor de 27.7 metros (91').

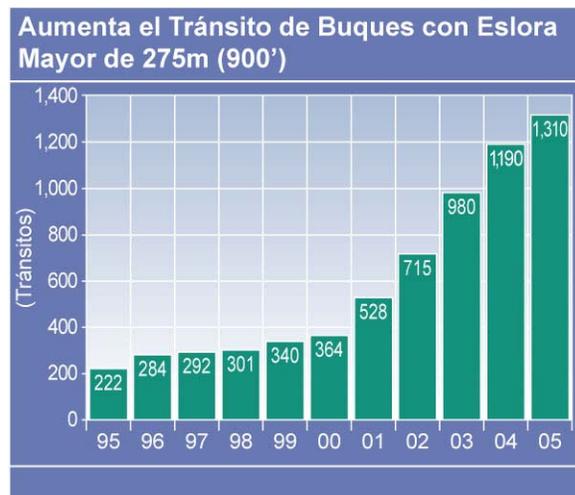


Figura 5 En el AF 2005, el 10.3% de los buques que transitaron por el Canal tenía eslora superiores a 275 metros (900').

² Las dimensiones de las cámaras de las esclusas del Canal limitan la eslora de los buques a un máximo de 294 metros (965').

³ Recursos como remolcadores, prácticos, pasacables y locomotoras, entre los más importantes.

⁴ Pasacables son los empleados del Canal que manejan las sogas, cabos y cables que emplean las locomotoras y remolcadores para asistir a los buques en tránsito.

⁵ Actualmente el Corte Culebra mide 192 metros (630 pies) de ancho.

transitar durante el día, tanto por el Corte como por las esclusas, con escasos 60 cm (2') libres entre el casco del buque y la pared lateral de las mismas (ver figura 7). Estas limitaciones del Canal definen cómo y cuándo pueden transitar los buques Panamax y cómo pueden interactuar éstos con otros buques durante su tránsito.

Debido a las restricciones operacionales, el Canal tiene menor holgura operativa de día que de noche. En otras palabras, la capacidad del Canal durante el día está llegando a su límite, debido a la creciente demanda de buques más grandes con mayores restricciones, que transitan principalmente durante este periodo. Por el contrario, la capacidad del Canal durante la noche aun mantiene cierta holgura debido a que no se ha observado un crecimiento significativo de los buques más pequeños, los cuales usualmente transitan durante este periodo. Por lo tanto, el Canal puede en un día cualquiera copar su capacidad de tránsito durante el día mientras que le sobra capacidad durante la noche. Esto tiene como consecuencia que algunos buques que sólo pueden transitar por el Corte Culebra o por las esclusas durante el día, tengan que esperar al día siguiente para transitar, aún cuando existe capacidad disponible durante la noche.

En conclusión, el aumento del tamaño de los buques ha propiciado un desequilibrio entre la utilización de la capacidad diurna y nocturna. Esto crea, para efectos de calidad de servicio, dos líneas de producción diferentes. Para el Canal, esto representa una limitante adicional a su propuesta de valor a los clientes, ya que restringe el número de servicios de línea adicionales que los usuarios podrán emplazar con buques Panamax mayores de 275 metros (900').

1.3.2 La cantidad de tránsitos y el tamaño de los buques que pueden transitar por las esclusas

Las esclusas imponen dos tipos de restricciones a la capacidad del Canal: una basada en los tiempos necesarios para efectuar un esclusaje y la otra basada en el tamaño de las cámaras de las esclusas. La primera restricción es determinada por la configuración física de las esclusas y su equipamiento, aunado a los modos y recursos de operación que determinan los tiempos mínimos en que un buque puede transitar por la esclusa. En este sentido, los tiempos de esclusaje se definen en función de los tiempos de operación de las válvulas; la apertura y cierre de las compuertas; y el movimiento del agua por gravedad a través de los conductos, alcantarillas y cámaras de las esclusas. Estos tiempos de la operación mecánica de las esclusas, conjuntamente con los tiempos operacionales para posicionar el buque en las cámaras, determinan los tiempos de operación de las esclusas.

Comparación entre Buques Panamax y Buques Regulares



Figura 6 Los buques refrigerados, menos de 27.7 metros (91') de manga, transitan por el Canal con pocas restricciones. Los buques porta contenedores con más de 30 metros (100') de manga, Panamax, (abajo) transitan por el Canal con numerosas restricciones.

Por ejemplo, una compuerta de esclusas toma aproximadamente dos minutos en abrir o cerrar, y el llenado o vaciado de una cámara de esclusa entre 8 y 10 minutos cuando se usan ambas alcantarillas (*double culvert*) y entre 12 y 15 minutos cuando se usa una sola alcantarilla (*single culvert*). El movimiento de un buque de una cámara a otra toma entre 10 y 30 minutos, dependiendo del tamaño, calado y forma del casco del buque. En las esclusas de Gatún le toma a un buque entre una y dos horas efectuar el esclusaje completo, dependiendo del tipo y tamaño de buque. En la figura 8 se comparan algunos tiempos de la operación de esclusaje para efectos de ilustración. Dada la imposibilidad de modificar la configuración física de las esclusas para aumentar la velocidad de la operación de vaciado y llenado, la capacidad máxima sostenible del Canal está limitada, en última instancia, por los ciclos físicos y mecánicos de operación de las esclusas.

El tiempo total del esclusaje también es condicionado por la interacción de otros factores, como la eficiencia de los recursos humanos asignados, las condiciones climáticas y el modo de operación de la esclusa. Estos son factores variables y algunos de ellos, tales como eficiencia de los recursos humanos asignados o el modo de operación, se pueden administrar.

En segundo lugar, las dimensiones de las cámaras de las esclusas determinan las dimensiones máximas de los buques que pueden transitar por el Canal. Las dimensiones máximas son 294 metros (965') de eslora (largo), 32.3 metros (106') de manga (ancho) y 12.04 metros (39.5') de calado en Agua Dulce Tropical (ADT, o TFW por sus siglas en inglés⁶).

1.3.3 Reglas y restricciones en los cauces de navegación

En términos generales, el Canal tiene cinco cauces de navegación con características variadas. Estos son, de sur a norte: (1) el cauce que conecta el Océano Pacífico con la esclusa de Miraflores, (2) el cauce del lago Miraflores, entre la esclusas de Miraflores y la esclusa de Pedro Miguel, (3) el cauce del Corte Culebra, entre la esclusa de Pedro Miguel y Gamboa,

Esclusaje de un Buque Panamax



Figura 7 La foto muestra un buque porta contenedor Panamax en dirección norte en la esclusa de Pedro Miguel. Se observa el escaso espacio libre (aproximadamente 0.60m) entre el casco del buque y la pared lateral de la esclusa.

Rangos de Tiempo para los Distintos Componentes de un Escusaje

Componente	Rango de Tiempo	Cantidad de Veces por Escusaje		
		Miraflores	Pedro Miguel	Gatún
Abrir o cerrar compuertas	2-3 min.	6	4	8
Llenar o vaciar cámaras	9-12 min.	2	1	3
Mover buque entre cámaras	10-30 min.	1	0	2
Entrada y salida del buque	10-30 min.	2	2	2

Figura 8 Un esclusaje está compuesto de varios componentes, cada uno de los cuales tiene su respectivo rango de tiempos. Por ejemplo, para realizar un esclusaje por Gatún es necesario abrir o cerrar compuertas seis veces (2 – 3 min.), ecualizar cámaras tres veces (9-12 min.), y reposicionar el buque cuatro veces (10-30 min.).

⁶ TFW = *Tropical Fresh Water*. El agua dulce, como la del lago Gatún (densidad 0.9954 gm/cc), es menos densa que el agua de mar (densidad 1.025 gm/cc). Por lo tanto, cuando un buque pasa de agua de mar a agua dulce, éste se hunde o aumenta su calado aproximadamente entre 0.3 y 0.45 m (1' a 1.5').

(4) el cauce del lago Gatún, entre Gamboa y las esclusas de Gatún, y (5) el cauce que conecta las esclusas de Gatún con el Océano Atlántico. Cada cauce está compuesto por bordadas que, debido a su configuración particular, requieren diferentes reglas de navegación. Por ejemplo, en la figura 9 se puede observar un buque realizando un giro en una de las curvas del Corte Culebra, específicamente entre la curva de La Pita y la bordada de Cascadas. El Corte Culebra es el cauce que presenta mayores restricciones debido a su topografía, geología, condiciones climáticas y dimensiones.

Debido a la gran variedad de clases y tamaños de buques, las restricciones operacionales son únicas para cada clase de buque y definen cómo los buques pueden interactuar entre sí en cada cauce⁷. Las restricciones operacionales tienen por objeto asegurar que los tránsitos se realicen con altos niveles de seguridad con base en las características de cada cauce y buque, manteniendo cierto grado de flexibilidad operacional. Por ende, las características físicas de los cauces establecen los parámetros de cuán rápido pueden navegar los buques a través de ellos, qué tipo de buques pueden navegar en ellos con luz del día, qué distancias mínimas deben existir entre buques y qué combinaciones de buques y tipos de cargas pueden encontrarse⁸, en cada cauce.

Las características físicas de los cauces que afectan la capacidad del Canal incluyen: el ancho de las rectas y curvas, la profundidad del cauce, la configuración y proximidad de las riberas y bancos, y también la cantidad, proximidad y desviación de las curvas. El Canal ha realizado continuamente inversiones orientadas a mejorar los cauces con la finalidad de reducir las restricciones que estos imponen al sistema y poder así incrementar la flexibilidad operacional y capacidad del Canal. El cauce ideal es aquel que no impone restricciones operacionales significativas a los buques más grandes.

El límite de calado del Canal está dictado actualmente por la configuración física de la esclusa de Pedro Miguel, en particular la altura del quicio sobre el cual descansan las compuertas sur y por el nivel máximo de operación del lago Miraflores. La altura de este quicio permite al Canal brindar un calado máximo de 12.04 metros (39.5') en agua dulce tropical (ADT), con un nivel mínimo de operación del lago Gatún de 24.84 metros (81.5') o más.

Bordada de la Pita en Corte Culebra



Figura 9 Vista del cauce de navegación del Canal en el Corte Culebra. Se observa un buque girando en la curva de La Pita.

⁷ El Manual de Operaciones Marítimas del Canal describe las reglas de navegación que aplican a cada clase de buque, según sus dimensiones y carga transportada.

⁸ Buques que se encuentran en un cauce se refiere a buques que se cruzan transitando en direcciones opuestas.

1.4 Tendencias que evidencian que el Canal funciona cerca de su máxima capacidad

Con el desarrollo y crecimiento de las cadenas de suministro fundamentadas en la contenerización de la carga y el subsecuente crecimiento de los buques portacontenedores diseñados para minimizar costos operacionales, el volumen de tonelaje CPSUAB por el Canal subió más de 25% durante la última década. Simultáneamente, el número de tránsitos se redujo de 13,629 en AF 1995 a 11,725 tránsitos en el AF 2003 y 12,648 tránsitos en el AF 2005. Desde el 2004 la cantidad de tránsitos por el Canal está aumentando nuevamente a la vez que continúa subiendo el volumen de tonelaje CPSUAB. Este cambio en la composición y cantidad del tráfico apunta hacia la posibilidad de que el Canal, a corto plazo, carezca de la capacidad para servir competitivamente la configuración de la nueva demanda. En esta sección se analizarán las tendencias de la demanda que pronostican la pronta saturación de la capacidad del Canal, incluyendo el crecimiento de las toneladas CPSUAB, el tamaño de los buques y la cantidad de tránsitos.

1.4.1 Nivel de servicio del Canal como condicionante de la capacidad

El nivel de servicio que ofrece el Canal determina el valor que la ruta tiene para sus clientes. Por consiguiente, para definir el estándar de calidad de servicio óptimo del Canal es clave medir y analizar, en conjunto, las diversas dimensiones del servicio para establecer el valor que, a través del tiempo, la ruta del Canal brinda a sus usuarios. Actualmente el Canal utiliza dos indicadores de calidad del nivel de servicio: (1) el tiempo de espera promedio para transitar por el Canal y (2) el tiempo de tránsito promedio. A la combinación de ambos, el tiempo de espera y el tiempo de tránsito, se le denomina tiempo en aguas del Canal (TAC). Al considerarse las tendencias promedio del tiempo en aguas del Canal y también su dispersión o variabilidad, se convierte en un indicador de la confiabilidad del servicio.

En el AF 2005 el tiempo promedio en aguas del Canal fue de 16.5 horas para buques que transitaron con reservación y de 34.5 horas para buques que transitaron sin reservación. El tiempo en aguas del Canal varía significativamente entre distintos segmentos de mercado debido a la naturaleza del negocio al que se dedica cada segmento y a que los mismos hacen uso de distintos tipos de buques – con restricciones diferentes de tránsito – y con mayor o menor sensibilidad a los tiempos de espera. Por ejemplo, los segmentos de portacontenedores, portavehículos y de pasajeros operan servicios con itinerarios preestablecidos, lo cual requiere un tránsito por el Canal con alta confiabilidad. Consecuentemente, estos segmentos usan intensamente el sistema de reservación. En el AF 2005 el tiempo promedio en aguas del Canal para los segmentos de portacontenedores y de pasajeros fue de 18.0 y 11.8 horas, respectivamente. Por el contrario, los buques en los segmentos de graneles secos y líquidos tienen generalmente una menor sensibilidad al tiempo de servicio y tienden a utilizar menos el sistema de reservación. Se puede presumir que los usuarios en estos segmentos son menos sensibles al tiempo en aguas del Canal. Sin embargo, es cada vez más común que estos buques soliciten y no puedan conseguir cupos de reservación, ya que los mismos son acaparados por los segmentos de portacontenedores, portavehículos y pasajeros. En el AF 2005, el tiempo promedio en aguas del Canal para los

segmentos de graneles secos y graneles líquidos fue de 30.5 y 32.4 horas, respectivamente.

A medida que aumenta el tamaño promedio de los buques que transitan, aumenta también el número de buques que desean transitar con un cupo reservado. Por esto, el Canal ha estado implementando esquemas para optimizar su sistema operacional y ha realizado mejoras a su infraestructura para poder brindar el nivel de servicio esperado por los usuarios. Sin embargo, con el continuo crecimiento de la demanda, se prevé que, de no lograrse los aumentos de capacidad requeridos, el nivel de servicio del Canal se desmejorará rápidamente, lo cual causará un deterioro significativo e irreversible en el valor de la ruta para los clientes.

1.4.2 Se reduce la holgura para realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación

El Canal, que tiene más de 90 años de estar funcionando en forma continua, requiere trabajos periódicos de mantenimiento, reemplazo y rehabilitación que extiendan la vida útil de sus activos. Los trabajos de mantenimiento más intensos usualmente involucran el cierre temporal de uno de los carriles o vías de alguna de las esclusas (ver figura 10). Durante estos cierres de vía, el Canal puede llegar a funcionar a menos del 70% de su capacidad operacional sostenible. El Canal programa cerca de seis cierres de vía por mantenimiento al año, los cuales tienen una duración de aproximadamente 11 días cada uno.

En la actualidad, cuando una vía es cerrada por mantenimiento en alguna de las esclusas, la capacidad remanente del Canal es inferior a la cantidad de buques que arriban diariamente, causando la formación de largas colas de buques en espera para transitar. Los cierres de vía por mantenimiento se programan con anticipación, para efectuarse durante los meses que históricamente tienen menos tráfico. No obstante, en los cinco últimos años, el nivel de servicio del Canal a sus usuarios, durante e inmediatamente después del periodo de mantenimiento, se ha deteriorado cada vez más con cada nuevo cierre de vía. Esto ocurre a pesar de que el Canal informa a los usuarios las fechas de cierres de vía, con un año de anticipación, para que éstos ajusten su programación adecuadamente⁹. Sin embargo, los clientes que operan servicios en itinerarios preestablecidos tienen una capacidad limitada para modificarlos, por lo que el Canal ya no posee la holgura suficiente para cerrar una vía sin deteriorar significativamente la calidad del servicio.



Figura 10 Vista de la esclusa de Gatún donde se puede observar un cierre por mantenimiento de la vía Este. La vía Oeste continúa operando para el tránsito de buques mientras se realizan estos trabajos.

⁹ Estas fechas son programadas pero el Canal decide si hace o pospone el cierre de vía basándose en las proyecciones de tráfico que se anticipan para los días de cierre.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Durante los cierres de vía en el AF 2003, el tiempo de servicio promedio para los buques sin reservación ascendió a más de 60 horas, llegando a 100 horas en los casos más extremos (ver figura 11). El tiempo en aguas del Canal para los buques sin reservación aumentó hasta más de tres veces de lo normal durante los cierres de vía. A medida que aumenta la demanda esta situación empeorará. Por ejemplo, un cierre de vía por mantenimiento de nueve días realizado en junio del 2004 ocasionó una cola de casi 120 buques. Normalizar la operación demoró más de 15 días. Se estima que, por cada día de cierre programado de una vía, se suman de 10 a 15 buques a la cola de espera. En el caso de que el cierre de vía sea por una urgencia y no haya sido programado y anunciado con amplia anticipación, el crecimiento de la cola de buques es significativamente mayor.

El Canal ha aliviado temporalmente esta situación acortando los tiempos programados para cierres de vía. Aun así, existen límites, tanto físicos como operacionales, que condicionan qué tanto pueden acortarse los periodos de mantenimiento sin afectar la eficacia de los trabajos por realizarse. Se anticipa que una vez que el programa de reemplazo de rieles de las locomotoras se complete en el AF 2007, el Canal implementará un esquema de cierres de vía de siete días de duración tres veces al año, acompañados de otros cierres de vía menores, para un total de 35 días de cierre de vía por año.

En la medida en que la demanda de tránsitos y los tamaños de los buques sigan aumentando, el impacto adverso en la calidad de servicio ocasionado por los cierres de vías será mucho mayor. Se anticipa que llegará el punto en que la eliminación de las colas de buques en espera para transitar por el Canal pudiera tomar varias semanas o meses, o que se generen colas irre recuperables. A muy corto plazo, el comportamiento pronosticado de la demanda indica que el Canal ya no podrá efectuar cierres de vía sin afectar significativamente la calidad del servicio y la competitividad de la ruta. Esto obligará a los usuarios a considerar otras alternativas, especialmente a aquellos usuarios que operan servicios en itinerario y que por la naturaleza de su negocio no pueden cambiar su programación, aunque se les comuniquen los cierres de vía con amplia anticipación.

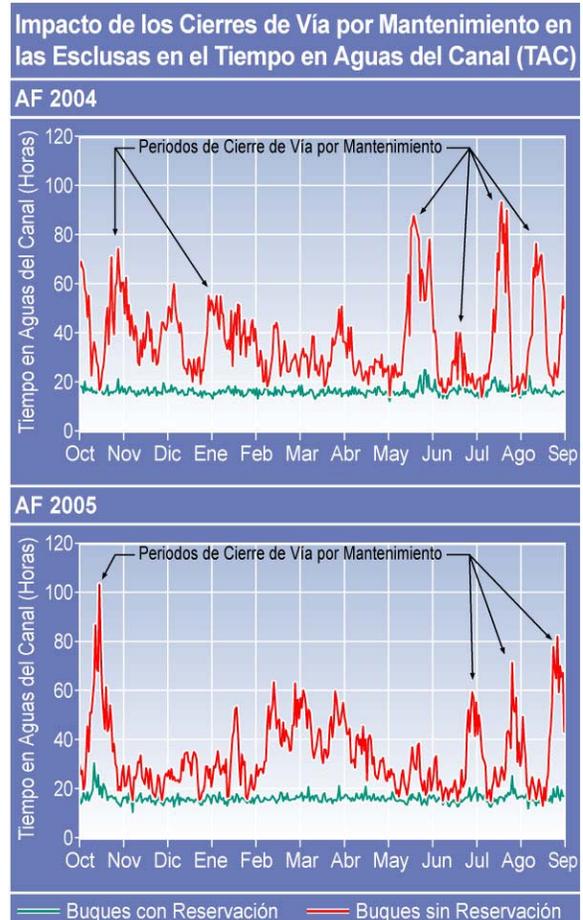


Figura 11 Durante los cinco cierres de vía por mantenimiento que se registraron en los años fiscales 2004 y 2005 el tiempo en aguas del Canal (TAC) promedio para buques sin reservación ascendió a más de 60 horas y durante algunos de ellos ascendió a más de 80 horas.

1.4.3 Se satura la capacidad para tránsitos diurnos

La capacidad diurna del Canal es utilizada principalmente por los buques de mayor tamaño, a los que se les aplican las mayores restricciones operacionales. Estas restricciones definen, entre otras cosas, si el buque puede transitar por el corte culebra o por las esclusas durante la noche. Los buques con mayores restricciones son aquellos de mayor tamaño, especialmente los que presentan riesgos adicionales debido a características especiales (por ejemplo, los que transportan carga peligrosa). A estos buques no se les permite transitar por las esclusas ni por el Corte Culebra de noche, y se identifican con el código de restricción CCDL¹⁰ (ver figura 12).

Dentro de la categoría de restricción CCDL están todos los buques con eslora mayor de 244 metros (800') y manga mayor de 29 metros (95'). Esta restricción es la que actualmente se le aplica a la mayoría de buques portacontenedores, pasajeros y portavehículos y es la más restrictiva. Estos son los buques que operan mayormente en itinerario y para los cuales la confiabilidad del servicio es vital. La figura 13 muestra cómo la capacidad del Canal para buques con esta restricción está muy cerca de saturación. Actualmente sólo pueden transitar por el Canal sosteniblemente entre 9 y 10 de buques con esta restricción por día.

A la mayoría de los buques con eslora menor de 244 metros (800') y manga mayor de 29 metros (95') se les permite transitar por las esclusas las 24 horas del día, pero tienen que transitar por el Corte Culebra de día, y sin cruzarse con otros buques en dirección opuesta¹¹. Estos buques se identifican con el código de restricción DLCC¹². De la figura 14 se desprende que todavía existe alguna holgura de capacidad para el tránsito de buques con esta restricción, ya que su cantidad no ha aumentado en los últimos años. Esta holgura de capacidad ocurre principalmente en las esclusas y Corte Culebra durante las horas nocturnas. No se anticipa que crezcan los tránsitos de buques que por sus tamaños y características reciben hoy en día la designación de restricción DLCC. La mayoría de los buques

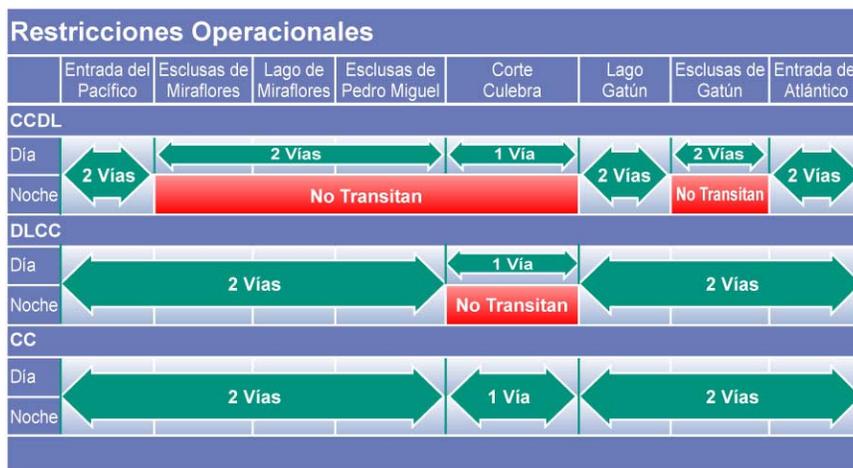


Figura 12 A los buques con restricción CCDL no se les permite transitar ni las esclusas, ni el Corte de noche. A los buques con restricción DLCC no se les permite transitar por el corte de noche. Los buques con restricción CC pueden transitar las 24 horas (Una vía en el Corte para todos).

¹⁰ CCDL por las siglas en inglés (*Clear Cut & Daylight in the Locks*) que indican la restricción del buque de no navegar por el Corte Culebra ni por las esclusas de noche, y de no encontrarse con otros buques en dirección opuesta en el Corte Culebra.

¹¹ Estos buques tienen que ser inspeccionados y aprobados antes de su primer tránsito por el Canal para poder transitar las esclusas de noche. Si no son aprobados, entonces se convierten en CCDL.

¹² DLCC por las siglas en inglés (*Daylight in the Cut & Clear Cut*) que indica la restricción del buque de no navegar el Corte Culebra de noche, y de no encontrarse con otros buques en dirección opuesta en el Corte Culebra.

a los que se les aplica esta restricción están en los segmentos que transportan graneles secos y líquidos.

Dado que existe alguna holgura de capacidad en las esclusas y el Corte Culebra durante las horas de la noche, por el Canal podrán transitar un promedio de aproximadamente dos buques más por día si los buques que hoy tienen la más alta restricción (CCDL) pudieran transitar como si tuviesen la restricción media (DLCC). En otras palabras, si los buques que hoy tienen que transitar las esclusas de día pudieran transitarlas las esclusas las 24 horas del día, esto permitirá al Canal atender, en el corto plazo, la creciente demanda de buques portacontenedores, pasajeros y portavehículos¹³. Además, esto permitirá al Canal mantener su alto nivel de servicio al poder aumentar el número de reservaciones para buques mayores de 27.7 metros (91') de los actuales 13 cupos por día a 16 cupos por día. Para lograr esto se requerirá mejorar el sistema de iluminación de las esclusas para posibilitar el esclusaje nocturno seguro de los buques más grandes. Sin embargo, este cambio sólo resulta ser una solución de muy corta duración para aprovechar el crecimiento de la demanda, principalmente de buques grandes.

1.4.4 Se intensifica el uso del sistema de reservaciones

Todo buque que desee transitar por el Canal puede acogerse a uno de dos sistemas de espera: (1) tránsito por orden de arribo, en el que se determina que el primero en llegar será el primero en transitar; o (2) tránsito reservado, el cual garantiza el tránsito en un día previamente acordado¹⁴. El sistema de reservaciones permite garantizar niveles de servicio apropiados a los segmentos de mercado que lo requieren, según sus prioridades. Este sistema diferencia el servicio del Canal entre usuarios que requieren un tránsito expedito y garantizado y usuarios que eligen transitar sin reservación, por orden de llegada.

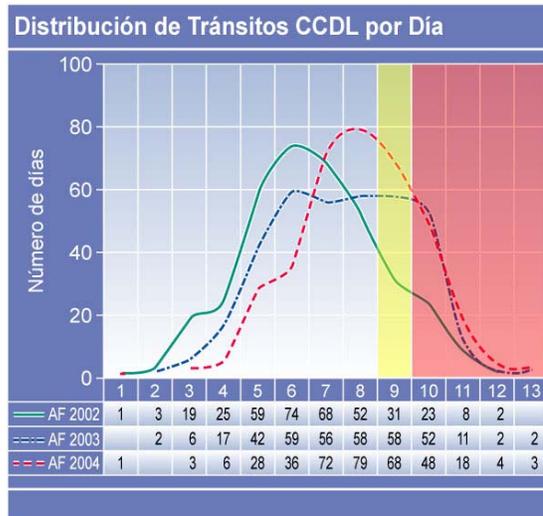


Figura 13 Durante los últimos tres años se ha visto un incremento gradual en el número de transitos con restricción CCDL. El Canal actual sólo puede transitar sosteniblemente entre 9 y 10 CCDL por día.

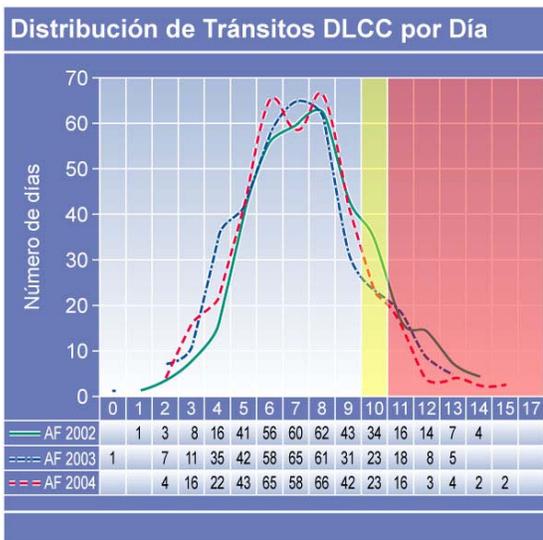


Figura 14 Durante los últimos tres años no ha habido incremento en el número de transitos con restricción DLCC. Este comportamiento de la demanda permitiría a los buques CCDL utilizar la holgura creada por los DLCC

¹³ Los buques portacontenedores, portavehículos y cruceros, por sus dimensiones y características usualmente reciben la restricción más alta CCDL que los obliga a transitar las esclusas y el Corte Culebra de día, y de no cruzarse con otros buques en dirección opuesta en el Corte Culebra.

¹⁴ Las actualizaciones más recientes de las reglas de reservación están en el *Notice to Shipping N-7-2004, Panama Canal Transit Reservation System*, y se puede ver en <http://www.pancanal.com/eng/maritime/notices/n07-04.pdf>

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Los buques con reservación tienen garantizado su tránsito en un día específico y con un tiempo de tránsito de 18 horas o menos, desde su arribo a la primera esclusa hasta la salida de la última esclusa. Los buques sin reservación, por el contrario, transitan en el orden en que llegan a aguas del Canal de conformidad con las reglas de prioridad establecidas por la ACP. Este orden de llegada es ajustado según el tipo de restricciones operacionales que se aplican al buque y según las necesidades de programación del momento. Los buques con pocas restricciones operacionales permiten mayor flexibilidad de programación al Canal y usualmente transitan sin tener que esperar mucho. Consecuentemente, si dos o más buques sin reservación tienen el mismo grado de restricción, los mismos transitarán según su orden de llegada, pero es probable que buques con menores restricciones transiten antes, aunque hayan arribado después.

Los principales usuarios del sistema de reservación son los segmentos de mercado que operan servicios con itinerarios fijos (servicios de línea) o que transportan carga perecedera o de alto valor. Generalmente estos son los segmentos de portacontenedores, portavehículos, pasajeros y buques que transportan carga refrigerada no contenerizada. La figura 15 destaca el uso del sistema de reservaciones por segmento durante los últimos cinco años.

Con excepción de los buques que transportan carga refrigerada, la mayoría de los buques que usan el sistema de reservación tienden a ser los de mayores dimensiones. Por lo tanto, estos buques están sujetos a la aplicación de mayores restricciones operacionales durante el tránsito. Cuando estos buques no consiguen un cupo de reservación, su fecha de tránsito depende de la disponibilidad que el Canal tenga para programarlos según el orden de llegada. Esta situación no sólo prolonga su espera, sino que, además, crea un alto grado de incertidumbre en cuanto al tiempo necesario para transitar. En el AF 2005, los buques con alto grado de restricciones operacionales que quisieron reservar y no obtuvieron un cupo de reservación, tuvieron un tiempo promedio de servicio de poco más de 45 horas, mientras que los que obtuvieron un cupo de reservación transitaron en un promedio de 16.5 horas (ver figura 16).

Una porción de los buques que no solicita reservación son buques de menor tamaño, que no operan en itinerarios regulares y que tienen un menor grado de restricciones operacionales para transitar el Canal.

Uso del Sistema de Reservaciones por Segmento						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Porta contenedores	83%	88%	89%	88%	90%	93%
Graneles Secos	21%	19%	21%	21%	28%	37%
Carga General	17%	17%	24%	20%	25%	28%
Otros	12%	12%	13%	12%	16%	18%
Pasajeros	93%	97%	95%	98%	97%	97%
Carga Refrigerada	50%	50%	55%	55%	59%	57%
Tanqueros	32%	34%	32%	31%	28%	30%
Porta Vehículos	66%	58%	64%	66%	77%	78%

Figura 15 Todos los segmentos de mercado utilizan el sistema de reservación, pero se observa un mayor uso entre los segmentos de porta contenedores, pasajeros, y portavehículos. Este uso ha aumentado significativamente durante los últimos cinco años.



Figura 16 El tiempo de servicio de los buques con reservación es de aproximadamente 16 horas. Sin embargo, el tiempo de servicio de los buques que no logran obtener una reservación puede ser mucho mayor. Por ejemplo, en el AF 2002 el tiempo de servicio promedio de estos buques fue de 57 horas.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Para estos buques de menor tamaño, denominados buques *Regulares*, el Canal todavía tiene suficiente capacidad disponible, por lo que transitan sin reservación, usualmente de noche o en periodos de holgura operacional para el Canal, en aproximadamente 30 horas promedio.

La demanda de cupos de reservación va en aumento como resultado del incremento general en el número de tránsitos y en particular en los tránsitos de buques que operan en itinerarios fijos, así como por la creciente variabilidad en el nivel de servicio que reciben los buques que no transitan con reservación. En el AF 1995 solamente el 30% de los buques que transitaron el Canal hicieron uso del sistema de reservación. En el AF 2000 esta cifra aumentó a más del 41% y en el AF 2005 el 73% de los buques que transitaron solicitaron reservaciones (ver figura 17).

Actualmente, el Canal tiene capacidad para ofrecer 21 cupos de reservación cada día, 12 para buques mayores de 27.7 metros (91') de manga y 9 para buques de menos de 27.7 metros (91') de manga. Estos 21 cupos representan más del 50% de la capacidad promedio de tránsitos por el Canal. Durante el AF 2002 se utilizaron más del 70% de los cupos disponibles, mientras que en el AF 2003 su uso subió a 74%. Para el AF 2005 el sistema de reservación alcanzó el 91% de utilización. Debido a que la demanda de cupos de reservación es diferente para cada día de la semana, hay días específicos de la semana en los que el Canal tiene reservada prácticamente toda su capacidad diurna (ver figura 18). Esto se debe al creciente número de tránsitos de buques Panamax, en particular de los segmentos portacontenedores, pasajeros y portavehículos, los cuales usualmente deben transitar partes del Canal con luz del día. La creciente demanda de reservaciones indica que el Canal está funcionando ya muy cerca de su máxima capacidad diurna, aún cuando todavía tiene holgura en su capacidad nocturna.

En los últimos cinco años se ha observado un aumento significativo en la cantidad de usuarios del Canal que no logran obtener un cupo de reservación cuando lo necesitan, a pesar de que la utilización del sistema de reservación no ha llegado al 100%. Esto se debe a que la demanda de cupos de reservación no es homogénea, sino que se ha concentrado en algunos días de la semana. Por lo tanto, hay días en que quedan cupos de reservación sin usar, y otros días en que los cupos son insuficientes para la demanda. En el AF 2005, el 18% de los buques que solicitaron un cupo de reservación no lo obtuvieron y en muchos casos estos buques tuvieron que esperar varios días para lograr transitar. En contraste, hace apenas cuatro años, el porcentaje de solicitudes de reservas rechazadas para todos los segmentos de mercado era solamente del 1% (ver



Figura 17 En el AF 2005 18% de los usuarios que lo solicitaron, no consiguieron cupo de reservación comparado con 1% en el AF 2000. En el AF 2005 73% de los buques solicitaron cupo de reservación.

Promedio de Utilización de Cupos de Reservación para Buques con Restricciones CCDL* y DLCC**

Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
84.5%	85.6%	83.5%	83.7%	81.4%	79.8%	81.1%

*Código asignado a un buque para restringir su tránsito por las esclusas a horas del "día" y por el Corte Culebra a "vía libre" y a horas del "día".

**Código asignado a un buque para restringir su tránsito por el Corte Culebra a "vía libre" y a horas del "día". Puede transitar las esclusas de noche.

Figura 18 La tabla ilustra el alto porcentaje de utilización del sistema de reservaciones por día de la semana en AF2004 de buques *Supers* y Panamax, principalmente.

figura 17). Este es un indicador importante de la falta de capacidad para poder brindar un servicio confiable y expedito de manera sostenible a los usuarios.

La creciente demanda de cupos de reservación es un síntoma de que el Canal está cada vez más cerca de su máxima capacidad. El Canal actualmente analiza la posibilidad de aumentar la cantidad de cupos de reservación por día, pero como los cupos de reservación son una garantía de servicio expedito, el Canal no puede aumentar los cupos de reservación más allá de su capacidad operacional sostenible. En otras palabras, si el Canal aumentara sus cupos de reservación, deberá también aumentar su capacidad operacional sostenible.

2 CONCEPTOS IMPORTANTES SOBRE LA CAPACIDAD DEL CANAL

2.1 Demanda

La cantidad, tipo y tamaño de buques que transitan por el Canal tienen un importante impacto en la capacidad y nivel de servicio del mismo. En consecuencia, cualquier análisis de capacidad necesitará considerar un número importante de aspectos relacionados con la demanda de tránsitos de buques a través del sistema, como los siguientes:

2.1.1 Mezcla de buques

El factor externo más crítico que impacta la capacidad del Canal es la diversidad en el tamaño y el tipo de buques que transitan el Canal, también conocida como mezcla de buques. Diversos tipos de buques se correlacionan con los diversos segmentos de mercado y, como tales, tienen distintos patrones de llegada. Al considerar los múltiples patrones de la llegada se produce un "espectro" de posibles combinaciones de tipos y tamaños de buques que pueden llegar al Canal (ver figura 19). Puesto que estos factores externos no son sujetos al control del Canal, al menos totalmente, este análisis realizará un diagnóstico sobre el impacto de varias mezclas de buques en la capacidad y el nivel del servicio del Canal frente al mercado actual. Posteriormente, el análisis realizará proyecciones sobre el impacto de esa capacidad y nivel de servicio actual en la capacidad sostenible y a largo plazo del Canal.

2.1.2 Cantidad de la demanda y estacionalidad

La *cantidad de la demanda* representa el número de buques que llegan a cualquier área de anclaje del Pacífico y Atlántico en un periodo de tiempo, para transitar por el Canal de Panamá. La cantidad de la demanda se puede expresar en términos de llegadas de buques por hora, día, mes o año. Puesto que las llegadas de buques varían considerablemente de un día a otro, este análisis favorecerá la demanda expresada en términos de buques por mes o por año. La misma demanda puede llegar al Canal en diversos *patrones de llegada* y éstos patrones pueden también tener un impacto significativo en la capacidad y el nivel del servicio. Una demanda distribuida de manera uniforme sería administrada, normalmente, con mayor facilidad que una demanda que llegara en grupos altamente concentrados. La experiencia canalera, conjuntamente con sus diagnósticos y proyecciones, ha demostrado que ignorar la variabilidad diaria de las llegadas de

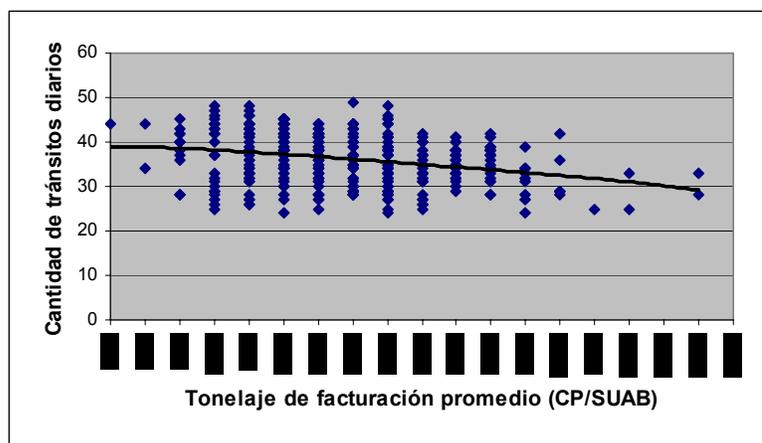


Figura 19 Relación entre el tamaño del buque (promedio de toneladas de facturación CPSUAB) y la capacidad diaria (cantidad de tránsitos diarios).

buques y asumir que la demanda es constante puede conducir a resultados erróneos con respecto a la capacidad y al nivel del servicio de un sistema. En efecto, la variabilidad en la demanda debe ser evaluada en dos niveles de frecuencia: (1) bajo una frecuencia diaria, para estimar con precisión el impacto de un patrón aleatorio, espontáneo e imprevisto de las llegadas de buques y (2) a un nivel mensual, que permite considerar las variaciones estacionales que pueden afectar la capacidad sostenible del sistema, a largo plazo.

2.2 Capacidad a largo plazo y nivel de servicio del Canal

La capacidad y el nivel del servicio del Canal de Panamá son temas complejos debido, entre otras cosas, a la diversidad de buques y la variabilidad de sus arribos en el Canal. Por otra parte, también añade complejidad a este análisis la pluralidad metodológica disponible. De hecho, la capacidad se puede medir de muchas maneras diferentes: por el número de tránsitos, el tonelaje de carga y la facturación, por ejemplo, son las medidas mejor conocidas. Otras medidas de capacidad incluyen la capacidad del sistema de recuperarse de frente a interrupciones programadas de mantenimiento o interrupciones inesperadas y la velocidad en que el sistema puede procesar un pico grande en la demanda. Al analizar el funcionamiento de una configuración particular del Canal es importante evitar fijarse en una sola variable, como única medida de capacidad del Canal. Por el contrario, cada configuración se debe evaluar contra una gama de criterios de funcionamiento de la capacidad y todos estos criterios, a su vez, deben ser considerados según sus fortalezas y debilidades relativas.

Por otra parte, la capacidad conduce directamente al análisis financiero del Plan Maestro, puesto que los *pronósticos de ingresos* se deben apoyar en una base analítica robusta de los parámetros físicos y operativos del Canal y de la habilidad canalera para cumplir con la demanda prevista o potencial, a largo plazo. Desde esta perspectiva, la medida definitiva de capacidad a largo plazo del Canal pudiera definirse como la capacidad de generar *ingresos* según diferentes escenarios físicos y operacionales posibles y con distintas mezclas de buques.

También el nivel del servicio se puede medir de diversas maneras, que incluyen las medidas relacionadas con: (1) un período de tiempo – tales como promedio de tiempo en tránsito y promedio de tiempo en aguas del Canal –, (2) la confiabilidad del servicio, entendida como la conformidad con un horario predeterminado.

Como se ha visto arriba, realizar un análisis de operación estratégico a largo plazo del Canal resulta una tarea complicada, por el hecho de que la capacidad y

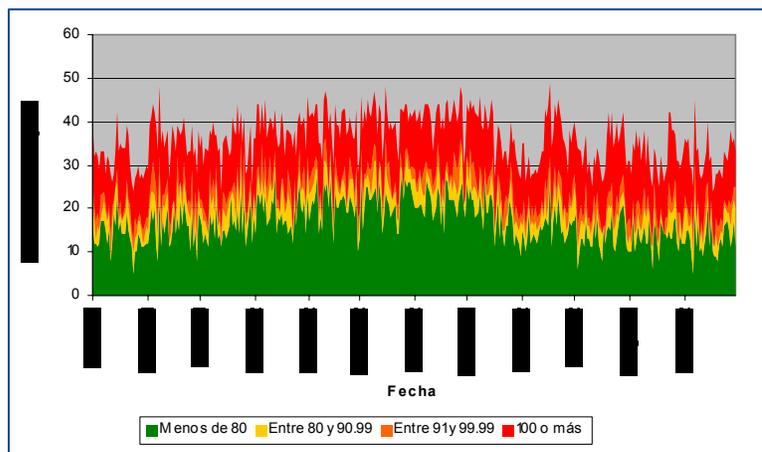


Figura 20 Variación diaria en mezcla de buques y cantidad total de tránsitos.

el nivel del servicio, sin importar cómo se miden, son fenómenos diarios que pueden variar perceptiblemente, dependiendo de los tipos de buques que transitan el Canal. Como resultado del poco control del Canal sobre la mezcla diaria de los buques que desean transitar, los cuales determinan su *demanda* diaria, la capacidad y el nivel del servicio del sistema varía considerablemente día a día, según lo ilustrado en las figuras 20 y 21.

El proceso de agregar las capacidades y niveles del servicio diarios bajo diversas mezclas de demanda para obtener cifras mensuales y anuales que se puedan utilizar en la planificación y pronóstico de ingresos no es directo ni fácil, sobre todo debido a los grandes requisitos de cómputo necesarios para evaluar largos períodos de tiempo bajo condiciones variables de demanda.

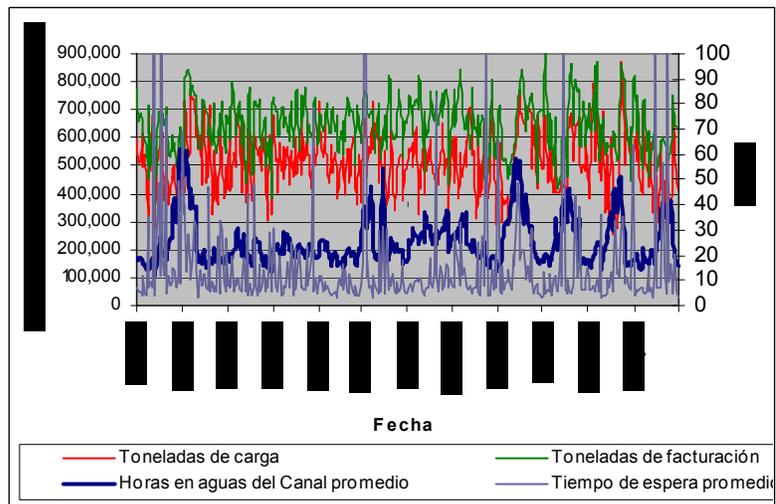


Figura 21 Variación diaria del tonelaje de carga, tonelaje de facturación, tiempo en aguas del Canal y tiempos de espera para el AF 2002.

Pero antes de examinar la capacidad y el nivel de servicio del Canal de Panamá, resulta imperativo definir algunos conceptos relevantes como son: capacidad, demanda, rendimiento y nivel del servicio.

2.2.1 Capacidad y nivel de servicio

La capacidad del Canal se define aquí como el número máximo de buques que pueden transitar sosteniblemente en un período de tiempo prolongado, con una mezcla particular de la demanda, manteniendo un nivel específico de servicio. Semejante al caso de la demanda, la medida de capacidad puede definirse como cantidad de buques por hora, día, semana, mes o año. Puesto que la capacidad es altamente dependiente de la demanda (particularmente, por tipo y tamaño de buque) y la demanda varía considerablemente de un día para otro, este análisis favorecerá el uso de medidas de capacidad que representan cantidades sostenibles de tránsitos de buques por año, con una demanda determinada y en particular. La figura 1 muestra la relación inversa entre el tamaño promedio de buques (tonelaje promedio de facturación) y el número de tránsitos.

Una vez que se haya determinado la capacidad sostenible de un escenario y mezcla de buques del Canal, en particular, las características de los buques en tránsito dictarán la manera en que el número de tránsitos se traduce a otras medidas más útiles de capacidad. Puesto que el Canal cobra a sus clientes por las toneladas CPSUAB de los buques, y no por tránsito, el tonelaje neto de facturación es una medida más relevante de capacidad.

2.3 Componentes del Canal

Desde un punto de vista de capacidad, el Canal de Panamá es un sistema de tránsito de buques compuesto de cauces de navegación, esclusas, fondeaderos y

estaciones de amarre. El propósito de este sistema es transitar buques entre los Océanos Atlántico y Pacífico, a través del istmo de Panamá. Los buques que transitan por el Canal también requieren recursos adicionales para realizar un tránsito y son asistidos durante su tránsito por remolcadores y locomotoras, al igual que por personal de las esclusas y pilotos del Canal, entre otros.

El Canal de Panamá no es un sistema estático. De hecho el Canal ha estado bajo constante evolución desde su construcción hace 90 años, con mejoras continuas a su infraestructura así como cambios a sus reglas y restricciones de operación. Por esta razón, cualquier análisis operativo de la capacidad requiere una definición clara del sistema que es analizado, incluyendo su configuración física así como sus reglas y restricciones de operación.

Afortunadamente, un análisis estratégico de las operaciones *no* requiere una definición detallada de todas las variables físicas y operacionales del sistema para obtener un grado razonable de precisión. Así, el enfocarse en las características más relevantes de los tres componentes principales del Canal que son: cauces de navegación, esclusas y colas de espera puede proporcionar un conocimiento profundo sobre la capacidad del Canal de Panamá. Estos tres tipos de componentes interactúan con la mezcla de buques que se proponen transitar por el Canal y determinan los tiempos y las restricciones que se aplican durante cada tránsito.

2.3.1 Cauces de navegación

Los canales de la navegación son significativos principalmente debido a las restricciones que imponen a los buques y el tiempo que éstos requieren para navegarlos. Los tiempos de navegación en canales son diferentes para diferentes buques, según su tipo y tamaño. Los canales de la navegación imponen típicamente las siguientes restricciones, a diferentes tipos de buques:

Calado máximo. Esta restricción determina si un buque puede transitar por el canal de navegación, estableciendo el mayor calado que un buque puede tener para navegar con seguridad.

Manga máxima. Esta restricción indica si un buque puede transitar por el canal de navegación estableciendo la mayor manga que un buque puede tener. Esta restricción está relacionada con el ancho del canal de navegación, pero puede estar relacionada también a las dificultades de navegación como visibilidad limitada o curvas abruptas.

Suma máxima de mangas. Esta restricción condiciona que los buques puedan cruzarse o encontrarse en un canal de navegación particular, estableciendo la suma más grande de mangas posible, que dos buques puedan tener para encontrarse uno con otro. De la misma manera, como la manga máxima posible, esta restricción se relaciona con el ancho del canal de navegación, pero se puede relacionar también con dificultades de navegación como visibilidad limitada o curvas abruptas.

Restricciones a horas diurnas. Esta restricción señala la categoría respectiva a los buques con respecto a si se les permite o no navegar y encontrarse con otros

buques, solamente durante horas diurnas. Esta es una restricción muy significativa, puesto que los buques restringidos a horas diurnas representan segmentos de mercados más rentables y con mayor crecimiento.

2.3.2 Esclusas

Desde un punto de vista de análisis de capacidad, las esclusas son un factor entre los más importantes por las restricciones que imponen a los buques y el tiempo que a ellos les toma realizar un esclusaje.

Desde esta perspectiva, se pueden identificar dos tiempos de esclusajes: (1) tiempo de procesamiento y (2) tiempo de ciclo. El tiempo de procesamiento se refiere al tiempo que toma un buque desde que entra a las esclusas hasta que sale al otro lado. El tiempo de ciclo se refiere al tiempo entre la entrada de un buque a la esclusa y la entrada del siguiente buque en la misma esclusa. Si se adoptan estos dos tiempos como instrumento analítico, es posible explicar el impacto que el proceso de esclusaje ejerce sobre la capacidad y el nivel del servicio del Canal.

Los tiempos de procesamiento y de ciclo para los esclusajes son generalmente diferentes para diferentes buques, según su tipo y tamaño. Este análisis se hace complejo cuando se toma en consideración que, por encima de la variabilidad de los tiempos y la diversidad de los buques, los tiempos son relativos también al modo de operación de la esclusa. Por ejemplo, los tiempos de ciclo son más largos que los tiempos de procesamiento para los esclusajes regulares, pero son más cortos que los tiempos de procesamiento para los esclusajes de relevo.

Regularmente, las esclusas imponen las siguientes restricciones a los buques:

Calado máximo. Esta restricción autoriza o prohíbe si un buque puede transitar a través de una esclusa, estableciendo el calado máximo que el buque puede tener.

Restricciones de esclusaje y máximo de manga y eslora. Esta restricción determina si un buque puede transitar a través de la esclusa estableciendo la mayor manga y eslora que un buque puede tener. Esta restricción se relaciona con el tamaño de la cámara (largo y ancho), pero puede ser afectada por el sistema de posicionamiento del buque, tipos de compuertas, tipos de sistemas de llenado y vaciado, distancia entre buques, etc.

Restricciones de tandem y máxima suma de esloras. Esta restricción establece si las naves pueden compartir una esclusa en particular, con base en el máximo valor de las sumas de esloras que dos naves pueden tener para un esclusaje conjunto. Tal como manga y eslora máximas, esta restricción se relaciona con la longitud de la cámara, pero puede también ser afectada por el sistema de posicionamiento del buque, tipos de compuertas, tipos de sistemas de vaciado y llenado, el espacio entre buques, etc.

Restricciones de esclusajes diurnos. Esta restricción señala cuáles son los buques que pueden realizar esclusajes durante horas diurnas solamente. Esta es una restricción significativa en el Canal, debido a que los buques con esta restricción pertenecen a los segmentos más rentables y de mayor crecimiento.

2.3.3 Fondeaderos y estaciones de amarre

El tercer tipo de componente que se incluye en el análisis de capacidad operativa del Canal son los fondeaderos y estaciones de amarre que, juntos, representan las áreas de cola o áreas de espera del sistema del Canal de Panamá. Las colas o líneas de espera son componentes críticos de la capacidad de cualquier sistema, debido a que las áreas que las acogen actúan como áreas de amortiguación, ya que absorben variaciones naturales en tiempos de procesamiento y patrones de llegada y, además, permiten que el sistema continúe trabajando incluso cuando hay un embotellamiento o un retraso en uno de sus componentes. Sin fondeaderos ni estaciones de amarre, la operación actual del semi-convoy del Canal sería casi imposible y la utilización de las esclusas y los cauces de navegación sería reducida substancialmente.

Desde un punto de vista del análisis de capacidad, los fondeaderos y las estaciones de amarre son importantes debido a que permiten posicionar los buques en tránsito, mientras éstos esperan por condiciones apropiadas para continuar su tránsito. Estas condiciones incluyen, por ejemplo: esperar la luz del día para transitar por canales o esclusas cuando el buque requiere tránsitos diurnos, esperar a que un recurso esté disponible, o permitir que otros buques pasen por delante para utilizar mejor recursos existentes. El tamaño y la ubicación de fondeaderos y estaciones de amarre determinan cuánto tiempo puede un recurso continuar trabajando, antes de que se le agoten los buques provenientes de recursos previos o estar estancado por recursos subsecuentes más lentos.

2.4 Un Sistema impulsado por la programación de buques

Una de las mayores secciones del Canal, el Corte Culebra (o Corte Gaillard), presenta restricciones de navegación significativas para buques grandes. Estas restricciones incluyen el impedimento a tener encuentros con otros buques en dirección opuesta y, además, limitan a los buques a navegar con luz del día solamente. Estas restricciones aplican para muchos de los buques más grandes que transitan el Canal. Esta característica trae como consecuencia que la operación del Canal resulte muy sensible a una programación, precisa y bien planeada, que maximice el uso de recursos del Canal para el tránsito de la mayor cantidad de buques posible.

Con la experiencia, el Canal de Panamá ha desarrollado una estrategia para programar buques conocida como *semi convoy*, que aprovecha el fondeadero del lago Gatún para maximizar la utilización del Corte Culebra, las esclusas y del resto

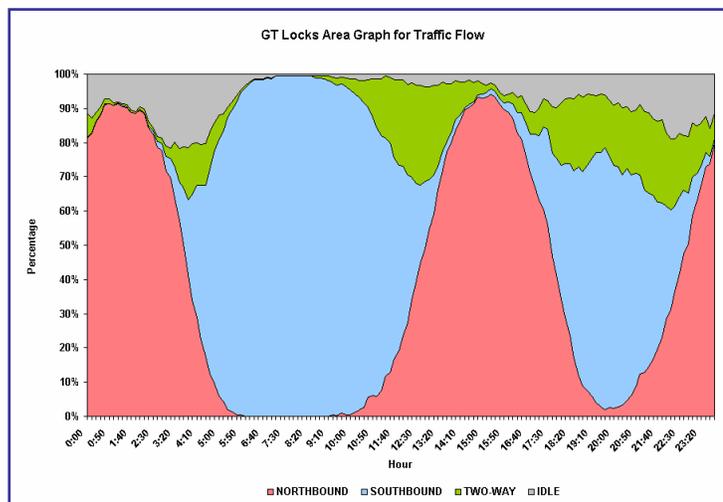


Figura 22 Patrones de tráfico históricos en las esclusas de Gatún.

de los recursos del Canal. El modelo de simulación operativa del Canal sigue un patrón similar para proporcionar una representación exacta de la operación Canal.

La estrategia de programación de buques en semi convoy consiste en programar un convoy de buques restringidos en dirección Norte, temprano por la mañana, según las restricciones de luz del día aplicadas a los buques en el Corte y las esclusas. Mientras tanto, los buques que navegan en dirección Sur, atraviesan las esclusas de Gatún y esperan en el anclaje de Gatún hasta que el convoy con rumbo al norte transite por el Corte Culebra. Los buques con rumbo al norte estarán programados para partir del anclaje de Gatún, según sus restricciones de luz del día de la esclusa, de tal manera que los buques con restricción diurna, porque no pueden realizar esclusajes de noche, lleguen a las esclusas antes de la puesta del sol.

El convoy de buques de vía libre con rumbo al Sur se programa de forma que esté en posición de entrar en el Corte Culebra cuando el último buque de vía libre, con rumbo al norte, haya salido del Corte. Por otra parte, el programa del Canal indica que un convoy de buques de vía libre con rumbo al Sur deberá navegar a través del Corte cuando los buques con rumbo al Norte, con restricciones, finalicen su tránsito a través de las Esclusas de Gatún, seguidas por los buques regulares.

Finalmente, cuando el último buque de vía libre, con rumbo al Sur, despeje el Corte de Culebra, se permitirá a los buques regulares con rumbo al Norte, provenientes del fondeadero del Pacífico, y a los buques regulares con rumbo al Sur, que provienen del fondeadero de Gatún, entrar en el Corte Culebra. De esta manera, se logra maximizar su utilización con tráfico de dos vías.

Estos principios de programación permiten configurar patrones y modelos muy específicos para optimizar la utilización de los diversos recursos del Canal. El equipo técnico de la ACP desarrolló una manera de representar estos patrones gráficamente, con el fin de comparar los resultados de la simulación y calibrarlos de tal manera que puedan concordar con el patrón real de utilización del Canal. Las figuras 22 y 23 muestran los patrones de operación de la esclusa de Gatún y el Corte Culebra, para el AF 2002.

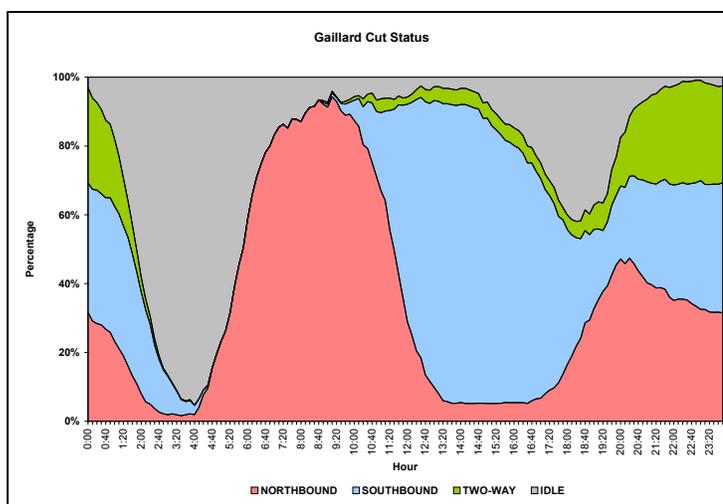


Figura 23 Patrones de tráfico históricos en el Corte Culebra

3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL CANAL

La metodología aplicada en este análisis se basa en gran medida en el uso de técnicas de modelación de sistemas, para crear una simulación conceptual del sistema físico del Canal de Panamá, que puede funcionar en una computadora personal. Este modelo de simulación permitió la prueba de múltiples escenarios del Canal para determinar el impacto de cambios en la configuración física, las reglas de operación o la mezcla de la demanda en la capacidad y el nivel de servicio del Canal.

Para este propósito la ACP contrató los servicios de *Rockwell Automation* y *Paragon Consulting Solutions* para desarrollar el modelo, usando el software de simulación *Arena*. Se formó un equipo multidisciplinario de personal de la ACP para trabajar conjuntamente con el contratista para desarrollar especificaciones detalladas y darle seguimiento al desarrollo del modelo. Una vez desarrollado, el modelo será utilizado como herramienta principal para determinar y evaluar el funcionamiento de diversos escenarios con respecto a capacidad y el nivel del servicio.

3.1 Marco conceptual para el Plan Maestro

El Canal comenzó a explorar alternativas de ampliación y crecimiento, a partir del AF 2000, en respuesta a los cambios que se palpaban en el entorno competitivo y de mercado del Canal. Estos cambios en el entorno competitivo del Canal sugerían un crecimiento de la demanda y un aumento del tamaño de los buques de carga. Como resultado de este estudio de simulaciones se hicieron evidentes las siguientes tendencias y proyecciones: (1) la creciente presencia del segmento de portacontenedores en el Canal, (2) el surgimiento de los buques pospanamax de contenedores, en rutas competidoras, (3) el fortalecimiento del Sistema Intermodal de los EEUU, (4) la consolidación de alianzas globales entre los usuarios del Canal y (5) una evolución general en los patrones de comercio, logística y rutas de transporte. Paralelamente, la administración del Canal venía observando con anterioridad la tendencia del tráfico por el Canal que señalaba inequívocamente que, en muy corto plazo, el Canal confrontaría insuficiencia de capacidad. Por esta razón, el Canal conformó y reforzó las investigaciones en proceso en un Plan de Estudios Integral, encaminado a proveer la base de conocimiento necesaria para producir un Plan Maestro para el desarrollo del Canal.

El Plan Maestro del Canal tiene por objetivo desarrollar el programa de acción que dotará al Canal de la capacidad y organización necesaria para capturar la demanda pronosticada e incrementar su participación de mercado. Simultáneamente, persigue disuadir a competidores potenciales de surgir como rivales en los negocios del Canal. El éxito de este plan se traduciría en mayores aportes para Panamá.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

El Plan de Estudios se configuró con una visión multidisciplinaria y las investigaciones se concentraron en tres temas clave para el Canal: mercado, capacidad y agua (figura 24). En el tema de mercado, las investigaciones se orientaron a la demanda y competencia del Canal, su comportamiento y las oportunidades que presenta. En el tema de capacidad, los estudios enfocaron las variables operativas y físicas que actúan sobre la capacidad del Canal y, con base en ese conocimiento, simular la operación de tránsito para proponer las inversiones más eficientes, que logran entonces optimizar, extender y ampliar la capacidad. En el tema hídrico se efectuaron estudios para evaluar las necesidades futuras de agua, diagnosticar el potencial de la Cuenca Hidrográfica y proponer soluciones para ahorrar, optimizar y garantizar el agua, tanto para consumo de la población, como para operaciones del Canal. En cada una de estas tres áreas de investigación se estudiaron las implicaciones ambientales y socioeconómicas. Los estudios hídricos y de la Cuenca se efectuaron al nivel de reconocimiento, diagnóstico y prefactibilidad. Los estudios de ingeniería y esclusas se llevaron al nivel de concepto y prefactibilidad y los estudios ambientales consistieron principalmente en evaluaciones ambientales y estudios de línea base. Los aspectos de demanda se iniciaron con diagnósticos y proyecciones separadas por segmento de mercado y culminaron con simulaciones y proyecciones integradas de demanda.

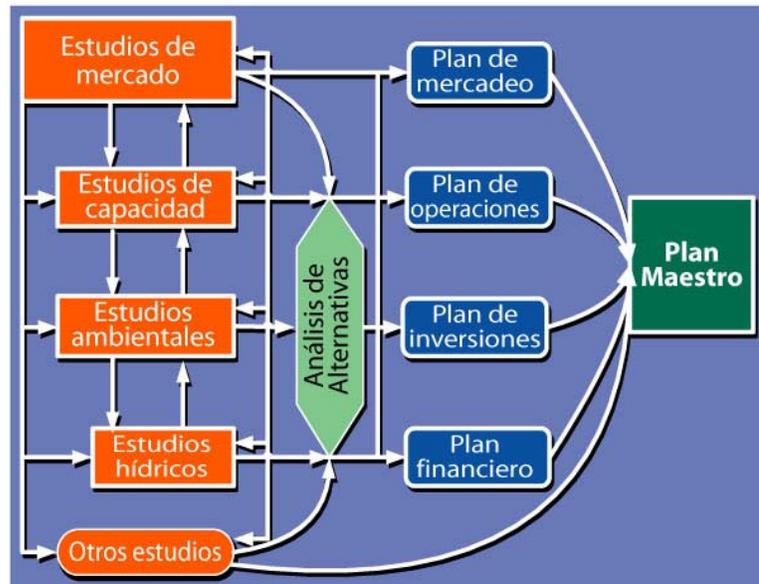


Figura 24 Marco conceptual del Plan de Estudios como parte del proceso de formulación del Plan Maestro.

Con base en los resultados del Plan de Estudios, la ACP se abocó a un intenso y abarcador proceso de análisis y discusión del conocimiento recabado. Entre AF 2003 y AF 2004, la ACP efectuó cuatro jornadas de análisis, con la participación de más de cien expertos de la ACP y consultores externos, en las cuales: (1) se identificaron los retos por resolver, (2) se analizaron múltiples escenarios de posible solución y (3) se configuraron las opciones más viables y convenientes. Para este análisis la ACP utilizó cuatro herramientas que le permitieron modelar de manera sistémica, interdependiente e integral las variables clave para conformar las mejores propuestas, según criterios de viabilidad, seguridad, eficiencia, así como de su relación de costo - beneficio (figura 25). En este sentido, se utilizó una herramienta para proyectar pronósticos de demanda variados basados en premisas macroeconómicas de mercado y de competencia. Conjuntamente, se utilizó una herramienta de simulación para estudiar el comportamiento de múltiples escenarios de demanda en la capacidad del Canal. Se utilizó un modelo hídrico para estimar el rendimiento de agua de la Cuenca del Canal, bajo diferentes volúmenes de tránsito y configuraciones operativas. Se utilizó también un modelo financiero y económico que integrara los resultados de los escenarios configurados.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Cada escenario fue interrelacionado con los modelos de demanda, capacidad y agua, respectivamente, para identificar cuál sería la demanda potencial y cuáles serían las limitaciones inherentes de cada escenario en cuanto a capacidad y disponibilidad hídrica. Los resultados de este análisis fueron usados para evaluar los ingresos y costos de operación, así como la inversión de capital necesaria y, finalmente, esta información se analizó con el modelo financiero. El modelo financiero y el modelo de impacto económico analizan la rentabilidad y los beneficios económicos que se obtendrían en cada escenario, permitiendo comparar las bondades de distintas alternativas y facilitando el desarrollo de una propuesta que maximice el beneficio económico que el Canal aportaría a la República de Panamá. Las propuestas de inversión que se presentan seguidamente son el resultado de múltiples ejercicios que confrontan y vinculan los indicadores más importantes para el Canal, en distintos escenarios posibles, en un análisis que persigue perfeccionamiento y optimización.

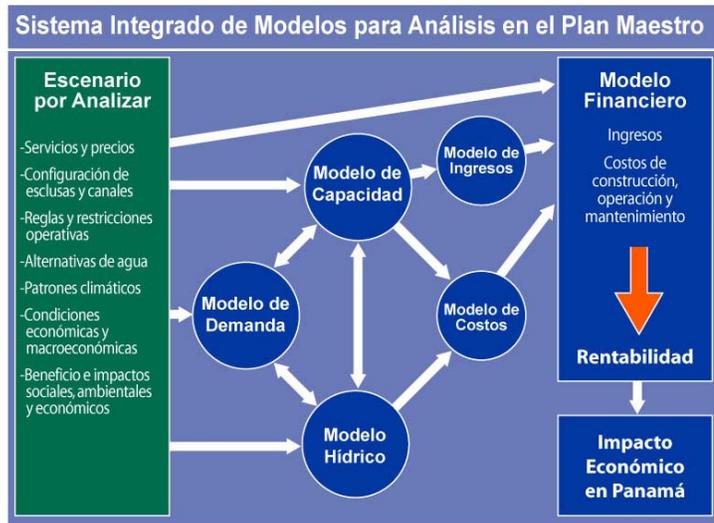


Figura 25 Sistema Integrado de Modelos para Análisis del Plan Maestro.

3.2 Desarrollo del modelo de capacidad del Canal

3.2.1 Alcance y objetivos del modelo

La ACP ha desarrollado un Plan Maestro que guiará sus futuros desarrollos, inversiones y dirección. Una parte crítica de este proceso de planeamiento requerirá la evaluación de un número de escenarios de mercadeo, de capital, y de operación para determinar su impacto en dos dimensiones: capacidad y servicio. Estas alternativas generan una amplia gama de opciones, incluyendo cambios a las normas y a los procedimientos operacionales, mejoras a las esclusas y cauces de navegación existentes, para aumentar capacidad de calado y capacidad de procesamiento de buques y, muy probablemente, la construcción de esclusas y cauces de navegación adicionales para permitir el tránsito de buques más grandes.

Para lograrlo, la ACP decidió que el desarrollo de un modelo de simulación de las operaciones del Canal era un componente crítico en el proceso de desarrollo del Plan Maestro. Con esta metodología se pudo evaluar y comparar alternativas de una manera objetiva, mensurable y replicable. Este modelo fue desarrollado por *Rockwell Software*, en asociación con *Paragon Consulting Solutions*.

Rockwell Software, de los Estados Unidos, es la empresa que desarrolla y comercializa el software de simulación *Arena*, el cual fue utilizado como la herramienta principal para el desarrollo de este modelo. La empresa *Paragon Consulting Solutions*, de Brasil, tiene amplia experiencia en el desarrollo de modelos de simulación para la evaluación estratégica de proyectos de transporte,

incluyendo proyectos de simulación de sistemas que consisten de cauces de navegación y esclusas. Juntas, estas dos empresas proveyeron a la ACP del conocimiento y experiencia necesarios para el desarrollo de un modelo robusto y confiable para la evaluación de la capacidad y nivel de servicio del Canal de Panamá.

3.2.2 El software de simulación Arena

El software de simulación *Arena* permite modelar cualquier sistema, representando las entradas (*inputs*) y las salidas (*outputs*) del sistema como *entidades* que atraviesan el sistema y representando el sistema mismo como *recursos* que realizan alguna acción sobre las entidades. También permite modelar las *colas* (*queues*), las cuales permiten que las entidades esperen por la disponibilidad de recursos o que se cumpla una condición particular.

Las entidades pueden ser de diversos tipos y llevan consigo una cantidad diversa de atributos, que pueden ser modificados mientras se mueven a través del sistema. Los recursos pueden ser también de diversos tipos y pueden retrasar entidades, cambiar sus atributos o encaminarlos en diferentes direcciones, basados en reglas determinadas. Las *colas* simulan las esperas o demoras en el sistema, que permiten más flexibilidad en el uso de recursos y pueden afectar significativamente la capacidad real de un sistema.

3.3 Escenarios a simular, uso de los resultados e interacción con otros modelos

El modelo de simulación de capacidad del Canal de Panamá juega un papel central como parte del sistema integrado de modelos que se utilizan para analizar los diferentes escenarios estudiados en el proceso del desarrollo del Plan Maestro del Canal de Panamá. El modelo de simulación de capacidad del Canal interactúa con los siguientes modelos: el Modelo Hídrico, el Modelo Integrado de Demanda, el Modelo de Ingresos y Gastos, y el Modelo Financiero.

3.3.1 El modelo integrado de pronóstico de demanda

Las proyecciones de la futura demanda por los servicios de tránsito del Canal de Panamá orientarán las inversiones para aumentar la capacidad del mismo, incluyendo la construcción de las nuevas esclusas pospanamax. Por tal motivo, la ACP contrató a la empresa *Mercer Management Consulting* con el fin de desarrollar un modelo de demanda que integre los segmentos de mercado más importantes del Canal e incluya los efectos en el mercado de transporte marítimo mundial de poner en funcionamiento un tercer juego de esclusas pospanamax.

Gracias a este modelo se configuraron los principales escenarios de demanda que sirvieran de referencia para realizar las corridas de simulación en el análisis de capacidad. Los escenarios de demanda se convierten en entradas para el modelo de capacidad en forma de la mezcla de buques y de la cantidad anual de tráfico esperado.

El Modelo de Capacidad depende principalmente del Modelo de Demanda en la generación de escenarios de demanda. No obstante, los resultados del Modelo de

Capacidad también influyen recíprocamente en el Modelo de Demanda. La vasta lista de parámetros que contribuyen en la generación de un escenario de demanda incluye la capacidad del Canal. Esta interdependencia entre los dos modelos conlleva a que idealmente el análisis de escenarios de demanda sea un complejo proceso de relaciones mutuas, inmerso en una dinámica de acciones recíprocas.

3.3.2 El modelo HEC-5 de confiabilidad hídrica

Un elemento clave en el desarrollo del Plan Maestro del Canal de Panamá es el uso del Sistema de Simulación del Control de Inundación y Conservación HEC-5 conocido también como Modelo Hídrico o Modelo de Agua. Este modelo fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU (USACE por sus siglas en inglés) en 1998 y actualizado en 2003, con el fin de evaluar la producción de agua y el comportamiento de los embalses.

Durante el proceso de análisis de los distintos escenarios, los resultados del Modelo de Capacidad, específicamente los que se relacionan con los totales de esclusajes realizados en las corridas de simulación, alimentaron con datos al Modelo Hídrico. El resultado de este ejercicio fue notablemente beneficioso debido a que, al permitir que se conozcan las demandas de agua de los distintos escenarios, facilita determinar las fechas en que se deberán implementar nuevos proyectos de fuentes de agua que puedan mantener un nivel de servicio específico.

3.3.3 El modelo de análisis financiero

El modelo de análisis financiero es una herramienta desarrollada en Microsoft Excel, con el propósito de evaluar el impacto financiero de diferentes escenarios, definidos en función de variables macroeconómicas, operacionales y de mercado.

Cada escenario es una combinación particular de variables que se ha traducido, mediante la utilización de modelos de capacidad, demanda, costos y del modelo financiero, en proyecciones de ingresos y de costos operativos. Estas proyecciones se combinan con otros factores, esencialmente de índole financiero, como la política de dividendos o el costo de capital para ser traducidas en medidas de factibilidad económica como lo son la Tasa Interna de Retorno (TIR) o el Valor Presente Neto (VPN) de cada escenario para facilitar su evaluación económica.

El modelo financiero muestra el flujo de efectivo esperado para cada escenario, así como también señala indicadores financieros clave como, por ejemplo, el índice de cobertura o el margen de rentabilidad. El análisis de estos resultados define rangos aceptables de niveles de pago de dividendos y de endeudamiento. El modelo puede efectuar estos cálculos según distintas estructuras hipotéticas de financiamiento.

En los cálculos, los costos de la deuda a utilizar pueden ser variados, de acuerdo a cuatro niveles de riesgo, dos de los cuales son de nivel de inversión y dos de nivel especulativo (Calificaciones Standard & Poor's A, BBB, BB y B). Para aquellos casos en los que se requiera evaluar un financiamiento por bonos, se

puede variar tanto el periodo de repago de cada emisión como el periodo de gracia en depósitos de garantía.

3.4 Modelo conceptual del Canal como un sistema restringido

Para modelar el Canal de Panamá y simular su operación, las más importantes características físicas y operacionales tuvieron que ser conceptualizadas como tiempos, reglas y restricciones. Además, el modelo tuvo que emular el patrón de llegada de buques al Canal, incluyendo tendencias en el tamaño, tipo de buques, segmento de mercado,

dirección del tránsito, si va en lastre, y otros. Finalmente, el modelo debe aplicar las mismas estrategias de programación de buques que se aplican en el Canal para asegurar el uso apropiado de sus recursos.

A continuación, presentamos a consideración del lector una representación del Canal existente a un nivel macro, tal como se utilizó para definir el nivel de detalle de la simulación:

3.4.1 Entrada del atlántico

Comprende el canal de navegación, entre la entrada del rompeolas en el Atlántico, al norte, y la Boya 7, al sur (figura 26).

3.4.2 Canal de acceso y las esclusas de Gatún

Este área incluye las Esclusas de Gatún y dos secciones del canal de navegación. La primera, entre la Boya 7 al norte y la Boya 13 al Sur y, la segunda, entre la Boya 13 al norte y las Esclusas de Gatún al sur (figura 27).

3.4.3 Lago Gatún

Comprende dos secciones del canal de navegación en el lago Gatún: la primera, entre las Esclusas de Gatún al norte y la Boya 10 al sur; la segunda sección, localizada entre la Boya 10 al norte y la Boya 79 al sur (figura 28).

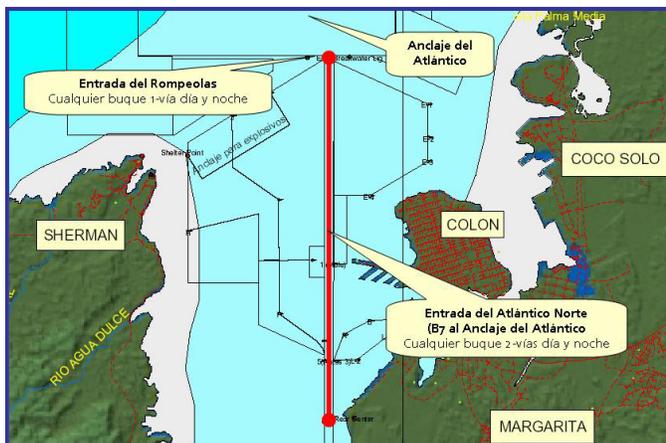


Figura 26 Entrada del rompeolas y entrada del Atlántico norte



Figura 27 Entrada del Atlántico Sur, Entrada de Gatún y Esclusas de Gatún



Figura 28 Bordada norte de Gatún, Anclaje de Gatún y el Lago Gatún

3.4.4 Bordada de Gamboa

Comprende el canal de navegación entre la Boya 79 al Oeste y la Boya 98 (cerca de la estación 1660), al Este, que colinda con la entrada al Corte Culebra (figura 29).

3.4.5 Corte Culebra

Comprende dos secciones del canal de navegación dentro del Corte Culebra: la primera, que está comprendida entre la estación 1660 (próxima a la Boya 98) al Norte y la estación 2035 al Sur y, la segunda, ubicada entre la estación 2035 y la estación 2130 al Sur, que colinda con el Norte de las Esclusas de Pedro Miguel (figura 30).

3.4.6 Esclusas de Miraflores, lago Miraflores y esclusas de Pedro Miguel

Este área incluye ambos juegos de esclusas del Pacífico: Miraflores y Pedro Miguel. También incluye dos secciones del canal de navegación: la primera se ubica dentro del lago Miraflores limitado al norte por las Esclusas de Pedro Miguel y al sur por las Esclusas de Miraflores; mientras que la segunda sección se ubica entre las Esclusas de Miraflores al norte y la Boya 26 al sur (figura 31).

3.4.7 Entrada del pacifico

Comprende dos secciones del canal de navegación en la entrada del Pacífico del Canal: la primera, comprendida entre la Boya 26 al Norte y la Boya 15 al Sur y, la segunda, entre la Boya 15 al Norte y la Boya 1 al Sur, adyacente al área de anclaje del Pacífico (ver figura 32).

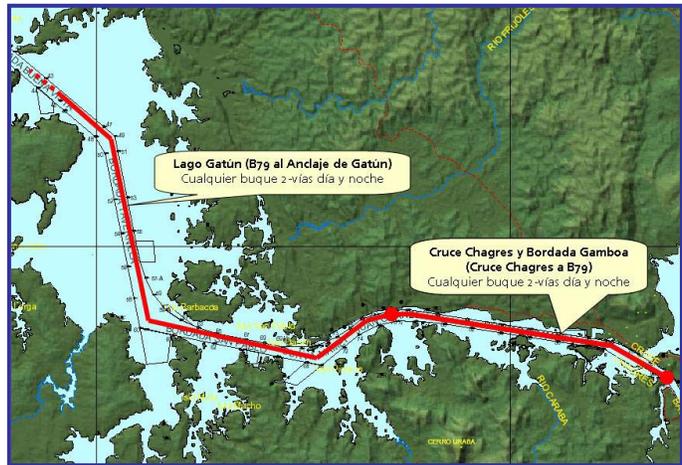


Figura 29 Lago Gatún, Bordada Gamboa y Cruce Chagres

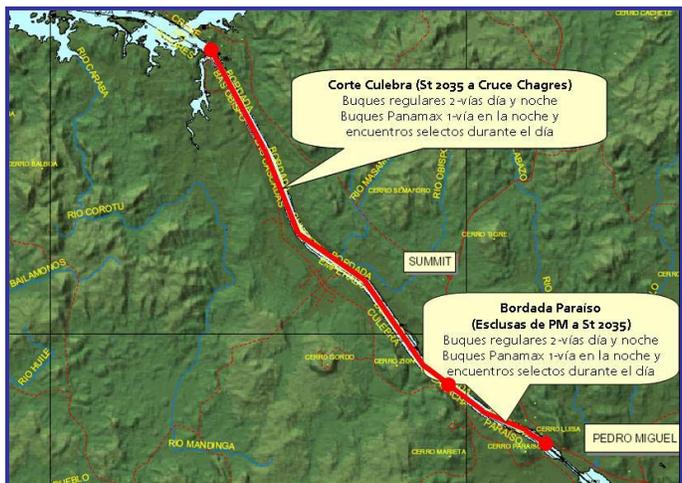


Figura 30 Corte Culebra y Bordada Paraiso

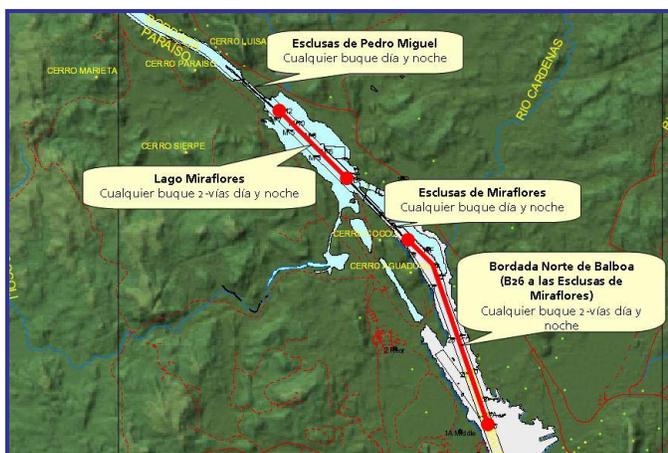


Figura 31 Esclusas de Pedro Miguel, Lago Miraflores, Esclusas de Miraflores y Bordada norte de Balboa

3.5 Descripción general del modelo

Esta sección describe el modelo de simulación de capacidad del Canal de Panamá usado como base para el análisis de capacidad.

3.5.1 Generalidades del modelo

El modelo está dividido principalmente en tres partes:

- Mezcla de la llegada de buques
- Normas de Tráfico
- Orden en la secuencia de buques

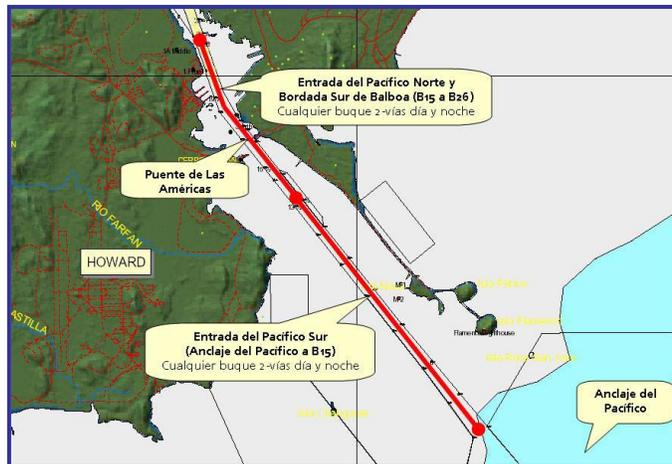


Figura 32 Borda Sur de Balboa, Entrada al Pacífico norte y Anclaje del Pacífico

Al principio de una simulación, el modelo calcula los intervalos de tiempos entre arribos de los buques, por segmento de mercado, para tráfico en ambas direcciones, con rumbo al norte y con rumbo al sur, basado en la demanda histórica o pronosticada. Los principales atributos son asignados a los buques a través de una mezcla de reglas y distribuciones probabilísticas.

Las reglas de navegación tienen el objetivo de asegurar tránsitos seguros a través del Canal. El modelo de simulación implementa estas reglas de navegación a través de los códigos de restricción, los códigos de designación de precaución (PD por sus siglas en inglés) y las normas de asignación del código de autorización de navegación con luz de poste alto (HML por sus siglas en inglés), como también otros aspectos importantes relacionados a la navegación, primordialmente: horario de la salida y puesta del sol; restricciones por neblina; interrupciones de servicio programadas y no programadas; y los modos de operación de las esclusas.

El usuario tiene acceso a una cantidad de variables, tales como: tiempos de tránsito y esclusaje; reglas de asignación de código de restricciones, códigos HML y reglas de asignación de PD, duración de la simulación, modos de operación de las esclusas y cauces de navegación, mezcla teórica de los arribos de buques y una lista de buques típicos (ver figura 33). Con esto se busca permitir al usuario probar y analizar diferentes configuraciones del Canal, incluyendo cambios en las reglas y restricciones de navegación, al igual que distintos patrones de demanda. Adicionalmente, la calidad del servicio, la utilización de los recursos y la longitud de las colas de espera son registrados para comparar diferentes escenarios.

La rutina de secuenciar buques es una forma simplificada de imitar el proceso real de programación de buques llevado a cabo por el Canal, cada día. Su objetivo principal es asegurar el mejor uso de los recursos del Canal de una manera segura, cumpliendo con todas las reglas y restricciones a la navegación, mientras se intenta maximizar el rendimiento del sistema.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

El modelo toma en consideración el barco y las características del Canal, reglas de navegación, clima y modos de operación de las esclusas para determinar la secuencia con que los buques empezarán su tránsito en los diferentes puntos de inicio en el Canal, sobre una base diaria. Los principales componentes del Modelo se detallan a continuación.

Microsoft Excel - Scenario1_PPNMX_OU.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help Acrobat

Files & Directories

Arena Directory: C:\Program Files\Rockwell Software\Arena 7.0\

File Directory: C:\Simulation\Basic_Model\

File Name: Scenario1

Analyst Name: _____

PARAGON Consulting Solutions

ROCKWELL SOFTWARE

MAIN MENU (ctrl + m)

Simulation Parameters

Animate:

Simulation Starts in (mm/yyyy, including): 01/2015

Simulation Ends in (mm/yyyy, excluding): 01/2016

Number of replications (integer): 1

Activate Transits Log File (Yes/No): Yes

Navigation Buttons

Sail Through (ctrl + s)

1. Export Data

2. Simulate

3. Update Results

4. Print Manager

5. Save Scenario

Actual Scenario Description

Demand Origin: Theoretical and Discrete

Canal Configuration: Post-Panamax

Scheduling Strategy: Semi-convoy

Chambers at the Post-panamax Locks: 2

Locks Operating Modes: Manual Automatic

Lock Name	Lane #	Mode
Gatun	1	Enhanced
	2	Regular
Miraflores	1	Enhanced
	2	Regular
Post-pan. Atl.	1	Enhanced
Post-pan. Pac.	1	Enhanced

Comments on the Scenario

Demand Figures

Manual Input Calculated Input

Ready

NUM

Figura 33 Pantalla principal de la interfase del modelo de simulación de capacidad del Canal.

3.5.2 Demanda y mezcla de buques

La mezcla de los arribos de buques se refiere a la cantidad de buques por categorías de tamaño y segmentos de mercado que llega para transitar por el Canal con rumbo Norte y Sur, con referencia a patrones discretos y/o al azar.

Para cada corrida de simulación el usuario debe especificar una curva de la tendencia del tráfico con la cantidad anual de tránsitos, por segmento de mercado y su correspondiente índice mensual de estacionalidad. El usuario debe también especificar cuánto tráfico fluirá hacia el Norte y hacia el Sur basado en distribuciones teóricas o históricas.

La cantidad mensual de tráfico en cada dirección se obtiene del total de tránsitos anual, considerando el índice de estacionalidad para cada segmento de mercado. Posteriormente, los tiempos entre arribos (TBA por sus siglas en inglés) de buques en cada extremo del Canal se obtienen por día.

La determinación de la cantidad de tránsitos por año, mes y día es la primera actividad que realiza el modelo. Una vez que los buques se “crean” en el modelo, simulan su entrada a la cola de buques “listos para transitar” para su programación. Las primicias que se consideran para asignar atributos a los buques se describen a continuación.

▪ Atributos generales de los buques:

Los primeros atributos de los buques son generales y tienen la intención de balancear la generación de buques según distribuciones históricas o pronosticadas (ver figura 34). Los atributos generales de buques son:

Segmento de mercado y dirección de tránsito. Estos serán los primeros atributos asignados a los buques y se basan en data histórica o pronósticos de mercado. La dirección de viaje es crítica porque determinará si el buque se dirigirá al fondeadero del Pacífico o del Atlántico. A su vez, el segmento de mercado es el factor más importante para determinar todos los demás atributos del barco.

Rangos de eslora y manga. Una vez que al buque se le asigna el segmento de mercado y dirección de viaje, se le atribuye una combinación de rango de eslora y manga, según una distribución probabilística por segmento de mercado.

Cargado o en lastre. Después que al buque se le asigna su segmento de mercado, dirección de viaje y rango de eslora y manga, se le clasificará en el caso de estar cargado o en lastre, según criterios de distribución probabilística por segmento de mercado y dirección de viaje. Porque se dan casos en el Canal de algunos segmentos de mercado con una tendencia significativa a llevar carga en una dirección, mientras van en lastre en la otra. Este es un atributo muy importante, ya que será la información más importante que el pronóstico ofrecerá para determinar la mezcla de calados de los buques.

Atributo	Modo de asignación
Segmento de Mercado	Distribuciones probabilísticas o lista de arribos discretos de buques según lo especificado por el usuario.
Categoría de tamaño de la manga y la eslora	Distribuciones probabilísticas o lista de arribos discretos de buques según lo especificado por el usuario.
Manga y eslora actual	Tabla de búsqueda de buques típicos con más de 6,000 buques de referencia, los cuales son identificados de acuerdo a su manga, eslora, y segmento de mercado.
Cargado o en lastre	Distribución probabilística discreta según el segmento de mercado del buque y su dirección de tránsito.
Calado	Tabla de búsqueda de buques típicos con más de 6,000 buques de referencia, los cuales son identificados de acuerdo a su manga, eslora, y segmento de mercado. Distribución probabilística triangular para el calado con carga, valor de referencia para calado en lastre.
Dirección	Distribución probabilística discreta según el segmento de mercado del buque.
Reservación	Distribución probabilística discreta según el segmento de mercado del buque y su dirección de tránsito.
Tonelaje de facturación (CPSUAB)	Tabla de búsqueda de buques típicos con más de 6,000 buques de referencia, los cuales son identificados de acuerdo a su manga, eslora, y segmento de mercado.
Designación de Precaución (PD)	Distribución probabilística discreta según el segmento de mercado del buque.
Luz de Poste Alto (HML)	Reglas específicas para de asignación de acuerdo a la manga, eslora, calado y segmento de mercado del buque, y distribuciones probabilísticas discretas para los buques que requieren inspección.
Código de Restricción	Reglas específicas de asignación de acuerdo a la manga, eslora, calado, segmento de mercado, PD, y HML del buque
Hora de arribo	Asignada a cada barco según intervalos de tiempo entre arribos según criterios definidos por el usuario.
Tiempos de navegación y esclusaje	Distribución probabilística triangular para distintas combinaciones de rangos de manga, calado y coeficiente de bloque, para cada esclusa y bordada del modelo.

Figura 34 Asignación de atributos a los buques dentro del modelo

Condición de reservación. Finalmente, habrá buques que serán clasificados por su condición de reservación, según criterios basados en una distribución probabilística, por segmento de mercado y dirección de viaje. Como se vio en el punto anterior, algunos segmentos de mercado tienen una tendencia significativa para viajar cargados en una dirección y en lastre en la otra. Y se ha observado en la experiencia del Canal que los buques raramente reservan cupo cuando van en lastre. Finalmente, debido a la existencia de una cantidad finita de “cupos” de reservaciones, por rango de tamaño del buque, la condición de reservación deberá limitarse también a la disponibilidad de cupos de reservación.

▪ **Atributos específicos de los buques:**

Dimensiones, calado y tonelaje Específicos. Una vez que los atributos generales son asignados, el modelo se fijará en la tabla de buques típicos, es decir, regulares o promedio, donde el modelo usará el segmento de mercado, rango de manga y rango de eslora con el objetivo de identificar un barco típico, en aquella categoría, y obtener los siguientes atributos específicos: eslora específica, manga específica y calado específico en lastre (si el barco va en lastre) o bien, parámetros teóricos de distribución (si el barco va cargado) para determinar un calado específico.

Lookup Fields			Data Fields				
Market Segment	Beam Range	Length Range	Actual Beam	Actual Length	Ballast Draft	Laden Draft	Billing Tonnage
Container	40 - 60	400 - 500					
Container	40 - 60	500 - 600					
Container	60 - 80	400 - 500					
Dry Bulk							
Dry Bulk							
Dry Bulk							

Figura 35 Tabla de buques típicos utilizada en el modelo de simulación de capacidad del Canal.

Si hay más de un barco que cumpla con los criterios de selección, el modelo seleccionará uno de esos buques al azar. El equipo de trabajo de la ACP desarrolló una tabla de buques típicos para someterlos a un análisis de su desempeño en los diferentes escenarios del Canal. La tabla de buques típicos sigue el formato mostrado en la figura 35.

▪ **Características operativas**

Después de que el modelo caracterice los atributos del buque, el modelo de simulación asignará al buque los identificadores operacionales, que incluyen el PD, HML y el código de restricción. Estas asignaciones toman como referencia una mezcla de distribuciones probabilísticas con reglas basadas en características del buque.

Hora de arribo y hora disponible. La hora de arribo es asignada al barco enseguida que llega. Los tiempos o intervalos entre llegadas son asociados a la cantidad de tránsitos que fluirán a través del Canal en cada mes. La hora disponible es asignada al barco después que haya llegado y está basada en patrones de distribuciones establecidos históricamente. De esta manera, la hora de llegada y la hora disponible serán diferentes.

3.5.3 Reglas y restricciones de navegación

Las reglas y restricciones de navegación fueron desarrolladas con el objetivo de asegurar tránsitos seguros por el Canal. Son establecidas sobre la base de la

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

configuración física de las esclusas y los cauces de navegación, restricciones del clima, experiencia de pilotos y características del buque, entre otros. Ellos definen los procesos de la operación del Canal y la programación y navegación del buque.

CODE	Length		Beam		Draft		HML		PD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CCDL	0	900	91	95	0	39.51	D	D	Yes	Yes
CCDL	0	900	95	107	0	39.51	D	D	No	Yes
CCDL	900	965.1	0	107	0	39.51	N	D	No	Yes
DLCC	0	900	95	107	0	39.51	Y	Y	No	Yes
CC	0	900	95	107	0	39.51	C	C	No	Yes
CC	0	900	0	91	0	39.51	N	D	Yes	Yes

Figura 36 Tabla de buques típicos utilizada en el modelo de simulación de capacidad del Canal.

Reglas de asignación de códigos de restricción

Los códigos de restricción definen qué reglas aplicaran a la navegación de buques a lo largo del Canal, y depende básicamente de las dimensiones del barco, el segmento de mercado al que pertenece, las medidas de precaución que se toman para garantizar un tránsito seguro debido a carga peligrosa, y si el buque esta autorizado para navegar esclusas y cauces de noche.

PD	Designación de Precaución	Descripción
1	YES	Se requieren medidas de precaución debido a la presencia de carga peligrosa. Se imponen distintas reglas de navegación a los buques con esta designación.
2		
3	NO	No se requieren medidas de precaución debido a carga peligrosa.
4		
5		
6		
7		
N		

Figura 37Tabla de buques típicos utilizada en el modelo de simulación de capacidad del Canal.

Cada código de restricción determina el comportamiento del barco al permitirle utilizar diferentes recursos del Canal, para configuraciones actuales y futuras del Canal. Estas definiciones se han programado en el Modelo de Capacidad para permitir al usuario definir las reglas que determinan que códigos de restricción se le asignaran a cada buque (ver figura 36).

Código de designación de precaución por carga peligrosa (PD)

El código de designación de precaución por carga peligrosa, o PD por sus siglas en inglés, es asignado por la ACP a buques que llevan carga peligrosa, en casos que requieran medidas de precaución. También se considera esta modelo las reglas de asignación de estos códigos.

En la actualidad existen siete códigos de designación de precaución, que van desde el PD-1 al PD-7. Con el objetivo de simplificar la asignación y el comportamiento de buques con carga peligrosa, para el análisis del modelo, se decidió utilizar dos condiciones: “Sí” para la condición afirmativa que confirma que un

Código HML	Aprobación	Descripción
Y	Si	Puede hacer esclusajes nocturnos, pero no puede navegar el Corte Culebra de noche
C	Si	Pede navegar todo el Canal de noche
D	No	No puede hacer esclusajes ni navegar el Corte Culebra de noche
M	Inspección Pendiente	La aprobación para hacer esclusajes nocturnos dependerá de los resultados de una inspección física del buque

Figura 38 Tabla de buques típicos utilizada en el modelo de simulación de capacidad del Canal.

determinado buque lleva carga peligrosa en un rango de condiciones PD-1 y PD-2 y que, inversamente, “No” lleva carga peligrosa en el resto del espectro de condiciones peligrosas (que van del rango PD-3 a PD-7, ver figura 37).

En la asignación de PDs a los buques en este modelo, el usuario podrá especificar el porcentaje de ocurrencia de PDs 1 y 2 que serán asignados a cada segmento de mercado, a través de la interfase. Esto también aplica para los casos en que el barco clasifique en una categoría específica, en un patrón discreto de arribo.

La condición de PD determinará las restricciones de tráfico de cada barco parcialmente, así como también definirá su comportamiento en aguas del Canal, tal y como se ilustra en la tabla de asignación de Códigos de Restricciones.

- **Aprobación para tránsito nocturno con luces de poste alto (HML)**

El código de HML determina si un buque puede realizar esclusajes de noche, al igual que si el buque navegar el Corte Culebra de noche. El modelo de capacidad también considera las reglas de asignación de código HML. La figura 38 muestra la definición de los distintos códigos HML.

El usuario puede definir a través de la interfase qué buques tendrán un código HML asignado. Posteriormente, el usuario deberá determinar el criterio para designar los códigos. Buques serán codificados como HML no aprobado, en caso de que tengan una eslora y/o manga mayor que el límite mínimo establecido por el usuario o por llevar carga peligrosa. Buques aprobados para HML serán asignados con el código Y o C, con base a criterios de data histórica sobre porcentajes de ocurrencia, por segmento de mercado.

El usuario podrá cambiar la lógica de la asignación de códigos de HML no aprobado, a través de la interfase y en combinación con los códigos de restricción. A su vez, podrá también especificar si el barco con HML no aprobado deberá entrar o salir del primer juego de esclusas, durante horas diurnas, al igual que si deberá entrar o salir del último juego de esclusas durante horas diurnas. Esto no dependerá de la dirección del viaje en el Canal.

En caso de que el buque se clasifique a través del patrón de arribos discretos, el código de HML deberá ser especificado por el usuario.

- **Otros elementos que afectan la capacidad del Canal**

Horas de amanecer y anochecer. En este modelo el usuario podrá variar la duración de las horas diurnas que específicamente afectan el tránsito de buques con restricciones de luz del día. Se han establecido valores iniciales pero éstos se pueden variar a través de la interfase del modelo para cada mes del año. Sin

Month	Sunrise	Sunset
Jan	6:30	18:00
Feb	6:30	18:00
Mar	6:15	18:30
Apr	6:15	18:30
May	6:00	19:00
Jun	6:00	19:00
Jul	6:00	19:00
Aug	6:00	19:00
Sep	6:15	18:30
Oct	6:15	18:30
Nov	6:30	18:00
Dec	6:30	18:00

Figura 39 Tabla de definición de la salida y puesta del sol

Month	Prob
Jan	6.5%
Feb	1.5%
Mar	2.4%
Apr	6.7%
May	18.3%
Jun	28.6%
Jul	16.9%
Aug	21.5%
Sep	38.1%
Oct	48.7%
Nov	31.9%
Dec	13.4%

Figura 40 Porcentajes usados para definir la probabilidad diaria de niebla para cada mes del año.

embargo, con el propósito de simplificar el desarrollo del modelo, se ha limitado a tres valores diferentes para todo el año (ver figura 39).

Niebla. El modelo permite al usuario definir una probabilidad diaria de niebla para cada mes del año. Inicialmente, se han establecido valores basados en datos históricos. Sin embargo, el usuario puede modificarlos a través de la interfase del modelo (ver figura 40).

En aquellos días que por probabilidad ocurra niebla, no se programarán buques para transitar por el Corte Culebra desde la 1:00am hasta las 7:00am. Con el fin de simplificar el modelo, estas horas se han fijado y no son alterables por el usuario.

Mantenimientos programados y no programados. La frecuencia de interrupciones de servicio no programadas y su promedio de duración para recursos de esclusas y cauces de navegación deben ser especificados por el usuario.

Además, el usuario puede especificar cuándo los recursos de esclusas y cauces de navegación estarán fuera de servicio por mantenimiento preventivo o cualquiera otra razón, previamente conocida por la ACP, que permita la programación de recursos durante interrupciones al servicio.

Reglas para esclusajes en relevo. El Canal tiene pocas restricciones sobre buques que pueden realizar esclusajes de relevo en las esclusas. El Canal evita realizar esclusajes de relevo a buques con una eslora mayor a 900 pies (por razones operacionales) y a buques de pasajeros Panamax (por razones de servicio al cliente). No obstante, como esta regla es de flexible aplicación, cada vez que sea necesario, ambos tipos de buques realizarán esclusajes de relevo. Este modelo permite al usuario indicar qué buques deberán realizar esclusajes de relevo.

Lock	Operating Mode			
	Automatic	Fixed		
		Shift 1	Shift 2	Shift 3
Miraflores East	x			
Miraflores West	x			
Gatún East		Relay	Relay	Relay
Gatún West		Regular	Regular	Relay
Pacific PP East	x			
Pacific PP West	x			
Altantic PP East	x			
Atlantic PP West	x			

Figura 41 Tabla de definición del modo de operación de las esclusas.

Modo de operación de las esclusas. Cada carril de esclusas se puede operar en dos modos de operación: regular o relevo. En la realidad, la decisión de operar en modo regular o de relevo en cada carril de las esclusas se toma diariamente en cada turno operativo, y se basa en la demanda del Canal, debido a que implica costos adicionales significativos asociados con el personal adicional requerido.

El modelo permite dos maneras de definir el modo de operación de las esclusas: “fijo” o “automático”. Cuando el patrón de operación de las esclusas es fijo, el usuario especifica el modo de operación de cada carril de las esclusas. La figura 41 muestra un ejemplo de la pantalla utilizada para este propósito. El modelo acepta una serie de “reglas” automáticas simplificadas que determinan diariamente el modo de operación de la esclusa, basado en el nivel de demanda del Canal.

Si un carril en particular de una esclusa fue definido en la categoría de estar operando en modo “automático” entonces el modo de operación de esa esclusa será definido por un conjunto simple de reglas, en vez de ser fijo. La regla que determina el modo de operación de cada carril de cada esclusa se basará en el tamaño de ciertas colas de buques en espera.

Esclusajes compartidos o *tandems*. Se permitirá el tránsito de buques en *tandem* por las esclusas, dependiendo de la suma máxima de esloras permitidas en cada esclusa, las cuales estarán especificadas en la lista de recursos de capacidad. El usuario podrá cambiar este máximo y, además, podrá cambiar la distancia mínima entre buques según parámetros de la siguiente tabla:

Selección de carriles en las esclusas. Los buques deberán fluir a través de una secuencia de recursos especificados en la lista de recursos en la sección 4.1.2 de este manual. Estos recursos permiten identificar dos modelos de simulación, correspondientes a dos canales, a saber: el Canal Panamax, o canal actual sin ampliación, y el Canal Pospanamax, o canal ampliado.

3.5.4 Secuenciador de buques

El proceso de secuenciar buques, utilizado en este modelo, es una manera lógica y simplificada de simular el proceso real de programación de buques, en un orden que, en el presente, es realizado por un programador, cada mañana. Su meta principal es hacer el mejor uso de los recursos del Canal, de una manera segura, superando limitaciones y atendiendo a reglas, mientras que se esfuerza en aumentar el rendimiento del sistema.

Cada escenario y modo de travesía por el Canal deberá corresponderse con un conjunto de reglas para secuenciar buques, los cuales deben ser definidos con precisión. Por ejemplo, al escenario del Canal existente, con el modo de cruce por semi-convoy, le corresponden reglas y código respectivos. De igual manera, al escenario del Canal ampliado Pospanamax, con el modo de cruce por convoy,, también corresponderán sus propios códigos y reglas que permitan la mejor programación posible para secuenciar los buques. Por último, cada regla debe incluir una definición clara de los parámetros siguientes: ¿Cómo serán los buques asignados a colas de prioridad? ¿Cuáles son los puntos importantes de la secuencia? ¿Cómo podremos ordenar y segmentar el día, en periodos de tiempo, basados en eventos específicos de ese día? y ¿Según qué criterios construiremos un orden de preferencia aplicable a las diferentes colas de prioridades, cuando se programe la secuencia de salida de buques?

La definición conceptual y la práctica de estas reglas de secuencia requerirán la consideración cuidadosa de cada uno de estos parámetros, así como también exige una integración de estos parámetros con el resto de la lógica del modelo. Por esta razón, el programador del modelo ha desarrollado las reglas de secuencia requeridas para los escenarios definidos en el Manual de Especificaciones del Modelo Básico. Por su parte, los usuarios dueños del proyecto podrán definir o modificar las reglas que secuencian, en estrecha colaboración con el programador del modelo. Los usuarios formales y los usuarios ocasionales podrán seleccionar los escenarios previamente definidos y las reglas de secuencias disponibles, según cada escenario, a través de la interfaz.

A continuación, se presenta una breve descripción de los diferentes parámetros, que deberán ser definidos, para que se documente apropiadamente una regla de secuencia:

▪ Secuenciador preliminar

Una vez que los buques generados por el modelo se hayan colocado en la cola de listo-para-tránsito (*ready-for-transit*), en los puntos de secuencia, el modelo intentará ordenarlos en forma preliminar, persiguiendo el mejor uso de los recursos del Canal. Esto se realiza cada medianoche, durante una corrida de simulación, por un subprograma del modelo denominado el “secuenciador”. El Secuenciador utiliza el siguiente conjunto de datos para generar una secuencia preliminar de buques:

Atributos de los buques. El secuenciador utiliza los tiempos de esclusajes y tiempos de tránsito, que serán ingresados por el usuario para cada rango de tamaño y tipo de buque. Además el secuenciador utiliza la identificación y asignación de los atributos según tipo de buque.

Atributos de los cauces de navegación. El secuenciador considera si en el Corte Culebra se permitirá tráfico de buques Panamax de dos vías y Pospanamax de una vía, y si la entrada del Pacífico permitirá el tráfico de dos vías Pospanamax. Además el secuenciador toma en consideración si el ensanche del cauce desde la bordada de Gamboa hasta la boya #72, permitirá el tráfico Panamax de dos vías. Finalmente, el secuenciador toma en cuenta si el Corte está o será cerrado durante parte del día, al igual que la capacidad máxima y ubicación de las estaciones y sitios de amarre.

Atributos de las esclusas. El secuenciador también toma en consideración el modo de operación de las esclusas, entre las modalidades de operación fija o asignada automáticamente. También deberá considerarse si habrá una tercera vía en las esclusas del Atlántico y del Pacífico, así como nuevos cauces de navegación correspondientes. Finalmente el secuenciador considerará si alguna esclusa está o estará fuera de servicio durante el día.

Atributos de la Programación de Buques. Finalmente el secuenciador tomara en cuenta otros atributos que afectan la programación de buques, incluyendo restricciones de niebla, duración de las horas de día, y la hora de salida del primer buque.

▪ Asignación buques a colas según su código de restricciones

Para secuenciar apropiadamente la salida de buques en cada punto de secuencia, se requiere de la asignación de los buques que llegan al Canal, en diferentes colas. Esta clasificación y distribución de buques deberá regirse por la habilidad del buque en usar recursos del Canal, durante períodos diferentes del día. Por otra parte, los buques que llegan a un punto de secuencia en particular serán asignados a colas de prioridad, según sus códigos de restricciones (ver figura 42).

	RC	
	Min	Max
Q1	NR	NR
Q2	CC	CC
Q2	CCNT	CCNT
Q2	17CN	17CN
Q3	DLCC	DLCC
Q3	17DL	17DL
Q4	CCDL	CCDL
Q4	17CL	17CL

Queue Sorting Order:
Booking status
Ready Time

Figura 42 Tabla de definición de la asignación de buques a colas de prioridad de acuerdo a su código de restricción.

3.5.5 La lógica de la programación de buques

El modelo de simulación comienza a secuenciar el tráfico rumbo al Norte por la proximidad del Corte a la entrada del Canal, en el lado Pacífico. Después, procede a secuenciar el tráfico rumbo al Sur.

El primer carril del primer juego de esclusas disponible recibirá el primer buque de la secuencia actual del día, en la simulación que se está generando. El segundo buque en la secuencia será dirigido al carril adyacente de la esclusa y así sucesivamente. Observe que esto se hace respetando las dimensiones máximas permitidas en las esclusas, según los términos establecidos en los casos del carril operando en relevo o en carrusel y, obviamente, si el recurso está operación. Las horas de inicio y finalización de todos los eventos son registradas para futura evaluación de la secuencia preliminar generada.

La tercera vía de esclusas para tráfico Pospanamax tendrá la capacidad de servir buques más pequeños. Sin embargo, el Secuenciador tratará de llenar las esclusas existentes primero antes de programar tráfico Panamax en las esclusas nuevas.

La lógica para secuenciar buques se define a través de tablas para describir – en cada punto de secuenciación importante – la preferencia que se dará a las colas de prioridades, durante diferentes períodos del día, y las reglas generales que se aplicarán para definir los eventos importantes.

Las tablas y fórmulas que representan la lógica para secuenciar buques están ubicadas en el Apéndice. Serán utilizadas para definir y documentar las reglas pero no serán desplegadas en las pantallas de interfase de los usuarios formales y casuales. Los usuarios dueños del modelo serán los únicos usuarios que podrán definir o modificar las reglas de secuenciación en coordinación estrecha con el programador del modelo.

3.5.6 Definición de los puntos de programación de buques

Para el propósito de este modelo, un punto de programación se define como un punto en el Canal donde se aplican reglas específicas para controlar el flujo de buques dentro del sistema. De acuerdo a estas reglas algunos buques pueden pasar a una “cola” de espera mientras otros buques los sobrepasan. Bajo este concepto, el Canal tiene tres puntos principales de programación de buques:

- Anclaje del Pacífico
- Anclaje del Atlántico
- Anclaje de Gatún

El modelo de capacidad establece la secuencia en la que los buques deber partir de cada uno de estos puntos de programación, de forma que se controla el patrón de tráfico a través del sistema.

3.5.7 División del día en períodos de tiempo basados en eventos importantes

Para efectos de establecer un patrón de tráfico, la programación de cada día está dividida en periodos de tiempo, delimitados por una serie de eventos. Estos eventos se corresponden con la hora en que cambian las prioridades para secuenciar la salida de buques, con referencia a un punto de programación en particular.

Por ejemplo, para el Anclaje del Pacífico la programación del día se divide en tres periodos: el periodo del convoy norte, el periodo del convoy sur, y el periodo de tráfico en doble vía. El primer periodo inicia con el tránsito del primer buque restringido en dirección norte, y termina con el último buque que puede iniciar su tránsito y cruzar el Corte Culebra antes de la hora del cambio de dirección. Durante este periodo solo deben iniciar su tránsito buques restringidos en dirección norte. El segundo periodo, a su vez, abarca desde que termina el convoy norte, hasta que termina su tránsito el último buque restringido en dirección sur. Durante el segundo periodo no puede iniciar su tránsito ningún buque en dirección norte. Finalmente, el tercer periodo inicia cuando termina su tránsito el último buque restringido en dirección sur, y durante este periodo solo pueden iniciar su tránsito buques no restringidos en dirección norte.

Los eventos importantes que puedan servir de hitos para secuenciar buques en el Canal son identificados y calculados diariamente, con referencia a las horas de la puesta y salida del sol, a los tiempos de navegación y a la cantidad y mezcla de buques en las diferentes colas. Estos tiempos están definidos y documentados en el Apéndice.

3.5.8 Criterios de prioridad la salida de buques durante cada periodo de tiempo.

Una vez que los buques son asignados a distintas colas de prioridad y el día ha sido dividido en periodos de tiempo, en cada punto de secuenciación, el modelo procede a utilizar el concepto de preferencias de colas de prioridad, para secuenciar la partida de buques. Esta preferencia de la cola de prioridad definirá el orden de secuencia en que los buques, asignados en diferentes colas de prioridad, se ordenan para la partida, durante un periodo de tiempo en particular. La partida de buques será, entonces, secuenciado en el siguiente orden: iniciará con la primera cola de prioridad, continuando con la segunda, una vez que la primera esté agotada y así sucesivamente.

3.5.9 El Sistema de reservación

Existen tres aspectos significativos en el sistema de reservación que debe ser considerado por el modelo de simulación de capacidad: Primero, el modelo debe considerar el número de cupos disponibles para reservaciones cada día. Segundo, el modelo debe asignar estos cupos de reservación a los buques que arriban de acuerdo a su estatus y a la disponibilidad de los mismos. Finalmente, el modelo debe considerar el efecto del estatus de reservación de los buques en la secuenciación de buques.

	Beam Size Ranges	
	0-90.99	91-106
No. of total slots	10	11
No. of northbounds slots	5	6
No. of southbounds slots	5	6

Figura 43 Tabla de definición de la salida y puesta del sol

- **Número de cupos disponibles para reservaciones**

Actualmente el Canal tiene dos “cuotas” separadas para reservación, basados en los tamaños de buques. Buques de menos de 91 pies de manga tienen asignado una cantidad particular de cupos. Mientras que buques con manga igual o mayor a 91 pies tienen asignado otra cantidad de cupos (ver figura 43). Adicionalmente, se establecen límites para la cantidad de buques con rumbo al Norte y con rumbo al Sur, dentro de cada categoría, para evitar una concentración de reservaciones ocasionada porque todos los cupos fueran tomados por buques transitando en una misma dirección.

En la actualidad, diez (10) cupos al día son asignados a buques con mangas menores a 27.7 metros (91’), con un máximo de cinco (5) cupos en cada dirección. De una manera similar, hay once (11) cupos asignados a buques con manga igual o mayor a 27.7 metros (91’), con un máximo de seis (6) cupos en cada dirección.

Como parte del proceso de generación de buques, el sistema debe asignar el estatus de reservación a cada buque. El estatus de reservación de un buque será asignado, según criterios de distribución probabilística, por segmento de mercado y dirección de tránsito. Cuando al buque se le haya asignado su estatus correspondiente de reservación, el modelo deberá verificar si un cupo está disponible. Si no lo está, el buque será ubicado en su respectiva cola de prioridad y se le hará una reservación para un cupo en el siguiente día.

- **Efecto del estatus de reservación en la secuenciación de buques**

El modelo dará prioridad a buques con reservación dentro de una misma cola de prioridad. El primer criterio de asignación es si el buque tiene reservación.

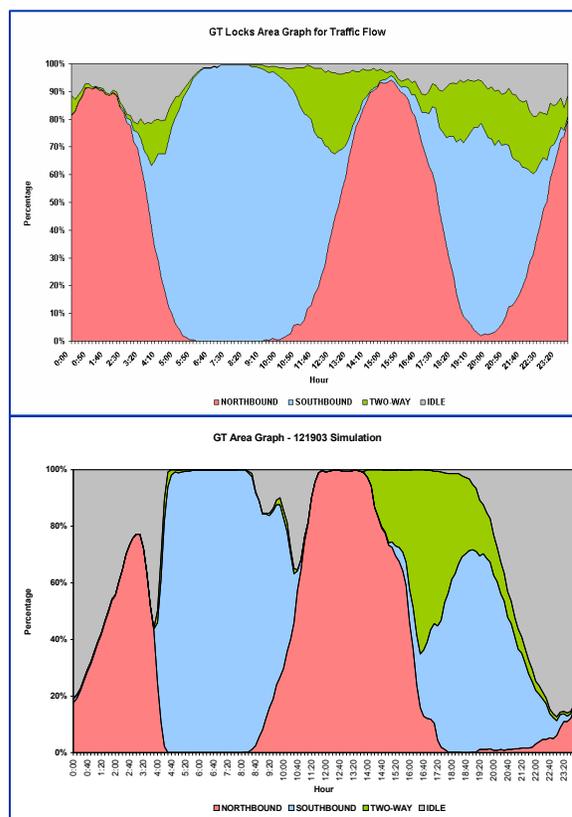


Figura 44 Comparación de los patrones de tráfico en las esclusas de Gatún entre la información histórica y los resultados del modelo de simulación para el AF 2002.

El segundo criterio es la hora en que el buque está listo para transitar.

La secuencia preliminar podrá ser modificada por el modelo debido a que las entidades, buques en este modelo, encontrarán interferencia con otras entidades debido a restricciones y disponibilidad de recursos. De esta manera, la secuencia preliminar tendrá que adaptarse. La secuencia preliminar de buques podrá ser comparada con la secuencia simulada, después que el modelo termine una corrida de un día con arribos discretos de buques especificados por el usuario.

3.6 Verificación y validación

El objetivo del proceso de verificación y validación del modelo fue confirmar que el mismo opera de la forma en que fue diseñado y que los resultados del modelo sean veraces y representativos del sistema real. La validación del modelo fue responsabilidad del contratista, y fue el principal criterio de aceptación del modelo por parte de la ACP. Para la validación del modelo se utilizó principalmente la información histórica de los años fiscales 2001, 2002 y 2003.

3.6.1 Validación de la composición de la demanda

La frecuencia de arribo de los buques y sus características físicas fueron validadas para asegurar que concordaran con lo indicado en la configuración del escenario. Se incluyó la frecuencia de arribo por segmento de mercado, dirección de tránsito, porcentaje de tránsitos en lastre y dimensiones de los buques (manga, eslora y calado).

El proceso de validación confirmó que el modelo reproduce con exactitud los patrones de llegada de buques indicados en las pantallas de configuración del modelo.

3.6.2 Verificación del patrón de programación de buques

El patrón utilizado por el modelo para secuenciar buques en espera de transitar por el Canal fue examinado con referencia a las gráficas históricas de patrones de programación del Canal en el pasado, con el fin de asegurar que el modelo refleje operaciones reales del Canal.

Las figuras 44, 45 y 46 muestran comparaciones entre tres recursos críticos del Canal en el modelo (el Corte Culebra y las esclusas de Miraflores y Gatún) y sus respectivas contrapartes en el mundo real. Como se puede apreciar, el modelo refleja con suficiente similitud el patrón de tráfico en dirección norte y sur.

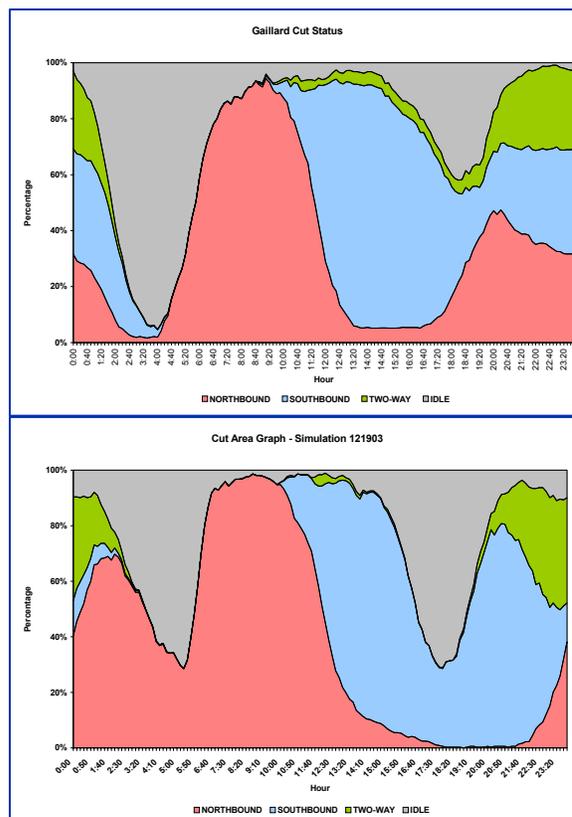


Figura 45 Comparación de los patrones de tráfico en el Corte Culebra entre la información histórica y los resultados del modelo de simulación para el AF 2002

3.6.3 Verificación de las reglas y restricciones de navegación

En adición a la verificación de los patrones de tráfico, se verificó que los buques cumplieran con las reglas y restricciones de navegación asignadas. En esta etapa del estudio, se verificó que todas las restricciones a la navegación fueran implementadas y aplicadas en el modelo.

Las restricciones a la navegación que fueron verificadas incluyeron:

- **Vía libre en el Corte Culebra.** Se verificó que los buques con restricciones CC, DLCC y CCDL transitaran en una vía por el Corte Culebra, sin encontrarse con ningún otro buque en dirección opuesta.
- **Tránsito diurno por el Corte.** Se verificó que los buques con restricciones CCDL y DLCC transiten el Corte Culebra durante las horas de día, definidas según los parámetros de configuración del modelo.
- **Tránsito diurno por las esclusas.** Se verificó que los buques con restricciones CCDL transiten las esclusas durante las horas de día, definidas según los parámetros de configuración del modelo.
- **Tamaño máximo de buques en las esclusas.** Se verificó que los buques que hacen esclusaje en *tandem* no sobrepasen las dimensiones máximas permitidas en las esclusas, expresadas en términos de la suma máxima de eslora.
- **Distancia mínima entre buques.** Se verificó que los buques mantengan una distancia mínima segura, según lo especificado en la configuración del modelo.

3.6.4 Validación de la capacidad y nivel de servicio

Una vez que todas las otras características del modelo fueran verificadas y validadas, el rendimiento histórico de un escenario fue comparado con el mismo escenario corrido en el modelo de simulación para asegurar una correlación significativa. Las variables más importantes de capacidad y nivel de servicio utilizadas fueron: la cantidad de tránsitos, tiempo en aguas del Canal, tiempo en tránsito y cantidad de buques en cola. La figura 47 muestra los resultados del proceso de validación para el AF 2002.

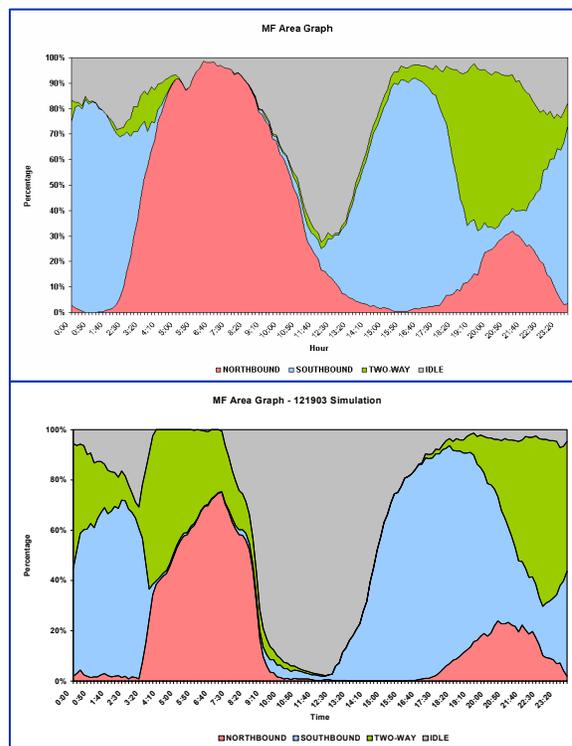


Figura 46 Comparación de los patrones de tráfico en las esclusas de Miraflores entre la información histórica y los resultados del modelo de simulación para el AF 2002

4 ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL CANAL

4.1 Capacidad del Canal en su configuración actual

4.1.1 Pronóstico de demanda para el Canal

Los estudios y modelos de demanda contratados por la ACP apuntan hacia una creciente demanda potencial por la ruta del Canal. Esta tendencia se complementa con el predominio del segmento de buques portacontenedores, que sirven la ruta entre el Noreste de Asia y la costa Este de los Estados Unidos. El Canal reconoce que esta ruta competidora del Canal hace posible un crecimiento robusto de la demanda, también para el Canal. Las causas de este crecimiento de demanda se deben tanto al volumen de carga previsto como a sus características de sostenibilidad a largo plazo.

En el AF 2005 el tráfico por el Canal alcanzó los 279 millones de toneladas CPSUAB. La proyección correspondiente a la demanda potencial del Canal indica que, en el caso más probable, el volumen de tráfico alcanzará un volumen de 525 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025, siempre y cuando el Canal pueda atender dicho volumen (ver figura 48)¹⁵. Por otro lado, el escenario optimista proyecta que el volumen de tráfico podrá ascender a 685 millones de toneladas CPSUAB. Por último, en el escenario pesimista, se estima que el volumen de tránsito ascendería a

442 millones de toneladas CPSUAB. Este crecimiento de la demanda potencial del Canal implica un aumento de los 12,648 tránsitos regulares de alto calado¹⁶. Este aumento partiría de la base de tránsitos anuales registrados en el AF 2005, hasta obtener cerca de 19,600 tránsitos en el AF 2025, en el escenario más

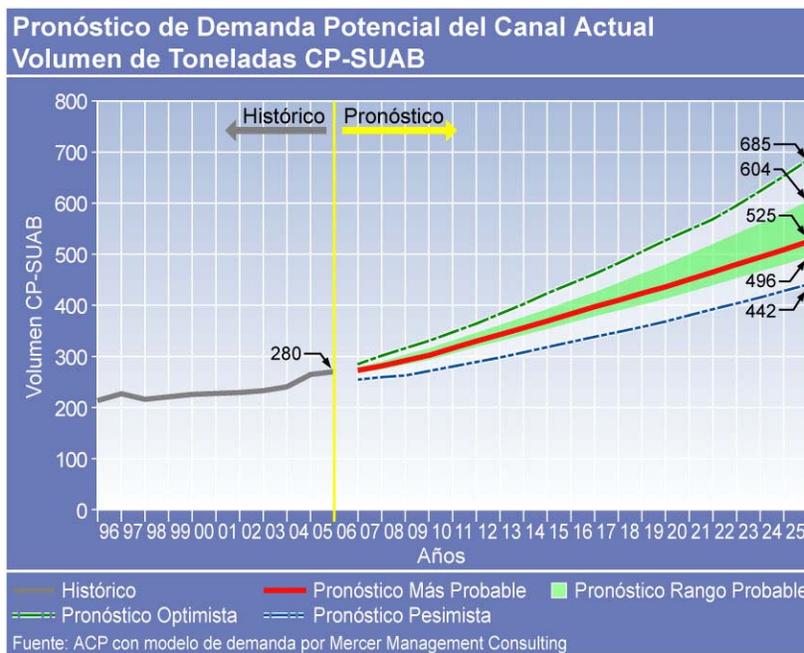


Figura 48 Se pronostica un crecimiento robusto en la demanda por el Canal de Panamá. En el caso más probable, la demanda actual de 280 millones de toneladas CPSUAB crecerá más del 85% en los próximos 20 años, hasta alcanzar 525 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025. El rango de demandas potenciales para el AF 2025 podrá variar entre 442 millones de toneladas CPSUAB para el caso más pesimista y 685 millones de toneladas CPSUAB anuales para el caso más optimista. La proyección de demanda más probable para el año 2025 se encuentra entre 496 y 604 millones de toneladas CPSUAB.

¹⁵ Proyecciones de demanda de las figuras 4-1 a 4-4 fueron realizadas con asistencia del modelo de demanda desarrollado por Mercer Management Consulting basado parcialmente en los estudios de mercado efectuados por Merge Global, Inc. Richardson Lawrie Associates, DRI / WEFA, Louis Berger Group, Inc., Fearnley Consultants A/S, Nathan Associates y Global Insight, Inc. entre 2001 y 2005.

¹⁶ Se estima que 14,035 embarcaciones transitaron por el Canal en el AF 2004, de las cuales 12,518 fueron buques comerciales y militares de alto calado y 1,517 fueron naves menores, principalmente de recreo. En el Plan Maestro "número de tránsitos" o "buques" se refiere a buques de alto calado con eslora de 38.1 metros (125') o más.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

probable. En el escenario optimista el Canal alcanzaría 24,300 tránsitos anuales, mientras que, en el escenario pesimista, apenas lograría 17,100 (ver figura 49). A su vez, el análisis de capacidad concluye que no podrá transitar la cantidad de buques que se pronostican, por el Canal, ni siquiera en las proporciones mínimas del escenario pesimista de demanda (ver sección 4.7).

Este crecimiento de la ruta por Panamá representa un aumento, en un lapso de 20 años, que excede en 50% el número de tránsitos y en más de 85%, del volumen de toneladas CPSUAB, que transitarán por el Canal. Estos datos señalan que existe una gran oportunidad de crecimiento para el Canal, en la demanda potencial que se ha identificado.

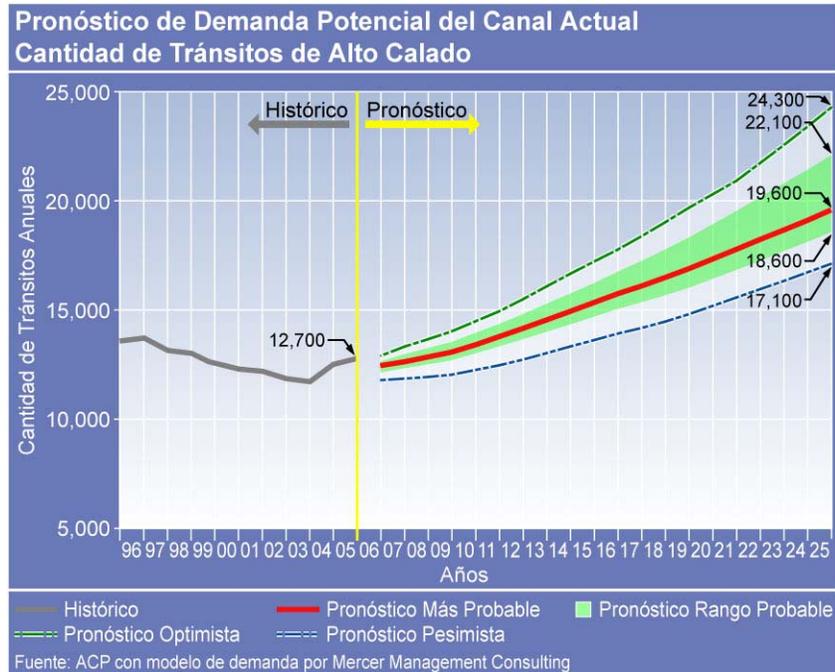


Figura 49 El pronóstico del escenario más probable indica que para el AF 2025 la demanda por el Canal sería de aproximadamente 19,600 tránsitos. El pronóstico en el escenario optimista más probable llega hasta cerca de 22,100 tránsitos anuales y la pesimista más probable llega a 18,600 tránsitos para el AF 2025.

4.1.2 Premisas del análisis de capacidad del Canal

Para ilustrar la configuración de los principales parámetros del Modelo de Simulación para el Canal Existente, se presenta las pantallas de configuración para el AF 2006, como ejemplo.

El Canal existente fue modelado sobre la base de las reglas y restricciones de navegación vigentes. La figura 50 muestra como se representaron las reglas que asignan códigos de restricción a los buques en base a su manga, eslora, calado, segmento de mercado, código de HML y código de PD.

CODE	Length		Beam		Draft		HML		PD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CCDL	0	900	91	95	0	39.51	D	D	Yes	Yes
CCDL	0	900	95	107	0	39.51	D	D	No	Yes
CCDL	900	965.1	0	107	0	39.51	N	D	No	Yes
DLCC	0	900	95	107	0	39.51	Y	Y	No	Yes
CC	0	900	95	107	0	39.51	C	C	No	Yes
CC	0	900	0	91	0	39.51	N	D	Yes	Yes
CR	0	900	80	91	38.01	39.51	N	D	No	Yes
CR	0	900	91	95	0	39.51	Y	Y	No	Yes
CR	0	900	91	95	0	39.51	D	D	No	No
CR	0	900	91	95	0	39.51	C	C	No	Yes

Figura 50 Pantalla de configuración de la asignación de códigos de restricción usada para modelar el Canal existente.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Para asignar correctamente los códigos de restricción, es necesario que los buques tengan previamente un código de HML y PD Asignado. La figura X muestra las tablas usadas para la asignación de estos códigos en el modelo del Canal existentes, al igual que para asignar los atributos de dirección, calado y reservación (ver figura 51).

CODE	Length		Beam		Draft		PD		Market Segment	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
D	800	10000	91	107	0	1000	No	Yes	Container	Vehicle Carriers
D	650	10000	0	107	0	1000	No	Yes	Passengers	Passengers
Inspect.	0	800	91	107	0	1000	No	Yes	Container	Vehicle Carriers
N	Assign this code to all vessels that do not qualify for any other restriction code									
Market Segment	PD	Northbound				Southbound				
		Draft Status		Booking Status		Draft Status		Booking Status		
Container	0	DISC(0.99,1,1,100)		DISC(1.0000, 0, 1, 1)		DISC(0.99,1,1,100)		DISC(1.0000, 0, 1, 1)		
Dry Bulk	0	DISC(0.88,1,1,100)		DISC(0.4576, 0, 1, 1)		DISC(0.99,1,1,100)		DISC(0.4380, 0, 1, 1)		
General Cargo	DISC(0.02,1,1,0)	DISC(0.93,1,1,100)		DISC(0.3585, 0, 1, 1)		DISC(0.88,1,1,100)		DISC(0.3778, 0, 1, 1)		
Others	DISC(0.02,1,1,0)	DISC(0.83,1,1,100)		DISC(0.4358, 0, 1, 1)		DISC(0.83,1,1,100)		DISC(0.4340, 0, 1, 1)		
Passengers	0	DISC(0.96,1,1,100)		DISC(1.0000, 0, 1, 1)		DISC(0.99,1,1,100)		DISC(1.0000, 0, 1, 1)		
Refrigerated	0	DISC(0.99,1,1,100)		DISC(0.7006, 0, 1, 1)		DISC(0.39,1,1,100)		DISC(0.7021, 0, 1, 1)		
Tankers	DISC(0.35,1,1,0)	DISC(0.52,1,1,100)		DISC(0.4536, 0, 1, 1)		DISC(0.89,1,1,100)		DISC(0.4543, 0, 1, 1)		
Vehicle Carriers	0	DISC(0.98,1,1,100)		DISC(0.8748, 0, 1, 1)		DISC(0.46,1,1,100)		DISC(0.9367, 0, 1, 1)		

Figura 51 Tabla de definición de reglas de asignación de código HML, código PD, estatus de carga y estatus de reservación para el Canal existentes.

Finalmente, la demanda del Canal es representada para cada año del horizonte de planificación a través de cuatro pantallas de configuración. La primera indica al modelo la cantidad de tránsitos anuales y su distribución por segmento (ver figura 52). La segunda indica al modelo como se distribuya la demanda anual de cada segmento según la estacionalidad mensual (ver figura 53).

Year #	Year	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers	Total	Total Yearly Traffic
1	2005	21.73%	25.33%	6.60%	6.61%	1.97%	17.78%	12.71%	7.25%	100.00%	12409
2	2006	21.73%	25.33%	6.60%	6.61%	1.97%	17.78%	12.71%	7.25%	100.00%	12409
3	2007									0.00%	
4	2008									0.00%	
5	2009									0.00%	
6	2010									0.00%	
7	2011									0.00%	
8	2012									0.00%	
9	2013									0.00%	
10	2014									0.00%	
11	2015									0.00%	
12	2016									0.00%	
13	2017									0.00%	
14	2018									0.00%	
15	2019									0.00%	
16	2020									0.00%	
17	2021									0.00%	
18	2022									0.00%	
19	2023									0.00%	
20	2024									0.00%	
21	2025									0.00%	

Figura 52 Pantalla de configuración de la cantidad de tránsitos en el año y su distribución por segmento de mercado.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

	Northbound	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers
N O R T H B O U N D	Oct	8%	10%	8%	8%	14%	6%	8%	9%
	Nov	8%	9%	9%	7%	15%	6%	8%	9%
	Dec	9%	8%	9%	11%	13%	9%	8%	9%
	Jan	7%	9%	10%	7%	14%	9%	8%	9%
	Feb	8%	6%	9%	10%	14%	9%	6%	9%
	Mar	8%	8%	8%	9%	11%	13%	9%	9%
	Apr	8%	8%	8%	8%	10%	12%	9%	9%
	May	8%	10%	9%	9%	1%	9%	10%	8%
	Jun	9%	8%	6%	8%	1%	8%	9%	8%
	Jul	9%	9%	9%	9%	0%	7%	9%	8%
	Aug	10%	9%	7%	7%	0%	6%	9%	7%
	Sep	9%	7%	7%	8%	7%	6%	9%	7%
	Total NB	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
S O U T H B O U N D	Oct	8%	8%	10%	9%	3%	5%	8%	9%
	Nov	8%	9%	8%	7%	14%	6%	7%	10%
	Dec	8%	9%	11%	9%	15%	9%	8%	9%
	Jan	9%	10%	9%	9%	21%	11%	7%	9%
	Feb	7%	10%	6%	7%	11%	11%	7%	7%
	Mar	8%	9%	8%	7%	15%	13%	9%	9%
	Apr	8%	8%	8%	8%	11%	11%	8%	7%
	May	8%	8%	8%	10%	6%	7%	9%	9%
	Jun	9%	7%	8%	10%	3%	9%	9%	8%
	Jul	9%	9%	7%	7%	0%	6%	10%	10%
	Aug	9%	7%	10%	9%	1%	7%	9%	7%
	Sep	9%	6%	8%	7%	1%	6%	8%	6%
	Total SB	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figura 53 Pantalla de configuración de la estacionalidad de tránsitos en el año por segmento de mercado y por dirección.

Finalmente, dos pantallas adicionales indican como se distribuyen los distintos tamaños de buques dentro de cada segmento y como se escogen buques de acuerdo a estas distribuciones (ver figuras 54 y 55).

Year #	Year	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers
1	2005	DISC(0.039)	DISC(0.011)	DISC(0.005)	DISC(0.010)	DISC(0.062)	DISC(0.013)	DISC(0.005)	DISC(0.001)
2	2006	DISC(0.039)	DISC(0.011)	DISC(0.005)	DISC(0.010)	DISC(0.062)	DISC(0.013)	DISC(0.005)	DISC(0.001)
3	2007	DISC(0.039)	DISC(0.011)	DISC(0.005)	DISC(0.010)	DISC(0.062)	DISC(0.013)	DISC(0.005)	DISC(0.001)
4	2008	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2009	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2010	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2011	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2012	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2013	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2014	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2015	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2016	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2017	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2020	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2021	0	0	0	0	0	0	0	0
18	2022	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2024	0	0	0	0	0	0	0	0
21	2025	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 54 Pantalla de configuración de la distribución de tránsitos por rangos de tamaño de buques por segmento de mercado.

Upper Dimension Limits (ft)		Panamax	Post-panamax
LOA		966	1200
Beam		107	180
Draft		39.5	46

Internal N	NAME	Market Segm	LR	BR	SR	Leng	Beam	Laden Draft	Ballast Draf	PCUMS	ACP I.T
1065	ESMERALDA	Refrigerated	4	11	164	498.65	75.56	Tri(24.26,15,28.92)	17.87	9059	809021
1066	ESMERALDAS	Tankers	6	15	230	579.72	91.96	Tri(33.17,33.17,33.17)	24.25	14028	736350
1067	ESPERANZA	Tankers	7	17	263	688.98	106	Tri(20,24.67,33.5)	12.34	26685	739871
1068	ESPERIS P	Dry Bulk	8	17	264	738.52	105.97	Tri(39.42,39.42,39.42)	27.71	30261	354244
1069	ESSCO HOPE	General Cargo	3	5	67	348.16	48.74	Tri(24.25,24.58,24.92)	15.75	2680	346683
1070	ESSEN EXPRESS	Container	10	17	266	964.67	106.14	Tri(30.83,37.43,39.33)	27.69	46576	3000409
1071	ESTABLE DUCKLING	Dry Bulk	8	17	264	731.53	105.75	Tri(39.42,39.42,39.42)	27.10	27275	741990
1072	BREGEN	Tankers	8	17	264	796.59	105.77	Tri(37.75,38.54,39.33)	29.17	29280	322504
1073	ETERNAL ACE	Vehicle Carriers	7	17	263	654.53	105.94	Tri(24.92,26.75,28.58)	25.92	56228	295973
1074	GREAT LUCK	Dry Bulk	8	17	264	737.83	105.77	Tri(39.5,39.5,39.5)	28.30	31163	807605
1075	ETERNITY	Tankers	7	14	215	609.91	90.09	Tri(36.75,36.75,36.75)	25.25	22630	288489
1076	EUPEN	Tankers	6	13	198	590.29	89.99	Tri(36.34,37.92,39.50)	23.92	19944	811378
1077	EUROPEAN EMERALD	Vehicle Carriers	6	15	230	574.67	94.65	Tri(26.58,27.42,27.83)	24.67	37549	266116
1078	PACIFIC HIGHWAY	Vehicle Carriers	6	17	262	590.52	105.74	Tri(26.58,26.58,26.58)	19.68	47959	6000340
1079	EVANS	Refrigerated	3	7	99	386.48	58.48	Tri(20.92,20.92,20.92)	16.08	4264	759619
1080	HEPHAESTUS	Dry Bulk	8	17	264	738.06	105.94	Tri(39.33,39.33,39.33)	29.52	33052	6000918
1081	EVER BLESSING	Dry Bulk	8	17	264	753.77	105.68	Tri(36.67,36.67,36.67)	27.70	33112	269751
1082	EVER BLOSSOM	Dry Bulk	8	17	264	738.19	105.77	Tri(39.25,39.25,39.25)	28.31	31280	802174
1083	EVER DAINTY	Container	10	17	266	964.99	106	Tri(37.17,38.12,39.25)	26.45	45229	373508
1084	EVER DECENT	Container	10	17	266	964.99	106.04	Tri(37.08,38.56,39.5)	26.45	45229	375055

Figura 55 Una sección de la tabla de buques reales que han transitado por el Canal hasta el año 2002 utilizado para todas las corridas de simulación.

4.1.3 Frontera de capacidad del Canal

Como ha sido determinado en las secciones anteriores, dos aspectos que más dificultan el análisis de la capacidad del Canal son: (1) que la capacidad se define en función de múltiples variables, tales como la cantidad, características y dimensiones de los buques que desean transitar y (2) el tiempo de servicio que estos buques requieren. Es decir, la capacidad del Canal es sensible a la mezcla de los buques y al nivel de servicio que estos requieren. Por eso, el análisis de las variables que influyen sobre la capacidad del Canal debe hacerse en forma integral, ya que un análisis individual o independiente de las mismas resultaría insuficiente para definir la capacidad sostenible y ejecutable del Canal.

Para evaluar el impacto de la mezcla de buques y otros factores que influyen en la capacidad del Canal de Panamá, en forma integral, la ACP utiliza el Modelo de Simulación de Capacidad del Canal de Panamá¹⁷. La ACP proyecta y analiza los tránsitos futuros del Canal con esta herramienta, utilizando escenarios que toman en cuenta la variabilidad de la demanda, la introducción de cambios de infraestructura y de modos de operación, y las condiciones climatológicas. Con esta herramienta se ha desarrollado una visión integral, práctica y sistémica de la

¹⁷ El Modelo de Simulación de Capacidad del Canal de Panamá fue desarrollado bajo contrato por Rockwell Software de los Estados Unidos, en asociación con Paragon Consulting Solutions de Brasil. El modelo, que se basa en el programa de simulación Arena 8.01, fue validado con información histórica del Canal y utiliza técnicas de simulación de colas y distribuciones probabilísticas de tiempos de esclusaje y navegación para estimar la capacidad del Canal bajo distintos escenarios.

máxima capacidad sostenible del Canal, analizada en función de los niveles de servicio aceptables para los usuarios. Esto permitiría que la ruta por el Canal se mantenga competitiva en comparación con las alternativas más atractivas dentro de cada segmento de mercado.

Anteriormente, se definió la capacidad máxima sostenible del Canal como el máximo volumen de tráfico que el Canal puede atender en forma constante, ininterrumpida y predecible, con un servicio rápido, confiable y seguro. Más allá de esta capacidad máxima y sostenible el Canal no podrá mantener niveles de servicio aceptables y brindará, en forma recurrente, un servicio inaceptable a un número cada vez mayor de usuarios. Esto resultará en el deterioro de la competitividad del Canal y la pérdida de clientes. Este límite máximo sostenible de utilización del Canal se define como la frontera de capacidad del Canal y es diferente para cada mezcla de tamaños de buques.

La frontera de capacidad se identifica como una relación entre el volumen de tráfico medido en toneladas CPSUAB y la mezcla de tamaños y tipos de buques que transitan por el Canal. En este sentido, los buques que transitan por el Canal se han clasificado en dos grupos: (1) buques con alto grado de restricciones operacionales, que usualmente corresponden a los buques más grandes, y (2) buques con menor grado de restricciones operacionales, que corresponden a buques de menor tamaño. Como ya se ha explicado, los buques más grandes, mayores de 27.7 metros (91'), utilizan más recursos y capacidad del Canal y también representan más volumen de toneladas CPSUAB. Los buques menores, con casi 27.7 metros (91') de manga, utilizan menos recursos y capacidad del Canal, representan menor volumen CPSUAB y, por consiguiente, también generan menores ingresos por buque para el Canal.

Los buques con alto grado de restricciones operacionales generan un mayor impacto sobre la capacidad del Canal, ya que tienen que transitar por algunos cauces, como el Corte Culebra, de día y en una sola dirección, o sea que no pueden cruzarse en ese cauce con ningún otro buque en dirección opuesta. Adicionalmente, algunos buques con alto grado de restricciones operacionales tienen que transitar por las esclusas de día, lo que limita la flexibilidad operacional disponible de la capacidad del Canal. En la figura 56 se diagrama la

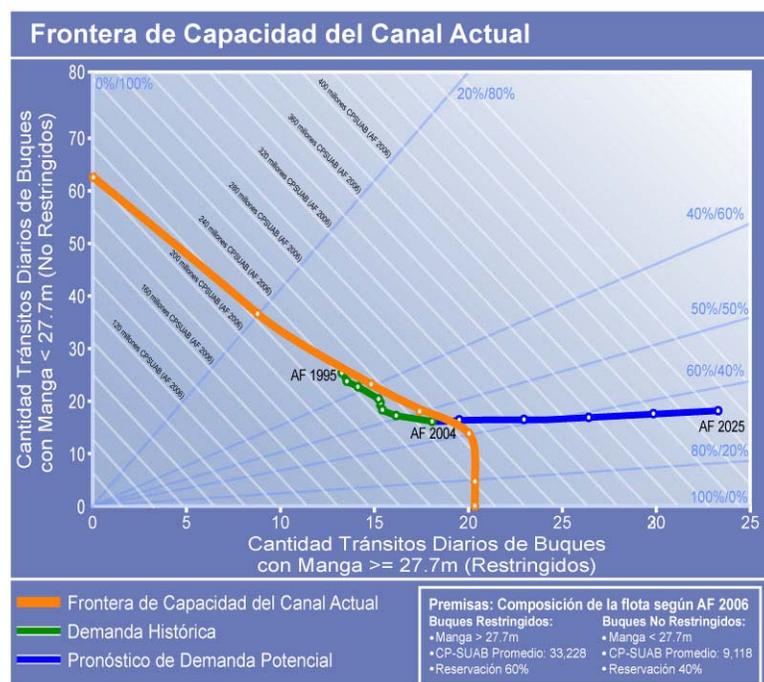


Figura 56 La línea naranja indica la frontera de capacidad del Canal con variadas mezclas de buques. La línea verde indica cómo ha evolucionado la demanda de tránsitos con respecto a la frontera de capacidad en los últimos ocho años. El Canal puede aprovechar su máxima capacidad cuando la mezcla de buques está compuesta por 60% de buques grandes y 40% de buques de menor tamaño, que resultaría en un volumen de tránsito de aproximadamente 280 a 290 millones de CPSUAB anuales.

frontera de capacidad del Canal respectiva a toda la gama de mezclas de tamaños de buques. Esta gráfica indica el volumen máximo CPSUAB que pudiese transitar, en forma sostenible con cada proporción de mezcla de buques grandes y pequeños.

El análisis respecto a la frontera de capacidad del Canal, ilustrado en la figura 57, concluye que, el Canal podría transitar de forma sostenible un promedio ligeramente superior a 21,900 buques por año ó 60 buques diarios, si todos los buques fueran pequeños y con pocas restricciones operacionales. No obstante, esta mezcla obtendría únicamente un volumen entre 195 y 205 millones de toneladas CPSUAB anuales, aunque maximizara el número de tránsitos. En contraste, si todos los buques fueran grandes y, por consiguiente, tuvieran un alto grado de restricciones operacionales, el Canal podría transitar en forma sostenible un promedio de apenas 20 buques diarios ó 7,300 buques por año. Sin embargo, estos buques, debido a su mayor tamaño, transitarían un volumen calculado entre 245 y 255 millones de toneladas CPSUAB anuales. En ninguno de estos dos extremos maximizaría el Canal sus ingresos. En otras palabras, el Canal obtiene menos ingresos si maximiza la cantidad de tránsitos o si maximiza el tamaño de los buques que lo transitan. Inversamente, sus ingresos alcanzarán su punto máximo, o frontera de capacidad, cuando transite una mezcla de buques ajustada a su capacidad.

De este análisis de frontera de capacidad se desprende que ninguno de los dos grupos extremos de mezclas de buques –todos grandes o todos pequeños- representa la capacidad máxima sostenible del Canal, en términos de volumen de toneladas CPSUAB o de ingresos para el Canal. Esto se debe en parte a que la relación entre tránsitos y volumen CPSUAB es indirecta y a que existe una subutilización de la capacidad disponible, causada por restricciones operacionales y de infraestructura.

El análisis de frontera de capacidad establece también que la capacidad máxima sostenible del Canal existente, en términos de volumen CPSUAB, se obtendrá con una mezcla de buques de 40% aproximadamente. Esta mezcla de buques, no obstante, deberá agrupar a buques pequeños (de manga menor de 27.7 metros), con pocas o ninguna restricción operacional con 60% de buques grandes (de manga mayor o igual de 27.7 metros), con mediano grado de restricciones operacionales (DLCC)¹⁸, tal como se ilustra en la figura 57. Esta mezcla de buques garantizaría un volumen de tránsitos por el Canal, estimado entre 280 y 290 millones de toneladas CPSUAB anuales, de forma sostenible. Esto equivale a un promedio de 33 a 35 tránsitos diarios aproximadamente (de 18 a 20 buques grandes, con mediano grado de restricciones operacionales y 13 a 15 buques pequeños, con pocas o ninguna restricción operacional). Esto representa

Frontera de Capacidad del Canal Actual			
Porcentaje de Buques No-Restringidos (Manga < 27.7m)	Porcentaje de Buques Restringidos (Manga ≥ 27.7m)	Capacidad Máxima del Canal	
		Número Promedio de Tránsitos por año	Toneladas Anuales (CPSUAB)*
100%	0%	21,900	195 - 205
80%	20%	16,060	215 - 220
60%	40%	13,505	250 - 260
50%	50%	12,775	265 - 275
40%	60%	12,045	280 - 290
20%	80%	9,125	260 - 265
0%	100%	7,300	245 - 250

*En Millones

Figura 57 La tabla muestra que, con una mezcla de 40% de buques de menor tamaño y 60% de buques de mayor tamaño, se maximiza la utilización de la capacidad del Canal en términos de volumen CPSUAB.

¹⁸ Buques que pueden transitar las esclusas las 24 horas, pero que tienen que transitar por el Corte Culebra de día, en una sola vía.

un máximo de tránsitos anuales, estimado entre 12,500 y 12,800 buques de alto calado¹⁹.

Los resultados del análisis señalan la considerable incidencia de la mezcla de buques sobre la capacidad del Canal. En este sentido, el análisis concluye que no existe correlación directa ni simple entre cantidad de tránsitos y volumen de tonelaje CPSUAB. Esta falta de correlación es más evidente cuando la mezcla cambia a buques más grandes con mayores restricciones.

4.1.4 Impacto de la demanda potencial en la capacidad del Canal

Como se determinó en la primera parte de este capítulo, la proyección de demanda potencial para el Canal, en el escenario más probable, prevé un volumen de tráfico de aproximadamente 525 millones de toneladas CPSUAB para el AF 2025. Esto equivale a 19,600 tránsitos aproximadamente (ver figuras 48 y 49). Esta sección analiza la capacidad del Canal para manejar el volumen de demanda pronosticado y, si no la tuviese, determinará en qué año llegaría el Canal a su máxima utilización sostenible.

Para determinar la capacidad máxima sostenible del Canal es preciso definir el límite de la capacidad. En el Canal se considera que la máxima capacidad sostenible se alcanzará y sobrepasará cuando la calidad del servicio sea inferior a lo esperado por los usuarios. A su vez, la calidad del servicio determina la competitividad de la ruta. La lógica de este argumento se fundamenta en la premisa de que los usuarios buscarían alternativas al Canal, en caso de que éste brindara con frecuencia niveles de servicio poco competitivos.

Como se ha explicado antes, el Canal mide el nivel de calidad de servicio en función del tiempo que el buque permanece en aguas del Canal. Esta medida suma el tiempo de espera con el tiempo de tránsito, a cuyo indicador se le denomina tiempo en aguas del Canal (TAC). La experiencia canalera de la ACP ha determinado que este indicador resulta una excelente medida de la calidad de servicio porque tiene la capacidad de evaluar también la confiabilidad del mismo, al considerar la dispersión y variabilidad del servicio del Canal.

Estándar de Nivel de Servicio para el Análisis de Capacidad del Canal			
Segmento de Mercado	Tiempo de Servicio Bueno	Tiempo de Servicio Marginal	Tiempo de Servicio Deficiente
Pasajeros	Menos de 18 horas	Entre 18 y 24 horas	Más de 24 horas
Contenedores	Menos de 24 horas	Entre 24 y 36 horas	Más de 36 horas
Refrigerados	Menos de 36 horas	Entre 36 y 48 horas	Más de 48 horas
Porta Vehículos	Menos de 36 horas	Entre 36 y 48 horas	Más de 48 horas
Graneles Secos	Menos de 48 horas	Entre 48 y 72 horas	Más de 72 horas
Tanqueros	Menos de 48 horas	Entre 48 y 72 horas	Más de 72 horas
Carga General	Menos de 48 horas	Entre 48 y 72 horas	Más de 72 horas
Otros	Menos de 48 horas	Entre 48 y 72 horas	Más de 72 horas

Figura 58 El Canal de Panamá aplica distintos criterios para definir el nivel de servicio que reciben sus clientes en base a los diferentes segmentos de mercado. Por ejemplo, un TAC de menos de 24 horas es considerado competitivo, mientras que un TAC de más de 36 horas es considerado inaceptable, para un buque porta contenedores.

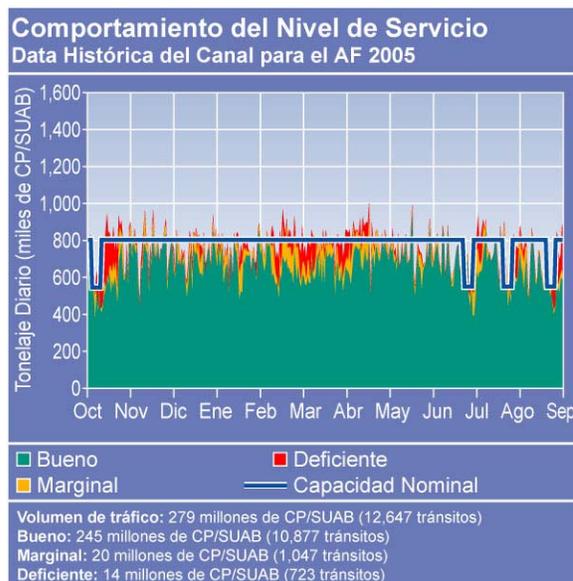


Figura 59 En el AF 2005 se observa indicio del deterioro inminente del nivel de servicio producto de que el Canal se acerca rápidamente a su máxima capacidad. De la totalidad del volumen de tráfico, más del 15% no obtuvo un servicio competitivo.

¹⁹ No incluye buques de menos de 38.1 metros (125') de eslora que normalmente no usan locomotoras para sus esclusajes.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

El Canal da seguimiento continuo al comportamiento de los segmentos de mercado que atiende y ajusta su medida de calidad de servicio de conformidad con el entorno económico en que se desenvuelve cada segmento. La figura 58 indica los valores de tiempo en aguas del Canal (TAC) utilizados para calificar los niveles de servicio de cada segmento de mercado como bueno (competitivo), malo (no competitivo) e inaceptable. En términos generales, estos tiempos enmarcan un esquema confiable de calidad de servicio para cada segmento de mercado. El servicio competitivo se define como el nivel de servicio que los clientes necesitan recibir, con un alto grado de confiabilidad, para garantizar que la ruta del Canal continúe siendo atractiva y preferida por ellos. Un servicio malo o no competitivo equivale a un nivel de servicio que los clientes podrían aceptar esporádicamente. Un servicio de esta calificación generaría la necesidad de los clientes por tomar en consideración a rutas alternativas al Canal de Panamá. Un servicio inaceptable corresponde a un nivel de servicio intolerable por los clientes, de forma recurrente, ocasionando la migración de usuarios hacia las alternativas existentes al Canal. A la larga, conllevaría a la utilización de nuevas alternativas que pudieran surgir.

El análisis de frontera o límite de capacidad, utilizado en la sección anterior, es una herramienta valiosa para identificar y comprender el efecto general de las diferentes mezclas de buques en la capacidad del Canal. Además, esta evaluación permite establecer un marco conceptual de análisis.

El estudio de capacidad del Canal parte de un desglose detallado de los tránsitos: por tamaño, tipo de buque y segmento de mercado. Y, para lograrlo, se refiere a la demanda potencial identificada para el Canal (ver figuras 48 y 49). Este desglose ha sido la base para configurar una mezcla de buques por día, mes y año, con un alto nivel de detalle. Por su parte, la demanda potencial se utilizó también para definir la configuración de la mezcla de buques en cada segmento de mercado, así como la evolución de esta mezcla, a lo largo del horizonte de planificación del escenario de demanda. Como paso siguiente, se realizó un análisis de capacidad y nivel de servicio, para cada año, del pronóstico de demanda y se estimó el desempeño del Canal manejando cada cantidad y mezcla de buques. Los resultados de este análisis de capacidad se utilizaron para determinar si el Canal podrá manejar la demanda de tránsitos del pronóstico, manteniendo niveles de servicio aceptables.

A fin de convalidar los análisis de capacidad del Canal para las proyecciones de la demanda potencial, la ACP realizó el mismo ejercicio usando datos históricos como referencia. La figura 59 muestra los resultados de aplicar los criterios de servicio a los resultados reales del AF 2005. Durante ese año, 12,647 buques transitaron por el Canal con un volumen total de 279 millones de toneladas CPSUAB. Los resultados del análisis muestran que en el AF 2005 el Canal

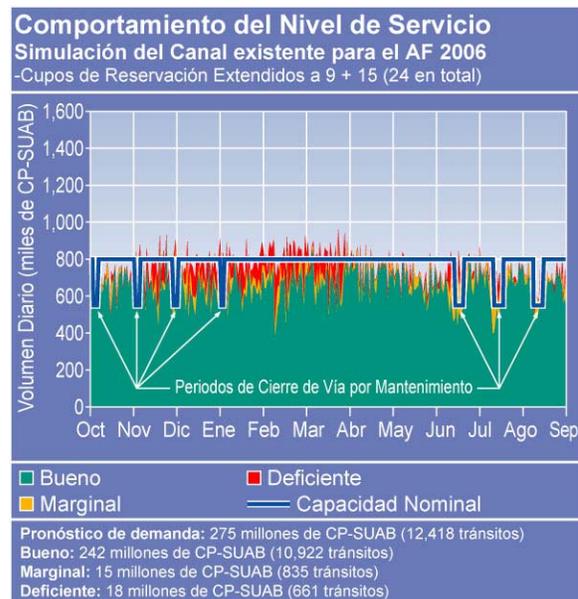


Figura 60 Según las proyecciones del modelo de capacidad, el deterioro en el nivel de servicio continuará a medida que aumenta la demanda. Aunque la cantidad de trabajos de mantenimiento se reducirá en más de 40% para el AF 2006, el volumen de tráfico que no recibirá un servicio competitivo continuará por encima del 13%.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

brindó niveles de servicio marginales y deficientes a cerca de 1,500 buques, lo que representó un volumen de 33 millones de toneladas CPSUAB o casi 12% del volumen transitado ese año. No obstante, la figura 57 indica que un número relevante de los buques que no obtuvieron buen servicio, transitaron durante alguno de los cinco cierres de vías de las esclusas efectuados para mantenimiento durante ese año.

En la sección anterior se discutió cómo repercuten los cierres de vía sobre la capacidad y la expectativa de servicio del Canal; cómo estos cierres ejercen presión en los usuarios en el sentido de que recurran más al sistema de reservaciones. A partir del AF 2006, se estima que los cierres de vía para mantenimiento programado no excederán 35 días al año en total y que ningún cierre programado, en particular, excederá siete días de duración.

El mismo análisis se aplicó a cada uno de los años del horizonte de planificación, hasta el AF 2025. El objetivo era determinar así la variabilidad del nivel de servicio, en la medida en que aumente la demanda. En las figuras 60, 61 y 62 se describen los resultados del análisis de capacidad, para tres años representativos, dentro del horizonte de planificación. Este análisis parte del supuesto de que el Canal continuará funcionando, sin mejoras significativas en su infraestructura, sin cambios a sus reglas de operación y de acuerdo con el aumento de demanda pronosticado para el caso más probable. Además, asumió la premisa del incremento en el número de cupos de reservación para satisfacer la creciente demanda por este servicio.

En este sentido, el análisis anticipó que el número de cupos de reservación crecería gradualmente, en la medida en que aumentara la demanda. De esta manera, el análisis explica las siguientes cifras en las reservaciones de cupo para transitar por el Canal de Panamá: de 21 cupos actuales a 24 cupos para el AF 2006; de allí a 27 cupos en el AF 2010 y, finalmente, 29 cupos en el AF 2015²⁰.

Para el AF 2006 se estima una demanda probable de 12,400 tránsitos con un volumen de 275 millones de toneladas CPSUAB. Se presume que los trabajos de mantenimiento se habrán reducido entonces a un total de 35 días de cierre de vía al año y que los cupos de reservación habrán aumentado a 27 en el AF 2006. No obstante, a pesar de lo anterior, esta proyección estima que el volumen total de tráfico que recibe un servicio no competitivo se mantendrá a niveles similares a los del AF 2005 (ver figura 60). Peor aún, este análisis señala que más de 200 tránsitos, equivalentes a 6 millones de toneladas CPSUAB, experimentarán tiempos de espera que rebasan los siete días, lo que representa un servicio francamente deficiente.

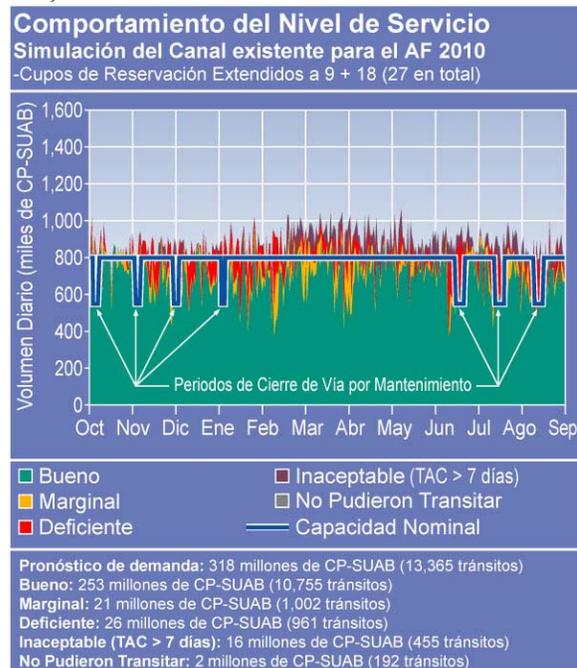


Figura 61 Para el AF 2010, los niveles de servicio alcanzarán niveles críticos. El análisis de capacidad predice que, para este año, menos del 20% del volumen de tráfico proyectado obtendría un nivel de servicio competitivo. Además, más del 10% del volumen de carga proyectado obtendría niveles de servicio inaceptables.

²⁰ Los incrementos en los cupos de reservación tienen que ser acompañados por incrementos en la capacidad del sistema.

La mayoría de los buques que reciban servicio marginal o deficiente durante el AF 2006, transitarán durante los meses de mayor demanda – de febrero a mayo – y no durante los cierres de vía de las esclusas. Esto indica que, a partir del AF 2006, el Canal no tendrá holgura suficiente para manejar los periodos de demanda pico. Al mismo tiempo, se predice que, a partir del AF 2006, la cantidad de clientes que recibirán servicio no competitivo o deficiente aumentará exponencialmente a medida que la demanda se incremente.

El comportamiento de la capacidad descrito en el párrafo anterior se hace evidente cuando se analizan los resultados de los años subsiguientes. En el AF 2010, por ejemplo, se proyecta una demanda potencial de aproximadamente 318 millones de toneladas CPSUAB, con 13,400 tránsitos (ver figura 61). Ese mismo año, 62 millones de toneladas CPSUAB recibirán un servicio marginal o deficiente. Este mal servicio equivale a casi 2,300 tránsitos en rendimiento y representa aproximadamente 20% del volumen total de la demanda. Esto equivale a un aumento de casi 60% en el volumen de carga que no recibirá buen servicio, comparativamente con el AF 2005. Además, habrá unos 4 millones de toneladas CPSUAB, o el equivalente a casi 300 tránsitos, que no podrán transitar por el Canal debido al congestionamiento del Canal, ocasionado por las

largas colas de buques que harán los tiempos de espera muy largos. Para paliar temporalmente esta insuficiencia de capacidad, el Canal deberá aprovechar al máximo la poca holgura operacional que le quede, de tal forma que elimine los últimos cuellos de botella que queden en el sistema. En secciones posteriores plantearemos un programa de propuestas específicas para lograr este objetivo.

Este cuadro empeora, todavía más, en las proyecciones correspondientes al AF 2015. En efecto, las proyecciones de la ACP estiman que la demanda probable para ese año alcanzará un volumen de 385 millones de toneladas CPSUAB que equivalen a casi 15,300 tránsitos. Durante este año, el análisis de capacidad indica que el volumen de tráfico que no recibirá buen servicio aumentará a 126 millones de toneladas CPSUAB, correspondientes a cerca de 4,300 tránsitos. Además, se ha calculado en cerca de 1,100 los buques que no podrán transitar por el Canal, equivalentes a 34 millones de toneladas CPSUAB (ver figura 62).

Al comparar las proyecciones del AF 2010 y del AF 2015 se observa que, en la medida en que se incremente la demanda y se excedan los volúmenes que el Canal pueda manejar sosteniblemente, el nivel de servicio se deterioraría inevitablemente. En este sentido, podrán transitar por el Canal cerca de 256 millones de toneladas CPSUAB con servicio competitivo en el AF 2006. No obstante, en el AF 2015, sólo podrían transitar 225 millones de toneladas CPSUAB con este nivel de servicio. El mismo análisis indica que la falta de

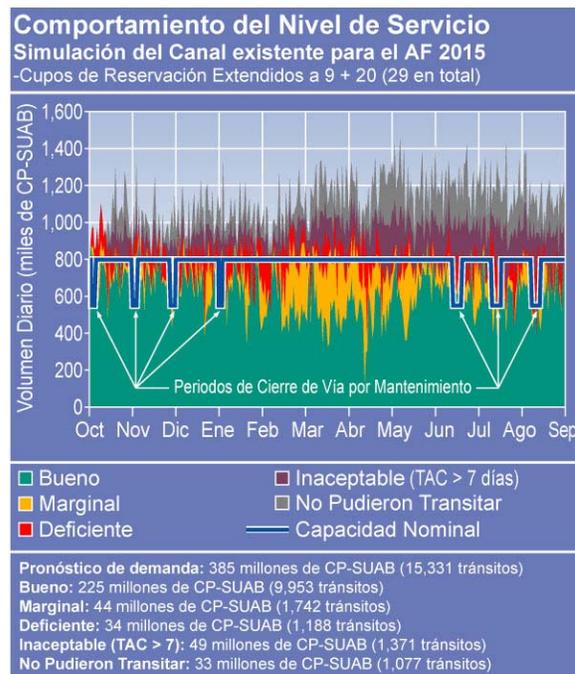


Figura 62 Para el AF 2015 se proyecta que el Canal brindaría niveles de servicio competitivo a menos del 60% del volumen de tráfico proyectado. Además, habría más de 1,000 buques que no podrían transitar debido a los largos tiempos de espera.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios

capacidad no sólo incide sobre el volumen, sino que también afecta adversamente el nivel de servicio a los usuarios, deteriorándolo.

Por consiguiente, el escenario de demanda potencial más probable del análisis de capacidad establece que el Canal existente en su configuración actual sólo podrá brindar niveles de servicio aceptables y competitivos para la mayoría de sus clientes, hasta llegar a un volumen entre 280 a 290 millones de toneladas CPSUAB anuales. Estas cifras equivalen a 12,600 y 12,800 tránsitos por año. De acuerdo con este escenario de pronóstico de demanda más probable, el Canal alcanzará los volúmenes mencionados, entre el AF 2009 y el AF 2010 (ver figura 63). En caso de que el Canal alcance estos volúmenes, su nivel de servicio decaería significativamente, en forma acelerada, con cada aumento en la demanda. Por ejemplo, si se extendiera este análisis, bajo el presupuesto de que los usuarios tolerarían indefinidamente el deterioro de servicio pronosticado, el Canal brindaría un servicio competitivo al 30% de la demanda probable solamente, en el AF 2025.

El análisis infiere que el Canal funciona hoy a más del 93% de su máxima capacidad sostenible. Esta consideración se fundamenta en (1) la capacidad máxima sostenible del Canal, estimada en base a 280 y 290 millones de toneladas, (2) en el tráfico del año 2005 de 12,647 tránsitos, equivalentes a un volumen de 279 millones de toneladas CPSUAB, y (3) en el comportamiento y experiencia del Canal durante el AF 2006. Este alto porcentaje de utilización del Canal señala la urgencia notoria de realizar mejoras al Canal, de corto y mediano plazo, que le permitan continuar sirviendo adecuadamente a sus clientes, al mismo tiempo que mantener su posición competitiva como ruta estratégica atractiva para el transporte marítimo internacional. Actualmente, no hay evidencia de que se esté desviando la carga que transita el Canal hacia rutas competidoras, por causa del deterioro del servicio. Sin embargo, anticipamos que esta situación cambiaría drásticamente si el Canal excediera el umbral o frontera de calidad competitiva de servicio, lo cual sucedería, inevitablemente, entre los años fiscales 2007 y 2008, según nuestras estimaciones, dadas las condiciones y características del Canal

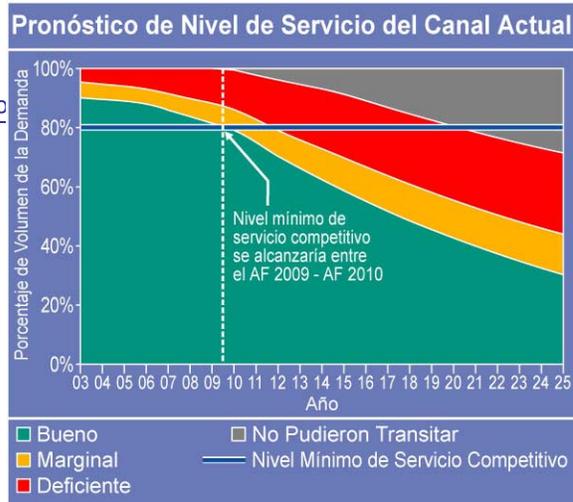


Figura 63 Al analizar los resultados del análisis de capacidad se observa que el Canal llegará a su capacidad máxima sostenible entre los años fiscales 2009 y 2010.

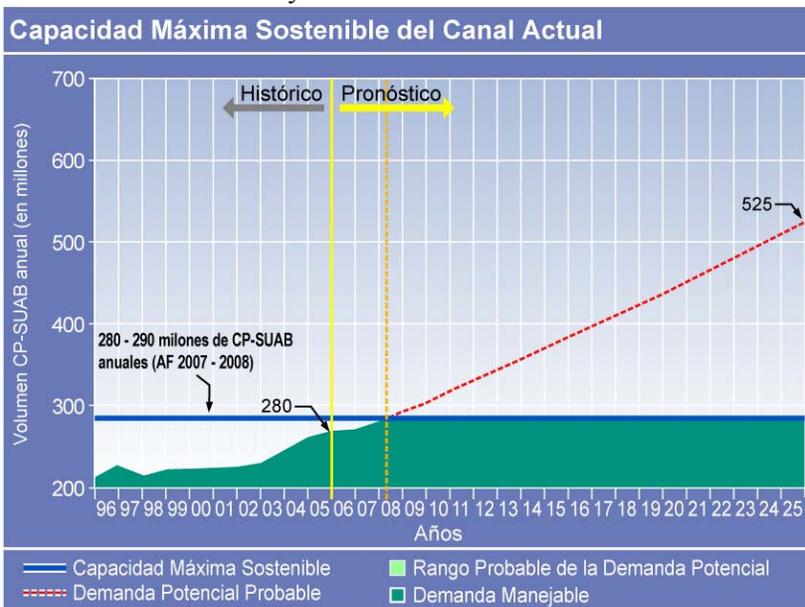


Figura 64 Se observa en la gráfica que después del 2008 el volumen de tráfico se mantendría estable a un máximo de entre 280 y 290 millones de toneladas CPSUAB, mientras que la demanda potencial continuaría creciendo sin poder ser capturada por el Canal.

Las proyecciones de la demanda potencial, correspondientes al escenario más probable, indican que el volumen de tráfico por el Canal podrá alcanzar 525 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025. Esto representa un incremento de 225 millones de toneladas CPSUAB anuales, equivalente a un aumento mayor a 80% del volumen de tráfico, que excede a la capacidad máxima estimada para el Canal (ver figura 64). El programa de inversiones y mejoras a corto plazo, propuesto en el Plan Maestro para el Canal, tiene como objetivo captar la mayor parte de esta demanda potencial, aumentando el rendimiento del Canal, con el incremento de su capacidad al máximo posible mediante la optimización del sistema existente. A largo plazo, se propone aumentar la capacidad del Canal mediante la adición de un Tercer Juego de Esclusas.

4.2 Estrategias para optimizar la capacidad del Canal

La estrategia operacional y de inversiones para lograr el objetivo de maximizar la capacidad del Canal consiste en resolver las principales restricciones que la infraestructura o el régimen operativo imponen a la plena utilización del sistema de tránsito. También incluye implementar soluciones que permitan maximizar el uso de los activos existentes, específicamente de las esclusas. Se proponen las siguientes estrategias para lograr este objetivo:

- Aprovechar la capacidad nocturna disponible de las esclusas y equilibrar la utilización diurna con la nocturna.
- Incrementar la utilización de las esclusas del lado Pacífico.
- Proveer más calado para aumentar el valor de la ruta por el Canal, de tal forma que se pueda transportar más carga con menos tránsitos.
- Optimizar, flexibilizar y agilizar la programación de los buques para reducir las ineficiencias inherentes a la variabilidad de la mezcla de buques.
- Reducir el tiempo de ciclo del tránsito por las esclusas de Gatún.
- Flexibilizar y hacer más seguro el tránsito por el Corte Culebra.
- Reducir los riesgos de interrupción de tránsito por crecidas del río Chagres.
- Incrementar el aprovechamiento de la capacidad de almacenamiento de agua del lago Gatún.

La ejecución integral de estas estrategias garantizará al Canal la suficiente capacidad para operar con niveles de servicio competitivos a sus usuarios hasta el AF 2012. El programa de aumento de capacidad que se propone en este capítulo se ha concebido para realizar, efectivamente, estas estrategias. Cada proyecto, por sí sólo, aporta al Canal su cuota de capacidad, en alguna medida. No obstante, lo que permitirá el tránsito de 50 millones de CPSUAB adicionales al año por el Canal (equivalentes a casi dos tránsitos más al día y cerca de 500 tránsitos más al año) será la aplicación conjunta e integral de todos estos proyectos

En el Capítulo 4, se analizaron los principales factores que limitan la capacidad del Canal en forma general. Algunos de estos factores, como el aumento en el tamaño de los buques, escapan de una injerencia significativa por parte del Canal. Otros, como la geografía del Corte Culebra, la configuración de los cauces y las limitaciones físicas de las esclusas existentes presentan importantes desafíos de ingeniería que pueden ser superados. Existe un gran potencial de mejoras en estas áreas. Sin embargo, el costo elevado que tienen todas las posibles opciones obligan a un análisis minucioso que garantice que las inversiones propuestas tengan un nivel de riesgo aceptable y un retorno adecuado sobre la inversión. En otras palabras, las mejoras para optimizar la capacidad del Canal a corto, mediano y largo plazo no sólo deben ser técnicamente factibles, sino que las mismas deben ser rentables y con un nivel aceptable de riesgo.

4.2.1 La capacidad y utilización de las esclusas existentes definen la capacidad del Canal

Tal y como estableció el Capítulo 4, los límites de la capacidad del Canal están definidos por la capacidad individual de las esclusas. Esta capacidad está determinada por los tiempos de operación y condicionantes físicas de cada complejo de esclusas. Todos los buques que transitan por el Canal deben utilizar

las esclusas para subir del nivel del mar al nivel del lago Gatún y, así, navegar de un océano a otro a través del Istmo de Panamá (ver figura 65). Cualquier mejora realizada en otros componentes del Canal como, por ejemplo, los cauces de navegación o las estaciones de amarre, permitirá aumentar la capacidad del sistema solamente en la medida en que las esclusas puedan manejar mayores niveles de tráfico. En otras palabras, cuando las esclusas existentes alcancen su máxima utilización, se habrá alcanzado la máxima capacidad sostenible de todo el sistema. Estas premisas sugieren que el análisis de la capacidad y utilización de las esclusas, así como la identificación de los factores que limitan esta capacidad, resultan vitales para lograr el objetivo de maximizar la capacidad del Canal como un sistema integral. En consecuencia, se ha realizado un análisis de la configuración física de las esclusas y del impacto que esta configuración tiene sobre la capacidad de transitar buques.



Figura 65 Las esclusas del Canal en Gatún, Pedro Miguel y Miraflores definen los límites de tamaño y cantidad de buques que pueden transitar por el Canal.

El Canal consiste de tres complejos de esclusas: las esclusas de Miraflores y Pedro Miguel en el lado Pacífico y las esclusas de Gatún en el extremo Atlántico del Canal. Estas esclusas son similares entre sí, en el sentido de que cada una tiene dos vías paralelas o “carriles”. Por otra parte, las esclusas también presentan diferencias entre unas y otras, que resultan significativas porque afectan su capacidad. La configuración física de cada uno de los tres complejos de esclusas existentes tiene un impacto significativo en la capacidad de las mismas, porque define los modos y tiempos de operación. Gatún es una esclusa de tres cámaras o

niveles, Pedro Miguel es una esclusa de una sola cámara o nivel y Miraflores es una esclusa de dos cámaras o niveles.

En el extremo Atlántico, los buques suben desde el nivel del Océano Atlántico hasta el nivel del lago Gatún, mediante una sola operación de esclusaje, a través de las esclusas de Gatún. El complejo de esclusas de Gatún tiene tres cámaras o escalones, lo que significa que la operación de esclusaje, a su vez, se divide en tres movimientos secuenciales, a través de las tres cámaras de la esclusa. En el extremo Pacífico del Canal la situación es distinta, pues los buques suben desde el nivel del Océano Pacífico hasta el nivel del lago Gatún, mediante dos operaciones de esclusaje. Primero, los buques suben hasta el nivel del lago Miraflores a través del complejo de esclusas de Miraflores, el cual tiene dos escalones o cámaras y, luego, suben hasta el lago Gatún a través del complejo de esclusas de Pedro Miguel que tiene una sola cámara o escalón (véase figura 65).

Actualmente, se utilizan dos modos²¹ de operación principalmente, en las esclusas del Canal: (1) el esclusaje regular y (2) el esclusaje en relevo (ver figura 66). En un esclusaje regular, cada buque es guiado por un mismo grupo de locomotoras, desde el momento en que llega hasta el momento en que sale del complejo de esclusas. En un esclusaje de relevo, el buque es guiado por un primer grupo de locomotoras, desde que llega a las esclusas hasta el punto que representa aproximadamente la mitad del complejo de esclusas. En este punto medio, el buque se amarra momentáneamente a las paredes de la esclusa y un segundo grupo de locomotoras se encarga de llevar el buque desde el punto medio hasta terminar el esclusaje. Mientras el segundo grupo de locomotoras guía al buque en la segunda mitad del esclusaje, el primer grupo de locomotoras regresa a su punto original para asistir al siguiente buque que espera. El esclusaje en relevo permite que entre un buque a la primera cámara de la esclusa, antes de que el buque precedente hubiese salido de la última cámara del complejo de esclusas. Como el esclusaje en relevo requiere amarrar el buque para cambiar de locomotoras, el mismo representa ventajas de ahorro de tiempo, solamente en esclusas con más de un escalón.

Los esclusajes de relevo incrementan la capacidad de las esclusas existentes porque permiten el manejo de dos buques, simultáneamente, en el mismo carril. Mientras un buque completa un esclusaje, otro lo inicia. Esto aumenta los costos de operación, porque requiere del uso de un juego adicional de locomotoras y de más personal para amarrar los buques en las cámaras de las esclusas.

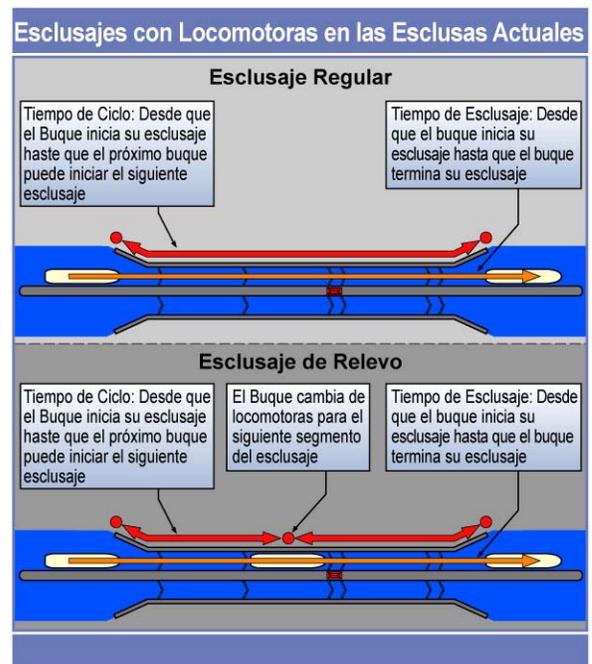


Figura 66 Las esclusas pueden operar de distintos modos según como operen las locomotoras. En el esclusaje regular un mismo grupo de locomotoras lleva el buque durante todo el esclusaje. En el modo de relevo se usan dos grupos de locomotoras, ocasionando así reducir el tiempo de ciclo de esclusaje.

²¹ Es posible un tercer modo de esclusaje, denominado Carrusel, pero para utilizarlo se requiere hacer inversiones en tornamesas y rieles de locomotoras.

Actualmente, el sistema de relevo se utiliza en las esclusas de Gatún y Miraflores cuando es necesario atender la demanda, dependiendo del número de tránsitos programados y del número de buques en cola. El esclusaje de relevo se utiliza, con frecuencia, durante y después de los cierres de vías por mantenimiento, para reducir las colas de buques y durante los períodos pico de demanda, cuando el número de tránsitos con restricciones es alto²².

El análisis de la configuración física de los complejos de esclusas existentes es importante porque define la capacidad máxima que las mismas podrán alcanzar, en función de los distintos tiempos de esclusaje. Para analizar la capacidad de las esclusas se debe distinguir entre dos tiempos: (1) el tiempo de un esclusaje completo (“tiempo de esclusaje”) y (2) el tiempo entre esclusajes (“tiempo de ciclo”). El tiempo de esclusaje²³ se define como el tiempo desde que un buque inicia su paso por las cámaras de las esclusas hasta que lo completa. El tiempo de ciclo se define como el tiempo que transcurre, desde que un buque inicia su paso por la esclusa, hasta que la primera cámara del complejo de la esclusa está lista para recibir al próximo buque (ver figura 64). En este sentido, el tiempo de ciclo es más corto que el tiempo de esclusaje cuando se opera en modo de relevo y es más largo cuando se opera en modo regular²⁴.

En un esclusaje regular, el tiempo de ciclo de la esclusa es más largo que el tiempo de un esclusaje completo, pues se requiere de tiempo adicional para que las locomotoras retornen de un extremo de la esclusa al otro para atender al próximo buque. En un esclusaje de relevo, el tiempo de ciclo es más corto que el tiempo de un esclusaje completo, porque el primer grupo de locomotoras regresa a atender al próximo buque mientras el segundo está asistiendo aún al primer buque, en la segunda parte de su esclusaje (ver figura 67).

Desde el punto de vista de capacidad, el tiempo de ciclo es más relevante que el tiempo de un esclusaje completo, pues determina cuántos buques puede manejar la esclusa en un periodo de tiempo definido. En un esclusaje, en modo regular,

		Miraflores	Pedro Miguel	Gatún
Tipos de Esclusajes Posibles		Regular y Relevo	Regular	Regular y Relevo
Esclusaje Regular	Tiempo de Esclusaje	75 mins	65 mins	120 mins
	Tiempo de Ciclo	85 mins	75 mins	135 mins
Esclusaje en Relevo	Tiempo de Esclusaje	80 mins	no se puede	115 mins
	Tiempo de Ciclo	65 mins	no se puede	75 mins
Número máximo de esclusajes Panamáx en un día (asumiendo uso continuo las 24 horas del día y ninguna otra restricción o ineficiencia)		44 esclusajes	38 esclusajes	38 esclusajes
Número máximo de esclusajes Panamáx en un día (tomando en cuenta el tiempo de inutilización debido al cambio de dirección)		44 esclusajes	35 esclusajes	38 esclusajes

Fuente: División de Tránsito Marítimo de la ACP

Figura 67 Los tiempos de esclusaje y la capacidad de las esclusas, están definidos por la configuración física de cada esclusa y su modo de operación. La esclusa de Pedro Miguel representa la mayor limitación de capacidad por no poder tomar ventaja de esclusajes en relevo.

²² Los buques más grandes, de dimensiones Panamáx y aquellos con carga de alto riesgo o con restricciones de maniobrabilidad o visibilidad sólo pueden transitar las esclusas de día. Cuando hay muchos de estos buques, se debe implementar el modo de relevo para maximizar la utilización de las esclusas.

²³ Un esclusaje completo se refiere al tránsito de uno de los tres complejos de esclusas, desde que entra a la primera cámara del complejo de esclusas hasta que sale de la última cámara del complejo de esclusas.

²⁴ En modo de relevo, el buque inicia el esclusaje asistido por un juego de locomotoras y lo completa asistido por un juego de locomotoras deferente. Las locomotoras iniciales se regresan para asistir al siguiente buque. En el modo regular, las locomotoras no regresan a asistir al siguiente buque hasta que el primero hubiese completado el esclusaje.

sólo hay un buque en el complejo de esclusas a la vez, mientras que en el esclusaje en modo de relevo puede haber un buque iniciando el esclusaje en la primera cámara, mientras haya otro en la última cámara, completando el esclusaje. Con base en estos tiempos de esclusaje y tiempos de ciclo, la esclusa de Pedro Miguel representa la barrera final de capacidad del Canal.

Por ejemplo, suponiendo que todos los buques fueran de dimensiones Panamax y tuvieran un tiempo nominal de esclusaje promedio de 1 hora y 15 minutos en la esclusa de Pedro Miguel, podrían realizar, en promedio, un máximo de aproximadamente 38 esclusajes al día. Por otro lado, en las esclusas de Miraflores y Gatún los mismos buques podrían realizar un número mayor de esclusajes al día, mediante el uso de esclusaje en modo de relevo. Sin embargo, los buques adicionales congestionarían la esclusa de Pedro Miguel, sin contribuir a aumentar la capacidad total del sistema. En este caso, la esclusa de Pedro Miguel constituye el cuello de botella del sistema por tener el tiempo de ciclo más largo de los tres complejos de esclusas.

4.2.2 Factores que limitan la utilización de las esclusas existentes

El análisis anterior concluye que las esclusas existentes definirán la capacidad máxima del Canal de Panamá. Por tanto, la estrategia fundamental para maximizar la capacidad del Canal consistirá en mejorar aquellos factores del sistema de tránsito que, de alguna forma, impiden la plena utilización de las esclusas: especialmente en la esclusa de Pedro Miguel.

Esta estrategia también tomará en cuenta el desequilibrio actual en la utilización de las esclusas entre el día y la noche. En la práctica, la capacidad del Canal se ha segmentado en dos periodos, debido a que los buques más grandes y con menos maniobrabilidad o visibilidad sólo pueden transitar las esclusas con luz del día: (1) la capacidad diurna, que permite transitar buques grandes, cuyas características de tamaño los restringen a transitar las esclusas de día y (2) la capacidad nocturna, que permite transitar buques más pequeños, sin restricciones respecto a cuándo y cómo transitar en las esclusas.

La tendencia actual de los usuarios del Canal, en el sentido de utilizar buques de mayor tamaño, acentúa aceleradamente el desequilibrio entre la utilización diurna y nocturna del Canal. En consecuencia, la capacidad de atender un mayor número de buques, restringidos a esclusajes diurnos, se encuentra en un nivel crítico de saturación, próximo a la utilización máxima. En la actualidad, el Canal utiliza la capacidad diurna muy cerca del máximo sostenible. En cambio, todavía mantiene cierta holgura en la capacidad nocturna de las esclusas.

Aunque la esclusa de Pedro Miguel puede realizar hasta un máximo teórico de 38 esclusajes diarios, ella realiza, de hecho, apenas 33 esclusajes diarios, en promedio, actualmente. Esto se debe a que existen factores inherentes a la mezcla de buques que reducen la utilización de las esclusas y limitan la cantidad de esclusajes que éstas pueden realizar. A continuación, se analizan estos factores:

- **Limitaciones de capacidad impuestas por buques restringidos a esclusajes diurnos.**

En el presente, los buques más grandes que pueden transitar por el Canal están restringidos a hacer esclusajes durante el día, por causa de una menor visibilidad durante la noche. En consecuencia, esta limitación aumenta los riesgos de seguridad en la operación y resulta en la subutilización de las esclusas durante el periodo nocturno. Recordemos que sólo los buques pequeños, de menor capacidad de carga, pueden hacer esclusajes con seguridad durante la noche. La causa principal para esta limitación es que los sistemas de iluminación existentes son insuficientes para proveer adecuada visibilidad que permita a los buques de mayor tamaño efectuar maniobras de esclusaje nocturnos, de acuerdo con los estándares de seguridad. En la última década, el incremento acelerado del uso de buques de mayor tamaño ha causado que el espacio entre el casco del buque y la pared de la cámara de la esclusa sea cada vez más angosto²⁵. Para colmos, este factor se suma al insuficiente sistema de iluminación actual de las esclusas, que no permite maniobrar con seguridad los buques más anchos dentro de las cámaras²⁶.

Actualmente, las reglas operacionales del Canal establecen que los buques con restricciones deben iniciar y terminar sus esclusajes con luz del día, por causa de la insuficiencia de iluminación en las esclusas. En este sentido, el Canal podría incrementar la utilización de las esclusas durante la noche, si mejorara la iluminación de éstas. De esta manera, podría transitar de noche buques que hoy son restringidos a esclusajes con luz del día. Esta estrategia intenta equilibrar la utilización nocturna con la diurna, dando mayor flexibilidad a la programación de los tránsitos. Es una estrategia orientada a balancear la línea de producción y será eficaz como medio para aumentar la capacidad del Canal, mientras exista holgura durante el periodo nocturno..

- **Limitaciones de capacidad causadas por buques restringidos a navegar el Corte Culebra sin encontrarse (cruzarse) con buques en la dirección opuesta.**

El Corte Culebra es el cauce más angosto del Canal²⁷. Tiene 192 metros de ancho en las rectas y hasta 230 metros de ancho en las curvas (ver figura 68). Como regla general, los buques más grandes están restringidos a una de las siguientes alternativas: (1) a no poder encontrarse con ningún otro buque o (2) a cruzarse con algún otro buque, siempre y cuando naveguen en dirección opuesta, uno con otro, en el Corte Culebra. Esto significa que el Canal programa su tráfico por el Corte Culebra, de tal forma, que los buques con esta restricción deben navegar, uno detrás del otro, agrupados como un *convoy*, en una dirección primero y en la otra después. Este modo de operación se denomina en el Canal como de *semi convoy* y permite

²⁵ El espacio entre el casco del buque y la pared de la cámara es de aproximadamente 60 centímetros (24") en esclusajes de buques Panamax de ancho máximo y 106' de manga.

²⁶ El actual sistema de iluminación de postes altos (*High Mast Lighting*) se instaló en las esclusas durante la década de los 70s y reemplazó al sistema original de bombillos de bajo poder originales del Canal.

²⁷ El Corte Culebra también es denominado en inglés como *Gaillard Cut*, en honor al ingeniero norteamericano que dirigió una parte sustancial de su construcción original.

maximizar la utilización del sistema. Se transitan más buques por el Corte Culebra cuando se programan de la siguiente manera: que pasen, primero, todos los buques restringidos en una dirección y, luego, que transiten los buques restringidos en la otra dirección. La experiencia canalera ha demostrado que esta es la forma más eficiente para transitar buques por el Corte Culebra, especialmente, frente a la alternativa de transitar buques alternados, de uno en uno.

El modo de operación *semi convoy* consiste en iniciar el día con el tráfico de buques restringidos en dirección norte²⁸ durante la mañana, principalmente. El día deberá continuar, seguido del tráfico de buques restringidos en dirección sur, principalmente durante la tarde. Finalmente, esta operación terminará su día con el tráfico de embarcaciones más pequeñas, en ambas direcciones, principalmente en horas de la noche (ver figura 69).

El modo de operación *semi convoy* requiere un cambio en la dirección de la navegación en el Corte Culebra durante las horas del día. Así, cuando el último buque restringido en dirección norte sale del Corte Culebra hacia el cauce del lago Gatún²⁹, entonces iniciará su tránsito el convoy de buques restringidos, por el Corte Culebra, hacia el sur. Los buques se programan de tal forma que el convoy sur estará listo para entrar al Corte Culebra tan pronto el último buque restringido del convoy norte salga. Durante este cambio de dirección se crea un periodo de inactividad en ambos complejos de esclusas del Pacífico. Este intervalo de tiempo inactivo está comprendido entre la finalización del tránsito del último buque restringido en dirección norte, por el Corte Culebra y la travesía del primer buque restringido en dirección sur, también por el Corte Culebra, para llegar a la esclusa de Pedro Miguel. En la práctica se observan periodos en que no se utiliza la esclusa de Pedro Miguel (alrededor de 2 horas) ni las esclusas de Miraflores (hasta 3 horas o más). Existen múltiples opciones posibles para reducir la subutilización de las esclusas del Pacífico. Entre ellas, la ACP ha considerado la construcción de una estación de amarre al norte de la esclusa de Pedro Miguel y el ensanche del Corte Culebra que permitan encuentros selectos de buques Panamax durante el día.

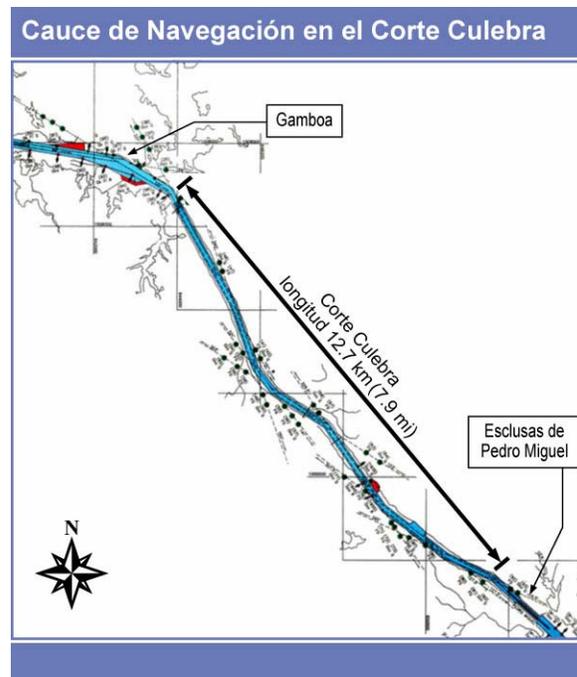


Figura 68 El Corte Culebra es el cauce de navegación más angosto del Canal. Se extiende a través de la división continental por aproximadamente 12.7 Km. desde la esclusa de Pedro Miguel hasta el poblado de Gamboa.

²⁸ Los buques en dirección norte transitan desde el Océano Pacífico hacia el Océano Atlántico y los buques en dirección Sur lo hacen del océano Atlántico al océano Pacífico.

²⁹ El cauce del lago Gatún entre Gamboa y las esclusas de Gatún resulta suficientemente ancho para que buques Panamax puedan encontrarse y cruzarse en dirección contraria, con seguridad.

▪ **Limitaciones de capacidad causadas por buques restringidos a transitar por el Corte Culebra durante el día.**

Como se ha visto, algunos buques tienen que transitar obligatoriamente el Corte Culebra a la luz del día a causa de su tamaño, tipo de carga o características de maniobrabilidad y visibilidad. Estos mismos buques tampoco pueden encontrarse con algún otro buque durante su tránsito en el Corte Culebra. Dichas restricciones tienen el objetivo de garantizar que los buques naveguen en la forma más segura posible, dado el ancho y conformación del cauce en el Corte Culebra. Consecuentemente, estas restricciones inciden adversamente sobre la capacidad del Canal, pues reducen el tiempo en que los buques pueden transitar por las esclusas. Sin embargo, en la práctica, el efecto de esta restricción sobre la capacidad integral del Canal no es tan significativo, pues el Corte Culebra tiene mayor capacidad que las esclusas, para permitir el tránsito de mayor número de buques.

▪ **Limitaciones de capacidad impuestas por restricciones de visibilidad causadas por niebla en el Corte Culebra.**

Algunas condiciones climáticas recurrentes, como la niebla en el Corte Culebra, afectan la capacidad del Canal. Aunque este fenómeno puede ocurrir en cualquier momento del año, la mayor ocurrencia de niebla en el Corte Culebra se da durante septiembre, octubre y noviembre, después de la medianoche hasta poco después del amanecer. La niebla tiene un impacto tan significativo en la capacidad que, durante periodos de niebla, no permite la navegación en cauces donde la visibilidad sea menor de 305 metros (1,000'). En consecuencia, esta restricción reduce significativamente la capacidad por falta de visibilidad, tanto del Corte Culebra como también de la esclusa de Pedro Miguel.

La neblina suele afectar con mayor ocurrencia el extremo sur del Corte Culebra. No obstante, para continuar operando, el Canal depende de un tráfico constante en el Corte. En consecuencia, dado que difícilmente puede el Canal controlar la incidencia de niebla en el Corte Culebra, la ACP ha concentrado sus esfuerzos en maximizar la utilización del Corte en los periodos en que es transitable. En este sentido, la estrategia para mitigar el



Figura 69 Se muestra la operación del Canal con el modo semi convoy. La etapa 1 muestra el convoy norte llegando a la entrada del Corte Culebra y el convoy Sur atravesando el lago Gatún. En la etapa 2 el convoy norte atraviesa el Corte Culebra y en la etapa 3 se cruza con el convoy Sur en el Lago Gatún. En la etapa 4 el convoy Sur atraviesa el Corte Culebra y llega a la esclusa de Pedro Miguel. Los convoyes no se pueden cruzar en el Corte Culebra. La esclusa de Pedro Miguel queda inactiva desde que pasa el convoy norte hasta que le llega el primer buque del convoy Sur.

efecto de la niebla y operar el Canal a su máxima capacidad consiste en continuar transitando buques por las esclusas, incluso en periodos de niebla. Los buques que transiten la esclusa de Pedro Miguel deberán posicionarse al norte de la misma, justo antes del Corte Culebra, de forma que estén listos para proseguir a través del Corte, cuando esté libre de la restricción correspondiente a la falta de visibilidad. De esta forma, la administración del Canal intensifica y maximiza la utilización de la esclusa de Pedro Miguel.

4.3 Capacidad del Canal mejorado

Los análisis de capacidad concluyen que el Canal tiene capacidad suficiente para manejar un volumen máximo de entre 280 y 290 millones de toneladas CPSUAB anuales. Estas cifras representan 12,600 a 12,800 tránsitos, los cuales podrían alcanzarse entre el AF 2008 y el AF 2009, según el pronóstico de demanda más probable.

Para mantener la competitividad del Canal, a corto y mediano plazo, es necesario continuar brindando un servicio rápido, confiable y seguro más allá del AF 2009. Con este propósito se han propuesto una serie de mejoras al Canal que permitan maximizar la utilización de la planta existente. A continuación, desglosaremos el impacto de estas mejoras en la capacidad y nivel de servicio del Canal extendido.

4.3.1 Programa para aumentar la capacidad y el valor del Canal

De acuerdo a los resultados del análisis de la capacidad del Canal y a la identificación de los factores que la limitan, se ha diseñado un programa integral para aumentar la capacidad del Canal con miras a permitir el tránsito ininterrumpido, sostener el nivel de servicio competitivo y garantizar el suministro de agua. Este programa tiene el propósito de maximizar la utilización de las esclusas, especialmente la de Pedro Miguel.

Para incrementar la utilización nocturna de las esclusas se propone, implementar un programa de dos fases. Como primera fase se implementarán cambios operacionales que extenderán el tiempo durante el cual se permiten los esclusajes para buques que sólo pueden transitar durante el día por las esclusas. Como segunda fase, se implementará un sistema mejorado de iluminación en las esclusas, que permitirá que más del 80% de los buques hagan esclusajes irrestrictos las 24 horas del día.

Para maximizar la utilización de las esclusas del Pacífico, se propone implementar un programa de tres fases.: Como primera fase, se propone el enderezamiento del Corte Culebra para facilitar la navegación y cumplir con los requisitos de código de Seguridad de la Vida en el Mar (también conocido como SOLAS, siglas en inglés de *Safety Of Life At Sea*) sobre la visibilidad en cauces de navegación. Como segunda fase, se propone la construcción de estaciones de amarre al norte de la esclusa de Pedro Miguel. Finalmente, como tercera fase, se propone el ensanche del Corte Culebra para permitir encuentros de buques Panamax.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Este programa integral de mejoras atiende las principales limitaciones actuales identificadas y permite aumentar al máximo la capacidad del Canal, mientras se mejora continuamente el nivel de servicio que el mismo brinda a sus clientes. Las figuras 70 y 71 detallan los componentes del programa de mejoras para llevar al Canal a su máxima capacidad.

4.3.2 Impacto de las mejoras en la operación del Canal

La implementación de las mejoras propuestas para extender la capacidad del Canal tendría como resultado el relajamiento o, inclusive, la completa eliminación de algunas restricciones operativas que actualmente limitan la capacidad del Canal. Este relajamiento de las restricciones operativas permitiría extender los periodos de tránsito diurno para los buques que hoy tienen restricciones y maximizaría la utilización de elementos del Canal, que hoy no se utilizan a máxima capacidad por causa de las ineficiencias impuestas por dichas restricciones.

Restricción de luz diurna en las esclusas. En el AF 2003 la restricción de tránsito diurno en las esclusas afectó al 54% de los buques Panamax, y limitó, significativamente, la cantidad de buques con estas restricciones que pudieron transitar en un día. La implementación de un sistema de iluminación mejor en las esclusas permitiría que más de 90% de los buques Panamax puedan transitar sin restricciones de luz de día en las esclusas. Sólo se mantendrían estas restricciones en el caso de buques de pasajeros y de buques con carga peligrosa, que representan menos de 10% de los buques Panamax.

Restricción de encuentros en el Corte Culebra. La restricción de encuentros de buques Panamax en el

Programa de Aumento de Capacidad del Canal Actual	
	Efecto en Capacidad y Servicio
Maximizar la utilización nocturna de las esclusas:	
Implementación de un sistema mejorado de iluminación de las esclusas	Eliminar las restricciones de día en las esclusas
Reducir los periodos de inactividad de las esclusas:	
Enderezamiento y Ensanche del Corte Culebra a 218 metros (715') en las rectas	Maximizar la utilización de las esclusas del Pacífico
Construcción estaciones de amarre al norte de las esclusas de Pedro Miguel	Maximizar la utilización de las esclusas del Pacífico
Mejoras a equipos y sistemas operativos:	
Sistema de Carrusel en la esclusa de Gatún	Aumentar la capacidad de las esclusas del Atlántico
Adición a la flota de remolcadores	Eliminar las restricciones de día en las esclusas
Sistema mejorado a la programación de buques	Permitir la máxima utilización de la capacidad disponible
Mejorar la seguridad y el nivel de servicio que el Canal brinda a sus clientes:	
Modificación a Estructuras de Esclusas para Aumentar el Calado Máximo Permitido	Mejorar el valor de la Ruta para los clientes
Profundización de las Entradas del Atlántico y Pacífico	Mejorar el valor de la Ruta para los clientes
Profundización de los cauces de navegación a 10.4 metros (34') PLD.	Mejorar la confiabilidad de calado
Programa de mitigación de crecidas en el Lago Gatún	Mejorar la confiabilidad de calado y evitar inundaciones
Inversión Total	
*Millones de Balboas	

Figura 70 El programa de optimización del Canal actual permitirá alcanzar la máxima capacidad sostenible de las esclusas existentes.

Programa de Ejecución de Inversiones para Extender el Canal Actual a su Máxima Capacidad		05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Maximizar la utilización nocturna de las esclusas:												
- Implementación de un sistema mejorado de iluminación de las esclusas												
Maximizar la utilización de las Esclusas del Pacífico:												
- Enderezamiento del Corte Culebra para mejorar la seguridad de navegación												
- Ensanche del Corte Culebra a 218 metros (715') en las rectas												
- Construcción estaciones de amarre al norte de las esclusas de Pedro Miguel												
Mejoras a equipos y sistemas operativos:												
- Sistema de Carrusel en la esclusa de Gatún												
- Adición a la flota de remolcadores												
- Sistema mejorado a la programación de buques												
Mejorar la seguridad y el nivel de servicio que el Canal brinda a sus clientes:												
- Aumento del calado máximo que puede ofrecer el Canal a 12,3 metros (40.5')												
- Profundización de los cauces de navegación a 10.4 metros (34') PLD.												
- Programa de mitigación de crecidas en el Lago Gatún												

Figura 71 El programa de ejecución de mejoras para aumentar la capacidad del Canal actual al máximo posible e incrementar el valor que éste aporta a la ruta marítima por Panamá se completará en el AF 2010 (REVISAR).

Corte Culebra es importante, pues crea la necesidad de operar el Canal en la modalidad de semi-convoy, donde transitan, primero, los buques restringidos en una dirección – típicamente los que transitan en dirección norte – y, después,, transitan los buques restringidos, en la dirección opuesta. La operación en modo semi-convoy no sería una restricción tan importante si sólo afectara al Corte, pues la capacidad del Corte culebra, en este modo de operación, es significativamente mayor que la capacidad de las esclusas existentes. El problema radica en que la operación semi-convoy del Corte, combinada con la proximidad del mismo a las esclusas de Pedro Miguel, produce un periodo de inactividad de las esclusas del Pacífico. Esta inactividad se corresponde con el intervalo entre la partida del último buque restringido en dirección Norte y la llegada del primer buque restringido en dirección Sur. El enderezamiento del Corte, la construcción de una estación de amarre al Norte de Pedro Miguel y el ensanche del Corte Culebra a 218 metros (715 pies) y 225 metros /738 pies) lograrían la reducción significativa de estos periodos de inactividad en las esclusas del Pacífico, principalmente de Pedro Miguel.

El efecto agregado de este programa de mejoras al Canal existente sería la optimización del uso diurno y nocturno de las esclusas. Después de la implementación del programa de mejoras en el Canal, la esclusa de Pedro Miguel representaría el último cuello de botella del Canal existente, restricción que definiría en gran medida los límites de la capacidad máxima del Canal.

4.3.3 Premisas del análisis del Canal mejorado

Las mejoras propuestas para llevar al Canal a su máxima capacidad son reflejadas en el análisis de capacidad mediante el cambio de las reglas de asignación. Principalmente estos cambios van dirigidos a reducir el número de buques reciben los códigos de restricción CCDL y DLCC (ver figura 72).

Además de los cambios a los códigos de restricción, también se aplicaron nuevas reglas a la asignación del código de HML, que determinan que buques pueden transitar las esclusas y el Corte Culebra de noche (ver figura 73). Con las mejoras al Canal más del 90% de los buques podrán transitar por las esclusas las 24 horas del día.

Finalmente, se utilizaron los pronósticos de demanda para simular la operación del Canal para los años del horizonte de planificación, especificando para cada

CODE	Length		Beam		Draft		HML		PD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CCDL	0	965.1	0	107	0	39.51	D	D	No	Yes
DLCC	800	965.1	0	107	0	39.51	N	D	No	Yes
DLCC	0	800	0	107	0	39.51	Y	Y	No	Yes
DLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CC	0	800	95	107	0	39.51	N	D	No	Yes
CC	0	800	0	91	0	39.51	N	D	Yes	Yes
CR	0	800	80	91	38.01	39.51	N	D	No	Yes
CR	0	800	91	95	0	39.51	N	D	No	Yes
CR	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CR	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes

Figura 72 Pantalla de configuración de la asignación de códigos de restricción para el Canal mejorado. Comparado con el Canal sin mejoras, se disminuye significativamente la proporción de buques que reciben el código de restricción CCDL.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

un la cantidad total de buques, el porcentaje de buques por segmento de mercado, la estacionalidad mensual de la demanda, la distribución de tamaños de buques por segmento, y la selección de buques específicos para cada segmento de la lista maestra de buques (ver figura 74 y 75).

CODE	Length		Beam		Draft		PD		Market Segment	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
D	0	10000	91	107	0	1000	Yes	Yes	Container	Vehicle Carriers
D	650	10000	0	107	0	1000	No	Yes	Passengers	Passengers
Inspect.	0	10000	91	107	0	1000	No	Yes	Container	Vehicle Carriers
N	Assign this code to all vessels that do not qualify for any other restriction code									

Figura 73 Pantalla de configuración de la asignación de códigos de HML. Con las mejoras al Canal más del 90% de los buques podrán transitar por las esclusas de noche.

Year #	Year	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers	Total	Total Yearly Traffic
1	2009	24.35%	25.20%	5.58%	6.63%	1.98%	16.49%	11.50%	8.28%	100.00%	13356
2	2010	24.35%	25.20%	5.58%	6.63%	1.98%	16.49%	11.50%	8.28%	100.00%	13356
3	2011									0.00%	
4	2012									0.00%	
5	2013									0.00%	
6	2014									0.00%	
7	2015									0.00%	
8	2016									0.00%	
9	2017									0.00%	
10	2018									0.00%	
11	2019									0.00%	
12	2020									0.00%	
13	2021									0.00%	
14	2022									0.00%	
15	2023									0.00%	
16	2024									0.00%	
17	2025									0.00%	

Figura 74 Pantalla de configuración de la cantidad de tránsitos en el año y su distribución por segmento de mercado para el Canal mejorado en el AF 2010.

Market Segment	PD	Northbound		Southbound	
		Draft Status	Booking Status	Draft Status	Booking Status
Container	0	DISC(0.99,1,1,100)	DISC(1.0000, 0, 1, 1)	DISC(0.99,1,1,100)	DISC(1.0000, 0, 1, 1)
Dry Bulk	0	DISC(0.88,1,1,100)	DISC(0.4576, 0, 1, 1)	DISC(0.99,1,1,100)	DISC(0.4380, 0, 1, 1)
General Cargo	DISC(0.02,1,1,0)	DISC(0.93,1,1,100)	DISC(0.3585, 0, 1, 1)	DISC(0.88,1,1,100)	DISC(0.3778, 0, 1, 1)
Others	DISC(0.02,1,1,0)	DISC(0.83,1,1,100)	DISC(0.4358, 0, 1, 1)	DISC(0.83,1,1,100)	DISC(0.4340, 0, 1, 1)
Passengers	0	DISC(0.96,1,1,100)	DISC(1.0000, 0, 1, 1)	DISC(0.99,1,1,100)	DISC(1.0000, 0, 1, 1)
Refrigerated	0	DISC(0.99,1,1,100)	DISC(0.7006, 0, 1, 1)	DISC(0.39,1,1,100)	DISC(0.7021, 0, 1, 1)
Tankers	DISC(0.35,1,1,0)	DISC(0.52,1,1,100)	DISC(0.4536, 0, 1, 1)	DISC(0.89,1,1,100)	DISC(0.4543, 0, 1, 1)
Vehicle Carriers	0	DISC(0.98,1,1,100)	DISC(0.8748, 0, 1, 1)	DISC(0.46,1,1,100)	DISC(0.9367, 0, 1, 1)

Figura 75 Pantalla de configuración de la asignación de código de PD, calado y reservación para el Canal mejorado en el AF 2010.

4.3.4 Frontera de capacidad del Canal mejorado

El programa de mejoras para extender y maximizar la capacidad del Canal existente está orientado a reducir o eliminar algunas de las restricciones que limitan el tránsito de los buques más grandes. Por tanto, el impacto de estas mejoras en la capacidad del Canal es altamente sensitivo a la mezcla de buques. Como puede esperarse, este efecto sería todavía más significativo si las mezclas de buques contaran con una cantidad de buques grandes, cuyo número de restricciones fuera mayor.

Para analizar con exactitud el impacto de este programa de mejoras, en la capacidad del Canal con distintas mezclas de buques, se calculó cuál sería la frontera de capacidad del Canal, extendido a su máxima capacidad, utilizando el modelo de simulación de capacidad del Canal. La Figuras 76 y 77 ilustran el resultado de este análisis.

Estos resultados ponen en evidencia el gran impacto que continúa teniendo la mezcla de buques, en los beneficios que puede generar el programa de mejoras y en la capacidad máxima del Canal. Además, el análisis continúa observando una relación no-lineal entre el número de tránsitos y el tonelaje, a medida que la mezcla cambia a buques mayores y con más restricciones.

Inversamente, las mejoras propuestas para llevar al Canal a su máxima capacidad tendrían un impacto insignificante, si la mezcla de buques consistiera de buques pequeños sin restricciones en 100%. El impacto de las mejoras se empieza a apreciar en la medida en que la cantidad de buques grandes con restricciones aumenta, debido a que más buques se beneficiarían de la eliminación de restricciones.

Por otra parte, si la mezcla consistiera de igual cantidad de buques grandes y pequeños, el impacto de las mejoras ocasionaría un aumento de la capacidad del Canal de 265 a 275 millones de CPSUAB anuales (con un promedio de 35 tránsitos diarios) alcanzando hasta 305 a 315 millones de CPSUAB anuales (con un promedio de 39 tránsitos diarios).

Frontera de Capacidad del Canal Extendido			
Porcentaje de Buques No-Restringidos (Manga < 27.7m)	Porcentaje de Buques Restringidos (Manga ≥ 27.7m)	Capacidad Máxima del Canal	
		Número Promedio de Tránsitos por año	Toneladas Anuales (CP-SUAB)*
100%	0%	21,900	200 - 210
80%	20%	16,790	230 - 240
60%	40%	14,600	270 - 280
50%	50%	14,235	305 - 315
40%	60%	13,870	330 - 340
20%	80%	10,950	320 - 330
0%	100%	8,760	315 - 320

*En Millones

Figura 76 Con una mezcla óptima de 60% de buques grandes y 40% de buques pequeños el Canal actual mejorado podrá alcanzar una capacidad máxima sostenible de entre 330 y 340 millones de toneladas CPSUAB por año.

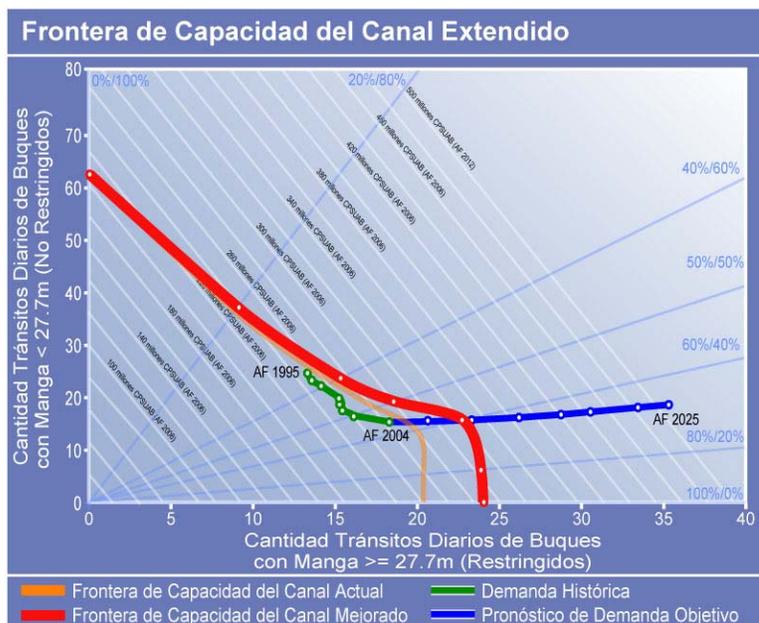


Figura 77 La frontera de capacidad del Canal mejorado indica que la capacidad del sistema varía de acuerdo a la mezcla de buques, alcanzando una capacidad máxima con una mezcla de 60% de buques grandes con restricciones (manga > 27.7m o 90') y 40% de buques pequeños sin restricciones (manga < 27.7m o 90').

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Estas cifras equivalen a un aumento del tonelaje anual de 15%.

De lo anterior podemos inferir que el mayor impacto del programa de mejoras al Canal existente se obtiene con la mezcla que maximice la capacidad del Canal existente. El modelo de esta mezcla consiste en una mezcla constituida por 60% buques grandes y restringidos, con 40% de buques pequeños y no restringidos (tal y como se presentó en la sección 5.1.2). Con este tipo de mezcla, el programa de mejoras propuesto permitiría aumentar la capacidad del Canal de 280 ó 290 millones de CPSUAB anuales (con un promedio de 33 tránsitos diarios) a 330 ó 340 millones de CPSUAB anuales (con un promedio de 38 tránsitos diarios). Este aumento en el tonelaje anual máximo del Canal representa un crecimiento de 17% aproximadamente.

4.3.5 Impacto de la demanda en la capacidad del Canal mejorado

La frontera o tope de capacidad del Canal permite evaluar de manera precisa el efecto de las distintas mezclas de buques posibles sobre la capacidad del Canal. No obstante, este indicador no resulta igualmente útil para evaluar, con igual precisión, el efecto del pronóstico más probable de demanda ni de otros factores operativos, en la capacidad del Canal. Tampoco resulta especialmente beneficiosa esta medida para evaluar los niveles de servicio del Canal, al final de la implementación del programa de mejoras, ni en los años intermedios, en la medida en que se van introduciendo estas mejoras.

Para precisar la exactitud y relevancia del análisis del Canal extendido a su máxima capacidad se usó nuevamente el modelo de capacidad desarrollado por *Rockwell Software* y *Paragon Consulting Solutions*. Con este instrumento pudimos simular cada año del pronóstico de demanda, introduciendo esta vez las mejoras propuestas en el cronograma más probable de implementación.

Las mejoras iniciales están destinadas a hacer una mejor utilización de las esclusas durante el periodo nocturno, mediante la extensión de la definición de luz de día en las esclusas (AF 2006) y la instalación de un sistema mejorado de iluminación en las esclusas (AF 2008).

La Figura 78 presenta los resultados de implementar la extensión del periodo para esclusajes diurnos



Figura 78 Tonelaje diario transitado en el AF 2006 por el Canal mejorado, según el modelo de simulación de capacidad, graficado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Canal. No obstante, este indicador no resulta igualmente útil para evaluar, con igual precisión, el efecto del pronóstico más probable de demanda ni de otros factores operativos, en la capacidad del Canal. Tampoco resulta especialmente beneficiosa esta medida

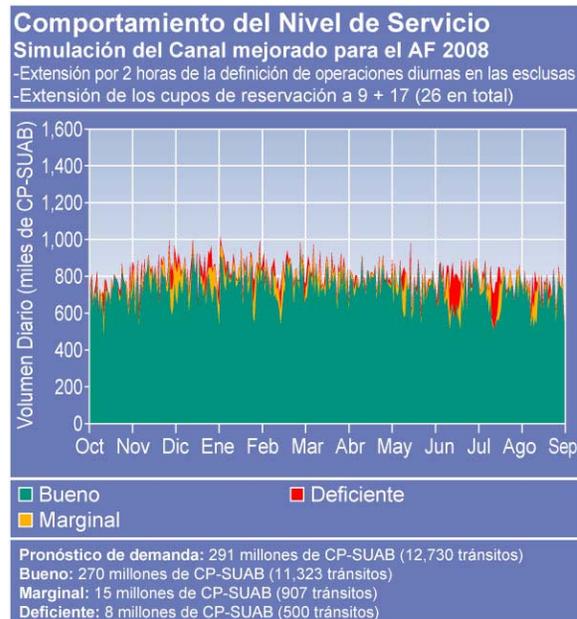


Figura 79 Tonelaje diario transitado en el AF 2008 por el Canal mejorado, según el modelo de simulación de capacidad, graficado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

restringidos en el AF 2006. Se puede apreciar allí que la introducción de esta mejora tiene un impacto significativo, en relación al nivel de servicio. Logra una reducción de casi 40% del tonelaje con servicio inaceptable, cuando se compara con los resultados del análisis de capacidad del AF 2006 sin mejoras.

Según el programa de mejoras al Canal, el sistema mejorado de iluminación de las esclusas entraría en operación en el AF 2008. Con este nuevo sistema de iluminación, se persigue eliminar la restricción de tránsito diurno a 90% de los buques Panamax. Esta mejora el Canal permitiría prolongar un nivel de servicio adecuado hasta el AF 2008, con una demanda probable de 291 millones de CPSUAB, correspondiente a 12,730 tránsitos. La Figura 79 muestra el resultado de la simulación del AF 2008.

Por su parte, la nueva estación de amarre de Paraíso entraría en funcionamiento en el AF 2010, lo que permitiría aprovechar mejor la esclusa de Pedro Miguel, mediante la reducción del periodo de inactividad durante el cambio de dirección de la operación semi-convoy. Con esta mejora, el Canal lograría transitar más de 80% de la demanda, con buen servicio. La Figura 80 describe los resultados de la simulación para el AF 2010.

Finalmente, en el AF 2012, se concluirían los trabajos de ensanche del Corte Culebra a 218 metros (715 pies). Esto garantizaría encuentros de buques Panamax selectos, durante el día, brindando mayor flexibilidad operativa al Canal. Como si fuera poco, el ensanche del Corte también maximizaría la operación de las esclusas de Pedro Miguel y Miraflores. El ensanche del Corte culmina el programa de mejoras para extender la capacidad del Canal existente. A partir de ese momento, el Canal alcanzará su máxima capacidad y las esclusas – especialmente la esclusa de Pedro Miguel – pasarán a representar el principal cuello de botella en el Canal.

La Figura 81 muestra los resultados de la simulación para el AF 2012, para el cual se pronostica una demanda probable de 333 millones de CPSUAB con aproximadamente 13,800 tránsitos. Las proyecciones indican que, a pesar de todas las mejoras implementadas, el tonelaje de ese año ascendería a 65 millones de CPSUAB o 2,578 tránsitos, con niveles de servicio no competitivo o inaceptable, representando casi 20% del tonelaje transitado. Inversamente, equivale a decir que 80% del volumen de tráfico

Comportamiento del Nivel de Servicio

Simulación del Canal mejorado para el AF 2010

- Eliminación de restricción diurna en las esclusas para buques Panamax
- Nueva estación de amarre en Paraíso
- Ensanche del Corte Gaillard para permitir encuentros de Panamax selectos
- Extensión de los cupos de reservación a 9 + 19 (28 en total)

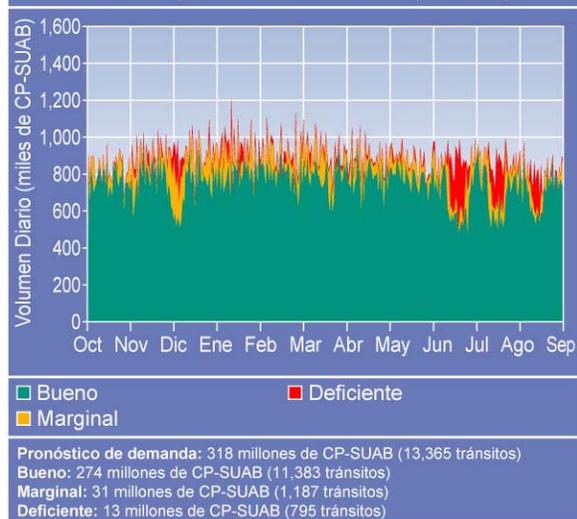


Figura 80 Tonelaje diario transitado en el AF 2010 por el Canal mejorado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Comportamiento del Nivel de Servicio

Simulación del Canal mejorado para el AF 2012

- Eliminación de restricción diurna en las esclusas para buques Panamax
- Nueva estación de amarre en Paraíso
- Ensanche del Corte Gaillard para permitir encuentros de Panamax selectos
- Extensión de los cupos de reservación a 9 + 19 (28 en total)

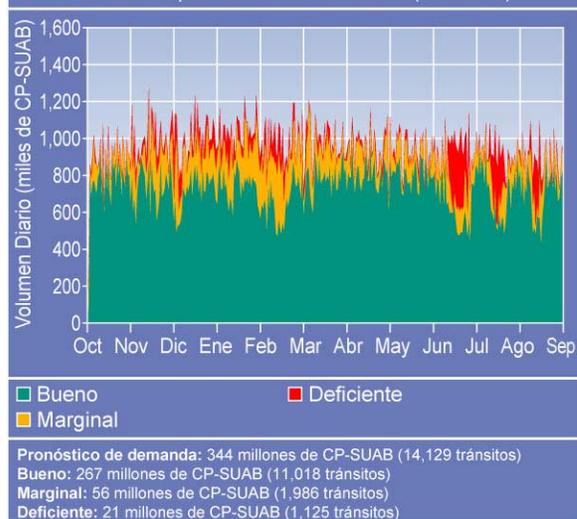


Figura 81 Tonelaje diario transitado en el AF 2012 por el Canal mejorado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

recibiría buen servicio.

Además, por primera vez en el AF 2012, se observaría que el volumen que transita con buen servicio disminuye de 278 millones de CPSUAB en el AF 2010 a 268 millones de CPSUAB en el AF 2012, a pesar de que la demanda aumente. Estos son indicios claros de que el Canal estaría alcanzando su máxima capacidad ese año. Por ende, podemos inferir que, a partir de ese momento, se observará un deterioro cada vez más rápido del nivel de servicio.

Con base en estos resultados, podemos estimar que la capacidad del Canal mejorado puede calcularse entre 330 y 340 millones de toneladas CPSUAB anuales, que equivalen a 13,800 y 14,000 tránsitos. Estas cifras resultan insuficientes para manejar la demanda pronosticada, a pesar de que todas las mejoras al Canal existente extendieran su capacidad al máximo. Para observar el efecto del intento continuado de servir a la demanda pronosticada del Canal, más allá del límite de su capacidad, se presentan los resultados de la simulación, correspondientes a los años fiscales 2015, 2020 y 2025.

La Figura 82 presenta los resultados de la simulación correspondiente al AF 2015. Ese año proyecta que 110 millones de toneladas CPSUAB transitan con mal servicio. De estos tránsitos, la cantidad que tendría que esperar su turno para transitar por el Canal, durante más de 7 días, aumentaría a 4 millones de toneladas CPSUAB, equivalentes a casi 300 tránsitos. La curva del servicio del Canal declina aún más en el AF 2015, cuando menos de 70% de la demanda recibiría un buen servicio.

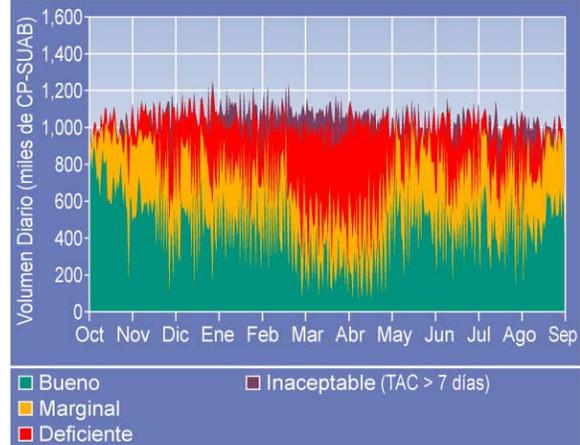
Las figuras 83 y 84 presentan los resultados de la simulación, del AF 2020 y el AF 2025, respectivamente. El modelo de simulación indica que el volumen que transitaría el Canal con buen servicio sería de sólo 155 millones de CPSUAB, el AF 2020. Esto significa que apenas 37% de la demanda transitaría con buen servicio. Estas cifras también equivalen a decir que 24 millones de CPSUAB, que representan 1,300 buques, no podrían transitar por el Canal.

Para el AF 2025, último año del horizonte de planificación del Plan Maestro, se estima que el Canal estaría brindando niveles de servicio adecuados a tan sólo 138 millones de CPSUAB, que representan

Comportamiento del Nivel de Servicio

Simulación del Canal mejorado para el AF 2015

- Eliminación de restricción diurna en las esclusas para buques Panamax
- Nueva estación de amarre en Paraíso
- Ensanche del Corte Gaillard para permitir encuentros de Panamax selectos
- Extensión de los cupos de reservación a 9 + 21 (30 en total)



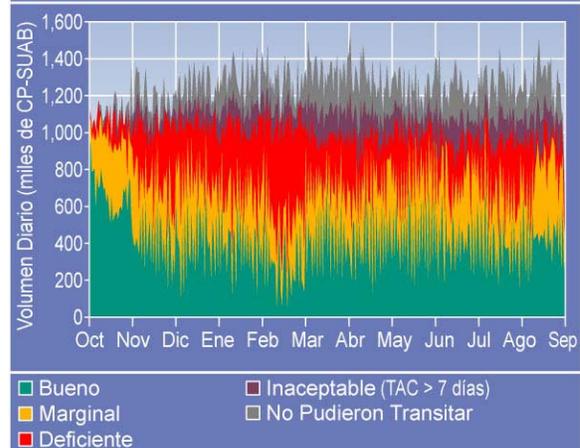
Pronóstico de demanda: 385 millones de CP-SUAB (15,331 tránsitos)
Bueno: 169 millones de CP-SUAB (10,480 tránsitos)
Marginal: 112 millones de CP-SUAB (2,947 tránsitos)
Deficiente: 88 millones de CP-SUAB (923 tránsitos)
Inaceptable (TAC > 7 días): 16 millones de CP-SUAB (981 tránsitos)

Figura 82 Tonelaje diario transitado en el AF 2015 por el Canal mejorado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Comportamiento del Nivel de Servicio

Simulación del Canal mejorado para el AF 2020

- Eliminación de restricción diurna en las esclusas para buques Panamax
- Nueva estación de amarre en Paraíso
- Ensanche del Corte Gaillard para permitir encuentros de Panamax selectos
- Extensión de los cupos de reservación a 9 + 21 (30 en total)



Pronóstico de demanda: 451 millones de CP-SUAB (17,307 tránsitos)
Bueno: 145 millones de CP-SUAB (7,924 tránsitos)
Marginal: 105 millones de CP-SUAB (3,233 tránsitos)
Deficiente: 120 millones de CP-SUAB (2,902 tránsitos)
Inaceptable (TAC > 7 días): 30 millones de CP-SUAB (1,510 tránsitos)
No Pudieron Transitar: 51 millones de CP-SUAB (1,738 tránsitos)

Figura 83 Tonelaje transitado por el Canal, por día, que incrementa en el AF 2020 y simulado de acuerdo al nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

menos de 30% del volumen de la demanda. Inversamente, las cifras equivalen al señalamiento de que 75 millones de toneladas CPSUAB no podrían transitar por el Canal, equivalentes a casi 3,000 tránsitos.

A su vez, la Figura 85 muestra un resumen de las proyecciones de este análisis, donde se grafica el porcentaje del volumen de demanda que transita con buen servicio. La gráfica ilustra esta información, en su evolución histórica durante los años fiscales 2003 y 2004. También incluye los resultados simulados del AF 2005 al AF 2025. Históricamente, el Canal ha brindado un buen servicio a más del 80% de sus clientes. No obstante, a partir del AF 2003, puede observarse un deterioro progresivo de este servicio, que resulta especialmente significativo debido a que el Canal operó ese año, a más del 90% de su capacidad nominal. La medida de esa capacidad se calcula entre 280 y 290 millones de CPSUAB.

Con las mejoras propuestas en el Plan Maestro, la capacidad nominal del Canal debería incrementarse a 330 ó 340 millones de CPSUAB a corto plazo. Sin embargo, debemos advertir que estas mejoras son insuficientes a largo plazo. En efecto, la ACP estima que la demanda alcanzaría la capacidad máxima del Canal cerca del AF 2012. A partir de entonces, el análisis nos advierte que el nivel de servicio del Canal se deteriorará significativamente, porque la demanda excedería la capacidad máxima del Canal, temporalmente, hasta ahuyentar a los clientes y quedar desplazado como ruta preferida.

4.3.6 Capacidad máxima del Canal sin la ampliación

La competitividad del Canal de Panamá dependerá de que pueda brindar un servicio rápido, confiable y seguro. Para esto, y ante la demanda creciente, el Canal requiere de capacidad. A su vez, los análisis de simulación que se han realizado indican que la capacidad del Canal depende en gran medida de: (1) la mezcla de buques que lo transita, (2) la variabilidad diaria de esta mezcla y (3) la sensibilidad que expresa cada segmento, hacia los niveles de servicio que brinda el Canal. Con la demanda actual de buques, el Canal opera ya muy cerca de su frontera de capacidad sostenible.

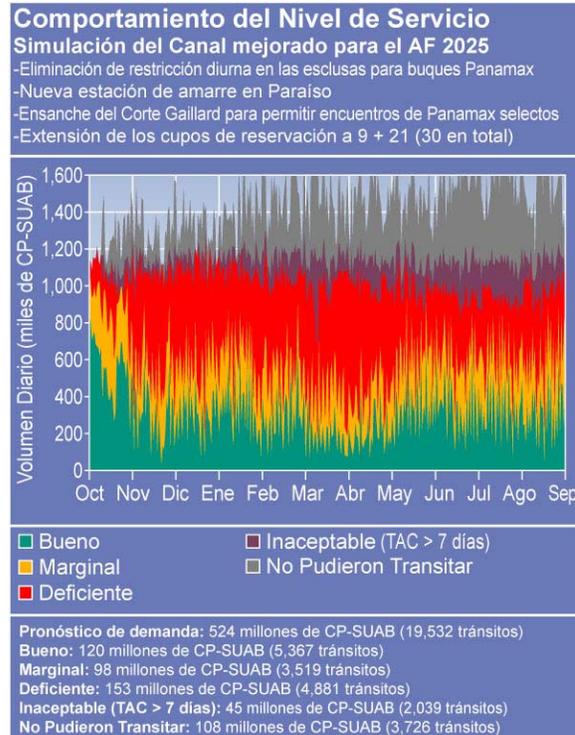


Figura 84 Tonelaje transitado por día en el Canal mejorado para el AF 2025 simulado de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

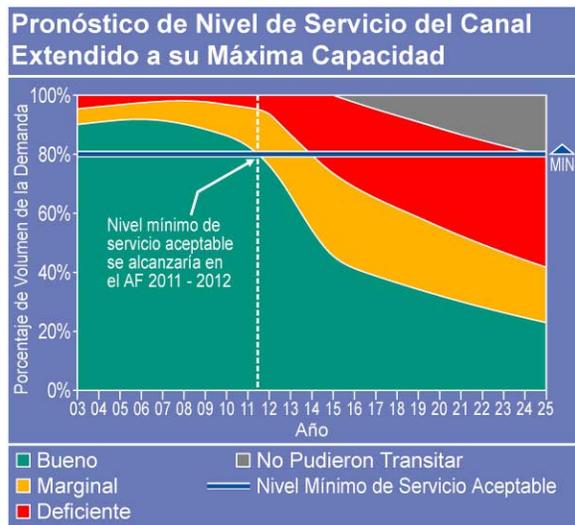


Figura 85 Resumen del tonelaje transitado para los años fiscales 2003-2015, para el Canal mejorado a su máxima capacidad, según el modelo de simulación de capacidad del Canal de acuerdo con el nivel de servicio obtenido por cada cliente.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

Con referencia a la mezcla de buques del pronóstico de demanda más probable, podemos estimar que el Canal en su configuración actual tiene una capacidad máxima de 280 a 290 millones de CPSUAB anuales. Cifra que equivale a 12,600 ó 12,800 tránsitos. Esto significa que el Canal opera hoy a más del 90% de su capacidad máxima. En consecuencia, podemos inferir que el Canal alcanzaría su capacidad máxima entre el AF 2006 y el AF 2008. Es por esta razón que la prioridad número uno en el Plan Maestro corresponde a encontrar solución al problema de capacidad, a corto y mediano plazo, a fin de extender el límite de capacidad de la planta actual del Canal existente a su máximo posible.

Los proyectos de inversión tendrán como meta aumentar la capacidad del Canal existente, reasignando buques Panamax de tránsito diurno a un paso nocturno por el Corte y las esclusas. De esta manera, el Canal persigue agilizar el proceso de tránsito en las esclusas, con encuentros de buques Panamax y otros selectos en el Corte. Esta estrategia conduciría a una mayor utilización

de las esclusas del Pacífico. A medida que el Canal estudia la posibilidad de un programa de ampliación, estas soluciones de corto y mediano plazo ayudarían a optimizar la capacidad y las operaciones del Canal, en general, como respuesta al incremento de la demanda.

Cuando el Canal implemente estas mejoras, el escenario de limitaciones del Canal trasladaría su problema de capacidad hacia las esclusas. Y de las tres esclusas del Canal, el juego de Pedro Miguel pasaría a un primer lugar en el espectro de limitaciones de la capacidad del Canal. En ese momento, resultaría difícil obtener beneficios de capacidad significativos de otra mejora adicional y el Canal existente habría alcanzado su máxima capacidad operativa sostenible.

A pesar de su carácter insuficiente a largo plazo, las mejoras propuestas en el Plan Maestro aumentarían la capacidad del Canal en un 20%. Esta capacidad adicional permitiría alcanzar hasta un volumen de tráfico sostenible de 330 a 340 millones de toneladas CPSUAB anuales, que equivalen a 13,800 ó 14,000 tránsitos (ver Figura 86). El pronóstico más probable estima que la demanda del Canal podría alcanzar estos niveles en el AF 2012 o el AF 2013. Después de alcanzar su máxima capacidad, el nivel de servicio del Canal entraría en una dinámica de deterioro gradual de su servicio. La consecuencia inmediata de esta decadencia sería el desgaste y pérdida eventual de la ventaja competitiva de la ruta por el Canal de Panamá.

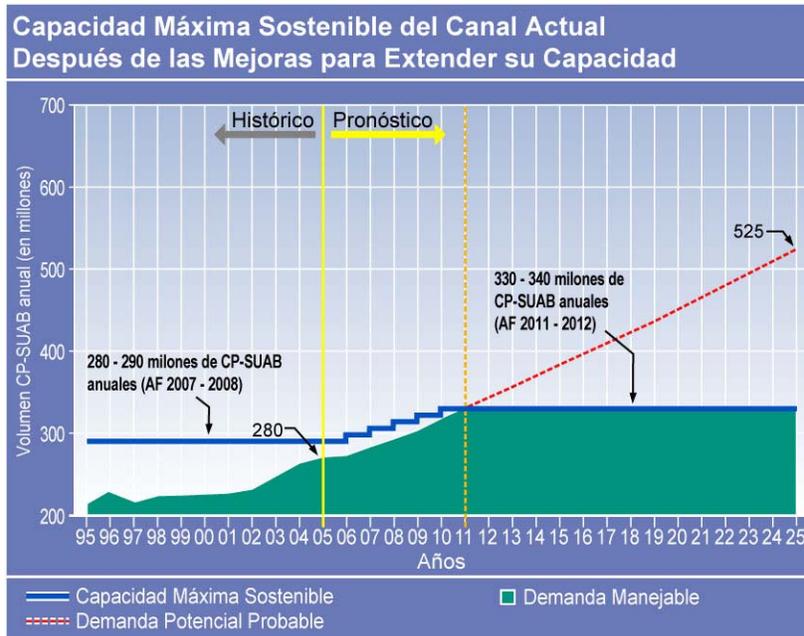


Figura 86 El Canal extendido a su máxima capacidad podrá manejar entre 330 y 340 millones de toneladas CPSUAB anuales, las cuales se podrán alcanzar entre el AF 2012 y AF 2013.

Además de correr el riesgo de perder la ventaja estratégica de Panamá como ruta de transporte, este análisis indica, por otro lado, que existe la oportunidad de capturar una demanda creciente. En este sentido, el pronóstico de demanda más probable indica que el volumen de tráfico por el Canal excedería 500 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025. Este mercado potencial representaría más de 170 millones de toneladas CPSUAB, por encima de la capacidad máxima del Canal, un potencial de crecimiento de ventas de 50%, en un periodo de 10 a 12 años.

Según las proyecciones de demanda el segmento con mayor capacidad de crecimiento en los próximos 20 años corresponde al de portacontenedores. En el AF 2025, asumiendo que el Canal continuara ofreciendo un buen nivel de servicio, 54% del tonelaje que optara por usar el Canal de Panamá será aportado por el segmento de portacontenedores. Este segmento ya ha migrado su flota sustancialmente hacia buques pospanamax que alcanzan hasta 10,000 TEUs. Esta es la razón que obliga a, cualquier proyecto de ampliación del Canal a considerar esclusas que permitan el paso de un buque de estas dimensiones. De otra forma, el Canal de Panamá perdería su ventaja competitiva, frente a aquellas alternativas que pudieran garantizar el tránsito de una flota Pospanamax.

4.4 Capacidad del Canal ampliado

Tal y como se concluyó en la sección anterior, el Canal tiene una capacidad máxima estimada entre 330 y 340 millones de toneladas CPSUAB al año, equivalentes a 13,800 o 14,000 tránsitos. Según el pronóstico de demanda más probable, el volumen de tráfico por el Canal podría alcanzar más de 500 millones de CPSUAB, en el AF 2025, circunstancia que representaría una oportunidad de aumentar, en un 50%, el volumen de tráfico por el Canal.

Consecuentemente, el programa de ampliación del Canal intenta capturar esta demanda mediante la introducción de un Tercer Juego de Esclusas Pospanamax, sumadas a las respectivas mejoras de los cauces de navegación descritos en las secciones anteriores. El análisis de capacidad del Canal ampliado tiene el objetivo de definir la porción de la demanda servida, la calidad de este servicio, así como identificar aquella porción de la demanda que escaparía a nuestra capacidad, en el caso del Canal existente, como también, en el caso del Canal ampliado con la adición de un Tercer Juego de Esclusas.



Figura 87 Vista Isométrica de la esclusa con sus compuertas y tres tinas de reutilización de agua. Nótese la relación de tamaño entre el buque, la cámara y las tinas de reutilización de agua.

4.4.1 Programa de ampliación del Canal

El programa de ampliación del Canal o tercer juego de esclusas, busca dotar al Canal de la capacidad necesaria para captar la creciente demanda, ofreciendo un

servicio confiable que agregue valor a las cadenas de transporte de sus usuarios, permitiéndoles aprovechar las economías de escala que les ofrece el uso de buques de mayor tamaño. De esta manera, el Canal mantendrá su condición de eslabón vital en la cadena de transporte del comercio mundial, garantizando crecientes beneficios e ingresos a Panamá.

La ampliación del Canal consistirá en la construcción de un tercer juego de esclusas, de mayor tamaño que las esclusas existentes, con sus correspondientes cauces de navegación, sistemas de suministro y ahorro de agua, así como mejoras a los cauces de navegación existentes.

Esclusas pospanamax con sus correspondientes cauces de navegación.

Consiste de dos complejos de esclusas de tres cámaras cada uno (ver figuras de la 87 a la 91). Un complejo estaría ubicado en el extremo Atlántico del Canal, localizado al este de las esclusas de Gatún y, el otro, en el extremo Pacífico del Canal, localizado al oeste de las esclusas de Miraflores. Cada complejo de esclusas incluye nuevos cauces de navegación que las integran al sistema de cauces de navegación existente.

Mejoras a los cauces de navegación existentes. El programa incluye el ensanche y la profundización de los cauces de navegación en las entradas del Pacífico y Atlántico, la bordada de Gamboa y los cauces del lago Gatún para permitir el tránsito de buques pospanamax.

Implementación de un programa de suministro y ahorro de agua.

Para proveer el agua necesaria para satisfacer el consumo de la población metropolitana y el funcionamiento del Canal ampliado, el programa incluye los siguientes proyectos de suministro y ahorro de agua: (1) subir el nivel máximo operativo del lago Gatún (2) profundizar los cauces de navegación del lago Gatún y (3) construir tres tinas de reutilización de agua por cada cámara de las nuevas esclusas.

Vista Parcial de Esclusas y Compuertas Pospanamax

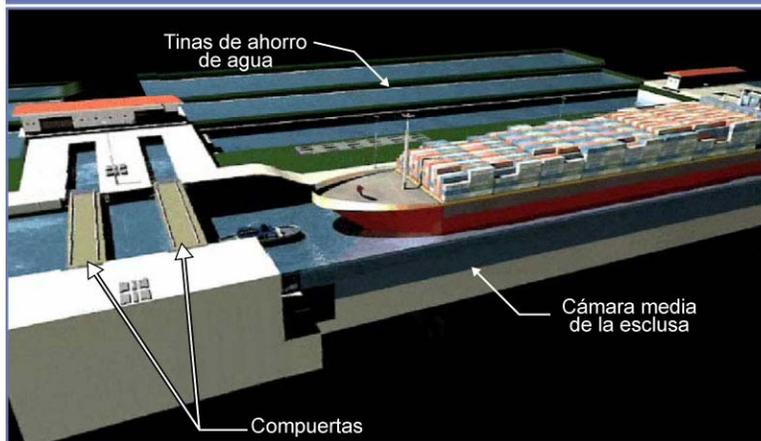


Figura 88 Ilustración conceptual de las tres cámaras de la esclusa pospanamax, mostrando las tres tinas paralelas de ahorro de agua por cámara, las compuertas rodantes y el sistema de posicionamiento de buques con remolcadores.

Representación Conceptual de Tercer Juego de Esclusas con Tinas de Reutilización de Agua

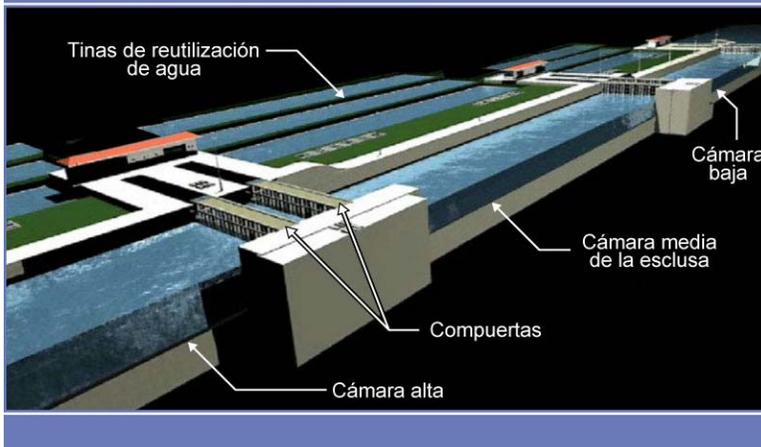


Figura 89 Ilustración conceptual de las tres cámaras de la esclusa pospanamax, mostrando las tres tinas paralelas de reutilización de agua por cámara y las compuertas rodantes.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

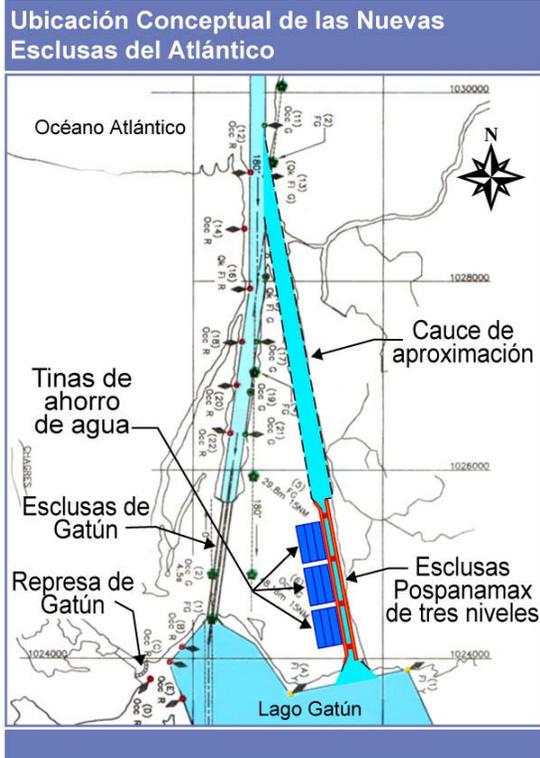


Figura 90 La esclusa pospanamax del Atlántico estará al Este de la esclusa de Gatún, y utilizará parte de la excavación de 1939.

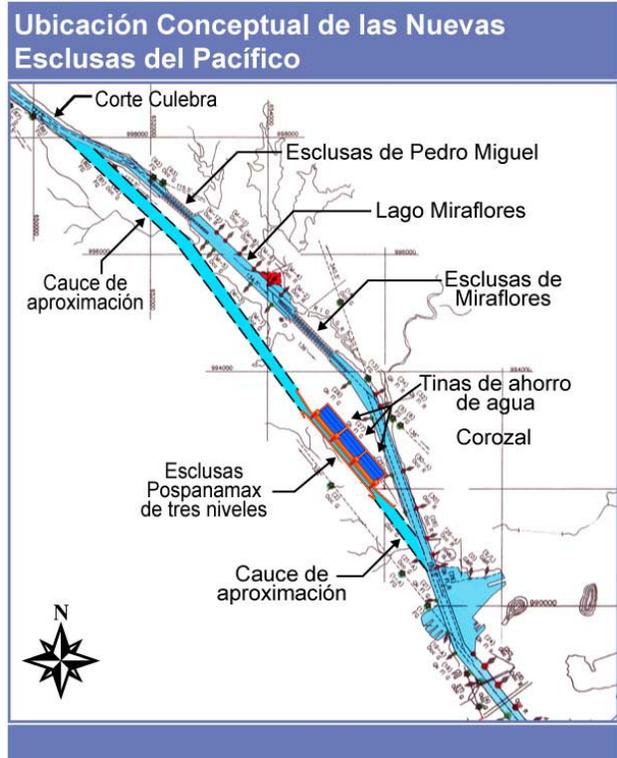


Figura 91 La esclusa pospanamax del Pacífico estará al suroeste de las esclusas de Miraflores y requerirá de un nuevo cauce de acceso.

4.4.2 Demanda objetivo del Canal para los próximos 20 años

Sobre la base de los estudios de mercado y las reglas de negocios presentadas, la ACP ha desarrollado una estrategia de precios de largo plazo. Esta estrategia de precios está orientada a agregar valor a la ruta, a través del incremento de la confiabilidad y competitividad de la misma, atención a la creciente demanda, proveer beneficios al Canal y a sus usuarios a través de economías de escala, obtener para el canal el máximo rendimiento del valor que aporta a la ruta y un retorno sobre las inversiones conmensurable con su nivel de riesgo.

La demanda objetivo del Canal ampliado se define como el volumen de tráfico que optaría

Pronóstico de Demanda Objetivo del Canal Ampliado Volumen de Toneladas CP-SUAB

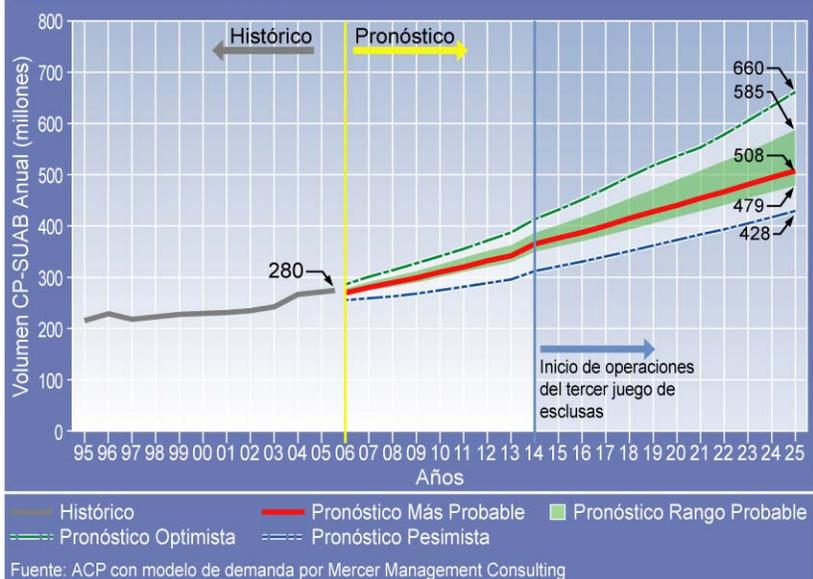


Figura 92

Se pronostica un crecimiento de 3% anual del volumen de tráfico por el Canal de Panamá, el cual alcanzará 508 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025, según el pronóstico más probable.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

CODE	Length		Beam		Draft		HML		PD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
CCDL	0	966	0	107	0	40.51	D	D	No	Yes
DLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
DLCC	0	966	0	107	0	40.51	Y	Y	No	Yes
DLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CC	0	966	0	100	0	40.51	N	D	Yes	Yes
SV	0	966	0	107	0	40.51	N	D	No	Yes
CR	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CR	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
CR	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	1200	120	180	0	50	N	D	No	Yes
PCC	0	1200	107	120	0	50	N	D	No	Yes
PCC	966	1200	0	180	0	50	N	D	No	Yes
PCC	0	1200	0	180	40.5	50	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
PDLCC	0	0	0	0	0	0	N	D	No	Yes
NR	Assign this code to all vessels that do not qualify for any other restriction code									

Figura 94 Pantalla de configuración de la asignación de códigos de restricción para el Canal ampliado. Las restricciones en la mitad inferior de la tabla corresponden a buques Pospanamax

CODE	Length		Beam		Draft		PD		Market Segment	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
D	0	966	100	107	0	40.5	Yes	Yes	Container	Vehicle Carriers
D	650	966	0	107	0	40.5	No	Yes	Passengers	Passengers
Inspect.	700	966	100	107	0	40.5	No	Yes	Container	Vehicle Carriers
N	Assign this code to all vessels that do not qualify for any other restriction code									

Figura 95 Pantalla de configuración de la asignación de códigos de HML en la simulación del Canal ampliado.

Year #	Year	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers	Total	Total Yearly Traffic
1	2014	23.90%	25.39%	4.88%	7.33%	2.54%	16.98%	10.59%	8.38%	100.00%	13508
2	2015	23.90%	25.39%	4.88%	7.33%	2.54%	16.98%	10.59%	8.38%	100.00%	13508
3	2016									0.00%	
4	2017									0.00%	
5	2018									0.00%	
6	2019									0.00%	
7	2020									0.00%	
8	2021									0.00%	
9	2022									0.00%	
10	2023									0.00%	
11	2024									0.00%	
12	2025									0.00%	

Figura 96 Pantalla de configuración de la cantidad de tránsitos en el año y su distribución por segmento de mercado para el año 2015 en el Canal ampliado.

Year #	Year	Container	Dry Bulk	General Cargo	Others	Passengers	Refrigerated	Tankers	Vehicle Carriers
1	2014	DISC(0.030,	DISC(0.011,	DISC(0.005,	DISC(0.010,1	DISC(0.046,	DISC(0.010,	DISC(0.004,	DISC(0.001,
2	2015	DISC(0.030,	DISC(0.011,	DISC(0.005,	DISC(0.010,1	DISC(0.046,	DISC(0.010,	DISC(0.004,	DISC(0.001,
3	2016	DISC(0.030,	DISC(0.011,	DISC(0.005,	DISC(0.010,1	DISC(0.046,	DISC(0.010,	DISC(0.004,	DISC(0.001,
4	2017	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2018	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2019	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2020	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2021	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2022	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2023	0	0	0	0	0	0	0	0
11	2024	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2025	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 97 Pantalla de configuración de la distribución de rangos de tamaño de buques por segmento de mercado en el año 2015 para el Canal ampliado.

4.4.4 Frontera de capacidad del Canal ampliado

El Canal sin ampliación tiene una capacidad anual máxima de 330 a 340 millones de toneladas CPSUAB, equivalentes a entre 13,800 y 14,000 tránsitos³¹. Según las proyecciones de demanda más probable, el volumen de tráfico por el Canal podrá alcanzar 508 millones de toneladas CPSUAB en el AF 2025, lo que representará una oportunidad de aumentar en un 54% el volumen de tráfico por el Canal³², por encima de de la capacidad máxima del Canal.

El programa de ampliación del Canal propone captar esta demanda mediante: (1) la construcción de un tercer juego de esclusas con capacidad para transitar buques pospanamax, con sus respectivos cauces de aproximación y (2) las mejoras a los cauces de navegación existentes, descritos en las secciones anteriores. El análisis de capacidad del Canal ampliado tiene como fin determinar la viabilidad de atender a la demanda, discernir el nivel de servicio que se brindará y establecer que tan grande sería la demanda que no se podrá captar, si este fuese el caso, aun con la adición del tercer juego de esclusas.

Los análisis de la ACP identificaron la frontera de capacidad para el Canal ampliado con un tercer juego de esclusas pospanamax, aplicando la misma metodología que se aplicó para estimar la capacidad del Canal actual. La frontera de capacidad ofrece un panorama general de cuál será la capacidad del sistema bajo una variedad de mezclas hipotéticas que representan distintas combinaciones de tamaños de buques.

Para determinar la frontera de capacidad del Canal ampliado, se simuló la operación del Canal ampliado con un tercer juego de esclusas bajo distintas mezclas de buques para determinar el volumen máximo probable que podrá transitar,

Frontera de Capacidad del Canal Ampliado			
Porcentaje de Buques No-Restringidos (Manga < 27.7m)	Porcentaje de Buques Restringidos (Manga ≥ 27.7m)	Capacidad Máxima del Canal	
		Número Promedio de Tránsitos por año	Toneladas Anuales (CPSUAB)*
100%	0%	28,500	255 - 265
80%	20%	20,100	340 - 350
60%	40%	16,800	415 - 425
50%	50%	16,100	465 - 475
40%	60%	15,300	510 - 520
20%	80%	12,000	495 - 505
0%	100%	9,700	475 - 485

*En Millones

Figura 98 Frontera de capacidad del Canal con el programa de ampliación propuesto. Sin embargo, a medida que lo requiera la demanda se podrá adicionar capacidad, para llevar al canal ampliado a su máxima capacidad de entre 580 y 600 millones de CPSUAB.

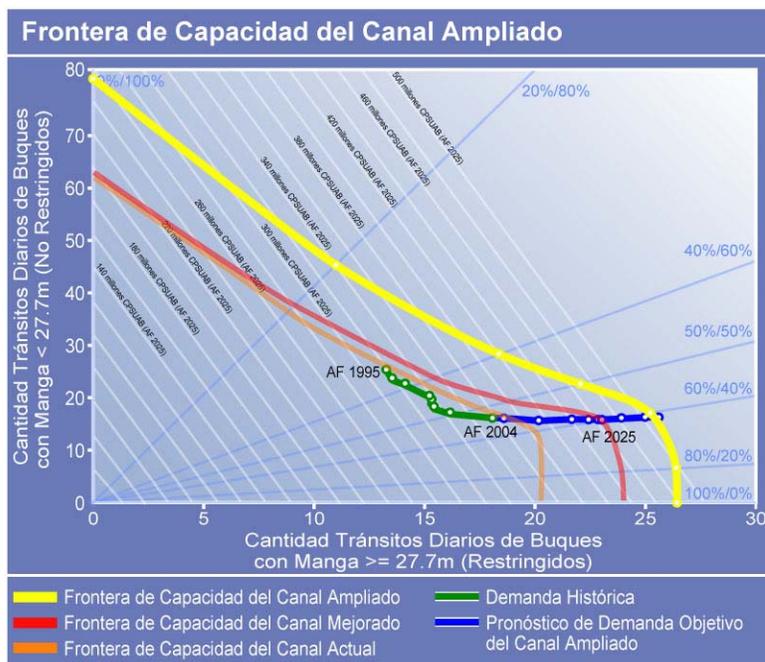


Figura 99 Frontera de capacidad del Canal ampliado con un tercer juego de esclusas en función de la mezcla de buques de la demanda.

³¹ Equivale a un tamaño promedio de buque de alrededor de 24,000 toneladas CPSUAB.

³² Véase el análisis de la demanda objetivo en el Capítulo 4, Sección 4-12.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

manteniendo niveles de servicio buenos. De acuerdo con los resultados de la simulación, la capacidad el Canal ampliado continuará siendo sensible a la mezcla de buques, por lo que el número de tránsitos y el volumen de carga variarán en la medida en que la mezcla de buques cambie. Las figuras 98 y 99 muestran los resultados del análisis de frontera de capacidad del Canal ampliado, así como también de la frontera de capacidad y resultados del Canal actual y del actual mejorado, respectivamente.

Como se puede apreciar, la frontera de capacidad del Canal ampliado indica que el tonelaje máximo del Canal se podrá obtener con una mezcla de 60% buques grandes con restricciones (buques mayores de 27.7 m de manga, que incluye a los buques pospanamax) y un 40% de buques pequeños sin restricciones (buques menores de 27.7 m de manga). Este análisis estima que el Canal con el programa de ampliación propuesto podrá transitar de 510 a 520 millones de toneladas CPSUAB anuales, que equivalen a cerca de 15,500 tránsitos. No obstante, la máxima capacidad del sistema, maximizando el uso de las nuevas esclusas, será de entre 580 y 600 millones de toneladas CPSUAB.

4.4.5 Impacto de la demanda en la capacidad del Canal ampliado

De acuerdo con los análisis realizados, la introducción de un tercer juego de esclusas pospanamax resultará en una mejora inmediata y significativa del nivel de servicio que ofrece el Canal a sus clientes. La introducción del tercer juego de esclusas tendrá un impacto en el nivel de servicio que se extenderá por varios años, permitiendo al Canal proveer un nivel de servicio bueno más allá del AF 2025, sin necesidad de hacer mejoras adicionales.

Acorde con la proyección de la demanda probable para el AF 2018, estimada en casi 415 millones de toneladas CPSUAB, el Canal ampliado con un tercer juego de esclusas podrá brindar buen servicio a más del 90% de la demanda. Esto se debe a que la introducción de una esclusa pospanamax permite reducir el número de tránsitos que se necesitarán para transportar la misma cantidad de carga.

Por ejemplo, para transportar la misma cantidad de carga que se moverá en el AF 2018 con cerca de 14,000 tránsitos, que incluyen buques pospanamax, se requerirán más de 16,000 tránsitos si los buques fueran Panamax o menores. Esto representa una diferencia de

Comportamiento del Nivel de Servicio Simulación del Canal ampliado para el AF 2018

-Con un tercer juego de esclusas Post Panamax

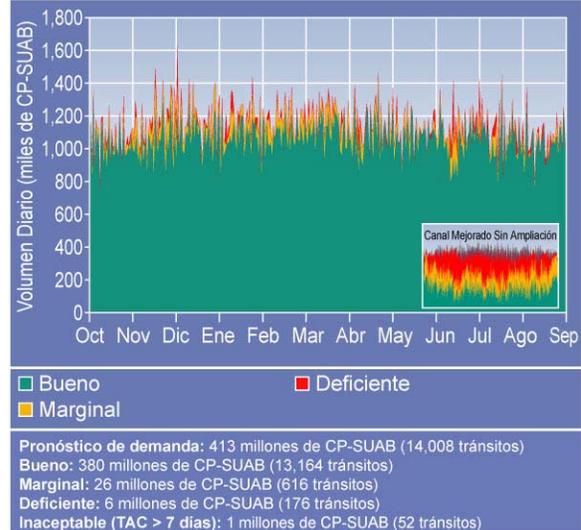


Figura 100 La ampliación del Canal permitirá manejar más del 90% de la demanda proyectada para el 2018 con buen servicio.

Comportamiento del Nivel de Servicio Simulación del Canal ampliado para el AF 2020

-Con un tercer juego de esclusas Post Panamax

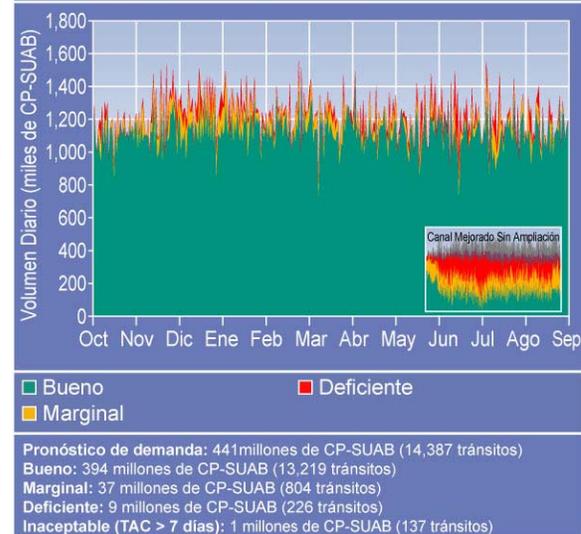


Figura 101 La ampliación permitirá manejar la demanda proyectada para el 2020 con más del 90% del volumen de tráfico recibiendo buen servicio.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

14% en el número de tránsitos. En el año 2025 la diferencia es aún más significativa: para mover la misma cantidad de carga que transitará en el AF 2025 con 15,000 tránsitos, que incluyen buques pospanamax, se necesitarán cerca de 19,000 tránsitos de buques si estos fueran Panamax o menores, lo cual representará un aumento de casi 25% en el número de tránsitos para transportar la misma cantidad de carga. La figura 100 muestra los resultados del modelo de simulación del Canal ampliado con un tercer juego de esclusas pospanamax para el AF 2018, en contraste, se puede observar en el recuadro los resultados del nivel de servicio del Canal sin ampliación.

Los resultados del modelo de simulación del Canal ampliado para el AF 2020 se muestran en la figura 101. Como se puede apreciar, en este año se continuará ofreciendo un buen nivel de servicio a más del 90% de la demanda. Los resultados del modelo de simulación para el AF 2025 indican que, a pesar del crecimiento de la demanda, más del 83 % del volumen transitará con buen nivel de servicio (ver figura 102).

Desde el inicio de operaciones del tercer juego de esclusas en el 2015 hasta más allá del 2025, el Canal ampliado proveerá niveles de servicio competitivos a sus usuarios. El tercer juego de esclusas garantiza al país que la ruta por el Canal mantendrá su competitividad y continuará generando ingresos y beneficios crecientes a Panamá mucho más allá del 2025 (ver figura 103).

4.5 Mejoras al Canal ampliado más allá del 2025

El tercer juego de esclusas permitirá al Canal alcanzar una capacidad máxima sostenible de aproximadamente 600 millones de toneladas CPSUAB (ver figuras 104 y 105). Sin embargo, para poder manejar estos volúmenes de tráfico serán necesarias mejoras adicionales a los cauces de navegación y otras infraestructuras del Canal que permitan maximizar la capacidad de las nuevas esclusas.

Según las proyecciones de demanda más probable, estas mejoras no serán necesarias hasta después del año 2025. Por esta razón no son incluidas como parte de la inversión inicial del tercer juego de esclusas. El Plan Maestro considera estas inversiones como contingentes al crecimiento de la demanda y el Canal estará listo para implementarlas en la medida que sea necesario.

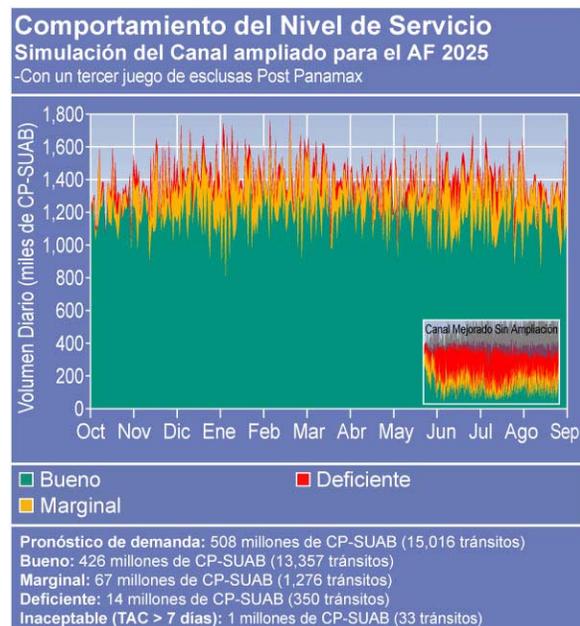


Figura 102 En el año 2025 el Canal ampliado podrá manejar más del 83% de la demanda proyectada con buen nivel de servicio.

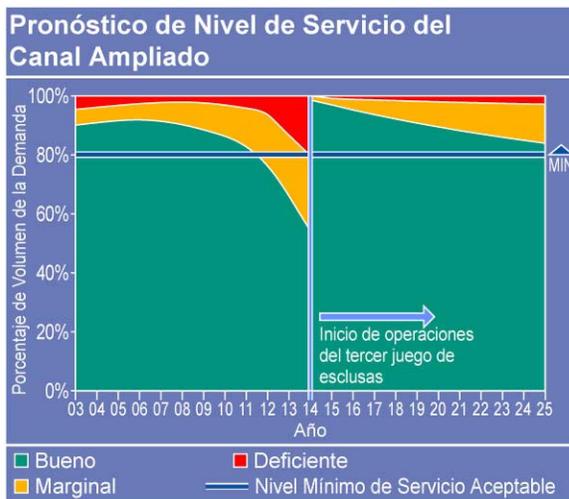


Figura 103 El Canal ampliado brinda un nivel de servicio bueno a más del 80% de la demanda en el AF 2025.

4.5.1 Estaciones de amarre

Para maximizar la capacidad del Canal ampliado y dar más flexibilidad a la programación de buques y se propone construir estaciones de amarre al norte y sur de la esclusa pospanamax del Pacífico, de aproximadamente 1,000 metros de largo, a una distancia razonable de las esclusas. Las estaciones de amarre reducirán el tiempo ocioso de las esclusas pospanamax, creado por el cambio de dirección entre el convoy en dirección norte y el convoy en dirección sur.

En el caso de neblina en el Corte, las estaciones de amarre también permitirán acumular buques en dirección norte, en espera de que mejore la visibilidad. Las estaciones de amarre permitirán posicionar buques que puedan tener un desperfecto mecánico en su travesía por esta sección del Canal, evitando así interrupciones en la operación de las esclusas pospanamax.

Además de las estaciones de amarre descritas, se podrán agregar estaciones de amarre adicionales en el cauce de acceso norte de la esclusa pospanamax del Pacífico, así como también en el Corte Culebra y en el cauce de acceso norte de la esclusa pospanamax del Atlántico. El propósito de las estaciones de amarre será maximizar la capacidad de las nuevas esclusas, reduciendo el impacto de retrasos y restricciones operativas (ver figura 104).

Frontera de Capacidad del Canal Ampliado Operando a su Máxima Capacidad			
Porcentaje de Buques No-Restringidos (Manga < 27.7m)	Porcentaje de Buques Restringidos (Manga ≥ 27.7m)	Capacidad Máxima del Canal	
		Número Promedio de Tránsitos por año	Toneladas Anuales (CPI/SUAB)*
100%	0%	28,500	255 - 265
80%	20%	20,800	360 - 370
60%	40%	17,900	470 - 480
50%	50%	17,200	520 - 530
35%	65%	16,200	600 - 610
20%	80%	13,500	580 - 590
0%	100%	10,900	570 - 580

*En Millones

Figura 104 Frontera de capacidad del Canal ampliado operando a su máxima capacidad.

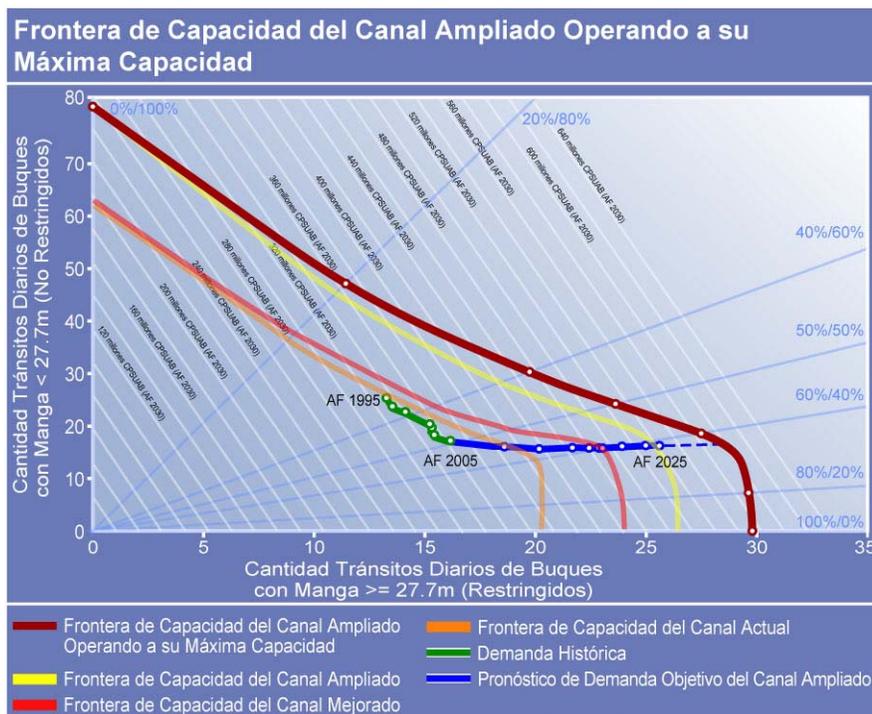


Figura 105 Una vez se maximiza el uso de las esclusas, el Canal ampliado llegara a su capacidad máxima de cerca de 600 millones de toneladas CPSUAB.

4.5.2 Ensanche del Corte Culebra

El incremento, a través del tiempo, del número de tránsitos de buques pospanamax por el Canal, aumentará la cantidad de buques pospanamax que no podrán encontrarse con otros buques en el Corte Culebra. Para mitigar el impacto de esta restricción sobre la capacidad del sistema, se propone un aumento del ancho del corte Culebra de 218 (715') a 225 metros (730'). Esta mejora permitirá

flexibilizar la programación de buques pospanamax y Panamax por el Corte Culebra.

4.5.3 Fondeaderos

De manera similar al caso de las estaciones de amarre, la capacidad operativa del Canal ampliado se podrá maximizar ampliando los fondeaderos para manejar los aumentos, en el tiempo, de buques pospanamax. Esto se haría mediante la implementación de un área de fondeo para buques pospanamax fuera y dentro del rompeolas en el Atlántico, además de mejoras y adiciones a los fondeaderos internos existentes.

A través de la introducción de estas mejoras, se mantendrá el nivel de servicio esperado más allá del AF 2025. Al igual que en el Canal actual, la construcción de estaciones de amarre adicionales para buques pospanamax cerca de la esclusa pospanamax del Pacífico y el ensanche adicional del Corte Culebra, aumentará la capacidad del sistema al permitir maximizar la utilización de las esclusas del Pacífico.

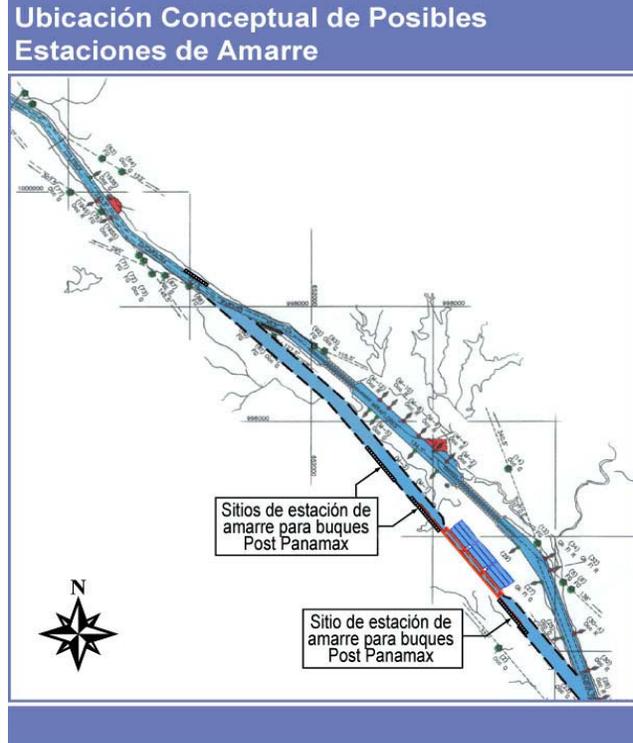


Figura 6—106 Estaciones de amarre en el cauce de acceso al norte y sur de las esclusas pospanamax Pacífico y al norte y sur de la misma.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

No obstante, estas mejoras al Canal existente aumentarán su capacidad en un 20% adicional, hasta un volumen de tráfico sostenible de 330 a 340 millones de toneladas CPSUAB anuales, equivalente a un rango entre 13,800 y 14,000 tránsitos. El pronóstico más probable indica que la demanda del Canal podrá alcanzar estos niveles cerca del AF 2011 y del AF 2012. El nivel de servicio del Canal se deteriorará exponencialmente, después de alcanzar su máxima capacidad sostenible, afectando adversamente y de manera significativa la ventaja competitiva de la ruta.

Cuando el Canal esté operando a su máxima capacidad sostenible se anticipa que cada cierre de vía por mantenimiento representará mayor impacto en la calidad del servicio de los usuarios. Es de esperarse entonces que los niveles de uso intenso y continuo del Canal, así como la edad de sus activos, impongan regímenes de mantenimiento más prolongados, costosos y frecuentes. Ello repercutirá en un deterioro adicional de los niveles de servicio y en la confiabilidad del sistema. En este escenario de largo plazo, consideramos que el Canal se tornará incapaz de mantener indefinidamente un ritmo de operación sostenible, estimado entre 330 y 340 millones de toneladas CPSUAB por año. Con el fin de lograr este ritmo de operaciones sostenibles, el Canal deberá sostener indefinidamente la intensidad del tráfico, así como deberá también garantizar que la mezcla de buques se mantenga en la proporción óptima de 40% de buques pequeños y 60% de buques grandes. La prognosis de largo plazo es que, en este escenario, el Canal mejorado

podrá sostener un volumen promedio de operación, en el orden de los 325 a 330 millones de toneladas CPSUAB por año. Esto que representa una prolongación, de corto plazo, de la competitividad del Canal de Panamá.

La construcción de una tercera vía de esclusas permitirá al Canal de Panamá captar la totalidad de la demanda proyectada más allá del año 2025. Esto representa un volumen acumulado de más de 1,200 millones de toneladas CPSUAB en los primeros 11 años de operación del tercer juego de esclusas, que no podrían ser manejadas sin la ampliación (ver figura 108). Operando a su máxima capacidad, el Canal ampliado podrá manejar de 580 a 600 millones de toneladas CPSUAB anualmente, lo que equivale a más de 16,000 tránsitos.

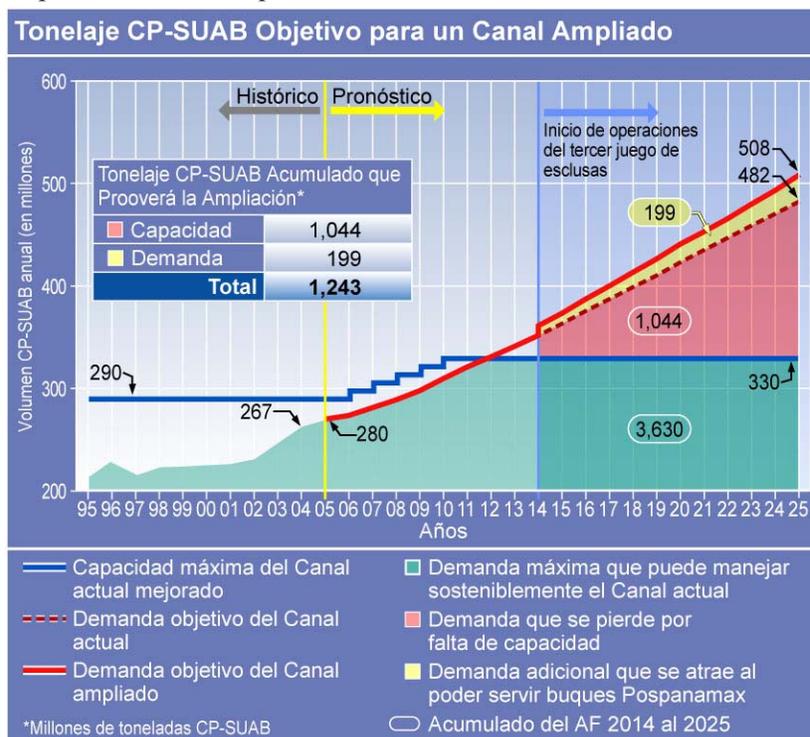


Figura 108 Con base en los pronósticos de demanda objetivo, la ampliación del Canal permitirá capturar un tonelaje acumulado adicional que excede a 1,200 millones de toneladas CPSUAB entre el AF 2014 y el 2025.

Simulación y Análisis de Capacidad del Canal

Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión

El programa de ampliación permitirá generar ingresos significativos para Panamá, en forma creciente y sostenible. Además, fortalecerá el papel del Canal como motor fundamental para el desarrollo sostenible del país a largo plazo. Por otra parte, permitirá a los usuarios utilizar los buques más apropiados para sus rutas, brindando niveles de servicio adecuados. Finalmente, la ampliación del Canal con un tercer juego de esclusas incrementará el valor de la ruta por Panamá, a la vez que garantizará su carácter competitivo y desempeño exitoso como eslabón clave en ese amplio y complejo sistema del comercio y el transporte mundial.