



Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

Nombre del estudio en inglés: Vessel Positioning Project

Nombre del estudio en español: Proyecto de Posicionamiento de Buques

Fecha del informe final: 30 de junio de 1999

Fecha de la traducción: 12 de mayo de 2006

Nombre del consultor: Texas A & M University

RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCIÓN

Descripción y tareas del proyecto

Este informe final presenta los resultados del Contrato PAP-3926-BGP intitulado “Proyecto para identificar y evaluar enfoques alternos para el posicionamiento de buques en las esclusas”. Este estudio fue realizado para la Oficina de Proyectos de Capacidad de la Comisión del Canal de Panamá por la Estación Experimental de Ingeniería de Texas , que es la División de Investigación de Ingeniería del Sistema Universitario de Texas A&M. El período comprendido en este estudio de diseño conceptual fue del 1 de enero de 1999 al 30 de junio de 1999.

El propósito del estudio es analizar una serie de posibles técnicas alternas para posicionar, remolcar y frenar en forma dinámica los buques que transitan por el sistema de esclusas en el Canal de Panamá. Sobre la base de estos posibles enfoques, durante este período se escogerán y analizarán en la mayor medida posible seis de las ideas más prometedoras. Los análisis deben incluir descripciones operacionales, diseños preliminares y consideraciones de costos. Los sistemas alternos se pueden aplicar al sistema actual de esclusas o bien a posibles nuevas esclusas adicionales más grandes que están bajo la consideración de la Comisión del Canal de Panamá. No se ha estipulado casi ninguna restricción, excepto que sólo se permiten algunas modificaciones mínimas a los buques; por ejemplo, son factibles algunas modificaciones a los puntos de conexión existentes de los buques, pero el casco no se puede modificar ni se le puede agregar nada. Además, las consideraciones económicas serán secundarias a los aspectos de efectividad, factibilidad, funcionalidad y confiabilidad de los conceptos.

Estudiantes de licenciatura y maestría de la Universidad de Texas A&M llevarán a cabo este estudio interdisciplinario en estrecha colaboración con los ingenieros y prácticos de la Comisión del Canal de Panamá. Este enfoque fue estipulado en lugar de un proyecto de



investigación tradicional, debido a que se consideró que por lo general un grupo de estudiantes puede ser muy creativo en visualizar posibles soluciones que podrían no ser identificadas en otro escenario.

Sistema actual de posicionamiento y motivaciones para el estudio

El sistema actual usa locomotoras especiales que funcionan sobre rieles en los muros de la esclusa para remolcar, frenar, posicionar y sostener a los buques a través de las esclusas. Estas funciones se logran mediante el uso de malacates y cables conectados a los puntos de amarre en los buques, y la tracción se logra mediante la energía eléctrica que transmite un engranaje de piñones conectado a una cremallera que corre a lo largo de las esclusas. Un práctico a bordo logra el control del buque mediante la percepción visual de la posición y velocidad lateral y longitudinal del buque. A fin de evitar hacer contacto con el muro, es fundamental mantener un control preciso ya que solo hay dos pies de distancia libre entre los muros de las esclusas y los cascos de los buques más grandes. Se requiere un control dinámico efectivo debido a las perturbaciones externas inevitables, tales como turbulencias de agua y viento.

Este sistema ha funcionado bien por muchos años y generalmente es confiable y seguro. Las grandes fuerzas transversales inherentes al sistema han resultado, sin embargo, en un importante desgaste de la cremallera y el piñón, sistemas de malacate y locomotoras que requieren reemplazos y mantenimiento costosos y frecuentes. Esto se ha acelerado a medida que el tráfico y el tamaño y peso de los buques han aumentado y se espera que esta tendencia continúe. Por ello, la principal motivación para la identificación de sistemas alternos de posicionamiento es reducir el desgaste, mantenimiento y requerimientos de mano de obra con sus costos asociados y, a la vez, aumentar el rendimiento de forma segura y confiable.

Desgaste excesivo

La primera observación que hemos hecho en el estudio es que el desgaste del sistema actual es excesivo por diferentes razones. Una razón importante se debe a la configuración del sistema de posicionamiento. Si hay locomotoras con cables de conexión flexibles únicamente sobre un muro de la esclusa para las funciones de remolcar y frenar, entonces debido a que el cable nunca está paralelo al buque, se crea una fuerza lateral indeseable que tiende a halar el buque hacia el muro de la esclusa. Por consiguiente, se deben usar locomotoras adicionales en los muros opuestos cuyas funciones no sean solamente las de remolcar y frenar, si no también de contrarrestar las fuerzas laterales opuestas para que se pueda lograr el centrado. Por lo tanto, son inherentes las “fuerzas desperdiciadas” y el uso excesivo asociado y necesario sobre el diseño de los componentes del sistema. Por otra parte, esta acción de estiramiento lateral proporciona un impedimento incorporado contra las fuerzas de perturbación externas hasta cierto punto, y por lo tanto, mejora el control lateral. En una configuración ideal de “desgaste mínimo” que sólo aplica fuerzas que son necesarias y no más, las fuerzas laterales y longitudinales se deben desacoplar. Esto significa que las fuerzas laterales para remolcar y frenar sólo se pueden dirigir desde la línea central de las esclusas a la línea central del buque. Por otra parte, las fuerzas de posicionamiento lateral sólo deben dirigirse en forma perpendicular al buque y nunca se deben aplicar a menos que sea necesario debido a perturbaciones externas que surjan de la turbulencia del agua, viento, etc. Desde el punto de vista de minimizar el desgaste, sería deseable un sistema alternativo que logre este acoplamiento de la fuerza longitudinal y lateral aplicada, pero el control del posicionamiento lateral puede o no requerir mayor complejidad que en el sistema actual. Esto dependería por completo de la naturaleza del sistema de posicionamiento utilizado.



Otra observación relacionada con el desgaste excesivo en el sistema actual es que una cremallera y piñón no pueden acomodar efectivamente la carga transversal grande. La carga transversal es inherente en la configuración actual y no se puede evitar excepto mediante un diseño alternativo.

Además, parece estar ocurriendo un control innecesario en el proceso actual, causando más carga transversal que la que es necesaria para posicionar lateralmente los buques con efectividad. El exceso de control que está ocurriendo se debe a la acción no coordinada de los operadores de diferentes locomotoras. Las fuerzas máximas del malacate se están aplicando en momentos donde pudiera necesitarse menor fuerza. Otro factor que afecta el exceso de control es la misma demora que ocurre entre el momento en que un buque comienza a perder su línea central (debido a perturbaciones) y el momento en que el práctico se da cuenta de este error en la posición, se decide por una acción correctiva, se la comunica a los operadores de las locomotoras quienes finalmente toman la acción.

La demora o retraso entre un error en la posición del buque y la acción de control aplicada es especialmente perjudicial y con frecuencia ocurre a diferentes niveles en cualquier sistema que depende de operadores humanos en un ciclo de control de retroalimentación. Esto se debe al hecho de que los humanos pierden la atención fácilmente, se cansan de las tareas repetitivas y al hecho de que la percepción visual a menudo es imprecisa, especialmente en malas condiciones de visibilidad.

Para demostrar el efecto del retraso excesivo y otros fenómenos en el sistema, hemos desarrollado una simulación (véase Apéndice) usando MATLAB SIMULINK del movimiento lateral y longitudinal de cualquier buque en el agua sujeto a cualquier tipo de fuerzas, perturbaciones o condiciones iniciales. Usando SIMULINK el buque también puede acoplarse a un sistema de control de posicionamiento lateral “perfecto”. El sistema de control empleado recibe la información percibida del error en la posición lateral en tiempo real y automáticamente aplica las fuerzas laterales correctivas apropiadas usando un controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) estándar en la industria.

A manera de ilustración del efecto perjudicial del retraso en la actuación del control, considere un buque de 65,000 toneladas, 600 pies de largo con un calado de 12 pies, una relación de aspecto de 12.5 y una altura de bordo libre de 24 pies. El sistema de control PID puede suministrar fuerzas laterales en el buque hasta un máximo de 140,000 libras en cualquiera de los lados. Suponga que el buque está por alguna razón posicionado lateralmente a un pie de su posición deseada y se está moviendo en ese instante lateralmente a una velocidad de 0.1 pie por segundo alejándose de la posición deseada. Esta desviación se percibe en el momento y se aplica automáticamente la acción de control apropiada sin demora para restaurar el buque a la posición deseada, según se indica en las Figuras I.1 y I.2.

Véase la Figura I.1 en la versión en inglés.
Desplazamiento lateral – Sin retraso

Véase la Figura I.2 en la versión en inglés.
Fuerza lateral – Sin retraso

Observe que el sistema de control es muy estable y logra con facilidad la tarea de centrado y no ocurre ninguna saturación del control.

Véase la Figura I.3 en la versión en inglés.



Desplazamiento lateral – 8 segundos de retraso

Véase la Figura I.4 en la versión en inglés.

Fuerza lateral – 8 segundos de retraso

Considere ahora el mismo buque bajo el mismo exacto sistema de control y con la misma perturbación inicial, pero con un retraso de 8 segundos antes de que se aplique cualquier acción de control. (Figuras I.3 y I.4).

Debido al retraso, la respuesta es altamente oscilatoria y se aplican grandes fuerzas de control en un período largo causando desgaste excesivo en el sistema, lo cual es innecesario. Un retraso de ocho segundos es probablemente extremo, pero sirve para ilustrar lo que puede suceder en el peor de los escenarios. Además, cuando hay un retraso de tiempo ocurre una fuerza aún mayor cuando el sistema de control no es perfecto, por ejemplo, usando el control “bang-bang” donde solamente se aplican fuerzas máximas, similares al del sistema de posicionamiento actual.

El punto de esta simulación y discusión acerca del retraso de la acción de control es para ilustrar que para minimizar el desgaste del sistema es muy importante detectar con rapidez y precisión las desviaciones del buque de la posición lateral deseada y aplicar las fuerzas de restauración correctivas lo antes posible. Este ha sido uno de los principios guía en la identificación de un sistema de posicionamiento alterno en este estudio.

Clase y proceso

Para realizar el estudio se creó un nuevo curso intitulado “Soluciones creativas a los problemas de los sistemas de ingeniería” y se seleccionaron 12 estudiantes de licenciatura y de maestría en ingeniería mecánica, eléctrica, industrial y oceánica. El curso comenzó con discusiones de intercambio de ideas y procesos creativos, el proceso de “ingeniería de sistemas”, trabajando eficazmente en grupos y, por supuesto, abordando la naturaleza del problema. Un aspecto esencial fue una visita de la clase al Canal de Panamá a principios del semestre para obtener conocimiento directo de la operación y asuntos relacionados. Igualmente importante fue una visita a la Universidad de Texas A&M más tarde en el semestre que realizaron los señores Boris Moreno Vásquez y Juan Wong H. de la Oficina de Capacidad del Canal y el Capitán Raúl Brostella a fin de obtener un mejor entendimiento y guía.

Aproximadamente dos terceras partes del semestre fueron dedicadas a la elaboración de una estructura funcional, al intercambio de una multitud de posibles enfoques y a la selección de seis de los enfoques más prometedores. El resto del semestre fue dedicado a un mayor desarrollo y diseño de estas selecciones. Una herramienta importante en todo el proceso fue una Página Web dinámica (<http://pcc-tamu.edu>) que funcionó como un punto central de información y actividad para la clase así como un vehículo para describir el proyecto.

Estructura funcional

El problema es muy desafiante debido al hecho de que hay una multitud de funciones que se deben lograr en forma efectiva. En primer lugar, una tarea fundamental es iniciar el control en la entrada de la esclusa. Esta es una tarea difícil debido a las fuertes corrientes y mareas a menudo presentes, y a la necesidad de conectar cables a los buques en el proceso actual. Además, el sistema debe proporcionar el centrado efectivo durante todo el esclusaje, remolque, frenado y sostenimiento en las compuertas de la esclusa, y el ajuste de los cambios inherentes de nivel. El sistema debe ser capaz de manejar una gran variedad de buques y operar durante tiempos de lluvia, neblina y mala visibilidad. Un elemento vital es la operación a prueba



de errores, especialmente con respecto al frenado en las compuertas en el caso de falla de cualquier parte del sistema. El diseño debe proporcionar resultados máximos y exhibir requisitos mínimos de desgaste, mantenimiento, mano de obra y energía. Además, una característica deseable es un sistema que aminore el así llamado "efecto de pistón". Finalmente, es evidente la importancia de los costos de capital.

En el proceso inicial de intercambio de ideas para conceptos, es importante identificar solamente las funciones básicas requeridas del sistema y los parámetros relacionados sin la influencia de características deseables adicionales. Por ejemplo, si se permite que el costo sea un factor inicial importante, es muy probable que una idea que podría posiblemente evolucionar hacia una solución práctica nunca saliera a la superficie ni recibiera consideración adecuada. La Declaración del objetivo y estructura funcional del proyecto que se usó para guiar el proceso inicial de intercambio de ideas se presenta en la Figura I.5.

Véase la Figura I.5 en la versión en inglés.
Estructura funcional

Intercambio y evolución de ideas

Después de la identificación del problema, se llevó a cabo el proceso de intercambio de ideas. Empezando con una lista de fenómenos naturales y tecnológicos básicos capaces de proporcionar e imponer fuerzas sobre un buque (véase el Apéndice para la lista), se propusieron varias ideas conceptuales. El grupo de investigación se dividió en equipos pequeños de cuatro miembros cada uno para realizar un estudio preliminar sobre la factibilidad de las ideas. Todas estas ideas fueron documentadas (véase Apéndice) y discutidas con los representantes de la Comisión del Canal de Panamá. Algunas de las ideas iniciales fueron algo descabelladas, pero dicho razonamiento fue alentado en aras de fomentar la creatividad. El equipo de investigación elaboró entonces una matriz que consiste en los factores más importantes. La matriz se usó entonces junto con la retroalimentación de los representantes de la Comisión, para seleccionar las ideas que el grupo de investigación pensó que valían la pena explorar en mayor detalle (refiérase al Apéndice para conocer la matriz completa). Para cada concepto que fue determinado como improbable, el equipo asumió el reto de "cómo lograr que la idea funcione". Se debe observar que mientras se examinaban las ideas, se analizó la idea del doctor Len-Rios sobre un mecanismo magnético de auto-centrado.

Como resultado de este proceso, se seleccionaron las siguientes ideas:

Malacate de robot integrado - Este es similar a una versión automatizada del sistema actual, pero no usa locomotoras.

Cremallera y piñón – Se conecta un engranaje de piñón al buque y una cremallera a lo largo del muro de la esclusa.

Malacates de dos grados de libertad - Usa un malacate sobre una estructura vertical para proveer las fuerzas longitudinales y laterales mientras se optimizan los ángulos de cable.

Cable ajustado de alta tensión – Usa un cable estirado a través de la esclusa con un malacate conectado al buque para proporcionar fuerzas laterales.

Sistema de resorte con equilibrio natural – Un sistema de armadura que usa resortes para proporcionar pasivamente fuerzas de centrado sobre el buque.

Fuerzas laterales usando pesos opuestos – Los cables amarrados al buque se conectan a un mecanismo de peso opuesto para proporcionar pasivamente fuerzas de centrado.



Vagones laterales activados hidráulicamente – Proporcionan fuerzas longitudinales y laterales usando pistones hidráulicos amarrados a un vagón que se mueve a lo largo de los muros laterales.

Cercha – Usa una cercha telescópica para obtener una conexión rígida de empujar y halar. Esta conexión permite fuerzas laterales, longitudinales y angulares correctivas.

Esclusa flotante – Usa una estructura flotante para proporcionar una interfaz consistente entre las estructuras fijas de la esclusa y la geometría variable del buque.

Sincroelevador – Usa un soporte cómodo para controlar el movimiento del buque impartiendo fuerzas directamente sobre el casco.

Sistemas magnéticos – Usa fuerzas magnéticas para controlar la posición del buque dentro de la esclusa. Esta es la combinación de muchas ideas magnéticas conceptuales.

Sistemas de parachoques – Usa un sistema de parachoques para proteger al buque contra daños causados por las interacciones con el muro de la esclusa. Esta es una combinación de los muchos diseños conceptuales de parachoques.

Bitá de recorrido – Cables de longitud fija amarrados al buque y a los vagones que son impulsados por un sistema de transmisión mecánica montado sobre el muro de la esclusa.

Muros de aproximación flotante – Permiten que cualquier sistema de control de posición inicie el control antes de que el buque se aproxime a la estructura de concreto no deformable usando dos estructuras flotantes.

Celdas viscosas – Parachoques hidráulicos a lo largo de la esclusa que proporcionan amortiguamiento pasivo; las acciones de halar y frenar se logran usando malacates fijos en las compuertas con cables largos.

El equipo de investigación se subdividió entonces en tres nuevos grupos de 4 personas. Cada uno de estos cuatro grupos seleccionó entonces cuatro ideas para explorarlas en mayor detalle. La razón para volver a mezclar los grupos fue para garantizar la mejor mezcla posible de conocimientos para explorar las ideas específicas asignadas al grupo. A medida que los grupos exploraban la factibilidad de cada una de estas ideas, algunas fueron desechadas o combinadas con otros conceptos para poder realizar las diferentes tareas requeridas por el proceso de recorrido. De las 12 ideas originales seleccionadas, presentamos la lista de las ideas que fueron descartadas por el equipo de investigación junto con las razones para desecharlas.

Idea conceptual	Razón para descartarla
Cremallera y piñón	Varias desventajas debido a tener que montar un dispositivo grande sobre el casco del buque
Malacate de dos grados de libertad	Incluir un grado vertical de libertad debajo del muro de la esclusa reduciría el tamaño máximo de los buques que pudieran atravesar la esclusa. Los beneficios proporcionados por este diseño no pudieron justificar este “desperdicio” de espacio.
Cable ajustado de alta tensión	Muchas de las características de este diseño se usaron para que el concepto de la bitá de



	recorrido fuera factible.
Sistema de resortes con equilibrio natural	Este concepto es muy similar al de la idea de la cercha. Tienen tantas características en común que el sistema de resorte se pudiera implementar en el diseño de cercha reemplazando los cilindros hidráulicos con resortes.
Vagones laterales activados hidráulicamente	Esta idea se encontró muy similar a la idea de la cercha. Muchas de sus características singulares se incorporaron en el diseño de cercha. Por lo tanto, no se continuó con un mayor desarrollo.
Ideas magnéticas	La capacidad de este concepto para impartir fuerza física es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación desde el casco del buque al magneto. Esto fue un problema físico fundamental en esta idea. Adicionalmente, cualquier idea magnética no sería capaz de controlar el recorrido de ningún buque con cascos no ferrosos.
Sistemas de parachoques	Sistema que requiere gran capital con beneficios limitados. Aunque estos sistemas minimizan el potencial para daños, deben ser complementados por otros sistemas (por ejemplo, cable/locomotoras).
El sincroelevador	La complejidad inherente de los enlaces relacionados con cumplir con cualquier geometría de casco arbitraria y la cantidad de piezas que se necesitarían para estar bajo el agua hicieron que este concepto no fuera atractivo.

Figura 1.6: Conceptos descartados por los equipos de diseño

Después que los diferentes grupos de diseño decidieron cuáles ideas querían desarrollar, se inició la fase final del diseño. El enfoque se concentró en explorar las seis ideas siguientes:

Malacate de robot integrado

Bitá de recorrido

Fuerzas laterales usando pesos opuestos

Cercha

Celdas viscosas

Esclusa flotante

Diseños

La parte principal de este informe consiste en la elaboración adicional de cada una de las seis ideas. Cada idea se resume y representa gráficamente. Se incluyen las descripciones operacionales de los conceptos que incluyen interfaz con el práctico, elementos humanos,



aspectos de la entrada a la esclusa, capacidades de centrado, manejo de los cambios de elevación, remolque y frenado. Los requisitos del sistema, por ejemplo, potencia, tamaños, pesos, configuraciones, etc. se presentan como resultados de los cálculos del diseño que aparecen en el Apéndice. La presunción principal usada en la elaboración de estas especificaciones es que el sistema debe poder aplicar una fuerza lateral de 140,000 lb. a cada lado de un buque y una fuerza longitudinal de remolque/frenado de 200,000 lbf. Se presentan la descripción del mantenimiento, confiabilidad del sistema y la infraestructura requerida y las modificaciones del buque, y se aborda la aplicabilidad a las esclusas existentes en comparación con el potencial de nuevas esclusas.

Conceptos adicionales

En el proceso de intercambio de ideas y en el proceso de entender la operación de las esclusas y el sistema de posicionamiento, se generaron dos ideas adicionales no relacionadas específicamente al alcance del proyecto que pudieran mejorar potencialmente las operaciones de la esclusa. Estas incluyen una modificación de las configuraciones de la batiente de la compuerta para reducir la turbulencia severa que está presente en las esclusas, y un innovador concepto de conservación de agua que resultó de las discusiones relacionadas con la inquietud sobre el suministro de agua.

Finalmente, se incluyen en el Apéndice un sistema que involucra una entrada de pivote y muro de salida para mejorar la iniciación del control y una descripción de la simulación usada para probar y evaluar diferentes conceptos.



CONCLUSIONES

Este ha sido un proyecto desafiante y ambicioso que nos ha sido beneficioso en el proceso educativo en ingeniería. Es bastante inusual que una clase tenga la oportunidad de trabajar como grupo en un problema interdisciplinario multifacético real que involucra muchos objetivos, creatividad, intercambio de ideas, diseño y equilibrio, todo en un escenario internacional. Es especialmente motivador el hecho de que el Canal de Panamá sea una de las maravillas de ingeniería humana que ejemplifica el diseño creativo. Desde nuestra perspectiva, ha sido una formidable experiencia de aprendizaje y estamos muy agradecidos por la oportunidad.

Esperamos haber podido contribuir con algunos nuevos conceptos de utilidad no considerados anteriormente, no sólo para el proceso de posicionamiento de buques, si no también a través de ideas adicionales surgidas en relación con la turbulencia y conservación del agua. También esperamos que el entendimiento y la expresión de los problemas desde nuestros puntos de vista resulten beneficiosos para los ingenieros del Canal de Panamá en su búsqueda constante de opciones para mejorar las operaciones del Canal. Es importante señalar que nuestro estudio sólo ha sido a nivel conceptual, y que todavía quedan muchos asuntos y preguntas abiertas antes de que cualquier concepto pudiese considerarse práctico. Además, no deseamos asignar prioridad a los seis nuevos sistemas de posicionamiento que hemos presentado ya que no conocemos todos los aspectos que pudieran influir fuertemente en las decisiones. Tal vez una versión híbrida de los conceptos pudiera ser el mejor enfoque.

Ofrecemos las siguientes conclusiones generales.

Un sistema de posicionamiento que desacopla lo más posible las fuerzas laterales y longitudinales es deseable desde el punto de vista de la minimización del desgaste, mantenimiento y capacidades de carga de los componentes. El desgaste excesivo y las fuerzas innecesariamente grandes y asociadas con el diseño de los componentes están presentes en el actual sistema de locomotoras debido a las fuertes fuerzas de acoplamiento existente.

La automatización de un sistema de posicionamiento requiere sistemas de percepción, procesamiento de señales y cómputo. Estos componentes son mucho más confiables actualmente que en el pasado, según se evidencia mediante su uso esencial y extenso en ambientes hostiles, por ejemplo, perforaciones profundas donde la temperatura y la presión son extremas, y en el ambiente de radiación del espacio exterior. Se piensa que los beneficios de la automatización sobrepasan por mucho las objeciones relacionadas con la complejidad y la posible falta de confiabilidad, especialmente si se usa la redundancia.

Consideramos que los sistemas de posicionamiento activos que dependen de las fuerzas distribuidas del casco, por ejemplo, fuerzas electromagnéticas, fuerzas de flujo de agua, para lograr el centrado, son mucho menos viables que los sistemas de posicionamiento que dependen de las conexiones del buque y las fuerzas de punto aplicadas a las bitas.

Todas nuestras seis ideas dependen de las conexiones y las fuerzas de punto con excepción de la idea de las celdas viscosas, la cual es un sistema de parachoques pasivo (no requiere energía externa) con fuerzas de punto para el control longitudinal. La característica atractiva de los sistemas de fuerza distribuida es que no se requieren conexiones, pero esta ganancia se contrarresta considerablemente con los problemas relacionados con posibles interacciones perjudiciales del casco, la dificultad de control preciso, los problemas de escalamiento no lineal, la dificultad de remolque y frenado, la energía excesiva y los complicados requisitos de infraestructura.



El sistema de cremallera y piñón en uso no está diseñado para soportar fácilmente la carga transversal que está presente.

El retraso de tiempo en la activación del control es muy perjudicial al control efectivo y al desgaste, y se deben realizar todos los esfuerzos posibles por minimizarlo.

En el sistema actual no hay retroalimentación para los prácticos con relación a la cantidad de fuerza longitudinal y lateral que cada locomotora está aplicando en un momento preciso. Esta información pudiera ser muy valiosa para la operación de posicionamiento actual en términos de reducir el desgaste y lograr un centrado más efectivo.

Finalmente, hay una serie de tareas importantes que quedan por emprender. Un diseño óptimo requerirá de un conocimiento más profundo de las magnitudes de la perturbación y las fuerzas hidrodinámicas en diferentes clases de buques en las esclusas restringidas, las fuerzas longitudinales de remolque y frenado requeridas y las fuerzas de posicionamiento lateral que se requieren para una variedad de clases de buques. Una vez que se escoja un concepto de diseño para mayor elaboración, esta información, en conjunto con los modelos de simulación y escala, pudieran ser muy valiosos en la optimización del diseño. Además, quedan muchos asuntos pendientes en el diseño de cualquier aspecto automatizado del sistema que requieren controles de percepción, procesamiento de información y retroalimentación.

Estamos muy interesados en las siguientes etapas de los procesos de investigación y diseño asociados con este proyecto y nos encantaría asumir la responsabilidad. Hay una amplia capacidad a lo largo de estos temas en la Universidad de Texas A&M y estamos seguros que pudiéramos desarrollar este proyecto hasta su culminación.