

“Aporte de la Ingeniería Mecánica en el Funcionamiento del Canal de Panamá y sus Operaciones Marinas”

Por: Ing. Jorge L. Quijano
Director de Operaciones Marítimas
Autoridad del Canal de Panamá
MR-SEC@pancanal.net

Quisiera empezar por decir que la Ingeniería Mecánica ha representado para el Canal de Panamá uno de los pilares técnicos más importantes; desde su diseño y mejoras a través de los años, hasta la realización del programa de modernización y los estudios de ampliación en ejecución en estos momentos.

La magnitud de la inversión en sistemas mecánicos a través de la historia del Canal es sólo superada por las obras civiles. Sin embargo, el nivel de tecnología utilizado entonces es muy comparable a la magnitud de los avances de los últimos años en el área electrónica y de comunicaciones.

Tal vez el mejor ejemplo de lo avanzado de los sistemas mecánicos en el Canal sean las locomotoras de remolque. Como es conocido por muchos, las esclusas del Canal de Panamá son las únicas que utilizan este sistema para asistir los buques que por ellas pasan. La locomotora original diseñada por Edward Schilhower, ingeniero electro-mecánico de la Comisión del Canal Istmico, combinó la tecnología de locomotoras ferroviarias con lo que en ese entonces era algo novedoso, la alimentación eléctrica. El prototipo de Schilhower tenía un molinete central acoplado de forma articulada a dos unidades de propulsión y mando. Las unidades finalmente fabricadas por General Electric de chasis integral eran capaces de halar 25,000 libras, tenían una velocidad de remolque máxima de 2 mph y una velocidad de retorno de 5 mph. El ingenioso sistema incluyó las vías férreas con una cremallera que provee el medio para desarrollar la tracción requerida e impedir el descarrilamiento mediante ruedas de seguridad.

Schilhower fue también responsable del diseño de la maquinaria que opera las compuertas de las esclusas, el cuál permite mover las masivas compuertas de 700 toneladas con un motor eléctrico de 40 caballos a través de la ventaja mecánica de una serie de engranajes.

Otro sistema mecánico diseñado y construido específicamente para el Canal lo constituyó el tablero de control de la maquinaria de las esclusas. El sistema, en operación hasta el presente, utiliza una serie de enclaves mecánicos que garantizan la secuencia correcta de operación; por los que muchos han tenido a bien llamarlo “una computadora mecánica”.

Luego de 42 años de operación del Canal, las locomotoras fueron el primer equipo mayor de las esclusas en ser reemplazado. En 1956, después de realizar estudios para analizar su necesidad y opciones para eliminarlas, se decidió reemplazarlas por unidades más potentes. Las nuevas locomotoras adquiridas a partir de 1962 podían halar casi el triple de sus predecesoras mediante dos unidades de molinete con una capacidad de 35,000 lbs. cada uno, podían remolcar a 3 mph en lugar de 2 y tenían capacidad de viajar ligeras a 9 mph en lugar de 5. La cabina central permitía una mejor visibilidad y control al operador. El mayor avance tecnológico lo constituyó el uso de molinetes hidráulicos en lugar de los mecánicos de sus antecesoras. Las nuevas unidades también incorporaron cajas de engranajes de tracción cerradas para reemplazar el sistema abierto y un sistema de frenos neumáticos en lugar de los mecánicos.



A través de los años son muchas las aplicaciones de ingeniería mecánica utilizadas en mejoras realizadas al Canal. Entre ellas sobresalen las realizadas en las dos últimas décadas, a los equipos sumergidos de las esclusas. En las válvulas de vástago ascendente, que controlan el flujo de agua hacia y desde las cámaras de las esclusas, se destaca el uso de platos deslizantes de acero inoxidable y guías de polietileno de alta densidad molecular. El nuevo sistema reemplaza al mecanismo de rodillos de bronce y guías de acero, los cuales tenían una vida útil promedio de 7 años y eran muy propensos a fallas. Los sistemas plásticos utilizados fueron el resultado de muchos análisis y pruebas. Hasta ahora el nuevo sistema ha demostrado ser muy duradero y confiable; prueba de ello es que tenemos algunas válvulas operando con sistemas convertidos hace más de 20 años. Los plásticos también han reemplazado otros componentes de éstas y otras válvulas en las esclusas.

En las compuertas de las esclusas estamos utilizando sellos metálicos compuestos de acero inoxidable y acero común, unidos por un proceso conocido en inglés como metal cladding. La unión resulta en una pieza con una cara resistente a la corrosión, sobre una base de acero al carbón que evita la corrosión galvánica que ocasionaría una pieza sólida de acero inoxidable a las fundiciones incrustadas en la pared. La fabricación requiere de la unión a altas presiones de planchas de acero inoxidable con planchas de acero al carbón por un proceso de adhesión por explosión.

Otra de las mejoras realizadas en los procesos de reacondicionamiento lo constituyen el uso de rellenos epóxicos para reemplazar aquéllos a base de aleaciones de plomo y antimonio. Los nuevos materiales se han usado principalmente para rellenar los espacios detrás de los sellos metálicos de las compuertas y las paredes de las esclusas una vez éstos son alineados y ajustados en posición. Para el relleno con el material epóxico se utilizan bombas inyectoras con cámaras con volúmenes calibrados y pistolas de premezclado que garantizan las proporciones correctas y homogeneidad de la resina.

En años más recientes se ha estandarizado el procedimiento de ajuste y alineamiento de componentes de las compuertas con tecnología láser, tales como los sellos metálicos de las compuertas y las cámaras, la esfera pivote y el yugo pivote de las compuertas.

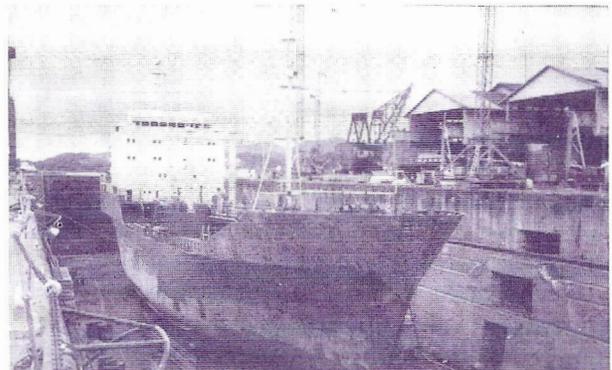
En 1996 el Canal inició un agresivo programa de modernización con el propósito de aumentar la capacidad del Canal a corto plazo hasta un 20%, mejorar la eficiencia, seguridad y flexibilidad de las operaciones, mantener el tiempo promedio en aguas del Canal en 24 horas y reducir los costos de mantenimiento. Este programa incluye la adquisición de nuevas locomotoras y aumento en el tamaño de la flota. La compra de nuevas locomotoras nos presentó la oportunidad para mejorar el diseño e incorporar nueva tecnología.

Entre los estudios realizados se destacan el análisis cinemático que permitió determinar las características de desempeño de las nuevas locomotoras a partir de la capacidad esperada de las esclusas y el análisis de vibraciones que permitió identificar la causa de las vibraciones que experimentaban las locomotoras al viajar a 9 mph. Se encontró que se trataba de un problema de resonancia causado por excitaciones inherentes al diseño de las vías de remolque, las cuales coincidían con la frecuencia natural de la locomotora y su sistema de suspensión. Luego se

realizó un análisis de cuerpo rígido, y se construyó un modelo matemático que permitió el diseño de un novedoso sistema de suspensión asimétrico que resolvió el problema de resonancia. Se mejoraron también los diseños de los molinetes y las cajas de tracción, en las cuales se resolvió definitivamente el problema de fugas de aceite, típicos de las locomotoras de la generación anterior.

Debo enfatizar que el cambio tecnológico más importante en las nuevas locomotoras lo constituye el nuevo sistema de control de tracción, el cual utiliza motores con variadores de frecuencia que le permiten un mejor control, requieren mucho menos mantenimiento y permiten enviar la energía de frenado de vuelta a la red de alimentación eléctrica en lugar de disiparla en frenos mecánicos.

Hasta el momento se han recibido las 26 locomotoras adicionales y se ha dado la orden de proceder con la fabricación de las primeras 20 unidades de reemplazo de la flota existente. Estas locomotoras pueden remolcar a 3 millas por hora con ambos molinetes a su máxima tensión de 35 mil libras cada uno y retornar ligeras a 10 millas por hora.



Otro de los proyectos incluidos en el programa de modernización del Canal es la rehabilitación de las vías de remolque. Debido al aumento de las cargas impuestas sobre las vías, causado por las locomotoras más potentes y pesadas y por el aumento del tamaño de los barcos, las vías se fueron deteriorando al punto que las reparaciones y mejoras aisladas ya no eran suficiente para mantener la integridad del sistema. Hasta ese momento las mejoras más significativas las constituían el reemplazo del riel de 90 lb. del lado de la cámara por un riel de calibre de grúa de 105 lb. y la instalación de semi-durmientes adicionales bajo el mismo.

El proyecto de rehabilitación se inició con el rediseño completo de todas las vías, el cual incluyó el reemplazo y adición de durmientes más fuertes, el reemplazo de los rieles, el uso de una cremallera más fuerte y con tolerancias más ajustadas, la sujeción de ambos con pernos de fijación tipo huck y la

construcción de una base de concreto reforzado. Es importante resaltar que, a pesar de que la renovación de las vías es mayormente un proceso de construcción civil, en el mismo se utilizan equipos, componentes y tolerancias de sistemas mecánicos.

La reconstrucción se realiza en fases y se inicia con la demolición, la cual se hace mayormente entre esclusajes, cortando secciones completas utilizando una máquina de hilo de diamante que es impulsada por un motor hidráulico. Una vez cortadas las secciones, éstas se anclan temporalmente hasta el momento de su reemplazo.

También se utiliza tecnología de hidro-demolición para remover secciones de difícil acceso u otras características especiales. Es importante destacar que ambos procesos evitan deteriorar las estructuras que no son removidas, a diferencia de los martillos neumáticos que causan micro-fisuras en las estructuras adyacentes. Paralelamente, a la demolición, se pre-fabrican las nuevas secciones de vías a utilizar. La última fase es el reemplazo de las secciones, la cual requiere el cierre de la vía. Típicamente se requiere de un cierre de 11 días para rehabilitar unos 300 metros de vía. Durante esta fase, se remueven las secciones pre-cortadas, se instalan las nuevas, se vacía el concreto y se instalan los rieles conductores. En la actualidad el proyecto tiene un avance general de un 50%.

Dentro del programa de modernización, el proyecto en el cual la ingeniería mecánica ha tenido la mayor relevancia es el reemplazo de la maquinaria que mueve las compuertas y válvulas de las esclusas por sistemas hidráulicos. Este proyecto se inició con el diseño y construcción de un prototipo, en el que se reemplazó el sistema de engranajes que accionaban las compuertas por un cilindro hidráulico. El reemplazo masivo en todas las compuertas se justificó principalmente por los problemas causados por el antiguo sistema, tales como las constantes fallas de los componentes, el mantenimiento intensivo y la dificultad para obtener repuestos, cuyos costos aumentaba exponencialmente en los últimos años. Por ejemplo, sólo el costo del engranaje principal de 6 metros de diámetro y su piñón es casi igual al del nuevo sistema hidráulico completo para una compuerta. La instalación de los nuevos sistemas ya se completó en la esclusas de Pedro Miguel y Miraflores, y está en progreso en Gatún logrando un avance total del 90%.

Una vez completada la conversión de las compuertas, se iniciará la conversión de las válvulas de vástago ascendente, de la cual ya se instaló un prototipo. Similar a las compuertas, en

estas válvulas se reemplaza el sistema mecánico de engranajes y tornillos por un cilindro hidráulico. La justificación del proyecto es muy similar a la de las compuertas. En estos momentos, se está licitando el contrato de diseño y fabricación de las primeras 12 válvulas, que se instalarán en las Esclusas de Pedro Miguel.

También, estamos evaluando el posible reemplazo de la maquinaria que opera las 120 válvulas cilíndricas de las esclusas. Quiero mencionar que los nuevos sistemas hidráulicos están muy ligados a los nuevos sistemas de control de la maquinaria de las esclusas, los cuales permitirán realizar operaciones más seguras y eficientes.

El último proyecto incluido en el programa de modernización, que contempla una aplicación significativa de ingeniería mecánica, es el de los nuevos remolcadores. El aspecto más sobresaliente de los mismos es, sin lugar a duda, el sistema de propulsión omi-direccional. Los últimos remolcadores utilizan sistemas de propulsión azimutales, en los cuales el conjunto hélice / tobera gira 360 grados alrededor de un eje vertical, proveyendo la fuerza típica de un sistema de hélice convencional con la capacidad de hacerlo en cualquier dirección; todo esto a un costo razonable. El nuevo sistema supera a los costosos sistemas Voith-Schneider, los cuales proveen excelente maniobrabilidad pero con menor capacidad de remolque por el mismo caballaje. El nuevo sistema de propulsión, aunado a los nuevos motores de cuatro tiempos de 4400 caballos de fuerza, dan a los nuevos remolcadores una capacidad de remolque de 55 toneladas, muy superior al de las 36 toneladas promedio de sus antecesores. Los remolcadores utilizan también sistemas de bombeo de agua, combustible, sistemas hidráulicos, neumáticos y aire acondicionado. En septiembre de este año, se deben recibir los dos últimos remolcadores del programa de modernización, incrementando así la flota a 24 unidades. El programa continuará en los próximos años con el reemplazo de los remolcadores viejos.

Para finalizar, quisiera mencionar el hecho de que la mayoría de estos proyectos, y muchos otros que no he mencionado, han requerido de muchos estudios, análisis y consultas con expertos diseñadores, fabricantes y usuarios alrededor del mundo. Sin embargo, debemos resaltar que en todas las fases, desde su concepción y estudios preliminares hasta su diseño y realización final, las mismas han sido realizadas casi en su totalidad por ingenieros y técnicos panameños, muchos de ellos egresados de la Universidad Tecnológica. Por ende, no queda duda del gran aporte tecnológico de la ingeniería mecánica y de la Universidad Tecnológica en el funcionamiento del Canal y sus operaciones marítimas.