El futuro de la remoción de relaves: Transición hacia plataformas eléctricas y operación remota

Víctor Ríos Zegarra, IFLUTECH S.A.C.

RESUMEN

La remoción de material sedimentado en pozas asociadas a procesos mineros puede requerir intervenciones periódicas que involucren personal directamente en la zona de trabajo y que, dependiendo de la metodología empleada, interfieran con la continuidad de otras actividades operacionales. Frente a este escenario, la electrificación y la operación remota de plataformas flotantes representan una vía de evolución para reducir la intervención directa del personal y replantear la arquitectura de los equipos de remoción.

El presente trabajo analiza la evolución del diseño de una plataforma flotante para dragado destinada a la remoción de material sedimentado. El concepto inicial consideraba una plataforma tripulada, con personal a bordo para la operación del sistema de bombeo y posicionamiento. Durante el desarrollo de ingeniería, el concepto fue replanteado hacia una plataforma no tripulada, con accionamientos eléctricos y control remoto de las funciones de posicionamiento y manipulación de la bomba.

La solución desarrollada incorpora una bomba sumergible de 50 HP, cuatro winches eléctricos para el desplazamiento controlado de la plataforma y un tecle de 5 t para el izaje y descenso de la bomba. Los winches pueden operar individualmente o de manera coordinada según el movimiento requerido, mientras que el tecle puede accionarse desde el control remoto. La alimentación eléctrica se suministra desde un tablero ubicado en la orilla hacia un tablero ubicado a bordo.

El cambio de una configuración tripulada a una plataforma no tripulada permitió replantear la estructura, la distribución de equipos y la configuración de flotación, obteniendo una solución más compacta y orientada a la operación remota. A partir de este caso, se analiza la electrificación y el control remoto como etapas de transición hacia sistemas de remoción con mayores niveles de automatización.

1. INTRODUCCIÓN

La remoción de material sedimentado constituye una actividad necesaria para mantener la capacidad operativa de determinadas pozas asociadas a procesos mineros y de tratamiento. Dependiendo de la configuración de la instalación, estas actividades pueden requerir intervenciones periódicas y coordinación con las operaciones que se desarrollan en las áreas próximas.

Los sistemas convencionales de limpieza pueden involucrar la presencia directa de personal en la zona de trabajo. Esta condición no solo introduce requerimientos asociados a la permanencia y operación del personal, sino que también condiciona el diseño del propio equipo utilizado para la remoción. Una plataforma que debe ser tripulada necesita considerar espacios y condiciones adicionales que no son estrictamente necesarios para las funciones de bombeo y posicionamiento.

La incorporación de accionamientos eléctricos y sistemas de control remoto permite replantear este enfoque. En lugar de diseñar la plataforma alrededor de la presencia del operador, es posible concentrar la arquitectura en las funciones esenciales del proceso y trasladar las acciones de posicionamiento y manipulación hacia un sistema de control externo.

Esta transición no implica únicamente sustituir una operación manual por un control remoto. El cambio puede afectar la configuración estructural, la distribución de equipos, el sistema de flotación y la forma en que se coordinan los distintos accionamientos de la plataforma.

En este contexto, el presente trabajo analiza la evolución de una plataforma flotante desarrollada para la remoción de material sedimentado, inicialmente concebida como una solución tripulada y posteriormente replanteada como una plataforma no tripulada de accionamiento eléctrico y operación remota. El objetivo es mostrar los cambios de diseño asociados a esta transición y discutir su potencial como etapa hacia sistemas de remoción con mayores niveles de automatización.

2. CONTEXTO DE LA APLICACIÓN

El sistema estudiado fue desarrollado para la remoción de material sedimentado acumulado en una poza. La condición de operación considerada correspondía a un volumen aproximado de 600 m³ de lodo por nave, con una distancia de descarga de 300 m y una altura estática de 15 m.

La caracterización disponible del material indicaba una densidad de lodos de 1.164 g/mL, una concentración Cw asumida de 8–30 %, pH de 9.6, D80 de 14 mm y D50 de 6.7 mm. Estas condiciones establecieron las exigencias principales para el sistema de bombeo y, de manera indirecta, para la plataforma que debía soportarlo y posicionarlo dentro de la poza.

Parámetro	Condición disponible
Volumen de lodo	600 m³ por nave
Caudal indicado para la aplicación	40–50 m³/h
Altura estática	15 m
Distancia de descarga	300 m
Densidad de lodos	1.164 g/mL
Concentración Cw	8–30 %
pH	9.6
D80	14 mm
D50	6.7 mm

Tabla 1. Caracterización de las propiedades de la poza.



Figura 1. Espacio limitado para el trabajo de la draga, tres puntos de trabajo (Aprox: 16.9mx11mx4.6m).

3. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE LA PLATAFORMA

a. Concepto Inicial - Plataforma Tripulada

El concepto inicial fue desarrollado como una plataforma tripulada, con dimensiones aproximadas de 5.6 × 4.9 m y diez flotadores. El movimiento se planteó mediante cuatro winches ubicados en los extremos, capaces de actuar individualmente o de manera combinada.

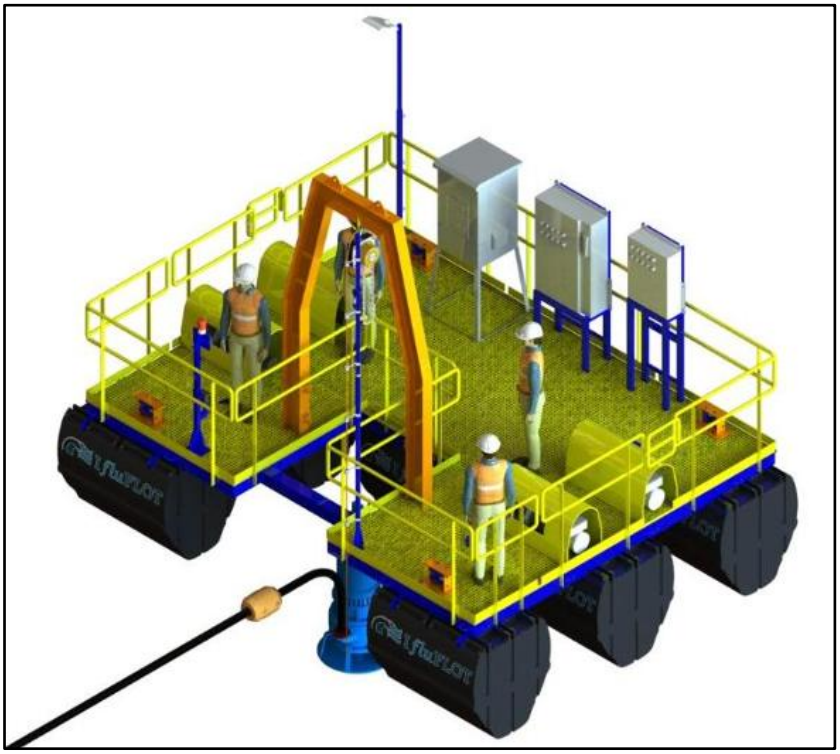

Figura 2. Diseño preliminar de plataforma tripulada.

b. Replanteamiento del Diseño

La evolución del requerimiento hacia una solución no tripulada modificó la arquitectura del sistema. La eliminación de la presencia de personal a bordo permitió replantear la distribución de equipos y reducir las dimensiones generales. El rediseño también implicó una nueva configuración de flotación y la integración de los elementos eléctricos y de control necesarios para la operación remota.

c. Configuración Final

La configuración final corresponde a una estación flotante no tripulable de 3.65 m de longitud, 3.40 m de manga y 1.15 m de profundidad, de acuerdo con el análisis de estabilidad. La plataforma utiliza siete flotadores PT36 y concentra la bomba de dragado, los cuatro winches, el tecle, el tablero eléctrico y elementos auxiliares.

Característica	Diseño inicial	Configuración final
Dimensiones	5.6 × 4.9 m x 1.5 m	3.65 × 3.40 × 1.15 m
Flotadores	10 - IFLUFLOT PT 56	7 – IFLUFLOT PT36
Operación	Tripulada	No tripulada
Posicionamiento	4 winches	4 winches eléctricos
Manipulación de bomba	Tecle	Tecle eléctrico
Control	Con operador a bordo	Remoto

Tabla 2. Comparación de Características de las Configuraciones



Figura 3. Configuración final de plataforma no tripulada – Ubicación de Poza de Pruebas IFLUTECH.

4. Transición Hacia una Plataforma Eléctrica

La transición tecnológica se materializa en la electrificación de los equipos de accionamiento y su integración dentro de una arquitectura común de potencia y control. El sistema permite coordinar el posicionamiento, la manipulación vertical de la bomba y el sistema de bombeo.

Equipo	Cantidad	Alimentación	Potencia
Bomba de dragado	1	460 VAC, 3Ø	35.0 kW (50 HP)
Winches	4	460 VAC	1.5 kW c/u; 7.5 kW total
Tecle	1	460 VAC	3.0 kW (4 HP)
Transformador de control	1	480/120 VAC	0.58 kW
Transformador de control	1	480/220 VAC	0.48 kW
Reserva	—	—	11.64 kW
Potencia instalada	—	—	58.18 kW
Máxima demanda	—	—	46.55 kW

Tabla 3. Cuadro de Cargas

a. Sistema de Posicionamiento

El posicionamiento se realiza mediante cuatro winches eléctricos ubicados en los extremos de la plataforma. Su actuación coordinada permite generar los desplazamientos requeridos, mientras que el modo independiente permite ajustes específicos de cada winche.

b. Manipulación Vertical de la Bomba

La plataforma incorpora un tecle eléctrico de 5 toneladas para la manipulación de la bomba. Su integración permite modificar la posición vertical del equipo sin requerir intervención directa del personal sobre la plataforma.

c. Arquitectura de Alimentación y Control

La plataforma concentra los equipos de potencia y control en un tablero instalado sobre la estructura flotante. Se contempla PLC, HMI, comunicación industrial, comunicación por radiofrecuencia para el mando remoto, sensores y dispositivos de red.

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Alimentación desde tierra → tablero → PLC/control → winches + tecle + bomba → operador mediante mando remoto/HMI.

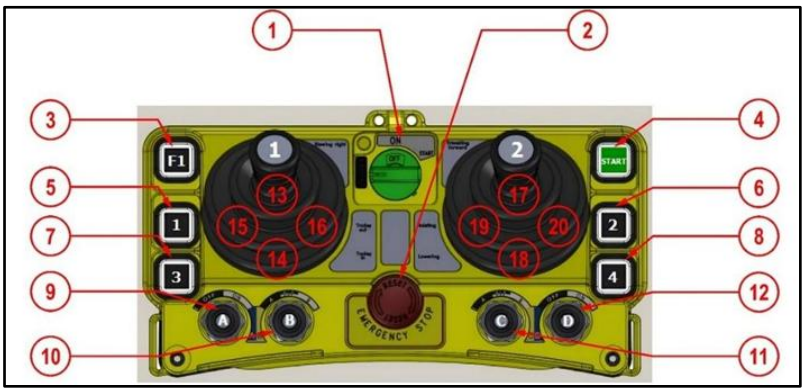

Figura 4. Mando Remoto

5. Operación Remota

La operación remota constituye el principal cambio funcional respecto del concepto inicial. El operador permanece fuera de la plataforma y utiliza una interfaz remota para comandar movimientos y supervisar el estado del sistema.

a. Operación Remota

La operación remota permite controlar el desplazamiento de la plataforma mediante cuatro winches eléctricos, accionar el tecle para modificar la posición vertical de la bomba y supervisar los principales estados del sistema. Asimismo, se dispone de una función de parada de emergencia para interrumpir los accionamientos ante una condición que lo requiera.

Durante el desarrollo se evaluaron distintas funciones de control. El encendido y apagado de la bomba desde el mando remoto fue considerado inicialmente, pero esta función no llegó a implementarse en la configuración final. La plataforma quedó orientada al control remoto del posicionamiento, la manipulación de la bomba y la supervisión del sistema.

Función	Estado
Movimiento mediante winches	Implementado y validado
Accionamiento coordinado de winches	Implementado y validado
Accionamiento independiente	Implementado y validado
Subida/bajada de bomba	Implementado y validado
Parada de emergencia	Implementado y validado
Encendido de bomba desde remoto	Previsto, no implementado finalmente
Apagado de bomba desde remoto	Previsto, no implementado finalmente
Supervisión HMI	Implementada y validada

Tabla 4. Implementación Final del Sistema

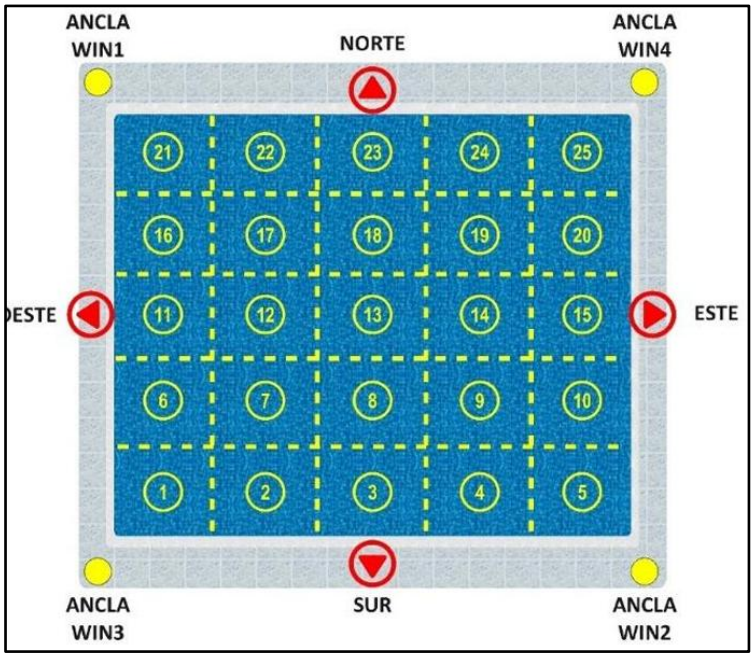

Figura 5. Esquema de Sectores y Orientaciones para la Plataforma.

El sistema de control incorpora una interfaz HMI para la visualización de estados y alarmas, además de elementos de instrumentación destinados a proporcionar información sobre la condición de operación. La incorporación de estas funciones permite que el operador supervise el sistema sin encontrarse físicamente sobre la plataforma.

b. Alcance de la Operación Remota

En esta etapa, el sistema debe caracterizarse como una plataforma de operación remota y no como un sistema autónomo. Las decisiones de posicionamiento y operación continúan dependiendo del operador. La arquitectura constituye, sin embargo, una base para una futura incorporación de funciones de automatización.

6. Verificación de Estabilidad

La reducción de dimensiones y del número de flotadores fue acompañada por un análisis de estabilidad de la configuración final. El estudio considera condiciones de lanzamiento y condición crítica, empleando como referencia el Código de Estabilidad a Prueba de Fallos de la OMI.

Parámetro	Lanzamiento	Crítica
Desplazamiento	2697 kg	2797 kg
Calado medio	0.440 m	0.457 m
GM transversal	2.517 m	2.405 m
GML	2.659 m	2.540 m
Área GZ 0°–30°	0.272 m·rad	0.254 m·rad
Área GZ 0°–40°	0.364 m·rad	0.332 m·rad
Área GZ 30°–40°	0.092 m·rad	0.078 m·rad
GZ máximo	0.731 m	0.679 m
Criterios	OK	OK

Tabla 5. Estabilidad Calculada del Diseño Final



Figura 6. Esquema de Sectores y Orientaciones para la Plataforma.

7. Conclusiones

- La evolución de una plataforma tripulada hacia una solución no tripulada permitió replantear el diseño para priorizar la operación eléctrica, el control remoto y la reducción de la presencia de personal sobre la plataforma.
- El rediseño permitió reducir la configuración de aproximadamente 5.6 × 4.9 m con diez flotadores a 3.65 × 3.40 × 1.15 m con siete flotadores PT36, manteniendo las funciones principales de remoción y posicionamiento.
- La plataforma final integra una bomba de 50 HP, cuatro winches eléctricos y un tecle de 5 t, permitiendo controlar remotamente el desplazamiento y la manipulación de la bomba.
- La configuración implementada fue validada satisfactoriamente durante su puesta en operación, encontrándose los componentes y funciones evaluados dentro de las tolerancias permitidas.
- El análisis de estabilidad permitió verificar la configuración final para las condiciones de carga consideradas, incluyendo una condición crítica de 2797 kg de desplazamiento.
- La solución desarrollada representa una etapa de transición hacia sistemas de remoción con mayores niveles de automatización, al establecer una arquitectura que puede incorporar posteriormente nuevas funciones de supervisión, asistencia al operador y automatización.