

BYPASS DE ARENA CON TECNOLOGÍA JETPUMP EN DÁRSENA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRAL NUCLEAR

G.K. PRESTEDGE, A.A. MCCLARTY & F. GUERRERO.
Prestedge Retief Dresner Wijnberg
P O Box 50023. Waterfront 8002, Ciudad del Cabo, Sudáfrica
Tel: +27 (21) 418-3830; Fax: +27 (21) 418-3834
e-mail: info@prdw.co.za

RESUMEN

La Central Nuclear de Koeberg, ubicada en la costa Atlántica de Sudáfrica, cuenta con una dársena cuyo diseño permite la sedimentación de partículas en suspensión. Esto permite la utilización de agua de mar libre de sedimentos para el sistema de refrigeración, pero la dársena requiere de dragados periódicos de mantención.

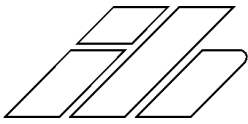
El sistema de *Dive Dredge* se basa en el uso de una bomba *jet pump* (bomba de chorro) la cual no posee partes móviles, cuyo objetivo principal es proporcionar un equipamiento de dragado doméstico relativamente fácil de operar y no invasivo. Más aún, tiene el potencial de contribuir significativamente a reducir o eliminar los contratos de dragado, requiere de mínimo mantenimiento, y puede ser operado fácilmente por dos operarios.

Se describen las condiciones de diseño, puesta en marcha y monitoreo del sistema, además de las producciones alcanzadas.

ABSTRACT

The Koeberg Nuclear Power Station is situated on the Atlantic coastline of South Africa. The Power Station Cooling Water Intake Basin is designed to function as a sediment settling basin, permitting withdrawal of sediment free seawater for power station cooling. Due to this, frequent dredging is required.

The Dive Dredge system is based on the use of a jet pump, which has no moving parts. It meets the objectives to provide limited scale, relatively simple to operate, in-house dredging equipment. Further it has the potential to contribute significantly to reduce or avoid the requirement for contract dredging in the Cooling Water Intake Basin. The system has very low maintenance requirements and can be operated easily by two operators.



BYPASS DE ARENA CON TECNOLOGÍA JETPUMP EN DÁRSENA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRAL NUCLEAR

1 Introducción

La Central Nuclear de Koeberg se sitúa aproximadamente 35 km al Norte de Ciudad del Cabo, en la costa Atlántica de Sudáfrica. Ésta cuenta con una dársena cuyo diseño permite la sedimentación de partículas en suspensión, permitiendo la utilización de 80 m³/s de agua de mar libre de sedimentos para el sistema de refrigeración.

En la costa, los sedimentos (principalmente arenas finas y fragmentos de conchas) son movilizados por acción del oleaje. Por esto el agua que ingresa a la dársena contiene una alta concentración de sedimentos en suspensión. El área dentro de la dársena está protegida del oleaje, lo que permite la sedimentación y que la casa de bombas de la central disponga de agua de mar relativamente libre de sedimentos. Como resultado del alto nivel de energía del oleaje en esta costa, y el alto caudal requerido para el sistema de enfriamiento, la tasa de sedimentación en la dársena es en promedio de 132 000 m³/año. La tasa de sedimentación fluctúa dependiendo de las condiciones de oleaje y del caudal de captación (diseño para 80 m³/s). El sedimento que se acumula en la dársena ha sido dragado periódicamente.

Este artículo sintetiza el monitoreo de la dársena de sedimentación, el diseño del bypass de arena y la revisión de su eficiencia operacional.

1.1 Sedimentación en Dársena Interior

Batimetrías periódicas y fotografías aéreas de la dársena interior han demostrado que la sedimentación ocurre primero en la dársena exterior. Una vez que el fondo marino de la dársena exterior alcanza los -2 m a -3 m n.m.m., alcanza el equilibrio y no ocurre mayor sedimentación. Fuertes corrientes debidas a mareas y flujo de agua de enfriamiento en esas bajas profundidades, previenen mayor sedimentación y los sedimentos son transportados por arrastre de fondo a zonas más profundas de la dársena interior. En aguas más profundas, las corrientes disminuyen y los sedimentos decantan. De esta manera, la sedimentación avanza hacia la dársena interior como una "duna sumergida", con una fuerte pendiente en su frente de avance.

Se determinó que esta duna sumergida avanza como una lengua de arena paralela al rompeolas Norte como se presenta en la Figura 1. Esto eventualmente resulta en un embanque sustancial de la esquina Noreste de la dársena y una lengua de arena que avanza hacia el Sur, a lo largo de la defensa costera, con dirección a la casa de bombas. Arenas finas alcanzan la casa de bombas por esta ruta antes que se produzca un embanque sustancial en el área central de la dársena interior.

Generalmente se puede permitir la acumulación de 300 000 m³ a 400 000 m³ de sedimentos en la dársena interior antes de requerir de dragado. En la Figura 2 se presenta el registro histórico del volumen de la dársena que puede ser dragado, donde destacan dragados cada 1.5 a 3 años.

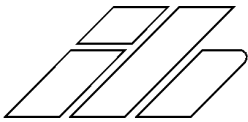


Figura 1: Vista aérea de dársena, con lengua de arena avanzando paralelamente al rompeolas Norte, 5 Abril 2000.

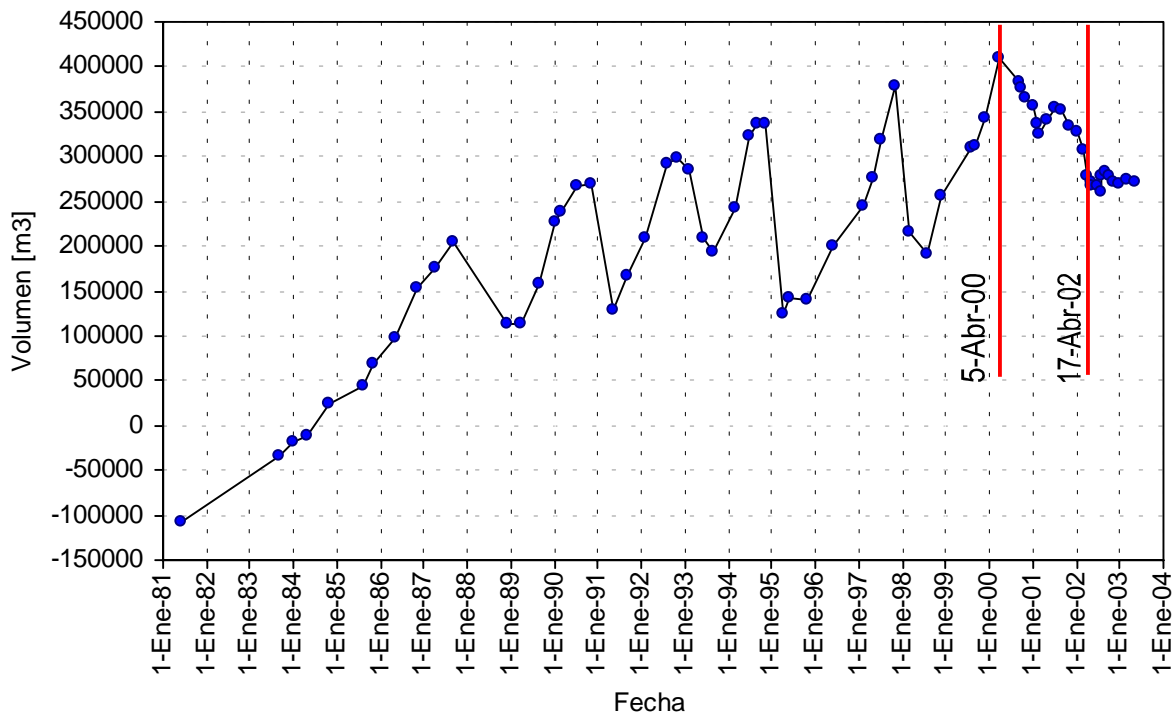
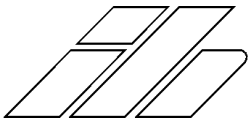


Figura 2: Volumen factible de dragar en el tiempo, desde 1981 a 2003.



Frente a la casa de bombas se ha requerido de dragados periódicos. Esto ha implicado el uso de bombas operadas por buzos para remover los sedimentos directamente frente a la casa de bombas. Este material fue simplemente removido de la zona inmediata a la casa de bombas, pero no removido de la dársena debido a limitaciones del sistema utilizado.

Un análisis de la estrategia en el largo plazo para el mantenimiento y dragados de la dársena revelaron que se pueden lograr ahorros significativos si se logra una capacidad de dragado *in-house* como se presenta en la Figura 3.

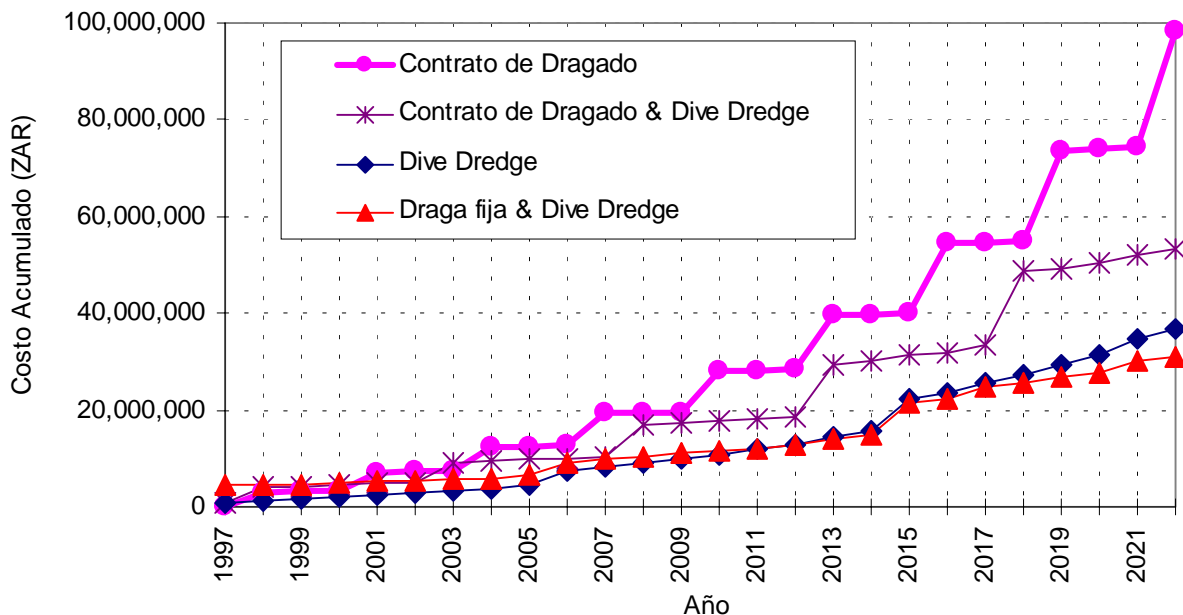


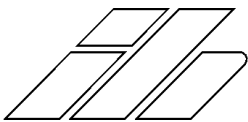
Figura 3: Costos durante la vida útil.

Este análisis reveló que el sistema óptimo corresponde a un sistema fijo de bombeo de arena, en conjunto con una unidad sumergible.

Su fase inicial, denominada *Dive Dredge*, es una unidad sumergible que está actualmente implementada, en operación y siendo monitoreada antes del comienzo de la segunda fase, i.e. diseño e implementación de un sistema fijo de bombeo de arena.

El *Dive Dredge* pretende:

- Mantener libre de sedimentos el área frente a la casa de bombas y defensa costera adyacente.
- Mantener la dársena con profundidades adecuadas en las cercanías de la barrera para derrames de petróleo, como es requerido para su uso.
- Remover la mayor cantidad de sedimentos posible de la esquina NE de la dársena, para reducir la frecuencia de contratos de dragado de mantención, típicamente cada 3 a 5 años.
- Evaluar el rendimiento de la tecnología jet pump con miras a ser parte del sistema a ser propuesto para el largo plazo.



2 Diseño y Operación del *Dive Dredge*

El objetivo principal del *Dive Dredge* es proporcionar un equipamiento de dragado doméstico relativamente fácil de operar y de escala limitada. El equipo ha sido utilizado para remover los sedimentos acumulados en la esquina Noreste de la dársena, y se pretende que opere en forma conjunta con contratos de dragado periódicos, los que serán de menor cuantía por la operación del *Dive Dredge*.

2.1 Diseño

El sistema *Dive Dredge* se basa en el uso de una *jet pump* (bomba de chorro) la cual no posee partes móviles. La *jet pump* utiliza la energía del flujo de agua limpia a presión o “motriz” que proporciona una bomba centrífuga ubicada en la casa de bombas. En la *jet pump*, el flujo motriz pasa a través de una boquilla. El fluido que lo rodea (mezcla sólido-líquida fluidizada en la entrada del *jet pump*) es inducido por el jet, y juntos son descargados a una cámara de mezcla y luego a la tubería de descarga, como se presenta en el esquema de la Figura 4.

Para el diseño y estimación teórica de producciones de la *jet pump* se utilizó el modelo numérico JPP, *Jet pump Pipeline Program* desarrollado por A. W. Wakefield, que simula *jet pumps* de variadas configuraciones, individuales o en combinación, asociados a sistemas de cañerías y bombas centrífugas. Esto permitió diseñar un sistema que puede ser detenido y vuelto a operar en cualquier momento, incluso con la *jet pump* sumergida o enterrada en el fondo marino.

Para dragar, la *jet pump* se apoya en el fondo y se dispusieron elementos de flotación para las tuberías motriz y de descarga (mangueras flexibles) entre el *jet pump* y la línea de playa. El sistema descarga en el talud exterior del rompeolas Norte, en la zona de rompientes.

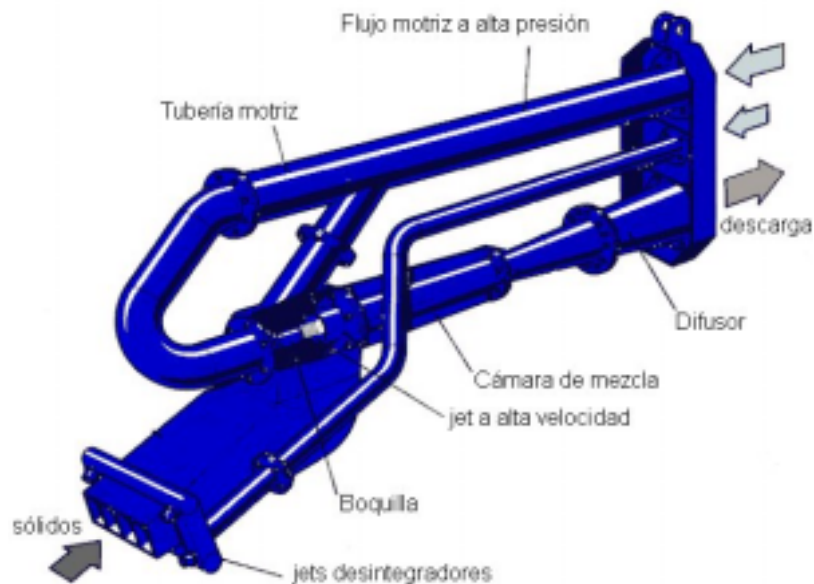
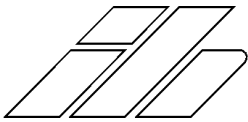


Figura 4: Esquema de funcionamiento típico de una *jet pump*.



Para operar la jet pump (desplazarla, elevarla y sumergirla) utiliza una pequeña balsa, por lo que no se necesita de mayor apoyo externo. El *Dive Dredge* trabaja excavando una serie de cráteres (Figura 6), utilizando para esto dos boyas, una para controlar su postura y otra para limitar la profundidad de dragado.

El *Dive Dredge* tiene una capacidad típica de 100t de sólidos por hora ($63 \text{ m}^3/\text{h}$). La tasa de dragado varía de acuerdo a la eficiencia de colocación, su ubicación dentro de la dársena, la profundidad de dragado y la naturaleza del material a dragar. Las tasas de producción teórica dentro de la dársena se presentan en la Figura 5.

El material a dragar son esencialmente arenas finas con limo y contenidos de conchas de moluscos.

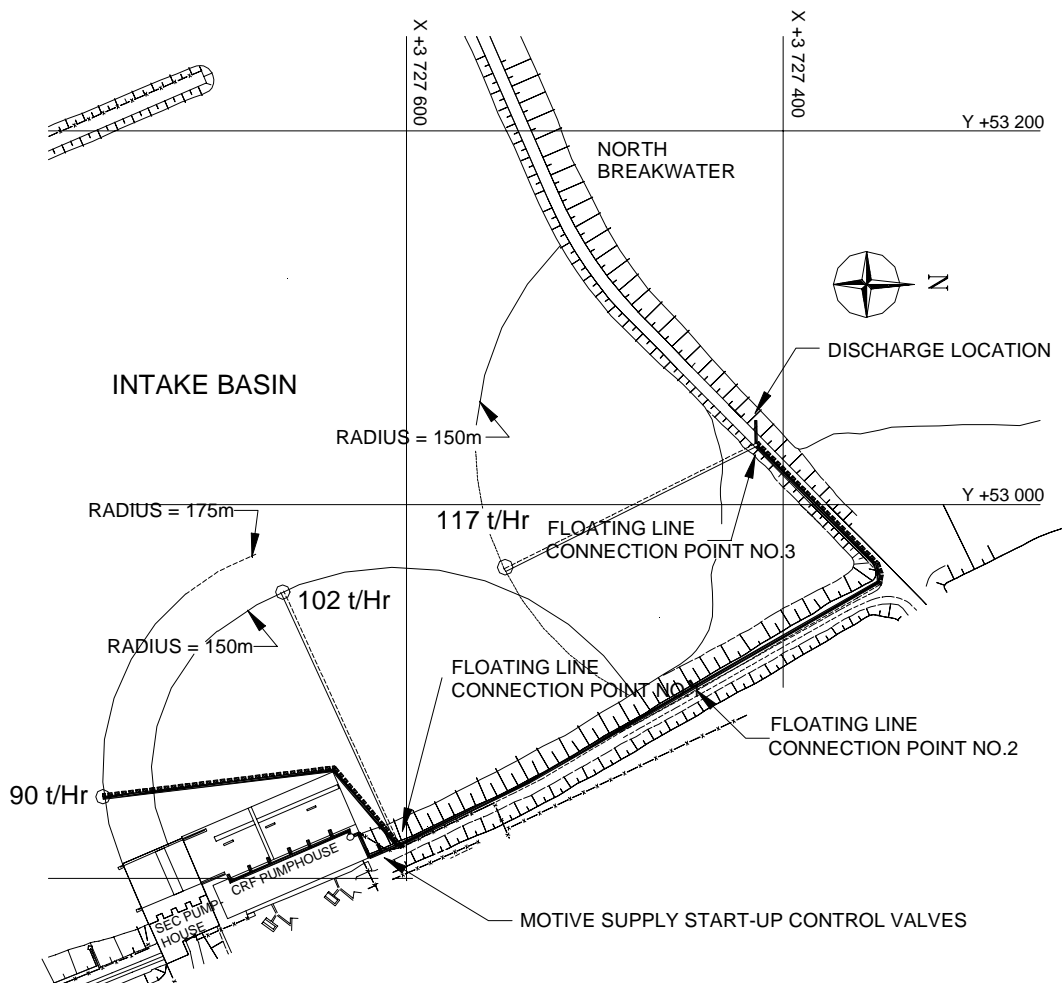


Figura 5: Tasas de producción teóricas de la *Dive Dredge*.



2.2 Operación

El sistema *Dive Dredge* fue implementado en Julio de 2000 y se dedicaron seis meses de operación para definir la capacidad del sistema de bombeo y ajustar detalles antes de entregar el sistema al Departamento de Mantenimiento de la Central.

Los siguientes términos son utilizados en esta sección:

- Tasa de bombeo absoluto (m^3/h): Tasa a la cual el sistema puede bombear arena sin considerar los tiempos de para (*downtime*) debido a movimientos del jetpump, colocación de mangueras, bloqueos temporales, retrolavado, revisión y reemplazo de cabezales, etc.
- Tasa media de bombeo (m^3/h): Tasa efectiva de bombeo de arena incluyendo los tiempos de downtime.

La unidad utilizada para tasas de bombeo son m^3 de sólidos por hora. Esto es equivalente al volumen de arena removida con densidad *in situ* de $1.6t/m^3$.

Las tasas de producción son medidas como el volumen excavado en el tiempo.

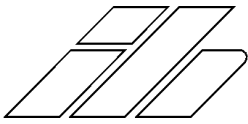
Se realizaron tres pruebas, que alcanzaron diferentes tasas de bombeo, según se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Tasas de bombeo teórico v/s medido para varios puntos de conexión.

Punto de Conexión	Aplicación	Capacidad teórica m^3/h	Tasa de bombeo absoluto
1	Prueba de capacidad desde balsa durante 1 mes continuo.	63	30 / 36*
2	Prueba de capacidad en 48-h, desde balsa.	68	45 a 50
3	Prueba en seco utilizando una retroexcavadora.	73	74

* Tasa absoluta ajustada utilizando registros de downtime de prueba de capacidad de 48-h.

Considerando estas pruebas, la capacidad de bombeo absoluto del sistema fue calculado en $50 m^3/h$. Esta tasa se logra mediante una operación eficiente del sistema. La capacidad promedio fue calculada en $42 m^3/h$ con un downtime típico de 17% (8 h de downtime en 48 h de operación) lo que incluye holguras para movimientos de mangueras, bloqueos, retrolavados, etc. Estos valores se utilizan para controlar la eficiencia del operador.



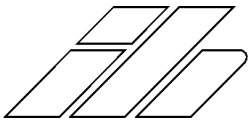
Si se continua con el actual sistema de operación, i.e. dos turnos de 8 h (16 h/día), 5 días a la semana, el sistema tiene la capacidad de remover $10\ 560\ \text{m}^3/\text{mes}$ incluso con la menor tasa media de $30\ \text{m}^3/\text{h}$. Esto es similar a las tasas de sedimentación históricas de la dársena ($11\ 000\ \text{m}^3/\text{mes}$). Operando el sistema a su capacidad absoluta de bombeo ($50\ \text{m}^3/\text{h}$) y considerando un 17% de downtime, el sistema puede remover $14\ 600\ \text{m}^3/\text{mes}$ o reducir la operación diaria de 16 h/día a 12 h/día para remover los $11\ 000\ \text{m}^3/\text{mes}$ de embanque promedio de la dársena.

Por lo tanto, si se remueve todo el material acumulado dentro de la dársena mediante un contrato de dragado, el *Dive Dredge* tiene el potencial de prescindir de futuros contratos de dragado de mantención periódica.

En la Figura 2 destaca la fecha de término de los contratos de dragado (Abr-02) y el comienzo de la operación del *Dive Dredge* de manera autónoma, como se presenta en la Figura 6.



Figura 6: Jet pump y *Dive Dredge* en operación, Diciembre de 2002.



3 Conclusiones

El sistema *Dive Dredge* ha demostrado que se puede implementar un sistema de dragado doméstico relativamente fácil de operar y de escala limitada. Más aún, tiene el potencial de contribuir significativamente en la reducción de contratos de dragados periódicos de mantención.

El sistema tiene muy bajos requerimientos de mantención y puede ser operado por dos operadores. Se requiere de personal adicional para las labores de conexión y desconexión de mangueras.

Actualmente la Central cuenta con un sistema de dragado con potencial de reducir los requerimientos de contratos de dragado periódicos y, con pequeñas extensiones, puede eliminar completamente la necesidad de éstos.

La capacidad media de bombeo medida fue de 42 m³/h (capacidad de bombeo absoluta de 50 m³/h) a través del proceso de marcha blanca. Si se opera a la capacidad media por 12 h/día, el sistema tiene la capacidad de remover 133 000 m³/año que es equivalente a la tasa de sedimentación promedio de largo plazo de la dársena (132 000 m³/año o 11 000 m³/mes).

La habilidad del sistema de alcanzar los objetivos del diseño está directamente ligada a la eficiencia de los operadores. Si no se utiliza en forma adecuada, no se alcanzará el potencial de reducir significativamente la necesidad de contratos de dragado.

Finalmente, la tasa media de bombeo puede ser incrementada, reduciendo la cantidad de horas de operación, al mejorar el manejo y operación de la jet pump, intercambiando cabezales según lo requiera la zona de operación y/o aumentando el tamaño de la jet pump y mangueras flotantes de descarga.

Un contrato de dragado está actualmente por comenzar para remover 300 000 m³ de arena. Durante este contrato, el *Dive Dredge* continuará operando con el objeto de reducir el volumen dragable de la dársena a menos de 100 000 m³ al término de los 9 meses del contrato. Luego se continuará monitoreando la capacidad del sistema *Dive Dredge* para mantener el volumen dragable por debajo de 100 000 m³ y se adoptará una decisión entre mejorar el sistema *Dive Dredge* o implementar un sistema con una jet pump fija sobre un muelle con pilotes.

4 Referencias

1. PRDW – ESKON. Koeberg Nuclear Power Station Dive Dredge: Definition Stage Design Report. Internal report. Cape Town, South Africa. Dec 1997.
2. PRDW – ESKON. Koeberg Nuclear Power Station Dive Dredge Project: Commissioning Report. Internal Report No. 201/18/s001 Rev.1. Cape Town, South Africa. May 2002.
3. PRDW – ESKON. Koeberg Nuclear Power Station: Cooling water intake basin dredging strategy, updated strategy. Internal report. Cape Town, South Africa. May 2002.