

# Planta de desalación de agua de mar por ósmosis inversa en Al Khobar (Arabia Saudí)

*Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant in Jebel Ali (Dubai)*

Mariano Martín Cañueto<sup>a</sup>, David Solera Piña<sup>b</sup>,

Javier Carrascal Pérez<sup>c</sup>, Diego Romagosa Sánchez-Monge<sup>d</sup>, Diego Marín Silvestre<sup>e</sup>,

Cristian Jesús Sánchez Correa<sup>f</sup>, Cristina García Cambrón<sup>g</sup>, Jesus Ramos Ruiz<sup>h</sup>

<sup>a</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gerente de Estructuras. Acciona Ingeniería.

[mariano.martin.canueto@acciona.com](mailto:mariano.martin.canueto@acciona.com)

<sup>b</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Departamento de Edificación y Obra Industrial. Acciona Ingeniería.

[david.solera.pina@acciona.com](mailto:david.solera.pina@acciona.com)

<sup>c</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyectos. Departamento de Obra Civil y Puentes. Acciona Ingeniería.

[franciscojavier.carrascal.perez@acciona.com](mailto:franciscojavier.carrascal.perez@acciona.com)

<sup>d</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyectos. Departamento de Obra Civil y Puentes. Acciona Ingeniería.

[diego.romagosa.sanchezmonge@acciona.com](mailto:diego.romagosa.sanchezmonge@acciona.com)

<sup>e</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero de Proyectos. Departamento de Obra Civil y Puentes. Acciona Ingeniería.

[dimarin@acciona.com](mailto:dimarin@acciona.com)

<sup>f</sup> Ingeniero Industrial. Ingeniero de Proyectos. Departamento de Edificación y Obra Industrial. Acciona Ingeniería.

[cjsanchez@acciona.com](mailto:cjsanchez@acciona.com)

<sup>g</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero de Proyectos. Departamento de Obra Civil y Puentes. Acciona Ingeniería.

[cristina.garcia.cambron@acciona.com](mailto:cristina.garcia.cambron@acciona.com)

<sup>h</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ingeniero de Proyectos. Departamento de Estructuras Metálicas. Acciona Ingeniería.

[jesus.ramos.ruiz@acciona.com](mailto:jesus.ramos.ruiz@acciona.com)

## RESUMEN

El presente documento describe las características más importantes de los edificios principales que forman la Planta Desaladora por Ósmosis Inversa de Al Khobar (Arabia Saudí). En lo referente al diseño del proyecto, se mencionan brevemente los condicionantes más relevantes. Para terminar, se proporcionan algunos datos relevantes de la ejecución y estado actual de la obra.

## ABSTRACT

This document describes the most important characteristics of the main buildings that form the Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant in Al Khobar (Saudi Arabia). In respect to the project design, the most relevant conditions are briefly mentioned. Finally, some relevant execution data and the current state of the works on site are provided.

**PALABRAS CLAVE:** Desalación, ósmosis inversa, agua, hormigón armado.

**KEYWORDS:** Desalination, reverse osmosis, water, reinforced concrete.

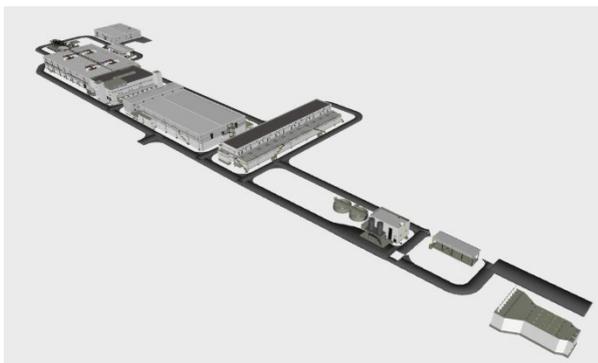
## 1. Descripción de la Planta y de los Edificios más Relevantes

La planta de Al Khobar está ubicada en la costa del Golfo Pérsico en el país de Arabia Saudí. Esta es una planta de desalación por ósmosis inversa, capaz de producir 50,000 m<sup>3</sup> al día de agua potable a la nueva zona residencial South Dharam Home Ownership. Constituye una primera fase de un proyecto global que producirá 210,000 m<sup>3</sup> al día de agua potable y dará servicio a una población aproximada de 350,000 habitantes.

En el momento de esta publicación la planta se encuentra en estado de ejecución, habiendo concluido las obras en la mayor parte de los edificios que la componen.

Los edificios principales de la planta, y que a continuación se describen, son los siguientes:

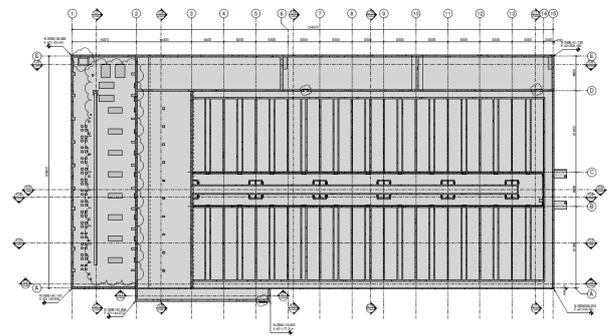
- Edificio de filtración de doble medio
- Edificio de flotación por aire disuelto
- Edificio de toma
- Edificio de osmosis inversa
- Edificio de control y eléctrico principal



### 1.1 Edificio de Filtración de Doble Medio

En el edificio de filtración de doble medio (DMF por sus siglas en inglés) se desarrolla el proceso de filtración del agua procedente del edificio de flotación, que fluye por los filtros duales de

gravedad eliminando las partículas orgánicas e inorgánicas restantes por medio de un lecho de filtración.



Consiste en una estructura semienterrada de hormigón armado con unas dimensiones en planta de 125m de longitud y 60m de ancho.

A petición del cliente, este edificio ha sido diseñado sin juntas de expansión para garantizar su estanqueidad.

Se desarrolla en una altura de 10.6 metros que se divide en 6 niveles con losas intermedias de hormigón armado de 300, 400 y 500mm de espesor. La cimentación se resuelve con una losa de 600mm de canto con cara superior a las cotas -0.88, -1.48 y +1.16m, estando situado el terreno a la +2.95m.

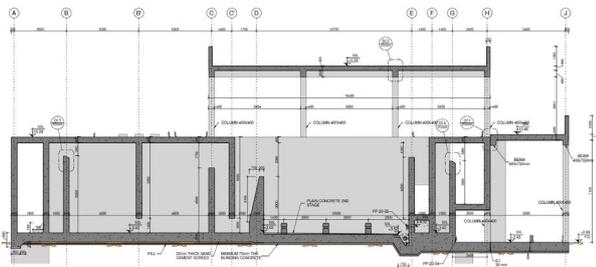
La estructura vertical la forman pilares cuadrados y muros de diferentes espesores en las zonas de almacenamiento de agua.



## 1.2. Edificio de Flotación por Aire Disuelto

En el edificio de flotación por aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés) se desarrollan los tratamientos para la reducción de carga de sólidos en procesos posteriores y la minimización de los requisitos químicos coagulantes, utilizando tecnología de coagulación y flotación.

El edificio es una estructura de hormigón armado con dimensiones exteriores de 124m de largo x 38m de ancho y tres niveles principales. Cimentación a cota +3.62, un segundo nivel ubicado en +10.28 y el nivel de cubierta a cota +15.20.



Al igual que el edificio DMF, en el diseño de este edificio tampoco se han incluido juntas de dilatación para garantizar su estanqueidad.

La cimentación consiste en una losa de 600mm de espesor apoyada directamente sobre el terreno. De la cimentación arrancan muros de 400mm de espesor encargados de contener el agua de mar en las diferentes etapas de su pretratamiento. Sobre la losa de cimentación también nacen columnas de hormigón de 400x400mm hasta alcanzar la losa de 400mm de espesor del nivel +10.28m.

La cubierta consiste en una losa de 300mm de espesor soportada por vigas de 400x750mm (ancho x profundidad) dispuestas cada 10m. La estructura ha sido diseñada incluyendo cargas de equipos mecánicos y de elevación.

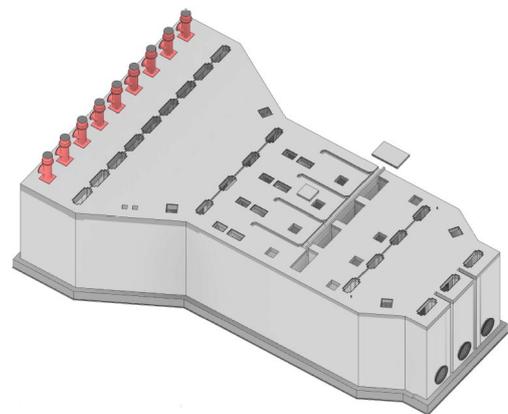


## 1.3. Edificio de Toma

El edificio de toma (Intake en inglés) es una estructura enterrada cuya función es recoger el agua marina e impulsarla al resto de la planta.

Las dimensiones en planta del Intake son 42m de ancho y 26m de largo. La cota superior de la cimentación es la -7.25m (teniendo ésta un espesor de 1.10m). La cota del terreno se ubica a la cota +2.80m.

El Intake se divide en distintas cámaras separadas por muros de hormigón de diversos espesores (desde 0.50m a 1.00m).



Como el nivel de cimentación está por debajo del nivel freático, y con el fin de evitar la flotabilidad del Intake, se provee a la cimentación de un tacón perimetral de 0.50m.

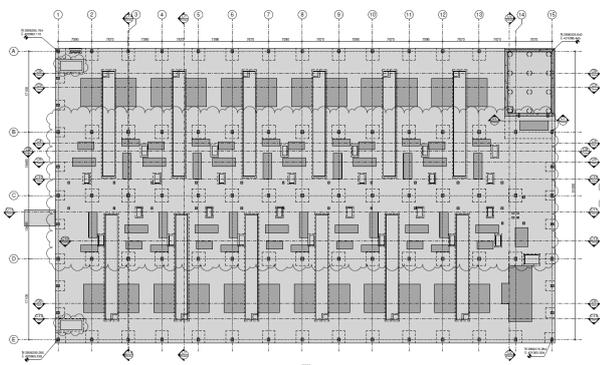
Sobre la estructura de hormigón arranca una estructura metálica de 30m de luz y 25m de altura que incluye un puente grúa para el movimiento de bombas y otros equipos pesados incluidos en este edificio.

#### 1.4. Edificio de Osmosis Inversa

El edificio de ósmosis (RO, por sus siglas en inglés) es donde se desarrolla el proceso de ósmosis inversa, el tratamiento de desalación del agua de mar. Es por ello que el 90% de las tuberías de proceso pasan por el interior del edificio y se apoyan en racks metálicos empacados como si de un radiador se tratase.

El edificio tiene unas dimensiones en planta de 104x61m, y cuenta con una losa de cimentación sin juntas de 450mm de canto apoyada directamente sobre el terreno, con un armado potente para controlar su fisuración debido a los efectos térmicos y reológicos.

Todas las tuberías del proceso de ósmosis se colocan sobre la losa en un proceso crítico y con una duración planificada, durante lo cual la losa se encuentra sometida al paso de potentes grúas, material apilado y personal de montaje, en una situación transitoria hasta el montaje del cerramiento metálico sobre la misma.



El montaje de la estructura metálica comienza una vez todas las tuberías del proceso de ósmosis inversa y sus estructuras metálicas portantes se encuentran colocadas sobre la losa de cimentación.

#### 1.5. Edificio de Control y Eléctrico Principal

El edificio eléctrico principal es el edificio desde el cual se opera y controla el funcionamiento de toda la Planta de Osmosis Inversa. Es por ello

que la mayoría de cuadros de control, VSDs y demás equipos eléctricos, de éste y del resto de edificios, se concentran en este edificio.

Al albergar la mayoría de equipos eléctricos, el edificio eléctrico es considerado uno de los edificios clave de la planta, y por ello se han exigido cumplir ciertos requisitos fundamentales que garanticen su correcto funcionamiento.

Las dimensiones en planta del edificio son 61m de largo y 44m de ancho, mientras que su altura total son 17m divididos en cuatro niveles.

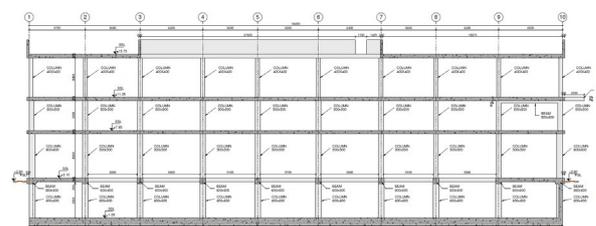


Figura 8. Edificio eléctrico principal. Sección transversal.

La estructura la completan columnas cuadradas de 400, 500 y 600mm de lado, tres forjados bidireccionales sin vigas en los tres niveles superiores, y un forjado unidireccional con vigas en una sola dirección para el forjado de entrada al edificio.

## 2. Condicionantes de Diseño

Cuatro eran los condicionantes principales de diseño para las estructuras de la planta.

1) Durabilidad. Según pliego, se establecía una vida útil de la planta desaladora de 30 años. Según ACI 318-14 [2], para garantizar dicha vida útil se exigieron recubrimientos de 75mm en todas las estructuras de hormigón expuestas al terreno o agua, 50mm para caras exteriores de estructuras por encima del terreno, 40mm para caras interiores de vigas, muros y columnas, y 30mm para caras interiores de forjados.

En cuanto a la abertura de fisura, se han exigido aberturas de 0.20mm para miembros expuestos a agua y 0.30mm para el resto de casos, basados en el BS 8007 [3].

Adicionalmente, y según el ASTM A775 [4], el armado pasivo debe de estar protegido con un revestimiento de resina epoxi para las estructuras ubicadas bajo la cota superficial del terreno y hasta una altura de 2.0m por encima de esta. Finalmente, por facilidad constructiva, se decidió disponer todo el acero pasivo de la obra con revestimiento de resina epoxi.

2) Sismo. El espectro de diseño estaba basado en SBC 301 [1], con aceleración en meseta de 0.083g, la cual no fue determinante salvo en aquellas estructuras para la contención de agua de grandes dimensiones.

3) Temperatura. De acuerdo con el capítulo 9 de la RCJY [5], se impusieron incrementos térmicos de 25°C y decrementos térmicos de 15°C.

4) Limitaciones de asientos. Según el SBC 301 [1], se limitaron los asientos en todos los edificios de la planta a un valor de 60mm. Estos asientos debían incluir los asientos desde el inicio de la construcción de la planta (es decir con la totalidad del peso propio), el peso del agua, la sobrecarga, el 50% de las deformaciones sísmicas y las deformaciones térmicas.



### 3. Datos Destacables de la Obra

A pesar de que la obra sigue ejecutándose en el momento de elaboración del presente artículo, ésta ya ha arrojado datos interesantes en cuanto a los rendimientos alcanzados hasta la fecha.



**Figura 10. Foto durante el hormigonado de la losa de cimentación del edificio RO.**

En la figura 13 se muestra gráficamente los metros cúbicos de hormigón vertidos semanalmente, así como una comparación grafica entre el acumulado de esos mismos metros cúbicos y lo planificado inicialmente.

De la gráfica se deduce el gran trabajo que se está llevando a cabo en obra, ajustándose a la planificación original e incluso llegando a superarla en algunos periodos.

Los rendimientos de hormigonado son considerablemente altos, llegándose a alcanzar hormigonados de hasta 5,000 m<sup>3</sup> por semana.

Es interesante el descenso de hormigonado producido en el mes de mayo. Este se debe a la coincidencia con la celebración religiosa musulmana del Ramadán. El descenso en la producción durante dicha festividad, es algo común en los países árabes y es recomendable ser tenido en cuenta en la planificación de las obras.



También es destacable los rendimientos alcanzados en la ejecución de pilotes, cuya planificación ha sido ampliamente superada como se muestra en la figura 14.

Los rendimientos anteriores, así como el éxito general obtenido en la obra, se debe en gran medida a los recursos disponibles, entre los que destaca la mano de obra. En la figura 15 se muestra el número de trabajadores desplegados en la obra semanalmente. De la gráfica destacan dos aspectos. El primero, el volumen total de trabajadores, llegándose a alcanzar casi los 1,200 trabajadores en una sola semana. A pesar de el gran volumen de trabajadores presentes en esta obra, se ha alcanzado el hito de 2 millones de

horas-hombre sin incidentes, lo cual habla positivamente de la gestión de la obra y de los sistemas de seguridad y salud aplicados en la misma.

El segundo aspecto a destacar de la figura 15 es la proporción de trabajadores entre el turno de noche y el turno de día. En la gráfica se aprecia claramente como el número de trabajadores durante el turno de día es superior al nocturno durante el año, a excepción de los meses de mayo a agosto, meses correspondientes al periodo del año más caluroso del país. Durante estos meses las temperaturas alcanzadas son extremas, y es por ello que se priorizan turnos de trabajo nocturnos frente a diurnos. Este es otro aspecto a tener en cuenta en la planificación de obras en países con temperaturas extremas, como es el caso de los países del Golfo Pérsico. También sería recomendable tener en cuenta este aspecto en la estimación de costes, ya que los costes asociados a equipos de trabajo nocturnos son superiores a los diurnos.

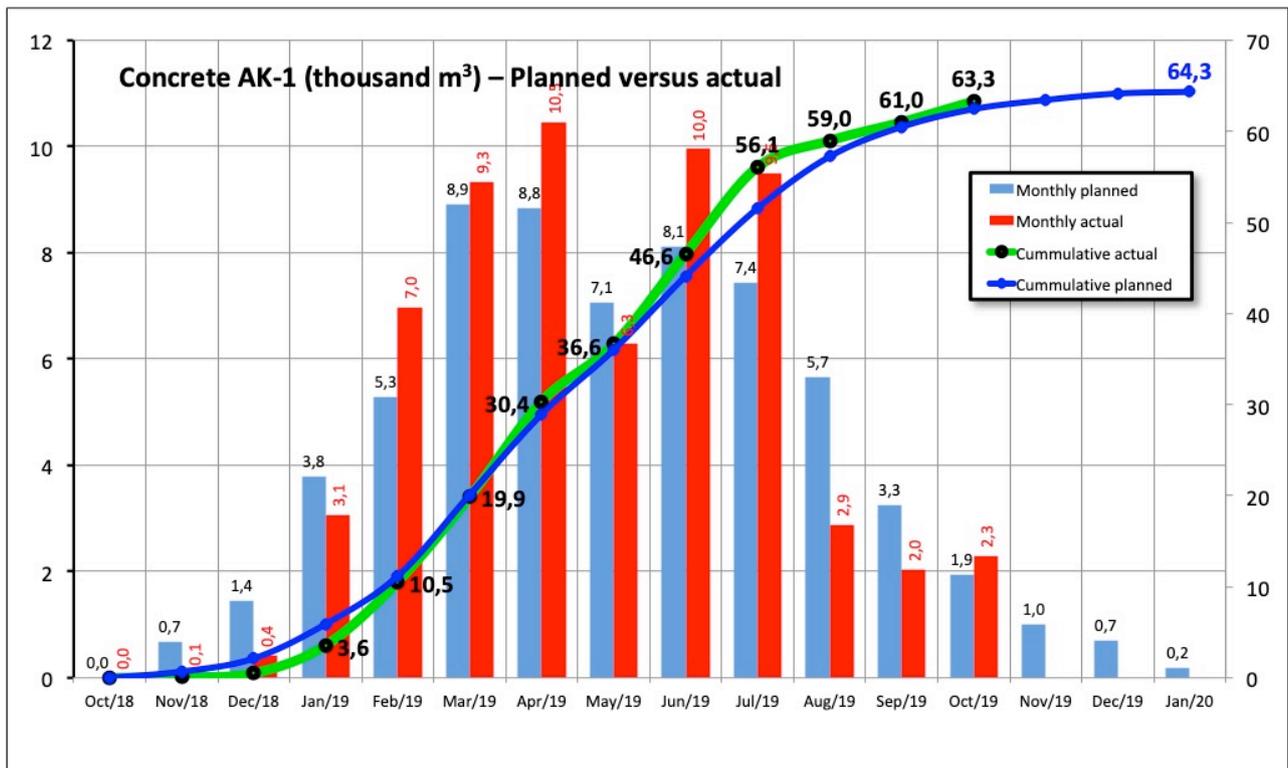


Figura 12. Mediciones en obra de vertidos de hormigón mensuales.

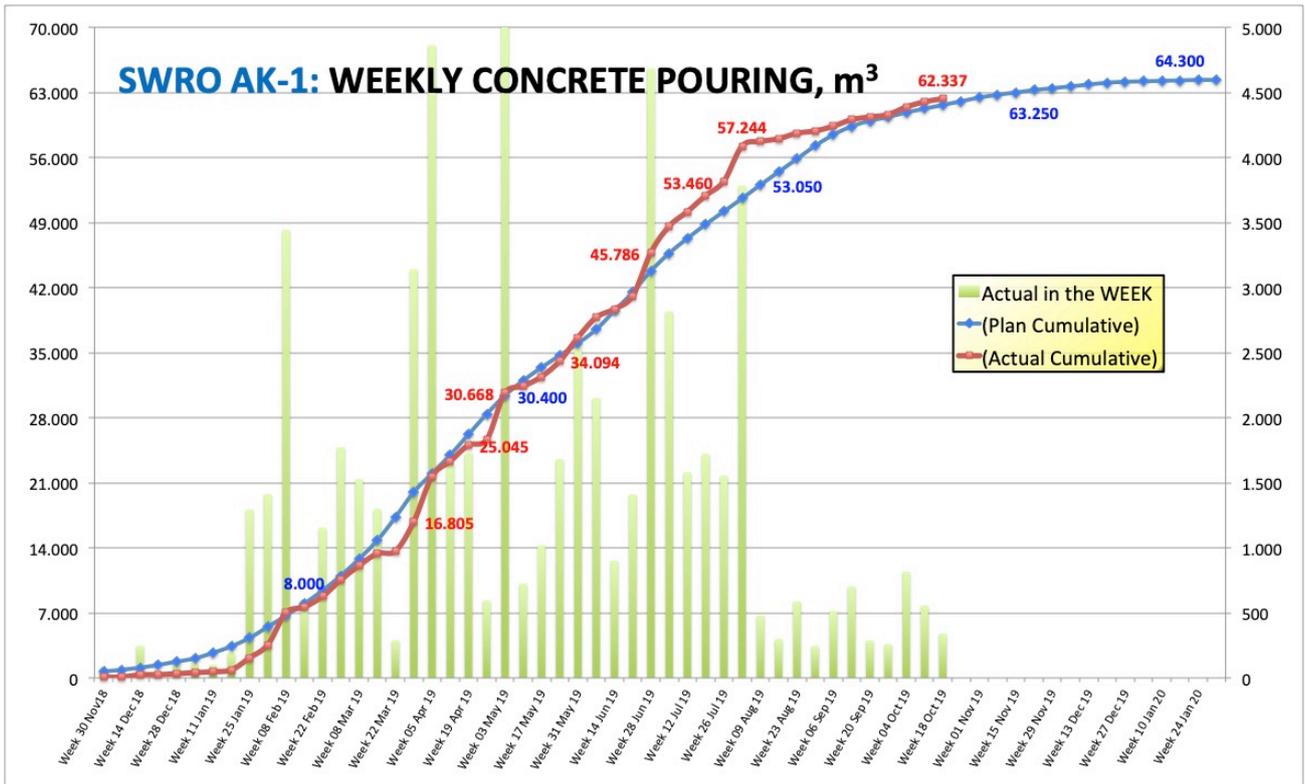


Figura 13. Mediciones en obra de vertidos de hormigón semanales.

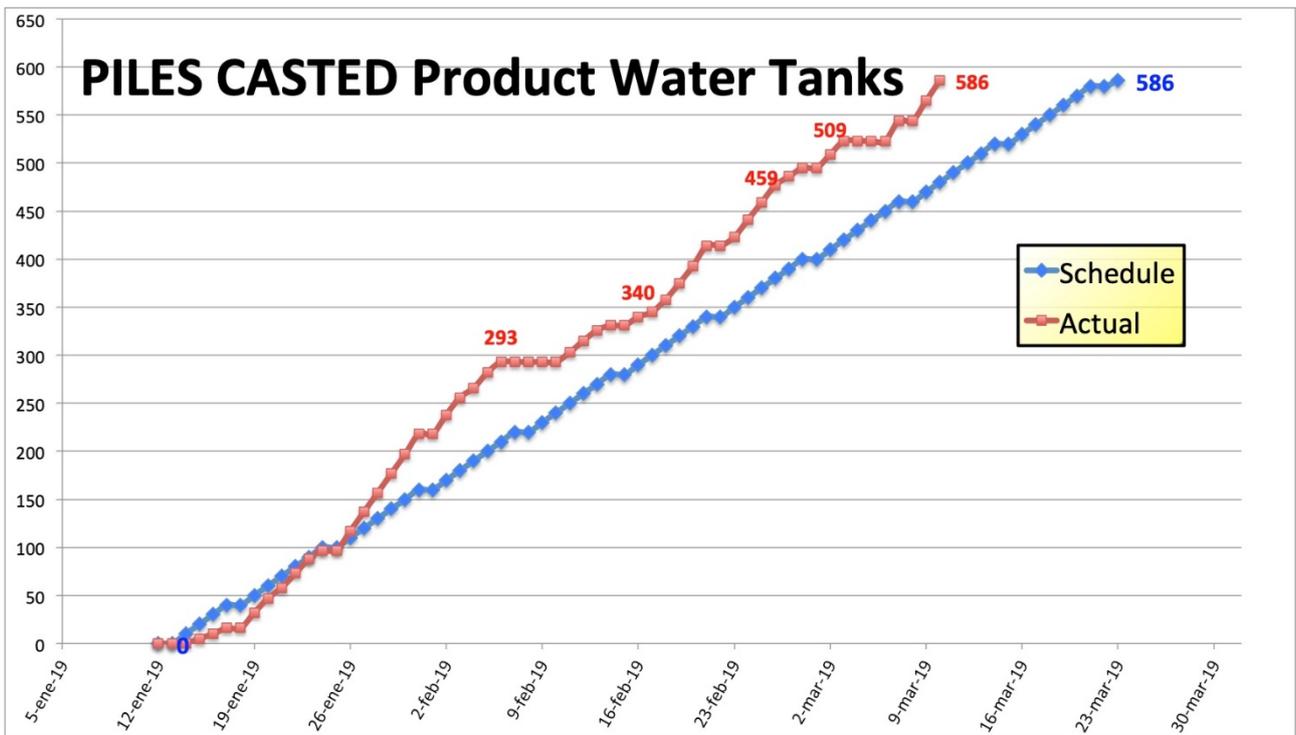


Figura 14. Mediciones en obra de la ejecución de pilotes.

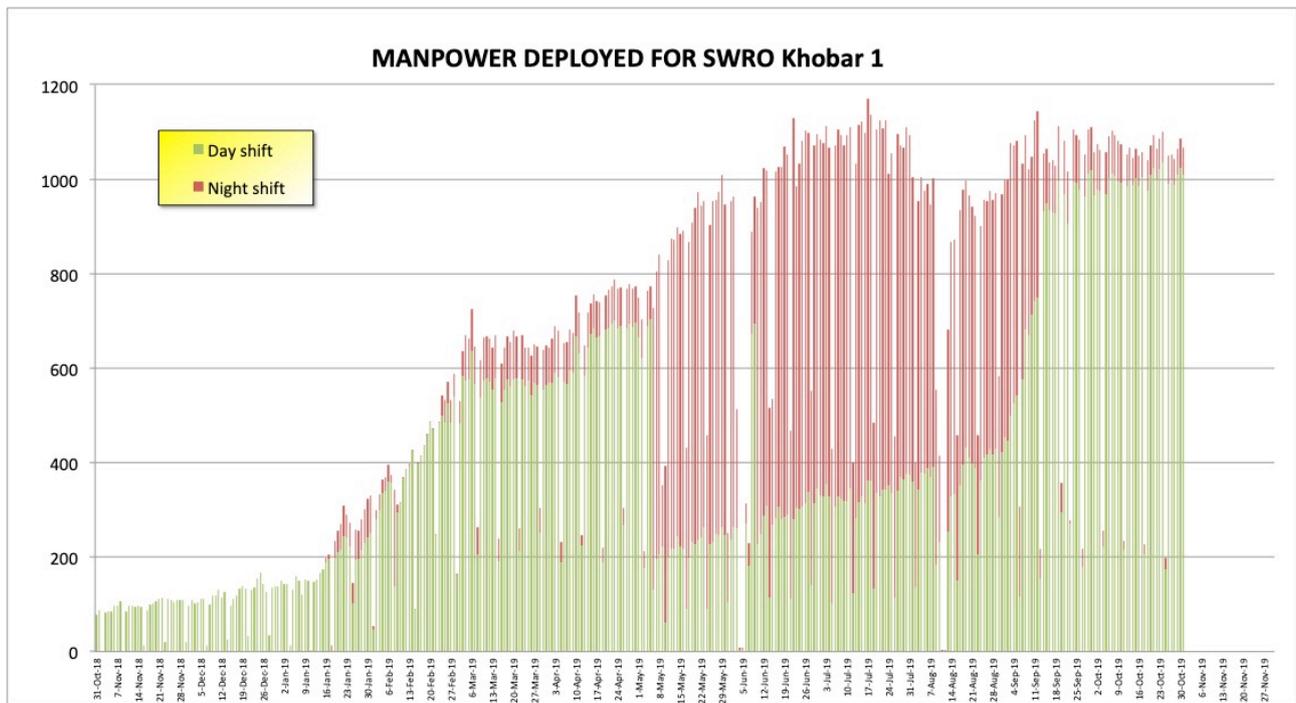


Figura 15. Mediciones del número de trabajadores en la obra por semana.

### *Agradecimientos*

A todo el equipo de Acciona Ingeniería que ha participado en el proyecto.

A Ignacio Lobo Gutierrez, de Acciona Agua, como director del proyecto en Al Khobar, por la información facilitada en relación con el avance de la obra.

A Eva Diez Peredo, Raquel Cabeza del Pozo y Diego Flores del Pozo, de Acciona Agua, por su labor en la coordinación general de la ingeniería.

### *Referencias*

- [1] Saudi Building Code Part 301. Structural – Loading and Forces (SBC 301).
- [2] ACI 318-14. Building Code Requirements for Structural Concrete.
- [3] BS 8007. Design of concrete structures for retaining aqueous liquids.
- [4] ASTM A775. Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcement Bars.
- [5] Royal Commission for Jubail & Yanbo (RCJY).