



ENTRADA

**VALORACIÓN DEL USO INTEGRADO DE  
TECNOLOGÍA DE MONITORIZACIÓN Y  
MODELADO DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL  
CONJUNTO DE LAS INSTALACIONES DE  
ABASTECIMIENTO DE CANAL DE ISABEL II  
S.A.**

**CONTRATO Nº: 248/2017**

**PROCEDIMIENTO ABIERTO NO ARMONIZADO**

**PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS**

Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación.  
11 de agosto de 2017

## CONTENIDO

1. OBJETO.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
3. ALCANCE DE LOS TRABAJOS .....	4
3.1. Información de partida .....	4
3.2. Fases de trabajo .....	4
3.2.1. Trabajo previo .....	4
3.2.2. Trabajo de campo .....	5
3.2.3. Modelos de transitorios .....	5
3.2.4. Análisis de transitorios .....	6
3.2.5. Resultados del proyecto .....	7
3.2.6. Conclusiones finales .....	7
3.3. Resumen de tareas principales .....	7
4. PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS .....	8
5. MEDICIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS .....	8
6. MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS .....	9

## 1. OBJETO

En el presente Pliego de Prescripciones Técnicas se describen las condiciones técnicas que regirán el proyecto de **“Valoración del uso integrado de tecnología de monitorización y modelado de transitorios hidráulicos para la optimización de la gestión del conjunto de las instalaciones de abastecimiento de Canal de Isabel II S.A.”**.

El objeto del proyecto es un estudio de evaluación específico de las condiciones actuales de las estaciones elevadoras de la red de abastecimiento de Canal de Isabel II así como el nivel de solicitaciones a las que está expuesta la red de impulsión que deriva de las mismas. Para ello, se realizará un seguimiento in situ de las variaciones instantáneas de presión que se producen en las elevadoras y se desarrollarán modelos de simulación de estos fenómenos.

El proyecto aportará información adicional a la recopilada en el estudio de transitorios hidráulicos en la red de abastecimiento que actualmente desarrolla la Subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II, con el fin de evaluar la condición de estado de las estaciones elevadoras y mejorar el conocimiento relativo a su operación. De esta forma, se podrán generalizar las conclusiones obtenidas en el primer estudio para el resto de estaciones elevadoras que gestiona la empresa y evaluar en qué medida pueden modificarse las políticas de gestión y operación de los bombeos, adaptar las campañas de mantenimiento preventivo, orientar la inversión en nuevos elementos e infraestructuras, planificación de la sustitución de los elementos deteriorados, o incluso mejorar los criterios de diseño en el caso de nuevas instalaciones, así como mejorar el funcionamiento de las estaciones elevadoras, optimizar su consumo y lograr una gestión más eficiente con el objeto de mejorar la respuesta de las estaciones elevadoras frente a los transitorios, minimizando los efectos negativos que éstos introducen.

## 2. ANTECEDENTES

Los últimos avances en tecnología de monitorización y sensores permiten un sistema de registro continuo e “in situ” de las variaciones instantáneas de presión con ratios de frecuencia de información superiores a 100 medidas por segundo. Esta nueva tecnología posibilita caracterizar y cuantificar de forma inmediata y trazable los transitorios hidráulicos, y favorece una respuesta más rápida en la interpretación de ámbitos de afección y causas que originan las variaciones de presión; pues el análisis con precisión de los eventos transitorios de presión cobra especial importancia ante situaciones concretas como cambios en la operación, ya sean programados o accidentales, u optimización de los bombeos.

Estos avances permitirán complementar la información proporcionada por los sensores instalados en los bombeos de la red de abastecimiento, avanzando así en el conocimiento de los transitorios hidráulicos que se producen como consecuencia del arranque y parada de las bombas en las estaciones elevadoras de abastecimiento en tiempo real.

En la actualidad, el Canal de Isabel II dispone de 20 sensores específicos para la monitorización de transitorios hidráulicos y está desarrollando un proyecto cuyo objeto ha sido confirmar la existencia de dichos transitorios en la red de abastecimiento y cuantificar su magnitud, frecuencia y propagación por la red así como la identificación de las principales causas o factores que los generan. De este estudio, destaca la importancia de estos fenómenos en ocho estaciones elevadoras de abastecimiento analizadas, en donde se alcanzan importantes magnitudes con cierta frecuencia. Por ello, se considera de interés ampliar el proyecto a un número representativo de las estaciones elevadoras que gestiona la empresa, para desarrollar un estudio de evaluación de estado específico de las mismas y así poder generalizar las primeras conclusiones obtenidas.

### 3. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El ámbito de este proyecto abarcará la totalidad de las estaciones elevadoras, aunque únicamente se realizarán mediciones *in situ* sobre una selección de 40 bombeos que se estimen representativos de las 178 estaciones elevadoras de abastecimiento sobre las que Canal de Isabel II tiene responsabilidades de gestión y mantenimiento.

Para ello, se realizará un diagnóstico del estado actual de 40 estaciones elevadoras más relevantes, junto con la red que deriva de las mismas, por presentar éstas información de partida escasa sobre sus condiciones de funcionamiento y/o una alta probabilidad de operar con parámetros diferentes a los de sus condiciones teóricas; y que en conjunto representen la problemática asociada a este fenómeno en los bombeos que gestiona la empresa.

Con toda esta información, junto con la obtenida de las ocho estaciones elevadoras de abastecimiento estudiadas en el proyecto que actualmente desarrolla Canal de Isabel II, se podrán analizar las causas y efectos de los transitorios hidráulicos en estaciones de bombeo, proponer soluciones para evitar su aparición y evaluar la eficacia de las diferentes medidas protectoras y/o mitigadoras frente a los transitorios que se puedan originar a pesar de ello.

#### 3.1. Información de partida

Para el desarrollo y análisis de los trabajos se dispone de las siguientes fuentes de información:

- Cartografía y modelos hidráulicos de la red de abastecimiento incluyendo características hidráulicas, físicas y topológicas de todos los elementos de las mismas.
- Datos de la monitorización de caudales y presiones (horarios y dos minutales en algunos casos) en puntos significativos para condiciones normales de funcionamiento.
- Información relativa al equipamiento y condiciones de operación de todas las instalaciones elevadoras gestionadas por la empresa (bombas, calderines, válvulas de retención, etc).
- Maniobras y operaciones significativas en la red en cada zona a estudiar durante el periodo de registro.
- Series históricas de averías próximas a las zonas de estudio durante el periodo de registro.
- Series históricas de problemas de calidad en las zonas a estudiar durante el periodo de registro.

#### 3.2. Fases de trabajo

El proyecto comprende las siguientes fases de trabajo:

##### 3.2.1. Trabajo previo

En primer lugar, es preciso seleccionar las elevadoras a estudiar. Para ello, a partir de la información disponible sobre las estaciones elevadoras gestionadas por la empresa, que será aportada por la dirección del proyecto de Canal de Isabel II, el adjudicatario llevará a cabo una tarea de identificación de las estaciones de bombeo más representativas para el estudio que representen la problemática asociada a la ocurrencia de transitorios hidráulicos en el conjunto de las impulsiones gestionadas por la empresa. La dirección del proyecto por parte de Canal de Isabel II deberá aprobar la propuesta justificada con las 40 estaciones elevadoras identificadas sobre las que se desarrollará el presente contrato.

Para la realización del proyecto Canal de Isabel II proporcionará 20 equipos específicos para la detección de transitorios hidráulicos. Estos equipos, propiedad de la empresa, registran datos de presión con una frecuencia de 100 medidas por segundo y disponen de transmisión GPRS con seguimiento de tipo "online".

El adjudicatario propondrá la ubicación y el programa de muestreo para cada estación elevadora identificada definiendo su localización exacta en la red mediante mapas de la zona indicando en ellos el código de identificación GIS, que deberá ser aprobado por la dirección del proyecto de Canal de Isabel II. Asimismo, el adjudicatario deberá encargarse de la instalación de los sensores y de su correcto funcionamiento durante todo el desarrollo de los trabajos.

Cada una de las elevadoras a estudio será cubierta con estos equipos, debiendo analizar cada zona con un mínimo de 4 equipos. Así mismo, se fijará el plazo mínimo de registro de presiones de cuatro semanas para cada elevadora. No obstante, ambos valores podrán verse modificados, por exceso o por defecto en función de las características propias de cada elevadora, su grado de complejidad y la información adicional disponible.

### **3.2.2. Trabajo de campo**

Canal de Isabel II facilitará al adjudicatario la información relativa al sistema de información geográfico corporativo (GAMBA) en el que se encuentran reflejados los elementos que componen el sistema de abastecimiento, con representación de su ubicación geográfica, topología y principales características físicas: longitud, diámetro, material, año de instalación, fabricante, etc., si bien no toda la información está completa al 100%.

La dirección del proyecto de Canal de Isabel II garantizará la viabilidad de las ubicaciones precisas para la instalación de los equipos de medida de presión de forma previa a la visita de campo por parte del adjudicatario de los trabajos.

Los trabajos de campo consistirán en la personación de un equipo técnico del contratista en las zonas de estudio identificadas a priori y deberán contar con la conformidad previa del responsable del proyecto por parte de Canal de Isabel II, procediendo el adjudicatario a la instalación de los equipos y registro de presiones en los plazos y condiciones fijadas.

Para cada zona, una vez instalados los equipos, se deberá aportar al Canal de Isabel II dos informes. Un primer informe con los resultados de presiones medias, mínimas y máximas registradas en la primera semana de instalación y un informe final de zona con los resultados y principales conclusiones de la información recopilada al terminar el periodo de registro.

### **3.2.3. Modelos de transitorios**

En paralelo a los trabajos de campo, para cada zona de estudio, el adjudicatario deberá proceder al análisis de los transitorios hidráulicos en las zonas identificadas mediante un software de cálculo adecuado.

Estos modelos de transitorios deben ser capaces de calcular cualquier condición de transitorio con la suficiente precisión. Los métodos numéricos normalmente utilizados para dicho cálculo son el Método de la Onda Característica (Wave Characteristic Method-WCM), el Método de la Onda Plana (Lagrangiano) y el Método de las Características (Euleriano).

Por otro lado, deben ser capaces de modificar los parámetros de operación de las estaciones elevadoras, las características de los elementos que componen éstas y la red que deriva de

ellas y también debe permitir introducir en el modelo los distintos dispositivos de protección antiarriete con sus características relevantes, así como los eventos que pueden originar transitorios (encendido y apagado de bombas, cierre brusco de válvula, rotura de tubería, etc...). Finalmente debe ser capaz de simular de forma adecuada el comportamiento de los elementos singulares y de protección frente a dichos transitorios (válvulas antirretorno, calderines, etc...).

Por otro lado, se considera muy recomendable la posibilidad de poder importar datos desde plataformas GIS y modelos en régimen permanente, así como ser capaz de superponer valores observados frente a registrados. Para ello, el Canal de Isabel II suministraría los modelos hidráulicos en formato SynerGee®v. 4.7 (o posterior) de Advantica Stoner.

El adjudicatario deberá presentar una metodología en la que se describan los modelos de cálculo a realizar y los escenarios contemplados, así como el software comercial en el que se desarrollarán, para su aprobación y validación por parte de Canal de Isabel II. Los escenarios planteados deberán referirse tanto a condiciones normales de operación como a situaciones de emergencia.

En esta fase el adjudicatario deberá presentar un informe para cada elevadora estudiada con los resultados obtenidos de los modelos desarrollados. Este informe se podrá presentar de manera conjunta con el informe final de zona indicado en el trabajo de campo. En estos informes de los modelos deberán figurar los valores extremos de presión esperados para cada escenario, máximos y mínimos, las principales conclusiones extraídas, la posibilidad de cavitación, o condiciones de vacío en la vida útil en los elementos que componen las elevadoras y la red que deriva de cada una de ellas y análisis de fatiga de dichos componentes. Los modelos de cálculo en formato digital se adjuntarán a los informes correspondientes para su verificación.

#### **3.2.4. Análisis de transitorios**

Una vez concluidos los trabajos de campo y desarrollado el modelo de cálculo, el adjudicatario analizará la información registrada in situ y realizará un diagnóstico de las estaciones elevadoras, así como un estudio comparativo de las alternativas existentes para mejorar su funcionamiento y lograr una gestión más eficiente.

En cada estación elevadora estudiada, y a partir de los modelos desarrollados para los diferentes escenarios posibles, se deberá realizar la evaluación de la condición de estado así como un análisis técnico en el que se valore el riesgo o probabilidad de ocurrencia de transitorios hidráulicos en cada bombeo, las posibles consecuencias de los mismos ante los escenarios planteados, la eficacia de las diferentes medidas protectoras y/o mitigadoras existentes, proponiendo soluciones para minimizar los efectos negativos que este fenómeno introduce.

Para concluir esta fase, el adjudicatario deberá realizar una extrapolación final de toda la información obtenida, generalizando los resultados al resto de estaciones elevadoras gestionadas por Canal de Isabel II.

Todos los estudios desarrollados en esta fase se concretarán en un informe de análisis de transitorios.

### **3.2.5. Resultados del proyecto**

Como resultado del proyecto y a partir del análisis de transitorios de la etapa anterior, el adjudicatario deberá plantear un estudio de las medidas de mitigación de transitorios, pautas de operación, alternativas existentes o precauciones a adoptar, incluyendo una evaluación técnico-económica de las mismas, para la optimización de la gestión del funcionamiento de las estaciones elevadoras, así como para adecuar los criterios de diseño en el caso de modificaciones de las instalaciones.

### **3.2.6. Conclusiones finales**

El adjudicatario presentará las conclusiones del proyecto en un documento final que contendrá la metodología empleada, el resumen de los registros de la toma de datos, las tareas realizadas, los cálculos y la interpretación de los resultados de los modelos, y las conclusiones generales para cada elevadora estudiada. Asimismo, deberá figurar en este documento las actuaciones de mitigación propuestas junto con la evaluación de la eficacia de las diferentes medidas protectoras y/o mitigadoras frente a los transitorios que se puedan originar y las recomendaciones sobre la adaptación de las políticas de gestión y mantenimiento de las estaciones de bombeo analizadas.

Finalmente se incluirá una extrapolación de toda la información obtenida, generalizando los resultados al resto de estaciones elevadoras gestionadas por Canal de Isabel II.

## **3.3. Resumen de tareas principales**

Como conclusiones, sin excluir ninguna de las tareas indicadas en el apartado de fases de trabajo, el esquema de los principales trabajos a desarrollar se resumen a continuación:

#### **Trabajo previo:**

- Identificación de las elevadoras de estudio.
- Para cada zona de estudio:
  - Definición de puntos de instalación de sensores.
  - Definición del programa de muestreo.

#### **Trabajo de campo:**

- Instalación de los equipos en cada zona.
- Registro de información en cada elevadora.
- Informe de resultados tras la primera semana de instalación de equipos en cada zona.
- Informe final con resultados y conclusiones de cada elevadora.

#### **Modelos de transitorios:**

- Definir metodología para el desarrollo de modelos, escenarios y software a emplear.
- Modelizar, simular y obtener resultados para cada escenario en cada elevadora.
- Informe final con resultados, conclusiones de cada elevadora de estudio y modelos desarrollados.

#### **Análisis de transitorios:**

- Caracterización de los transitorios hidráulicos detectados en cada elevadora estudiada.
- Evaluación de la condición de estado y definición del riesgo de ocurrencia de transitorios hidráulicos para cada elevadora estudiada.
- Generalización de resultados al resto de elevadoras gestionadas por Canal de Isabel II.
- Informe de análisis de transitorios.

**Resultados del proyecto:**

- Propuesta de medidas de mitigación de transitorios en bombeos y pautas de operación.
- Propuesta para la optimización de las estaciones elevadoras.
- Recomendaciones para las políticas de operación, mantenimiento preventivo, modificación de la instalación, inversión y diseño.

**Conclusiones finales:**

- Documento final con tareas realizadas, datos de registro y de los modelos, conclusiones de cada elevadora y resultados del proyecto.

#### **4. PRESENTACIÓN DE LOS TRABAJOS**

En un plazo de 4 semanas a partir de la firma del contrato, el adjudicatario deberá presentar la siguiente documentación:

- Plan de trabajo donde se determinen los tiempos, plazos, y fechas de ejecución de cada una de las tareas del proyecto.
- Índice detallado de los documentos que se incluirán en el proyecto.
- Metodologías que se llevarán a cabo en cada una de las fases del proyecto.
- Relación de personas implicadas en el trabajo y misión asignada a cada una de ellas.

Esta información deberá ser aprobada y/o modificada adecuadamente por la dirección del proyecto de Canal de Isabel II antes de comenzar con los trabajos.

A partir de este punto, y en cuanto a los documentos entregables, para cada una de las fases del trabajo anteriormente indicadas se producirá un documento descriptivo de los trabajos realizados, metodología, resultados, conclusiones del trabajo y recomendaciones. No obstante, durante el proyecto se presentarán informes parciales de las tareas realizadas tal y como se ha indicado en el apartado de alcance de los trabajos. Según se ha señalado, para cada elevadora se presentará un primer informe de resultados tras la primera semana de instalación de equipos y un informe final de cada zona con los datos registrados en campo, los resultados de los modelos de cálculo y las principales conclusiones, adjuntando a su vez los modelos de cálculo desarrollados para su verificación. Asimismo, se presentará un informe de análisis de los transitorios.

Al final del proyecto se presentará un único documento con los contenidos especificados en el apartado de conclusiones finales.

Los informes o documentos de texto deberán entregarse en formato MS-Word y PDF, además de una copia impresa. Los gráficos y tablas de datos o resultados que se incluyan en los informes se entregarán además en formato MS-Excel o MS-Access. Los mapas de datos y resultados georreferenciados se presentarán en formato Geodatabase ESRI® compatible con el GIS de Canal de Isabel II (ArcGis 10.1).

Todos los documentos deberán ser entregados según los plazos y fechas acordadas en el plan de trabajo.

#### **5. MEDICIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS**

El abono de los trabajos se realizará para cada una de las fases del proyecto, de acuerdo a los porcentajes que se indican a continuación. Se emitirá una factura para cada una de estas fases una vez hayan sido completadas las tareas, y haya sido aprobado el informe correspondiente por la dirección del proyecto por parte de Canal de Isabel II. No obstante, en las fases de trabajos de campo y modelos de transitorios se emitirán certificaciones mensuales sobre las zonas analizadas con informe aprobado en el periodo.



Se considerará el siguiente reparto del presupuesto:

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Trabajo de campo: se facturará mediante certificaciones mensuales tras presentación de informe de cada zona        | 20% |
| 2. Modelos de transitorios: se facturará mediante certificaciones mensuales tras presentación de informe de cada zona | 45% |
| 3. Análisis de los transitorios   | 10% |
| 4. Resultados del proyecto y conclusiones finales   | 25% |

## 6. MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS

El adjudicatario nombrará un representante responsable del proyecto, que deberá contar con, al menos, 5 años de experiencia en trabajos relacionados directamente con el objeto del proyecto, según se describe en el apartado 5 del Anexo I del Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares.

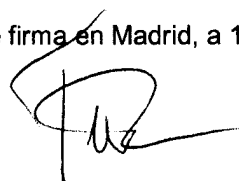
El adjudicatario dedicará a la realización del proyecto contratado una plantilla de acreditada solvencia técnica, para que labor comprometida pueda ser realizada de modo satisfactorio y en el plazo establecido. Por ello, deberá contar con especialistas en las áreas de monitorización y modelización de transitorios hidráulicos en redes de abastecimiento de agua para consumo humano y estadística, con al menos dos años de experiencia en las respectivas materias.

El adjudicatario velará por que el equipo designado para la ejecución de los trabajos tenga la suficiente estabilidad que no ponga en riesgo la consecución de los mismos en calidad y tiempos. Cualquier cambio que se produjera respecto al equipo inicialmente propuesto deberá ser puesto en conocimiento y aprobado por la dirección del proyecto por parte de Canal de Isabel II, con la suficiente antelación para no comprometer el correcto desarrollo del proyecto.

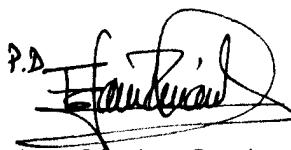
Las ofertas indicarán toda la información, documentación y colaboración que precisen por parte de Canal de Isabel II para la realización de los trabajos objeto de este pliego, entendiendo que todo lo que no se indique expresamente en la oferta, o no se considera necesario para alcanzar el resultado o corre a cargo de la empresa adjudicataria.

Este pliego ha sido redactado en la Subdirección de Investigación, Desarrollo e Innovación.

Y se firma en Madrid, a 11 de agosto de 2017.



Francisco Cubillo González  
Subdirector de Investigación,  
Desarrollo e Innovación.



Juan Sánchez García  
Director de Innovación e Ingeniería.