

# LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS CALCULADA AUTOMÁTICAMENTE PARA OPTIMIZAR LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO Y CONTROLAR SU EFICIENCIA

ESTE ARTÍCULO PRESENTA LA SOLUCIÓN AVAIL, DESARROLLADA POR SUEZ DURANTE UN PROYECTO PILOTO IMPLEMENTADO EN UNA PLANTA DEPURADORA DE 95.000 HABITANTES-EQUIVALENTES EN 2014.

AVAIL permite calcular automáticamente los indicadores de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos electromecánicos a partir de datos de supervisión. Estos indicadores automáticos constituyen una preciosa ayuda en la toma de decisiones para:

- el operador, a fin de medir los resultados de su política de mantenimiento y disponer de elementos objetivos para la mejora continua;
- el propietario de la planta, a fin de garantizar el nivel de prestación proporcionado por su operador y comprobar la conformación en el tiempo de los resultados de su planta a sus expectativas.

Así, se reúnen todas las condiciones para una relación de confianza entre socios. El operador puede optimizar la instalación y el propietario asegurarse de que obtiene una prestación de calidad.

## Introducción

Existe una divergencia de intereses respecto al mantenimiento entre el propietario de una instalación de tratamiento de agua y el prestatario de operación. En efecto, la cuestión legítima del propietario respecto al mantenimiento y la conservación de su instalación será: «¿el prestatario hace lo suficiente?». Por su lado, el prestatario podrá abordar el tema bajo la formulación inversa: «¿no hago demasiado?». Este dilema evidencia una necesidad patente de objetividad en la evaluación de la política de mantenimiento y del estado de las instalaciones para beneficio de ambas partes.

Ahora bien, ¿cómo medir objetivamente el estado de los equipos electromecánicos? En verdad, no existe una respuesta sencilla ni inequívoca sobre esta cuestión.

SUEZ utiliza un método basado en la objetividad de 4 criterios que son el rendimiento, los signos exteriores de degradación, la obsolescencia y la disponibilidad. Este último criterio engloba, en particular, dos componentes: la fiabilidad y la mantenibilidad.

Los indicadores relativos a la disponibilidad, la fiabilidad y la mantenibilidad son esenciales, puesto que traducen una dimensión importante del estado de los equipos electromecánicos y reflejan su comportamiento. Proporcionan también una indicación sobre la calidad de la prestación efectuada por la función mantenimiento (calidad y rapidez de las intervenciones).

## Algunas definiciones

Respecto a los principales conceptos que aquí nos interesan, la norma Afnor X60-500 nos proporciona las siguientes definiciones:

### Fiabilidad

“Aptitud de una entidad para realizar una función requerida, en las condiciones dadas, durante un periodo de tiempo especificado. A menudo, el concepto de fiabilidad se traduce en la práctica como la aptitud de un entidad para tener una débil frecuencia de fallos”.

# AUTOMATIC CALCULATION OF EQUIPMENT AVAILABILITY TO OPTIMISE MAINTENANCE POLICIES AND CONTROL EFFICIENCY

THIS ARTICLE PRESENTS THE AVAIL SOLUTION, DEVELOPED BY SUEZ DURING A PILOT STUDY CARRIED OUT AT A WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) WITH A 95,000 POPULATION EQUIVALENT CAPACITY IN 2014.

AVAIL enables the automatic calculation of reliability, serviceability and availability (uptime) indicators of electromechanical equipment based on monitoring data. These automatic indicators are valuable decision-making aids for:

- Operators, for the purpose of measuring the results of their maintenance policies and having objective information at their disposal for ongoing enhancement
- Plant owners, in order to guarantee the level of service provided by operators and to analyse whether plant results over time are in line with expectations

In this way, all the conditions for a relationship of trust between partners are in place. Operators can optimise operations at the facility and owners can be sure that they receive a quality service.

## Introduction

The interests of WWTP plant owners and operators diverge in the area of maintenance. In effect, in relation to the maintenance and conservation of their facilities, owners can legitimately ask the question: “Is the provider doing enough?” In contrast, the service provider might well address the matter from the opposite angle: “Am I not doing too much?” This divergence highlights a patent need for objectivity in the evaluation of the maintenance policy and the status of facilities, for the benefit of the two parties.

But how can the status of electromechanical equipment be measured objectively? In truth, there is no simple, unequivocal answer to that question.

SUEZ uses an objective method based on 4 criteria: performance, external signs of degradation, obsolescence and availability or uptime. The latter criterion encompasses two main components: reliability and serviceability.

Availability, reliability and serviceability indicators are vital because they transmit important information on the state of electromechanical equipment and reflect its behaviour. They also provide information on the quality of the maintenance service provided (quality and speed of operations).

## Some definitions

The Afnor X60-500 standard provides us with the following definitions of the main concepts of interest here:

### Reliability

“Aptitude of a piece of equipment to carry out a required function, under given conditions, during a specified time period. The concept of reliability often translates into the aptitude of a piece of equipment to have a low failure frequency”.

Para el caso de AVAIL, hemos elegido medir la fiabilidad a través del tiempo medio entre fallos.

### Mantenibilidad

“En las condiciones dadas de utilización, es la aptitud de una entidad para ser puesta en estado de funcionamiento o restablecida, en un periodo de tiempo dado, en un estado en la que esta pueda cumplir su función, cuando el mantenimiento se ha realizado en las condiciones dadas, con procedimientos y medios prescritos”.

Se ha elegido medir la mantenibilidad a través del tiempo medio de reparación de la función perdida.

### Disponibilidad

“Aptitud de una entidad para ser capaz de asegurar una función requerida en las condiciones dadas, en un instante dado o durante un periodo de tiempo dado, suponiendo que el suministro de los medios exteriores necesarios está garantizado. Esta aptitud se relaciona con la fiabilidad, la mantenibilidad y el Servicio de Mantenimiento de la Entidad”.

Hemos elegido medir la disponibilidad a través de la tasa de tiempo durante la cual el equipo es capaz de cumplir su función.

### Necesidad

Estos indicadores sencillos en teoría son reconocidos desde hace tiempo por la profesión de mantenimiento, pero raramente utilizados en la práctica. Para comprender el porqué, basta sencillamente con intentar calcularlos para los centenares de equipos que conforman una planta depuradora de agua de tamaño medio. Rápidamente se evidencia la naturaleza altamente cronófaga de dicha tarea, así como la extraordinaria cantidad de datos necesarios.

El enfoque tradicional consiste en buscar estos datos en la GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador) tratando el historial de las órdenes de trabajo. Se observa que, demasiado a menudo, estos datos están incompletos, su calidad es discutible e incluso no están disponibles.

El gran interés de estos indicadores se ve así enturbiado por los escollos de su aplicación práctica. Así, aunque muchos coinciden en su interés, al margen de los estudios puntuales y limitados a unos equipos, casi nunca llegan a utilizarse sistemáticamente en todos los equipos de una instalación de tratamiento.

### Solución - concepto

#### La solución AVAIL descansa principalmente en dos ideas:

1. El uso del sistema de supervisión (y no la GMAO) que gestiona, en continuo y en tiempo real, las informaciones que permiten caracterizar el estatus de los equipos y saber en cada instante si están o no en medida de realizar su función.
2. La modificación en el sistema de supervisión de la orden “parada” de los equipos a fin de ser capaces de distinguir las diferentes causas de parada.

AVAIL también es capaz de explotar la mina de información contenida en la supervisión, raramente explotada a falta de una herramienta adaptada para calcular los indicadores evocados anteriormente.

Hemos implementado esta solución en una planta depuradora en el marco de un proyecto piloto.

In the case of AVAIL, we have chosen to measure reliability in terms of the average time intervals between failures.

### Serviceability

“In the given usage conditions, serviceability is the aptitude of a piece of equipment to be put into an operational state or to be put back into a state in which it can fulfil its function in a given time interval, where maintenance has been carried out in the given conditions, with the prescribed procedures and means”.

It was decided to measure serviceability in terms of the average time taken to repair the affected function.

### Availability

“Aptitude of equipment to be in a position to achieve a required function, under given conditions, at a given time, or for a given time period, assuming that the supply of external resources required is guaranteed. This aptitude is related to reliability, serviceability and the Equipment Maintenance Service”.

We have opted to measure availability in terms of the percentage of time in which the equipment is capable of fulfilling its function.

### Necessity

These indicators are simple in theory and have been accepted for some time by the maintenance profession. However, they are rarely used in practice. To understand why this so, one merely needs to attempt to calculate them for the hundreds of pieces of equipment installed at a medium-sized WWTP. The extremely time-consuming nature of these tasks and the extraordinary quantity of data required becomes apparent very quickly.

The traditional approach is to look for this data on the Computerised Maintenance Management System (CMMS), through the history of work orders. All too often, it can be observed that these data are incomplete or of dubious quality. Sometimes, the data are not even available.

The great interest of these indicators is thus tainted by obstacles to their application in practice. Therefore, despite the fact that many people agree on the interest of such indicators, apart from once-off studies limited to a few pieces of equipment, they are almost never used systematically for all the equipment at a wastewater treatment facility.

### Solution - concept

#### The AVAIL solution has two main underlying concepts:

1. The use of the monitoring system (and not the CMMS), which manages, continuously and in real time, the information that enables characterisation of the status of equipment. This enables it to be known whether equipment is fulfilling its function at any given point in time.
2. Modification in the monitoring system of the equipment “shutdown” order for the purposes of being in a position to distinguish between the different causes of equipment shutdown.

AVAIL is also capable of exploiting the vast amount of information contained in the monitoring system, which is rarely availed of due to the lack of an adapted tool to calculate the aforementioned indicators.

## Solución - técnica

### Obtención de datos brutos

La explotación de los datos de supervisión supone, en un primer tiempo, adaptar el sistema para generar automáticamente una base de datos fechada de todos los estatus sucesivos leídos en cada uno de los equipos.

Para que la interfaz Humano-Máquina (HMI) sea completa en los supuestos de parada por efecto de una actuación manual, esta deberá ser adaptada para permitir a los operarios declarar la naturaleza planificada o no de las paradas voluntarias de los equipos (cf. Figura 1).

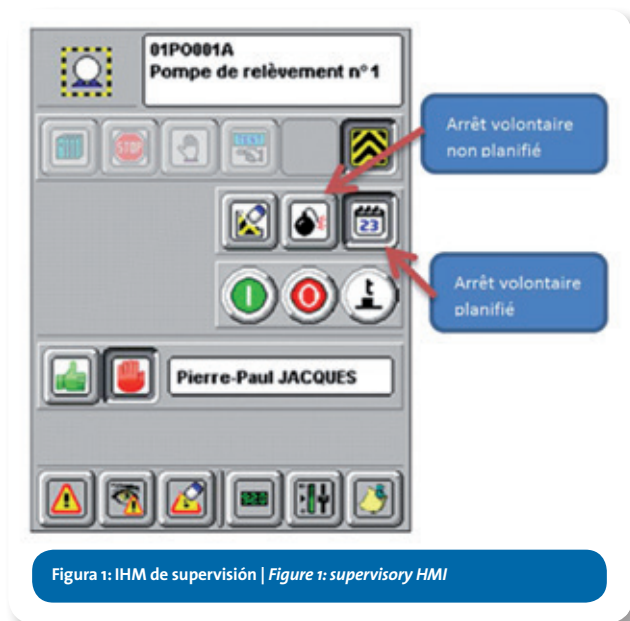


Figura 1: IHM de supervisión | Figure 1: supervisory HMI

Tabla 2: Ejemplo de datos brutos para 1 equipo  
Table 2: Example of raw data for one piece of equipment

Referencia Reference no.	Descripción Description	Fecha Date	Hora Time	Nuevo Estatus New Status	Descripción Estatus Status Description
01PO001A	Bomba1A   Pump1A	02/06/2014	08:31:13	2	Movilizable   Operable
01PO001A	Bomba1A   Pump1A	02/06/2014	9:54:08	1	Movilizado   In operation
01PO001A	Bomba1A   Pump1A	02/06/2014	11:47:26	4	Incapacidad propia   Out of service due to failure
01PO001A	Bomba1A   Pump1A	02/06/2014	17:02:39	2	Movilizable   Operable
...					

### Formato de los datos en estado bruto

Los datos en estado bruto así generados por la supervisión se presentan bajo la forma de un archivo de texto. Cada cambio de estatus de equipo da lugar a la creación de un registro con la referencia del equipo en cuestión, la fecha, la hora y el nuevo estatus.

### Tratamiento de los datos

El archivo de texto se trata a continuación a través de una aplicación especialmente desarrollada a este fin. Las grandes etapas del tratamiento automático se resumen así:

1. Importación
2. Formateado
3. Clasificación por TAG y fecha
4. Cálculo de las duraciones de cada estatus
5. Cálculo de los indicadores
6. Edición del informe

We have implemented this solution at a WWTP, within the framework of a pilot project.

### Solution - technique

#### Obtaining raw data

Exploiting monitoring data firstly involves adapting the system so that it automatically generates a chronological database of successive readouts for the status of each piece of equipment.

To enable the Human Machine Interface (HMI) to provide comprehensive information on manual shutdowns, the HMI must be adapted to enable operators to declare whether voluntary equipment shutdown is planned or unplanned (see Figure 1).

#### Raw data format

Raw data generated in this way by the monitoring system is presented in the form of a text file. Each change of equipment status gives rise to the creation of a register with the reference number of the relevant piece of equipment, the time, date and new status.

#### Data treatment

The text file is then treated by means of an application specifically developed for this purpose. The major automatic treatment stages can be summarised as follows:

1. Importation
2. Formatting
3. Classification by TAG and date
4. Calculation of duration of each status
5. Calculation of indicators
6. Creation of report

Figure 2 shows the general architecture of the AVAIL system.

### Calculation of indicators

The three types of indicators selected (reliability, serviceability and availability) are calculated for a number of perimeters:

- Individual indicators for the following pieces of equipment
- Indicators by equipment family (rotating machines, electromechanical equipment, instruments, sluice gates);
- Indicators for critical equipment groups;
- Global indicators for a workshop or the entire plant (all equipment supervised by the monitoring system).

Reliability indicator F: for one or a number of pieces of equipment in a given period, the reliability indicator is obtained by the following equation:

$$F = (N_4 + N_5) / t_a$$

Note: see notation definitions below

La figura 2 ilustra la arquitectura general del sistema AVAIL.

### Cálculo de los indicadores

Los tres tipos de indicadores seleccionados (fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) se calculan para varios perímetros:

- Indicadores individuales relativos a cada uno de los equipos siguientes;
- Indicadores por familia de equipos (máquinas giratorias, electromecánicas, instrumentos, compuertas);
- Indicadores relativos a un grupo de equipos críticos;
- Indicadores globales relativos a un taller o a toda la planta (para los equipos vigilados por la supervisión).

Indicador de fiabilidad F: para uno o varios equipos en un período dado, el indicador de fiabilidad se obtiene por la relación siguiente:

$$F = (N_4 + N_5) / t_a$$

Nota: ver a continuación las definiciones de las notaciones

Indicador de mantenibilidad M1 (mantenimiento correctivo): para uno o varios equipos en un período dado, el indicador de mantenibilidad M1 se obtiene por la relación siguiente:

$$M1 = [\Sigma(T_4) + \Sigma(T_5)] / [\Sigma(N_4) + \Sigma(N_5)]$$

Indicador de mantenibilidad M2 (mantenimiento preventivo): para uno o varios equipos en un período dado, el indicador de mantenibilidad M2 se obtiene por la relación siguiente:

$$M2 = \Sigma(T_6) / \Sigma(N_6)$$

Indicador de disponibilidad D: para uno o varios equipos en un período dado, el indicador de disponibilidad D se obtiene por la relación siguiente:

$$D = 1 - \{[\Sigma(T_4) + \Sigma(T_5) + \Sigma(T_6)] / t_h\}$$

Indicador de factor humano FH: Este indicador persigue estimar la proporción de acontecimientos de indisponibilidad declarados por los operarios respecto al conjunto de indisponibilidades. Para uno o varios equipos en un período dado, el indicador de factor humano FH se obtiene por la relación siguiente:

$$FH = [\Sigma(N_5) + \Sigma(N_6)] / [\Sigma(N_4) + \Sigma(N_5) + \Sigma(N_6)]$$

Con

- F: media de paradas no planificadas por año
- M1: duración promedio de las paradas no planificadas, en horas
- M2: duración promedio de las paradas planificadas, en horas
- D: disponibilidad media de los equipos en % de tiempo
- N4: número de registros con estatus de incapacidad propia (fallo)
- N5: número de registros con estatus de incapacidad voluntaria no planificada

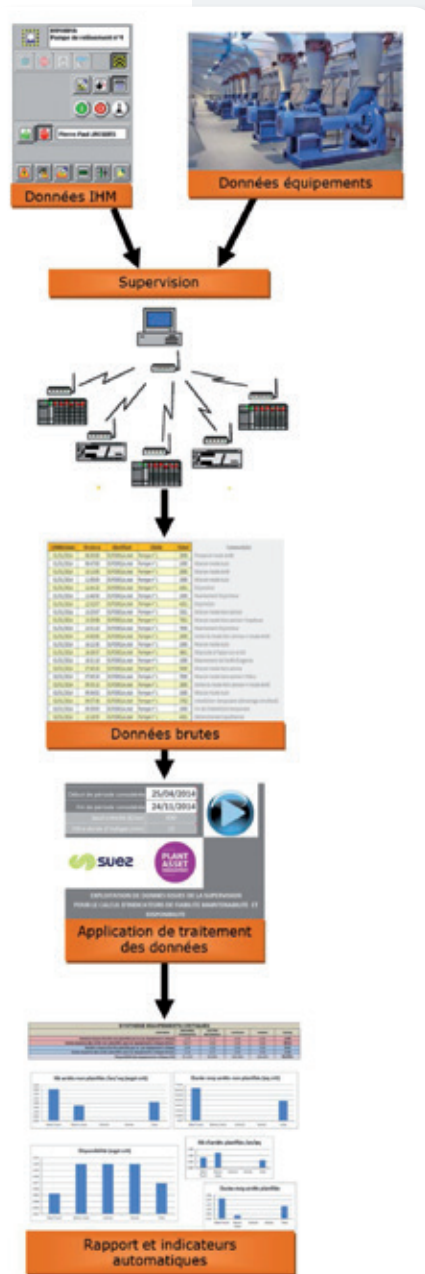


Figura 2: Arquitectura del sistema AVAIL  
Figure 2: Architecture of AVAIL system

Serviceability indicator M1 (corrective maintenance): for one or a number of pieces of equipment in a given period, the serviceability indicator M1 is obtained by the following equation:

$$M1 = [\Sigma(T_4) + \Sigma(T_5)] / [\Sigma(N_4) + \Sigma(N_5)]$$

Serviceability indicator M2 (preventive maintenance): for one or a number of pieces of equipment in a given period, the serviceability indicator M2 is obtained by the following equation:

$$M2 = \Sigma(T_6) / \Sigma(N_6)$$

Availability indicator D: for one or a number of pieces of equipment in a given period, the availability indicator D is obtained by the following equation:

$$D = 1 - \{[\Sigma(T_4) + \Sigma(T_5) + \Sigma(T_6)] / t_h\}$$

Human factor Indicator FH: This indicator seeks to estimate the proportion of downtime events declared by operators with respect to all downtime events. For one or a number of pieces of equipment in a given period, the human factor indicator FH is obtained by the following equation:

$$FH = [\Sigma(N_5) + \Sigma(N_6)] / [\Sigma(N_4) + \Sigma(N_5) + \Sigma(N_6)]$$

Where:

- F: average no. of unplanned shutdowns per annum
- M1: average duration of unplanned shutdowns, in hours
- M2: average duration of planned shutdowns, in hours
- D: average availability of equipment as a percentage of time
- N4: number of registers with an out of service due to failure status
- N5: number of registers with a status of unplanned voluntary shutdown
- N6: number of registers with a status of planned voluntary shutdown
- T4: duration of out of service (failure) status, in hours
- T5: duration of unplanned voluntary shutdown status, in hours
- T6: duration of planned voluntary shutdown status, in hours
- ta: duration of period under consideration, expressed in years
- th: duration of period under consideration, expressed in hours (th = 8760 x ta)

Beyond the indicators themselves, the report generated also includes a list of the 20 least reliable pieces of equipment, the pieces of equipment requiring least maintenance, and the least available pieces of equipment.

### Practical application

The AVAIL solution has been successfully implemented and tested at a wastewater treatment plant treating a 95,000 population equivalent.



- N6: número de registros con estatus de incapacidad voluntaria planificada
- T4: duración de los estatutos de incapacidad propia (fallo), en horas
- T5: duración de los estatutos de incapacidad voluntaria no planificada, en horas
- T6: duración de los estatutos de incapacidad voluntaria planificada, en horas
- ta: duración del periodo considerado expresado en años
- th: duración del periodo considerado expresado en horas ( $th = 8760 \times ta$ )

Más allá de los indicadores, el informe generado comprende, asimismo, la lista de los 20 equipos menos fiables, los menos sujetos a mantenimiento y los menos disponibles.

### Aplicación práctica

La solución AVAIL ha sido implementada y experimentada con éxito en una planta depuradora de 95.000 habitantes equivalentes.

El sistema produce en promedio cerca de 220 registros diarios para 425 equipos monitoreados. Los acontecimientos de indisponibilidad son en promedio de 135 al mes, de los cuales 35 implican una entrada manual (Factor Humano =  $35/135 = 26\%$ ).

Los informes automáticos se editan y utilizan con regularidad por parte de los operadores.

### Resultados

Los beneficios asociados al cálculo automático de estos indicadores con un alto grado de precisión y de confianza son múltiples.

### Beneficios obtenidos

La solución AVAIL de SUEZ produce datos objetivos que permiten al operador facilitar y mejorar su comprensión del comportamiento de los equipos gracias, particularmente, a la identificación de los equipos más problemáticos. AVAIL ayuda, de esta manera, a establecer las prioridades para un mantenimiento más eficaz.

AVAIL procura adicionalmente una ganancia de productividad evidente en términos de tratamiento de datos, de cálculo de indicadores y de edición de informes.

### Beneficios esperados

En un marco contractual aún por definir, fijar objetivos medibles contribuirá a establecer una comunicación fluida y objetiva entre el propietario y el operador sobre el tema del mantenimiento. Por ejemplo, tras un periodo de observación, ambas partes podrían convenir un objetivo de disponibilidad respecto a los equipos más críticos, incluso a toda la planta en su conjunto.

### Límites

Conviene, no obstante, señalar que el perímetro de la solución AVAIL se limitará a los equipos gestionados por la supervisión, excluyendo entre otros a la ingeniería civil, las tuberías, las estructuras metálicas y tanques, así como los equipos electromecánicos no controlados por la supervisión.

Además, el factor humano apuntado anteriormente comporta un riesgo de error asociado a la declaración de la naturaleza planificada o no de las paradas voluntarias, así como a su duración. Una formación adecuada de los usuarios a veces permite evitar este riesgo que, en el caso de nuestro piloto, solo concierne al 26% de los acontecimientos de indisponibilidad. La posibilidad de medir las

The system produces an average of around 220 registers per day for the 425 pieces of equipment monitored. There are an average of 135 unavailability events per month, 35 of which involve a manual input (Human Factor =  $35/135 = 26\%$ ).

The automatic reports are regularly created and used by operators.

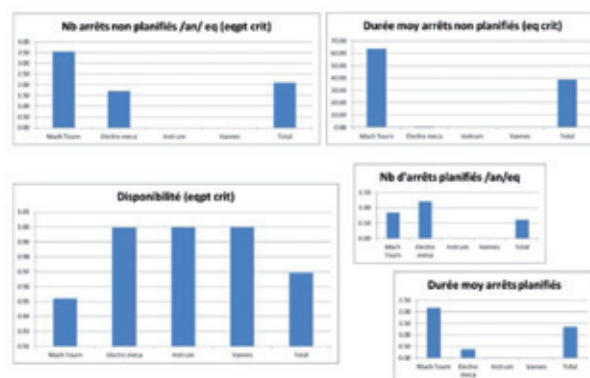


Figura 3: Ejemplo de gráficos procedentes de un informe automático | Figure 3: Example of graphs from an automatic report

### Results

There are multiple benefits associated with the automatic calculation of these indicators with a high degree of precision and confidence.

### Benefits obtained

The AVAIL solution developed by SUEZ produces objective data that facilitate and enhance operator understanding of the equipment, thanks mainly to the identification of the equipment with the most problems. In this way, AVAIL helps to establish priorities for more effective maintenance.

Moreover, AVAIL provides an evident gain in productivity in terms of data treatment, calculation of indicators and generation of reports.

### Expected benefits

Within a contractual framework that has yet to be defined, setting measurable objectives helps to establish fluid and objective communication between facility owners and operators on the subject of maintenance. For instance, subsequent to a period of observation, both parties could agree an availability objective for the most critical equipment, or even for the plant as a whole.

### Limits

It should be pointed out, however, that the boundaries of the AVAIL solution will be limited to equipment managed by the monitoring system, excluding, amongst other elements, civil engineering works, pipes, metal structures and tanks, and any electromechanical equipment not controlled by the monitoring system.

Moreover, the human factor referred to previously brings with it the risk of error associated with the declaration of voluntary shutdowns as planned or unplanned. At times, adequate training of users can prevent this risk, which in the case of our pilot plant, only accounted for 26% of unavailability events. The possibility of measuring the proportions of automatic data and manually declared data (a minority) could result in a rich source of information.

**Eliminar el aire de las conducciones con la garantía de los mejores especialistas. También en plantas de desalinización.**

**Ventosas**

**Comeval®**  
A COMPANY OF THE ARMATUREN GROUP  
[www.comeval.es](http://www.comeval.es)

**CSA**

proporciones entre los datos automáticos y los datos declarativos (minoritarios) puede resultar en una fuente rica en enseñanzas.

### Conclusión

El proyecto piloto ha permitido demostrar la viabilidad del uso de datos de supervisión para el cálculo automático de indicadores de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos, para medir el rendimiento y ofrecer ayuda a la decisión.

El cálculo automático de estos indicadores con un factor humano limitado representa un elemento de objetividad y de confianza que podrá utilizarse contractualmente a favor, tanto de la entidad propietaria como del prestador de servicios de operación de una instalación de tratamiento de aguas. Esto reforzaría la confianza del propietario en la calidad del mantenimiento efectuado y, por la misma vía, procuraría una mayor libertad al operario, en los límites de la consecución de los objetivos establecidos.

La próxima etapa de desarrollo de la solución AVAIL consiste en industrializar la aplicación de tratamiento de datos mediante su integración en las herramientas estándar de operación utilizadas por SUEZ.

### Referencias / References

Norma X 60-500. Terminología relativa a la fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad. AFNOR. Edición 2010.

HANGOUËT Jean-Pierre, AÏT MANSOUR Zoubir, GUY Bénédicte. Optimización de la gestión del patrimonio de las plantas depuradoras de agua. L'eau, l'industrie, les nuisances, 2015, n°380 p66-72.

### Conclusion

The pilot project has demonstrated the viability of the use of monitoring data for the automatic calculation of reliability, serviceability and availability indicators of equipment, with a view to measuring performance and aiding decision-making.

The automatic calculation of these indicators, with a limited human factor, provides an element of objectivity and confidence that could be contractually used to the benefit of both owners and providers of operating services at water treatment facilities. This would reinforce the confidence of the owner in the quality of maintenance carried out, whilst also providing the operator with greater freedom in terms of achieving the objectives that have been set.

The next step in the development of the AVAIL solution consists of industrialising the data treatment application by integrating it into the standard operating tools used by SUEZ.

**Guy Gaudy**  
Ingeniero de Informática Industrial | *Industrial IT Engineer*  
Zoubir Ait Mansour  
Asset Manager (Gestión de activos) | *Asset Manager*  
Jean-Pierre Hangouët Director de Actividad O&M  
*Director of O&M*  
Bénédicte GUY  
Responsable de Centro Técnico de Gestión de activos  
*Director of Asset Management Technical Centre*