



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

**DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE VERTIDOS.  
ANÁLISIS DE UN CASO REAL EN ZARAGOZA.**

Autor: Enrique Lorenzana Carrera

Director: Beniamino Russo

Fecha: 1-7-2016



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>4. DESARROLLO</b>	<b>7</b>
4.1. ESTADO DEL ARTE	7
4.1.1. <i>Normativa vigente aplicable a los vertidos de alcantarillado</i>	7
4.1.2. <i>Aliviaderos y redes</i>	33
4.1.3. <i>Variables de interés para la caracterización de los alivios e instrumentación asociada</i>	37
4.2. PROMOVER	65
4.2.1. <i>Marco general y contexto</i>	65
4.2.2. <i>Variables a monitorizar</i>	67
4.2.3. <i>Implementación del proyecto piloto</i>	68
4.2.4. <i>Fase de pruebas y primeros resultados</i>	71
4.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS MEDIDOS POR LOS SENSORES	77
4.3.1. <i>Evaluación de los registros proporcionados por los sensores</i>	80
4.3.2. <i>Detección de vertidos</i>	86
4.4. PROGRAMA PARA LA DETECCIÓN DE EVENTOS DE VERTIDO	93
4.4.1. <i>Bases del programa</i>	93
4.4.2. <i>Manual de usuario</i>	95
4.4.3. <i>Código VBA</i>	100
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>124</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>125</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema de red unitaria (izquierda) y separativa (derecha). .....	33
Ilustración 2: Esquema de aliviadero de red de saneamiento.....	34
Ilustración 3: Esquema de sistema de drenaje urbano.....	35
Ilustración 4: Sensor radar. ....	38
Ilustración 5 : Sensor radar. ....	39
Ilustración 6: Sensor de ultrasonidos. ....	39
Ilustración 7: Transductores hidroacústicos.....	40
Ilustración 8: Sensor piezorresistivo. ....	41
Ilustración 9: Sensor radar. ....	42
Ilustración 10: Principio de funcionamiento de los termopares (efecto Seebeck). .....	43
Ilustración 11: Curvas características de termistores NTC y PTC. ....	44
Ilustración 12: Sensor óptico para la medida de la atenuación.....	45
Ilustración 13: Efecto de dispersión y atenuación de la luz.....	46
Ilustración 14: Representación esquemática de un biosensor. ....	49
Ilustración 15: Inmovilización por adsorción. Fuente: Sandra Pérez (2012).....	52
Ilustración 16: Inmovilización por atrapamiento. Fuente: Sandra Pérez (2012).	53
Ilustración 17: Inmovilización por confinamiento. Fuente: Sandra Pérez (2012). .....	53
Ilustración 18: Inmovilización covalente. Fuente: Sandra Pérez (2012). ....	53
Ilustración 19: Nanotubo de carbono. ....	54
Ilustración 20: Socios PROMOVER.....	66
Ilustración 21: Plaza Emperador Carlos V. ....	68
Ilustración 22: Representación de la cámara de alivio y localización de los sensores.....	70

Ilustración 23: Diagrama del sistema electrónico y de alimentación. ....	71
Ilustración 24: Sensor de nivel (izquierda) y de turbidez (derecha) durante la fase de pruebas en los laboratorios de la EUPLA. ....	72
Ilustración 25: Curvas de masa de los eventos registrados. ....	73
Ilustración 26: Hietogramas de los eventos registrados. ....	74
Ilustración 27: Evolución temporal de las variables medidas durante los eventos registrados. ....	76
Ilustración 28: Datos estadísticos meteorológicos de Zaragoza, España. ....	78
Ilustración 29: Gráficos de las temperaturas registradas por los sensores de temperatura en junio (izquierda) y en diciembre (derecha). ....	82
Ilustración 30: Gráfico de inversión térmica del mes de abril. ....	83
Ilustración 31: Aumento de la temperatura ambiente durante los eventos de junio y Noviembre de 2015. ....	83
Ilustración 32: Registros de turbidez para dos eventos consecutivos los días 9 y 10 de mayo de 2016. ....	85
Ilustración 33: Funcionamiento de los sensores durante el periodo de monitorización. ....	85
Ilustración 34: Eventos de vertido detectados por los sensores. ....	85
Ilustración 35: Habilidad de macros. ....	95
Ilustración 36: Habilidad de contenido. ....	95
Ilustración 37: hoja 1 del programa Excel.xlsm. ....	97
Ilustración 38: Menú de inicio. ....	97
Ilustración 39: Introducción de fechas y elección del criterio de análisis. ....	98
Ilustración 40: Análisis realizado por el programa para el mes de Junio de 2015. ....	99
Ilustración 41: Detalle del análisis de un evento de vertido. ....	99

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido de metales típico en aguas residuales domésticas. ....	61
Tabla 2: Valores típicos de aguas residuales urbanas. ....	62
Tabla 3: Relación mensual de eventos de vertido.....	77
Tabla 4: Aumento puntual de la temperatura en una progresión de descenso correspondiente a la madrugada del 1 de diciembre de 2015. ....	78
Tabla 5: Mediciones del sensor de turbidez durante un evento de vertido (derecha) y en ausencia de este (izquierda).....	79
Tabla 6: Comparación de los distintos sistemas para la caracterización de eventos. ....	92
Tabla 7: Disposición de los datos registrados por los sensores.....	96

## 1. RESUMEN

Durante eventos de lluvia extremos, los sistemas de saneamiento unitarios se ven sometidos a unos caudales que superan la capacidad de drenaje de estos o la de las EDAR.

Para evitar sobrepresiones o entradas en carga que deriven en inundaciones e impactos tanto económicos y sociales como medioambientales, los sistemas de drenaje se proveen de puntos de alivio por donde se vierten los excesos de caudal directamente al medio receptor.

Dichos vertidos de agua sin tratar, son portadores de cargas contaminantes procedentes del sistema de saneamiento y del lavado de las calles a causa de la escorrentía superficial.

Según el Real Decreto 1290/2012, en su disposición tercera, se establece que los vertidos de aglomeraciones urbanas superiores a 50.000 h.e., de más de 2000 h.e. o zonas industriales situadas en zonas incluidas en el Registro de Zonas Protegidas, o de instalaciones industriales que requieran de Autorización Ambiental Integrada, deberán dotar a los puntos de desbordamiento de sistemas de cuantificación de alivios como máximo antes del 31 de diciembre de 2019.

Con el fin de determinar, cuantificar y reducir los impactos de las DSU sobre los medios receptores se implanta un sistema de monitorización de los alivios que, a partir de la medida y/o el control de una serie de magnitudes físicas mediante dispositivos digitales, transmita la información muestreada por los sensores instalados al objeto de que se pueda almacenar, consultar y procesar en un centro de recogida de datos.

Debido a la imposibilidad de medir todos los condicionantes hidráulicos y de calidad de las DSU, se opta por el estudio de una serie limitada de parámetros como la frecuencia de éstas, su duración y los caudales vertidos, así como la turbidez asociada a las DSU para cada evento de lluvia, pues resulta un buen indicador de la contaminación presente en las aguas residuales urbanas al mantener una relación directa con los sólidos en suspensión, sustancias con demanda de oxígeno, nutrientes o bioestimulantes y metales pesados.

La empresa Ecociudad de Zaragoza, tras analizar las diferentes alternativas, pre-selecciona sobre la base de aspectos técnicos, hidráulicos, ambientales y logísticos, posibles puntos de alivio a monitorizar como caso piloto del sistema de monitorización, decidiéndose instrumentar la cámara de alivio de la red de drenaje de la ciudad de Zaragoza localizada en la Plaza Emperador Carlos V, cuyas DSU vierten al río Huerva a través de un colector sin pozos de registro intermedios.

El sistema de monitorización comprende el conjunto de sensores térmicos, de turbidez, un sensor radar de nivel y el sistema de alimentación de red.

Para la medida de la frecuencia y la duración de los vertidos se plantea la posibilidad de utilizar dos sensores de temperatura, uno situado en el colector de la cámara de alivio y otro aguas arriba del aliviadero, como alternativa a los de sensores de nivel, mucho más caros y cuya instalación difusa resulta económicamente inviable a la hora de monitorizar cada uno de los puntos de alivio de la red de saneamiento.

Los datos registrados durante el último año por los diferentes sensores, han sido estudiados con el fin de identificar determinados patrones que permitiesen determinar la existencia y duración de los eventos de vertido de forma fiable, teniendo en cuenta tanto la variabilidad estacional como posibles errores de lectura debidos al ruido electrónico por parte de los propios sensores.

Los resultados favorables acerca de la detección de vertidos empleando únicamente sensores de temperatura abre la posibilidad, económicamente viable, de la instalación de sistemas de cuantificación de alivios en los puntos de desbordamiento de aquellas redes de saneamiento que así lo requieran según el RD anteriormente citado.

Se ha creado un programa empleando lenguaje de macros VBA (Visual Basic for Applications) de Microsoft sobre un documento Excel de forma que la información proporcionada por los sensores quede sintetizada de forma cuantitativa para que cualquier usuario pueda consultar y extraer de forma rápida y objetiva las pertinentes conclusiones. Dicho programa permite la identificación de eventos de vertido, a partir de los registros proporcionados por los sensores, empleando tanto la técnica de detección basada en sensores de nivel (para aquellos casos en los que se disponga de ellos) como en sensores de temperatura.

*Palabras Clave: RD 1290/2012, Detección, Vertido, DSU, Monitorización.*



## 2. ABSTRACT

On extremal rainfall events, combined sewerage systems are exposed to overflows which overcome the drain capability or even the capacity of the sewage treatment plants.

Due to prevent overpressure situations which happen in floods and economical, social and/or environmental negative impacts, sewage systems has spill points where overflows evacuate to the environment without treatment.

Those sewage untreated water spills has high pollution loads which comes from the sewerage system and from the streets washing caused by runoff waters.

As RD 1290/2012 say on his third disposition, urban areas with more than 50.000 e.h., areas with more than 2.000 e.h. or industrial areas located on places included on the Protected Areas Register, or industrial plants needed of an Integrated Environmental Authorization, will have to furnish sewage spill points with spill quantification systems before December 31, 2019.

With the objective of quantify, reduce and determinate CSO`s environmental impacts, a sewerage overflow monitoring system has been installed, with the finality of storing sensors data`s, analyzed from the measurement and/or the control of some certain physical magnitudes, for subsequent consultations.

Because of the impossibility of monitoring every hydraulic and quality condition of the CSO`s, just a limited list of different parameters as frequency, duration, flow and turbidity (considered as a pollution indicator because of his directly relation with suspended solids, ODS, nutrients and bioestimulantes substances) has been studied.

Ecociudad Enterprise, after the analysis of three different options, selected over technical, hydraulic, environmental and logistic points, the monitorization of the chamber located under "Plaza Emperador Carlos V", Zaragoza, which CSO`s spills directly into Huerva River.

The monitoring system is composed by a group of thermic, turbidity and radar level sensors in addition of the power supply system.

Abstract

A new low cost technology based on the use of temperature sensors has been promoted as an alternative to level sensors for the quantification of the frequency and the duration of the sewage discharges, which are much more expensive than the first's ones and his extended implementation is absolutely non-viable.

Registered data, stored along the last year by the sensors, has been collected and uploaded on a web server specially designed for the identification of certain patterns, stablishing the existence and duration of sewerage spills events

Positive results about sewage spills detections using just temperature sensors, opens a viable path for the installation of quantification systems, on those sewerage systems which has, as the RD1290/2012 say, the obligation of that.

A Computer program has been designed using VBA Microsoft language (Visual Basic for Applications) into an Excel document. The informational data registered by sensors will be synthesize and showed clearly, so any user will be able to extract objective conclusions on a few seconds.

That program allows the identification of sewage discharge events using the registered data proportionated by the installed sensors, using the technology based on sensor levels or the other one based on temperature sensors for those situations with no level radars disposition.

*Key Words: RD 1290/2012, Detection, spill, CSO, Monitoring.*

### 3. INTRODUCCIÓN

Se pretende encontrar una solución que permita el control inteligente de los vertidos de alcantarillado a partir de la información proporcionada por los sensores instalados en la fase piloto del proyecto "PROMOVER" con el fin de determinar un sistema de monitorización viable y a poder ser de bajo coste para los diferentes puntos de alivio que así lo requieran.

El desarrollo del TFG se estructura en cuatro partes bien definidas:

- Estado del arte: Se recopila de la normativa vigente aplicable, se define la problemática actual y se analizan las distintas variables que afectan de forma directa al desarrollo del trabajo.
- PROMOVER: Se hace mención a los objetivos del "Proyecto de Monitorización inteligente de Vertidos" exponiendo de forma clara los objetivos que persigue y las actuaciones llevadas a cabo durante la fase de pruebas.
- Análisis de los datos: Los datos recopilados a lo largo de una serie anual por los distintos sensores, son analizados con el fin de detectar determinados patrones o singularidades que permitan establecer criterios de identificación de eventos de vertido.
- Programa informático: Se realiza un programa en lenguaje VBA que permita, una vez analizados los patrones recopilados por los sensores, identificar y caracterizar de forma automática los eventos de vertido de la red de saneamiento.



## 4. DESARROLLO

### 4.1. ESTADO DEL ARTE

#### 4.1.1. *Normativa vigente aplicable a los vertidos de alcantarillado*

Desde la incorporación de España en 1986 a la Unión Europea, la legislación española respecto a la calidad de las aguas queda marcada por las exigencias mínimas europeas referentes a dicha materia.

A partir de las mencionadas Directivas europeas, surgen una serie de normas, resoluciones, leyes y decretos a niveles estatales, autonómicos y municipales.

##### 4.1.1.1. *Normativa Europea*

A lo largo de los años, la Comisión Europea ha emitido una serie de Directivas asociadas a los vertidos de sistemas de alcantarillado, de las cuales se presentan a continuación las más importantes ordenadas cronológicamente:

##### **4.1.1.1.1. Directiva 91/271/CE de aguas residuales de 21 de mayo de 1991.**

Esta directiva referente a la recogida, el tratamiento y el vertido de las aguas residuales urbanas y de las procedentes de la industria, establece en el artículo 10 que los procesos de diseño y constructivos, así como la utilización y el mantenimiento las depuradoras deberán ser tales que garanticen que "todas las condiciones climáticas normales de la zona tengan el rendimiento suficiente" teniendo en cuenta "las variaciones de la carga propias de cada estación".

En el apartado A del Anexo I, indica que tanto el diseño, como la construcción y el mantenimiento de los sistemas colectores, deberán realizarse en función de los mejores conocimientos técnicos siempre que no supongan costes excesivos, especialmente en lo respectivo al volumen y las características de las aguas residuales urbanas, a

la prevención de escapes y a la restricción de la contaminación de las aguas receptoras por el desbordamiento de aguas de tormenta.

En el cuadro 3 del mismo anejo, se establece que los Estados miembros deberán decidir, con total libertad, las medidas a tomar para limitar la contaminación por desbordamiento de aguas de tormenta, las cuales podrán basarse en coeficientes de dilución, capacidad en relación con el caudal en época seca o determinar un número aceptable de desbordamientos al año.

También se hace referencia a una serie de obligaciones. En primer lugar las "aglomeraciones urbanas" deberán disponer, según los casos, de sistemas de colectores para la recogida y conducción de las aguas residuales y, en segundo lugar, se prevén una serie de tratamientos, más o menos exigentes, los cuales se establecerán en función de las características del medio donde se produce el vertido (zonas "sensibles", "menos sensibles" o "normales"), a los que deberán someterse dichas aguas antes de este.

#### **4.1.1.1.2. Directiva 96/61/CE de prevención y control integrados de la contaminación.**

Esta Directiva, respecto a las redes de saneamiento en tiempo de lluvia, menciona dos aspectos importantes, el primero respecto a la detección y a la gestión de los posibles arrastres de sustancias presentes en instalaciones industriales y, el segundo, que indica que los planes de prevención de accidentes y de vertidos contaminantes en tiempo de lluvia, deberían ser incluidos en los procesos de autorización.

#### **4.1.1.1.3. Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.**

Establece las condiciones mínimas de calidad que deben cumplir las aguas destinadas al consumo humano.

Cabe destacar que para determinadas sustancias sometidas a duras restricciones, esto puede obligar a una reducción de los límites de emisión en los vertidos aguas arriba. Esta situación adquiere una mayor importancia en tiempo de lluvia debido a la posible existencia de DSU.

#### **4.1.1.1.4. Directiva 2000/60 Marco del Agua 2000/60/CE de 23 de octubre de 2000.**

La Directiva Marco de Agua busca la protección de los medios acuáticos mediante el establecimiento de una política comunitaria que consolida y amplía las obligaciones de control de la contaminación.

En referencia a los vertidos de sustancias peligrosas capaces de alterar el estado ecológico de las aguas, la DMA recoge que debe contribuirse a su progresiva reducción.

Al incluir dentro de su Plan de gestión, un Programa de medidas, la DMA pretende de este modo proteger y recuperar el correcto estado ecológico de las masas de agua. Este Programa exige de un mayor control de la presencia de aquellas sustancias más contaminantes en los sistemas de drenaje urbano así como una reducción de las DSU.

Adicionalmente requiere de un control de la contaminación vertida a los alcantarillados, dado que la presencia de sustancias peligrosas en el agua imposibilita su reutilización.

Los programas de medidas deberán ser consecuentes a los problemas regionales y locales, dentro de los cuales se encuentra la problemática de los vertidos en tiempo de lluvia desde los sistemas de saneamiento.

La DMA establece en la Orden MAM/1873/2004, de 2 de junio, que los vertidos de fuente puntual deben disponer de autorización.

También se indica la periodicidad de controles para el seguimiento del estado ecológico y químico de las aguas, teniendo en cuenta el carácter variable de los parámetros.

Con el objetivo de detectar posibles impactos, se elaboró el "Manual para el análisis de presiones e impactos relacionados con la contaminación de las masas de agua superficiales", de 3 de junio de 2004, el cual presenta una tabla de valores umbral para identificar las presiones significativas procedentes de fuentes puntuales (vertidos urbanos de poblaciones mayores de 2000 h-e) y otra para fuentes difusas.

En el Anexo I de la DMA, se establece que las muestras se tomarán durante un período de 24 horas, proporcionalmente al caudal o a intervalos regulares, siempre en

el mismo punto a la salida de la instalación de tratamiento, y si fuese necesario, también a la entrada, con el fin de corroborar el cumplimiento de los requisitos y, que se aplicarán prácticas internacionales de laboratorio con objeto de reducir al mínimo el deterioro de las muestras en el transcurso de tiempo entre la toma de muestra y su análisis.

#### **4.1.1.1.5. Directiva 2006/7/CE relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño.**

Esta Directiva supone un endurecimiento de los estándares de calidad del agua a la par que procura la adaptación de la normativa a la DMA, incluyendo la realización de actuaciones tanto estructurales como no estructurales en caso de incumplimiento.

Establece a su vez que deberá llevarse un control de las DSU y de las emisiones de las depuradoras por parte de los encargados de la gestión de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano en las ciudades con playas urbanas, obligando así a desarrollar sistemas de predicción, información y alerta de la calidad de las aguas de baño en tiempo real con el fin de detectar posibles incumplimientos de la Directiva de Aguas de Baño.

#### **4.1.1.1.6. Directiva 2006/11/CE relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad.**

El objetivo de esta Directiva es el de eliminar o reducir en origen la cantidad de sustancias peligrosas para el medio a partir del establecimiento de límites estrictos en las autorizaciones de vertido ya que durante eventos de lluvia en los que la red unitaria vierta parte del caudal por los aliviaderos, dichas sustancias son vertidas directamente al medio.

Con esta directiva las normas de emisión quedan fijadas de forma que las industrias deberán diseñar y gestionar sus propios procesos para no superar los límites establecidos.

En cuanto a los vertidos de drenaje urbano, la Directiva hace referencia a la necesidad de un control de los vertidos, ya que el sistema público de saneamiento no



cuenta con sistemas de depuración que permitan la reducción o eliminación de dichas sustancias contaminantes una vez han sido vertidas a la red.

**4.1.1.1.7. Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE.**

La modificación de la Directiva 200/60/CE implica el establecimiento de una serie de normas de calidad en cuanto a la presencia en las aguas superficiales de sustancias, grupos de sustancias u otros contaminantes, identificadas como prioritarias por el riesgo significativo que presentan para el medio acuático.

De las 33 sustancias prioritarias que se recogen en la Directiva 200/60/CE, 13 de ellas están clasificadas como peligrosas.

En las normas de calidad ambiental se establecen dos límites de concentración:

La concentración media anual, que garantiza la calidad del medio acuático a largo plazo y la concentración máxima admisible de la sustancia, que es medida puntualmente con el objetivo de limitar los picos de concentración.

Las normas de calidad propuestas son diferentes tanto para las aguas de los ríos y lagos (superficies continentales) como para las aguas de transición, las costeras y las aguas territoriales (aguas superficiales). Además será cada Estado miembro quién deberá velar por su cumplimiento.

**4.1.1.1.8. Directiva 2009/90/CE por la que se establecen, de conformidad con la Directiva 200/90/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, las especificaciones técnicas del análisis químico y el seguimiento del estado de las aguas.**

Dicha Directiva establece que los Estados miembros deberán garantizar que los laboratorios analicen la calidad de las aguas en función de unos determinados parámetros de "comparabilidad" de acuerdo a la norma EN ISO/IEC-19025 o cualesquiera otras que, siendo equivalentes, sean aceptadas internacionalmente.

#### *4.1.1.2. Normativa Estatal*

##### **4.1.1.2.1. Orden del 13 de julio de 1993. Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1993).**

El proyectista deberá obtener la información disponible sobre la población o industria que genera el agua residual, del tipo de residuo, de la cantidad que vierten a las conducciones colectoras, la variabilidad estacional y la depuración prevista con el fin de caracterizar el efluente.

También deberá tener en cuenta la pluviometría de la zona, en el caso de que la red sea unitaria.

Si la capacidad de los colectores unitarios es superior a la del emisario, podrá existir un aliviadero que evacúe al mar ese caudal excedente, siempre que se cumpla:

- En general, que la capacidad del emisario sea suficiente como para que con caudales de lluvia correspondientes a un período de retorno de 10 años, el aliviadero funcione menos de 450 horas al año.  
Si el aliviadero está situado en una zona de baño, este deberá funcionar menos del 3% de las horas en temporada de baños.
- El aliviadero sólo entrará en funcionamiento con caudal superior al caudal punta en tiempo seco.
- Si funciona el aliviadero, el vertido emisario cumplirá con la normativa vigente en cuanto a la emisión y a los objetivos de calidad.
- El caudal se someterá a un desbastado, por medio de un sistema de rejillas, antes de su entrada al aliviadero.

##### **4.1.1.2.2. Real Decreto Ley 11/1995 y Real Decreto 509/1996 (Gobierno de España 1995; Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996).**

El Real Decreto Ley 11/1995 complementa el régimen jurídico establecido en los capítulos V y III de las vigentes "Ley de Aguas 29/1985, de 2 de agosto" y "Ley de Costas 22/1988, de 28 de julio" respectivamente, para salvaguardar la calidad de las aguas continentales y marítimas de los efectos negativos de los vertidos de las aguas residuales urbanas.

En estos reales decretos se obliga a determinadas aglomeraciones urbanas a disponer de sistemas colectores de recogida y conducción de aguas residuales y a aplicar tratamientos específicos antes de su vertido a las aguas continentales o marítimas.

Según el RD 509/1996, en tiempo de lluvia, en los sistemas de saneamiento y drenaje, el proyecto, la construcción y el mantenimiento de los sistemas colectores se harán de acuerdo con el volumen y características de las aguas residuales urbanas, utilizando técnicas que favorezcan la estanqueidad de los sistemas, para impedir la contaminación de las aguas receptoras por desbordamiento de las aguas de lluvia.

No obstante, resulta muy difícil impedir la contaminación cuando esta depende de un factor pluviométrico donde la frecuencia y la intensidad se basan en procesos estocásticos.

#### **4.1.1.2.3. Norma UNE-EN 752: Sistemas de desagües y de alcantarillado exteriores a edificios (AENOR, 2010).**

Según la norma europea EN-752, a la hora de plantear un sistema de saneamiento, se ha de tener en cuenta el medio receptor, planificar las actuaciones de una manera adecuada y ofrecer una información clara y organizada. Todo ello respetando al medio ambiente y asegurando de la calidad tanto del proyecto como de la gestión.

En lo que a este trabajo afecta, la Norma establece unos requisitos básicos: que, tanto la frecuencia de rebosamiento, como la protección de la contaminación del medio receptor, estarán dentro de los valores prescritos. En este segundo caso, y como recoge el apartado 4, se pondrá especial protección cuando la contaminación esté por encima de su capacidad de autodepuración.

De la Norma cabe destacar los siguientes puntos:

- Contempla tres tipos de sistema de alcantarillado: Separativo, Unitario y Parcialmente separativo.
- Las principales cargas de contaminación provienen de los reboses o descargas de saneamientos unitarios (DSU).
- Para el diseño de los aliviaderos se tendrán en cuenta: los caudales; el volumen, la duración y la frecuencia de las descargas, las concentraciones y las cargas contaminantes y la presión hidrológica.

Desarrollo

- Establece las limitaciones aplicables a zonas sensibles (tomas de aguas potables, zonas de baño, de pesca, ecosistemas especiales), llevando a cabo un seguimiento pormenorizado de los límites de emisión, y una evaluación de los impactos tanto a corto, como a medio y largo plazo.
- Los aliviaderos de descarga estarán basados en el concepto de lluvia crítica (aquella que no debe generar reboses), que se plasma en una capacidad de retención en el sistema de entre 10-30 l/s por ha. drenada, según el grado de protección requerida.
- Para zonas menos sensibles, se propone el vertido de caudales por encima de 5-8 veces el caudal medio en tiempo seco (Suarez et al. 2010).

**4.1.1.2.4. Real Decreto 1/2001. Texto refundido de la Ley de Aguas de 20 de julio de 2001. (Ministerio de Medio Ambiente, 2001).**

El Real Decreto hace referencia a diversos artículos asociados al vertido de aguas residuales de ámbito urbano.

**Artículo 2.-** Indica quienes constituyen el dominio público hidráulico del Estado (DPH):

- a) Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación.
- b) Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
- c) Los lechos de los lagos y lagunas y los de los embalses superficiales en cauces públicos.
- d) Los acuíferos, según disposición o afección de los recursos hidráulicos.
- e) Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.

**Artículo 55.-** Indica como deberán ser los sistemas de control de caudales y vertidos al DPH.

**Artículo 55.4.-** Menciona las obligaciones de la Administración hidráulica:

- Determinará los sistemas de control de los caudales de agua utilizados y los vertidos.
- Medirá el volumen de agua realmente consumido o utilizado.
- Permitirá la correcta planificación y administración de los recursos.

- Asegurará la calidad de las aguas.

Los titulares de las concesiones administrativas de aguas, estarán obligados a instalar y mantener los sistemas de medición de los caudales de agua consumidos o utilizados y los retornados.

**Artículos 92 y 92 bis y 92 terc.-** Comentan los objetivos de la protección del DPH:

a) Prevenir el deterioro, proteger y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos, y los terrestres y humedales que dependan de modo directo de los acuáticos.

c) Proteger y mejorar el medio acuático:

- Reduciendo progresivamente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias prioritarias.
- Eliminando o suprimiendo de forma gradual los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

d) Reducción progresiva de la contaminación de las aguas subterráneas y evitar su contaminación adicional.

g) Evitar la acumulación de compuestos tóxicos o peligrosos en el subsuelo, causa de degradación del dominio público hidráulico.

**Artículo 92.-** Dice que para lograr una adecuada protección de las aguas superficiales, habrá que reducir progresivamente la contaminación procedente de sustancias prioritarias, y eliminar o suprimir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias.

Las medidas especificadas en los planes hidrológicos deberán alcanzar los objetivos medioambientales indicados.

**Artículo 92 ter.-** Hace referencia al estado de las masas de agua:

- En los objetivos de protección deben diferenciarse entre las aguas superficiales, las aguas subterráneas y las masas de aguas artificiales y muy modificadas.
- En cada demarcación hidrográfica se hará un seguimiento del estado de las aguas para obtener una visión completa de dicho estado. Además cada demarcación tendrá sus programas.

**Artículo 93.-** Define el concepto de contaminación:

"Es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana, o con los ecosistemas acuáticos o terrestres directamente asociados a los acuáticos; causen daños a los bienes; y deterioren o dificulten el disfrute y los usos del medio ambiente".

**Artículo 97.-** En él se mencionan las actuaciones contaminantes prohibidas:

Queda prohibida, en general, toda actividad susceptible de provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico, y, en particular:

- Acumular residuos sólidos, escombros o sustancias, cualquiera que sea su naturaleza y el lugar en que se depositen.
- Efectuar acciones sobre el medio físico o biológico afecto al agua.
- El ejercicio de actividades dentro de los perímetros de protección, fijados en los Planes Hidrológicos.

**Artículo 100.-** Define qué se considera vertido y el objeto de la autorización de vertido:

- Se consideraran vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales, así como en el resto del dominio público hidráulico, cualquiera que sea el procedimiento o técnica utilizada.
- Queda prohibido, con carácter general, el vertido directo o indirecto de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar, salvo que se cuente con autorización administrativa.
- Se autorizará el vertido para la consecución de los objetivos medioambientales establecidos. Dichas autorizaciones se otorgarán teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental, los límites de emisión y las mejores técnicas disponibles.

**Artículo 101.-** Indica la duración de la autorización y el contenido de las solicitudes:

- Las autorizaciones de vertido tendrán un plazo máximo de vigencia de cinco años, renovables sucesivamente, siempre que cumplan las normas de calidad y objetivos ambientales exigibles en cada momento.
- Las solicitudes de autorizaciones de vertido de las Entidades locales contendrán un plan de saneamientos y control de vertidos a colectores municipales. Las

Entidades locales informarán a la Administración hidráulica sobre los vertidos en los colectores locales de sustancias tóxicas y peligrosas reguladas por la normativa sobre calidad de las aguas.

**Artículo 108 bis.-** En relación a las aguas marinas, establece que:

La protección de las aguas marinas tendrá por objeto interrumpir o suprimir gradualmente los vertidos; las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias, cercanas a los valores básicos para las sustancias de origen natural y próximas a cero para las sustancias sintéticas artificiales.

**Artículo 113.-** Referente al canon de control de vertidos:

Los vertidos al dominio público hidráulico estarán gravados con una tasa destinada al estudio, control, protección y mejora del medio receptor de cada cuenca hidrográfica.

**Artículo 128.-** Competencias:

La Administración General del Estado, las Confederaciones Hidrográficas, las Comunidades Autónomas y las Entidades locales tienen los deberes:

- De coordinación de sus competencias del dominio público hidráulico.
- De información y colaboración mutua en relación con las iniciativas o proyectos que promuevan.

**4.1.1.2.5. Resolución de 10 de julio de 2006, de la Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad, por la que se declaran las Zonas Sensibles en las Cuencas Hidrográficas Intercomunitarias (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).**

El Anexo IV de la DMA incluye dentro de las zonas protegidas:

- Las zonas declaradas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE (relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrario)
- Las zonas declaradas sensibles en el marco de la Directiva 91/271/CEE (sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas).

Para el control de estas zonas protegidas, y de los problemas derivados de la eutrofización de las aguas, causada por contenidos elevados de nutrientes, especialmen-

te nitrógeno y fósforo, se realizan unos controles específicos para el seguimiento de su concentración en las aguas superficiales.

- Controles específicos de nutrientes en las Zonas Sensibles, en los ríos y embalses.
- Controles específicos de nutrientes en las Zonas Vulnerables, en los cauces que drenan las zonas definidas como vulnerables.

Límites establecidos para los nutrientes:

- Nitratos: La Directiva 91/676/CEE, traspuesta a la normativa nacional en el R.D. 261/96, considera aguas afectadas aquellas que no puedan presentar concentraciones superiores a 50 mg/l  $\text{NO}_3$ . Así mismo considera que los planes de control pueden ser reducidos si las concentraciones no resultan superiores a 25 mg/l  $\text{NO}_3$ .
- Fósforo total y fosfatos: No se dispone de valores límites fijados. En los informes de calidad de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) se aconseja no superar las concentraciones de 0,30 mg/L  $\text{PO}_4$  de forma genérica, y de 0,15 mg/L  $\text{PO}_4$  en los puntos situados a la entrada de embalses. El umbral superior se consideran los 0,94 mg/L  $\text{PO}_4$ , que es el límite A2 establecido para aguas destinadas a la producción de agua potable (Directiva 75/440/CEE).

El amonio total, nitritos y nitrógeno Kjeldahl, son considerados más como indicadores de contaminación orgánica que de nutrientes.

En la Resolución de 30 de junio de 2011, de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua, se declaran las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias y se establecen puntos de control en los principales tributarios, para el control del aporte de nutrientes.

Las zonas vulnerables son designadas por las Comunidades Autónomas y afectan a las aguas subterráneas aunque se incluye un control de los nutrientes en masas de las aguas superficiales.

#### **4.1.1.2.6. Plan nacional de calidad de las aguas: saneamiento y depuración (2007-2015) (Ministerio de Medio Ambiente, 2007a).**

La propuesta de actuaciones del Plan Nacional de Calidad de las Aguas (PNCA) 2007-2015 contempla inversiones por valor de casi 18.000 millones de euros.



El plan hace hincapié en la gestión de las aguas de tormenta y tiene presente que una presión importante sobre los medios receptores son las descargas de los sistemas unitarios (DSU). Una técnica válida y eficiente de gestión de las aguas pluviales es la implantación de "tanques de tormenta".

En el apartado de "Estado actual del tratamiento de las cargas de episodios de lluvia" se hace referencia a PROMEDSU y al estudio del Ministerio de Medio Ambiente del año 1999 denominado "Experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU)", donde se puso de manifiesto la importancia del control de la contaminación producida por descargas de sistemas unitarios, provocadas por el alivio de la mezcla de agua residual con pluvial durante tormentas. Y se comprobó el apreciable impacto que estas descargas tienen sobre la biota fluvial, ya que pueden aportar hasta un 50% de la contaminación que llega a los medios receptores (repartida entre un 25% procedente de la escorrentía y otro 25% procedente de los sedimentos depositados en el alcantarillado).

#### **4.1.1.2.7. Reglamento de planificación hidrológica. Real Decreto 907/2007 (Ministerio de Medio Ambiente, 2007b).**

Hace mención a que cada demarcación hidrográfica, se recopilará y mantendrá un inventario sobre las masas de agua superficial, teniendo en cuenta la identificación y estimación de la contaminación de origen difuso.

**Artículo 43.-** Indica aquellos aspectos generales sobre los programas de medidas.

**Artículo 44. h)-** Establece las medidas para prevenir o reducir las repercusiones de los episodios de contaminación accidental.

**Artículo 49.-** Establece las medidas de control sobre vertidos puntuales que puedan generar contaminación.

- Las establecidas en el Título III del Reglamento del Dominio Público Hidráulico de la protección del dominio público hidráulico y de la calidad de las aguas continentales.
- En el caso de vertidos puntuales se requerirá de autorización de los vertidos de aguas residuales.

Desarrollo

- En el caso de fuentes difusas se adoptarán medidas, que se revisarán periódicamente y, cuando proceda, se actualizarán, para evitar o controlar la entrada de contaminantes. Éstas podrán consistir en:
  - Requisito de reglamentación previa.
  - Requisito de autorización previa de actividades que generen contaminación difusa.
  - Registro de normas generales vinculantes.
- Se incluirán las medidas para garantizar el estado ecológico de las masas de agua o un buen potencial ecológico de las aguas designadas como artificiales o muy modificadas.

**Artículo 51.-** Hace referencia a las sustancias peligrosas y a las medidas que deberán tomarse:

- Autorización de todos los vertidos de aguas residuales con sustancias peligrosas del Anexo IV del presente reglamento con las limitaciones que establece en artículo 100.2 del texto refundido de la Ley de Aguas.
- Dichas autorizaciones considerarán los valores límite de emisión de las sustancias peligrosas con regulación específica, así como las normas de calidad ambiental en vigor.
- También se tendrán en cuenta las medidas para reducir progresivamente o eliminar las sustancias peligrosas del Anexo IV y en particular las de la lista II prioritaria.

**Artículo 52.-** Establece las medidas para prevenir o reducir las repercusiones de la contaminación accidental.

- Para las causadas por la industria, por instalaciones ganaderas, por los tanques de aguas pluviales de las depuradoras urbanas y otras. Se utilizarán sistemas automáticos para detectar o alertar esos fenómenos.
- Las contaminaciones por inundaciones también incluirán el uso de sistemas automáticos para su alerta y detección.
- Se incluirán la adopción de todas las medidas apropiadas para reducir el riesgo de daños al ecosistema acuático en caso no previsto.

**Artículo 58.-** Indica las medidas a tomar para evitar un aumento de la contaminación de aguas marinas.

- De acuerdo con lo establecido en el artículo 108 bis del texto refundido de la Ley de Aguas, se tomarán medidas que tengan por objeto interrumpir o suprimir gradualmente los vertidos, las emisiones y las pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias, para conseguir concentraciones cercanas a los valores básicos en las sustancias de origen natural y cercanos a cero en las sustancias sintéticas artificiales.
- Las medidas serán acordes con los objetivos establecidos en las normativas vigentes en España, en aplicación de los convenios internacionales de protección del medio marino de los que es parte, así como las disposiciones normativas establecidas en el derecho comunitario, el nacional y el autonómico.
- Independientemente el Plan Hidrológico establecerá medidas para evitar un aumento de la contaminación de las aguas marinas.

#### **4.1.1.2.8. Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 2011).**

Los criterios mínimos que se deberán aplicar a los métodos de análisis del estado de las aguas, sedimentos y seres vivos, y demostrar la calidad de los resultados analíticos, vienen recogidos en la Directiva 2009/90/CE de la Comisión, de 31 de julio de 2009.

Este Real Decreto también recoge los contenidos de la Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 diciembre de 2008 y la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000. Además, se adapta parte de la legislación española con la Directiva 76/464/CEE del Consejo, de 4 de mayo, y sus derivadas.

Los objetivos de este Real Decreto son:

- Establecer normas de calidad ambiental (NCA) para las sustancias prioritarias y para otros contaminantes recogidos en el Anexo I para conseguir un buen estado químico de las aguas superficiales.
- Establecer NCA para las sustancias preferentes recogidas en el Anexo II y fijar el procedimiento para calcular las NCA no establecidas en los Anexos I y II de los contaminantes del Anexo III con el fin de conseguir un buen estado ecológico de las aguas superficiales o un buen potencial ecológico de dichas aguas

En los artículos 7, 8 y 11, se habla de niveles de contaminación, análisis de tendencia e inventario.

**Artículo 7.-** Indica que los órganos competentes podrán optar por aplicar las NCA a los sedimentos o la biota, en determinadas aguas superficiales, en lugar de las normas establecidas en el Anexo I, apartado A. En estos casos se actuará conforme a las previsiones contenidas en los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 del referido artículo.

Las NCA máximas en biota serán las siguientes: mercurio y sus compuestos: 20 pg/kg; hexaclorobenceno: 10 pg/kg; hexaclorobutadieno: 55 pg/kg. Y, como mínimo, el mismo grado de protección que las NCA establecidas en el Anexo I, apartado A para el agua.

**Artículo 8.-** Establece que los órganos competentes analizarán la tendencia a largo plazo respecto de las concentraciones de las sustancias prioritarias y otros contaminantes enumerados en el Anexo I, apartado A que se acumulan en los sedimentos o la biota.

**Artículo 11.-** Dice que los órganos competentes deberán elaborar un inventario, referido a una demarcación hidrográfica o a parte de ella, de emisiones, vertidos y pérdidas de sustancias prioritarias, incluyendo mapas de las emisiones, vertidos y pérdidas de las sustancias prioritarias y otros contaminantes que figuran en el Anexo I, apartado A, del Real Decreto. El inventario incluirá sus concentraciones en los sedimentos y la biota.

#### **4.1.1.2.9. Real Decreto 1290/2012 por el que se modifica el reglamento del DPH (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012).**

El objeto de este trabajo está ligado a este Real Decreto.

El RD 1290/2012, de 7 de septiembre, modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el RD 849/1986, de 11 de abril, y el RD 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del RDL 11/1995, de 28 de diciembre, y se establece las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, entrando en vigor el 21 de septiembre de 2012.

**Artículo 1.-** Indica la necesidad de una regulación común y de la creación de un inventario de puntos de desbordamiento:

- a) Es necesaria una regulación común para todas las demarcaciones hidrográficas, para incluir las carencias normativas detectadas en la gestión del DPH.
- b) Se adapta el Anexo IV del Reglamento del DPH, sobre cálculo del canon de control de vertidos, a la clasificación nacional de actividades económicas aprobada por el RD 475/2007.
- c) Crear un inventario de puntos de desbordamiento de aguas de escorrentía, desarrollando un régimen jurídico tanto para las autorizaciones de vertidos existentes, como para las nuevas solicitudes de autorización de vertido.

**Artículo 2.-** Define las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, para regular las situaciones de contaminación por vertidos procedentes de desbordamientos de aguas de escorrentía.

En el Título III del Reglamento del PDH: "De La protección del DPH y de la calidad de las aguas continentales", se establecen varias modificaciones:

**Artículo 245, apartados 2, 3 y 5.d.-** "Queda prohibido con carácter general el vertido directo o indirecto de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o cualquier otro elemento del DPH, salvo que se cuente con autorización".

Apartado 3: los objetivos de la autorización de vertido, serán los objetivos medioambientales establecidos. Estas autorizaciones se otorgarán teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles, y de acuerdo con las normas de calidad ambiental y los límites de emisión establecidos en el reglamento, siendo más rigurosas cuando el cumplimiento de los objetivos medioambientales así lo requiera.

Estas normas y objetivos podrán ser concretados por el Plan Hidrológico de cada cuenca, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 100.2 del Texto Refundido de la Ley de Aguas.

Apartado 5.d): son "sustancias peligrosas" aquellas tóxicas, persistentes y bioacumulables, así como las que entrañan un nivel de riesgo análogo, y en particular, las contenidas en los Anexos I y II del RD 60/2011.

**Artículo 246, apartado 1, e) y g).-** La declaración de vertido, contendrá documentación técnica con las características de la red de saneamiento y los sistemas de aliviaderos, y las medidas, obras e instalaciones previstas para limitar la contamina-

Desarrollo

ción por desbordamiento en episodios de lluvias y la prevención de vertidos accidentales.

En relación al procedimiento de autorización de vertidos, incluirán, como mínimo, descripción general del sistema de saneamiento, de las actuaciones previstas y del cronograma de ejecución:

- Se iniciará mediante solicitud del titular de la actividad, de acuerdo a los requisitos del artículo 70 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del procedimiento Administrativo Común, y con la declaración de vertido según modelo aprobado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- La declaración de vertido contendrá los siguientes extremos:
  - a) Características de la actividad causante del vertido.
  - b) Localización exacta del punto donde se produce el vertido.
  - c) Características cualitativas (indicando todos los valores de los parámetros contaminantes del vertido), cuantitativas y temporales del vertido.
  - d) Descripción de las instalaciones de depuración y evacuación del vertido.
  - e) Proyecto, suscrito por un Técnico competente, de las obras e instalaciones de depuración o eliminación que, en su caso, fueran necesarias para que el grado de depuración sea el adecuado para la consecución de los valores límite de emisión del vertido, teniendo en cuenta las normas de calidad ambiental determinadas para el medio receptor.
  - e') En su caso, documentación técnica que desarrolle y justifique adecuadamente las características de la red de saneamiento y los sistemas de aliviaderos, y las medidas, actuaciones e instalaciones previstas para limitar la contaminación por desbordamiento en episodios de lluvias.
  - f) Petición, cuando sí se requiera, de imposición de servidumbre forzosa de acueducto o de declaración de utilidad pública, a los efectos de expropiación forzosa, acompañada de la identificación de fincas y propietarios afectados.
  - g) Descripción de las medidas, actuaciones e instalaciones de seguridad previstas para la prevención de vertidos accidentales.

- En el caso de solicitudes formuladas por entidades locales y comunidades autónomas, en la declaración de vertido se incluirá también:

a) Inventario de vertidos industriales con sustancias peligrosas a que se refiere el artículo 245.5.d) recogidos por la red de saneamiento autonómica o local.

b) Contenido y desarrollo del plan de saneamiento y control de vertidos a la red de saneamiento autonómica o local que incluirá, en su caso, los programas de reducción de sustancias peligrosas, y el reglamento u ordenanza de vertidos. En la solicitud se hará constar si las instalaciones de depuración y evacuación necesarias formarán parte de un plan o programa de saneamiento aprobado por otra Administración pública.

c) Conjunto de medidas que comprendan estudios técnicos de detalle que definan las buenas prácticas y actuaciones básicas para maximizar el transporte de volúmenes hacia las estaciones depuradoras de aguas residuales y de escorrentía y reducir el impacto de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia.

Para estos estudios se tendrán en cuenta:

- el régimen de lluvias y las características de la cuenca vertiente
  - el diseño de la red de saneamiento
  - la naturaleza y características de las sustancias presentes en los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia
- los objetivos medioambientales del medio receptor

**Artículo 251, apartado 1.-** Regulación de los desbordamientos:

- Se añade letra e'): para limitar adecuadamente la contaminación que puedan producir y cumplir los objetivos medioambientales del medio receptor, se adoptarán medidas, actuaciones e instalaciones para la regulación de los desbordamientos de los sistemas de saneamiento en episodios de lluvia, así como los elementos de control de las mismas.
- Se añade dentro de la letra i): el titular de la autorización, en casos de emergencia, pondrá en práctica las actuaciones y medidas de las instalaciones de almacenamiento de agua sin tratar para el caso de paradas súbitas o programadas de las estaciones depuradoras de industrias que incluyan procesos químicos, biológicos o radioactivos.

**Artículo 259, ter.-** Desbordamiento de sistemas de saneamiento en episodios de lluvia:

- En las autorizaciones de vertido de sistemas de saneamiento de zonas urbanas, se tendrán en cuenta que:

a) Los proyectos de nuevos desarrollos urbanos deberán justificar tanto la conveniencia de establecer redes de saneamiento separativas o unitarias para aguas residuales y de escorrentía, como plantear medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores.

b) En las redes de colectores no se admitirá la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores o que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.

c) En tiempo seco no se admitirán vertidos por los aliviaderos.

d) Los aliviaderos del sistema colector de saneamiento y los de entrada a la depuradora deberán dotarse de los elementos necesarios en función de su ubicación, antigüedad y el tamaño del área drenada, para reducir por lo menos, la evacuación al medio receptor de sólidos gruesos y flotantes. Estos elementos no deben reducir la capacidad hidráulica de desagüe de los aliviaderos, tanto en su funcionamiento habitual como en caso de fallo

e) Para reducir la contaminación generada en episodios de lluvia, los titulares de vertidos de aguas residuales urbanas tendrán la obligación de poner en servicio las obras e instalaciones que permitan retener y evacuar hacia la estación depuradora, las primeras aguas de escorrentía de la red de saneamiento, con elevadas concentraciones de contaminantes producidas en este caso.

- En las autorizaciones de vertido de sistemas de saneamiento de aguas residuales de zonas industriales, se tendrán en cuenta:

a) Los proyectos de nuevos desarrollos industriales deberán establecer, preferentemente, redes de saneamiento separativas, e incorporar un tratamiento de las aguas de escorrentía, independiente del tratamiento de aguas residuales.

b) No se admitirá la incorporación de aguas de escorrentía procedentes de zonas exteriores a la implantación de la actividad industrial que no sean las propias para las que fueron diseñados, salvo en casos debidamente justificados.



c) No se permitirán aliviaderos en las líneas de recogida y depuración de aguas con sustancias peligrosas, ni de aguas de proceso industrial.

**Disposición Transitoria Tercera.-** Límites para la autorización de vertidos relacionados con el número de hab./equivalentes en el desbordamiento de aguas de escorrentía.

1. Las nuevas solicitudes de autorización de vertido, en el caso de vertidos urbanos procedentes de aglomeraciones de más de 2.000 habitantes equivalentes y de vertidos procedentes de zonas industriales, presentadas a partir del 31 de diciembre de 2015, deberán incluir la documentación técnica, las medidas, obras e instalaciones y los estudios técnicos de detalle, para reducir la contaminación por desbordamiento de aguas de escorrentía de los sistemas de saneamiento referidas en los artículos 246.2.e') y 246.3.c).

2. Los titulares de las autorizaciones de vertido vigentes, las que estuvieran en trámite a la entrada en vigor de este RD, y las que se soliciten hasta el 31 de diciembre de 2015, deberán dotar a los puntos de desbordamiento de sistemas de cuantificación de alivios, en un plazo de 4 años desde la entrada en vigor del presente RD y deberán presentar la documentación técnica según los artículos 246.2.e") y 246.3.c), como máximo antes del 31 de diciembre de 2019, siempre que:

a) Los vertidos procedan de aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes equivalentes.

b) Vertidos procedentes de instalaciones industriales, que requieran una autorización ambiental integrada, conforme al artículo 9 de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de y zonas industriales donde se ubique alguna de estas instalaciones.

c) Vertidos procedentes de aglomeraciones urbanas de más de 2.000 habitantes equivalentes o zonas industriales en una zona protegida declarada aguas de baño, incluida en el Registro de Zonas Protegidas de la Demarcación Hidrográfica a que se refiere el artículo 24.2.d) del RD 907/2007.

### 4.1.1.3. *Normativa Autonómica*

#### **4.1.1.3.1. Ley de Ordenación y de la Gestión del Agua.**

**Artículo 67.-** El Gobierno de Aragón está habilitado para dictar reglamentos reguladores de la calidad de los vertidos, con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento y la protección de las instalaciones de abastecimiento, saneamiento y depuración.

Mediante la ordenanza municipal correspondiente, la protección de las instalaciones locales deberá respetar la normativa básica estatal y la de desarrollo de la Comunidad Autónoma.

La Comunidad Autónoma podrá promulgar las normas aplicables a título supletorio cuando no existan ordenanzas municipales en la materia y tiene el deber de prestar asistencia técnica a los municipios para la redacción de dichas ordenanzas.

La Directiva 91/1271/CEE (Comisión Europea 1991) al ordenamiento jurídico interno, desarrollada en el Real Decreto-Ley 11/1995, (Gobierno de España 1995), junto con el RD 509/1996, de 15 de marzo, (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente 1996) por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas y el RD 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el cuadro 2 del Anexo I del RD 509/1996, fijan:

- Los requisitos técnicos que deberán cumplir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales.
- Los requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones secundarias o de aquellos que vayan a realizarse en zonas sensibles.

También regula el tratamiento previo de los vertidos de las aguas residuales industriales cuando éstos se realicen a sistemas colectores o a instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas.

#### **4.1.1.3.2. Decreto 38/2004 Reglamento de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado (Gobierno de Aragón 2004).**

Este Decreto surge con el fin de regular el régimen jurídico de los vertidos de aguas residuales que directa o indirectamente vayan a parar a las redes de alcantari-

llado y colectores municipales así como las sanciones por incumplimiento de los límites de vertido fijados.

Es de aplicación a todos los vertidos de:

- Aguas residuales, doméstica e industrial, que se efectúen a la red de alcantarillado y colectores desde edificios, industrias o explotaciones,
- Aguas pluviales cuando procedan de inmuebles con una superficie de recogida superior a 400 m<sup>2</sup>.

Por esta normativa la Comunidad Autónoma de Aragón:

- Obliga a que todos los edificios e instalaciones existentes o que se construyan en suelo urbano viertan al alcantarillado público sus aguas residuales a través de la correspondiente acometida, por medio de una arqueta en zona pública que permita la inspección del vertido.
- Prohíbe: las fosas sépticas, los vertidos directos a cauce público o cualquier otra forma de eliminación de las aguas residuales.
- Limita: los caudales punta vertidos en la red, que no podrán exceder del quíntuplo del caudal medio diario durante un intervalo de quince minutos o del cuádruplo del mismo en un intervalo de una hora; las características del vertido y los gases que el vertido puede producir en los colectores.

Este vertido deberá estar autorizado por el órgano municipal o comarcal competente a petición del interesado.

#### *4.1.1.4. Normativa Municipal*

##### **4.1.1.4.1. Ordenanza Municipal de la Ciudad de Zaragoza para la Ecoeficiencia y la Calidad de la Gestión Integral del Agua (OMECEGIA) aprobada definitivamente en el formato actual el 29/11/2013 y publicada en el BOPZ el 11/12/2013 (Ayuntamiento de Zaragoza, 2013a).**

Esta Ordenanza crea las bases hacia una Gestión del ciclo integral del agua más sostenible, así como reunir en un único texto normativo toda la regulación que el Ayuntamiento de Zaragoza ha desarrollado en relación con la gestión del ciclo integral del agua, incluyendo además aspectos como la garantía de suministro y la calidad del agua, la eficiencia en su uso, el fomento de hábitos sostenibles, así como el derecho a la información de los ciudadanos.

**Artículo 2.-** Establece de forma clara que el objetivo es asegurar la sostenibilidad del ciclo integral del agua en la ciudad de Zaragoza mediante el uso eficiente de todos los recursos hídricos disponibles, independientemente de su procedencia, adecuando la calidad de las aguas suministradas al uso a que se destinen y minimizando la afección que los vertidos de sus aguas residuales puedan producir en el medio natural.

**Artículo 4.-** Para alcanzar los objetivos se aconsejan una serie de intervenciones, coordinadas entre sí, que mantengan y mejoren las infraestructuras de abastecimiento.

**Artículo 12.-** Siempre se ha de dimensionar la red, pero en los proyectos de urbanización cuya superficie sea superior a tres hectáreas, además se elaborará un estudio de las cuencas efluentes y los puntos de situación de los medidores de caudal.

**Artículo 16.5.-** Indica que todos los edificios e instalaciones existentes o que se construyan en suelo urbano deberán verter al alcantarillado público sus aguas residuales a través de la correspondiente acometida, quedando prohibidos los vertidos directos a un cauce público o cualquier otra forma de eliminación de las aguas residuales.

**Artículo 82.-** Establece las limitaciones de vertido.

**Anexo V de la Ordenanza.-** En él se detallan las condiciones técnicas de la evacuación de las aguas residuales.

**Artículos 86 y ss.-** Establecen los requisitos y condiciones en las tramitaciones de las autorizaciones de vertido.

Los vertidos directos a cauces públicos o canales y acequias de riego, a través de colectores individualizados o comunitarios no municipales, se considerarán como casos singulares, pero relacionados con el impacto global del municipio sobre el cauce. Estos colectores dispondrán de arqueta para la toma de muestras en la ubicación más adecuada, para que el Ayuntamiento o Sociedad Pública Gestora, pueda evaluar la repercusión del vertido en el cauce receptor.

Se implantará red separativa de aguas residuales y pluviales, con carácter general, en las nuevas urbanizaciones y polígonos industriales, con una superficie superior a 10 ha (diez hectáreas) y cuando exista una justificación adecuada de su conveniencia.

La red de pluviales conducirá las aguas de lluvia a un depósito, donde se controlará que el agua almacenada reúna las condiciones higiénico-sanitarias adecuadas al uso a que se destine. Los residuos sólidos que se generen en el sistema de recepción no podrán verterse a los colectores municipales.

**4.1.1.4.2. Reglamento Municipal de Prestación del Servicio de Saneamiento y Depuración de Aguas de la Ciudad de Zaragoza aprobado el 29/11/2013 y publicado en el BOPZ del 11/12/2013 (Ayuntamiento de Zaragoza, 2013b).**

El Reglamento, teniendo en cuenta la Ordenanza Municipal para la Ecoeficiencia y la Calidad de la Gestión Integral del Agua, tiene por objeto:

- determinar el alcance de las prestaciones del servicio en favor de los usuarios.
- regular las relaciones entre la sociedad Pública Gestora, los abonados o usuarios y el Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza.
- determinar los derechos y obligaciones de las partes.

**Artículo 30.-** Establece las obligaciones para los usuarios:

- Cada usuario deberá tomar las medidas adecuadas para evitar las descargas accidentales de vertidos que puedan ser potencialmente peligrosas para la seguridad física de las personas, instalaciones, estaciones de depuración o bien de la propia Red de Saneamiento.

#### Desarrollo

- Cuando se produzca un vertido que esté prohibido, por accidente, fallo de funcionamiento o de la explotación de las instalaciones del usuario, y como consecuencia se origine una situación de emergencia y de peligro, el usuario deberá comunicarlo urgentemente tanto a la sociedad Pública Gestora como al organismo competente del Excmo. Ayuntamiento de Zaragoza, para evitar o reducir al mínimo los daños que pudieran causarse. La comunicación se efectuará utilizando el medio más rápido que permita tener constancia de la misma.

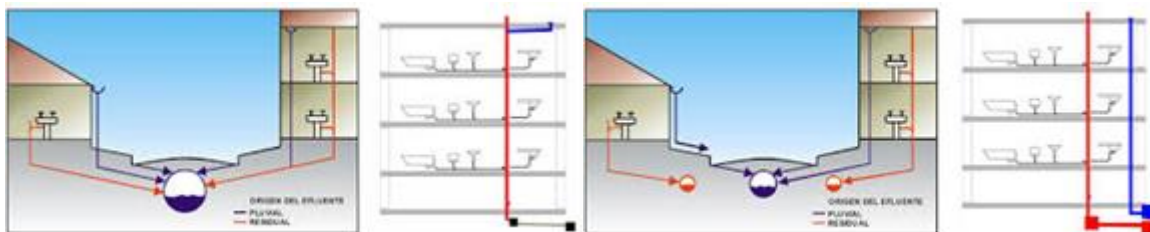
### 4.1.2. Aliviaderos y redes

Las redes o sistemas de saneamiento son consideradas como un servicio básico en la sociedad actual, diseñadas para la recogida y el transporte de las aguas residuales, industriales y pluviales hacia puntos de tratamiento o al medio natural con el fin de prevenir inundaciones y mejorar las condiciones de salubridad del entorno urbano.

Los dos tipos de redes de alcantarillado más comunes son las unitarias y las separativas.

En redes separativas la contaminación arrastrada por las aguas de escorrentía (aguas pluviales) procedente de las actividades desarrolladas en la superficie de la cuenca, es vertida directamente al medio receptor (a menos que se contemple algún tipo de tratamiento), mientras que las aguas residuales urbanas procedentes de edificaciones o instalaciones industriales son vertidas a una red que deriva a una EDAR, donde son tratadas y finalmente vertidas al medio receptor.

En redes unitarias, tanto las aguas pluviales como las residuales urbanas son guiadas a través de un mismo colector hasta las EDAR correspondientes donde son tratadas y posteriormente vertidas.



**Ilustración 1: Esquema de red unitaria (izquierda) y separativa (derecha).**  
 Fuente: [www.blogplastics.com](http://www.blogplastics.com).

Cada tipología posee una serie de ventajas e inconvenientes respecto a la otra.

Por un lado, en una red de saneamiento de tipo separativa, al mismo tiempo que soporta un menor caudal, las variaciones de carga contaminante con las que trabajan las depuradoras resultan mínimas, con el consiguiente ahorro en explotación y conservación. Además, se elimina la problemática de las redes unitarias en cuanto a posibles alivios que en tiempo de lluvia provocan que la contaminación propia de tiempo seco sea vertida al medio.

Desarrollo

Por otro lado, esta tipología de red separativa presenta una serie de inconvenientes para nada despreciables. En primer lugar requiere de una mayor inversión económica debido al mayor número de metros lineales de obra, colectores y acometidas necesarios. Asimismo son mayores los costes de control, conservación y mantenimiento.

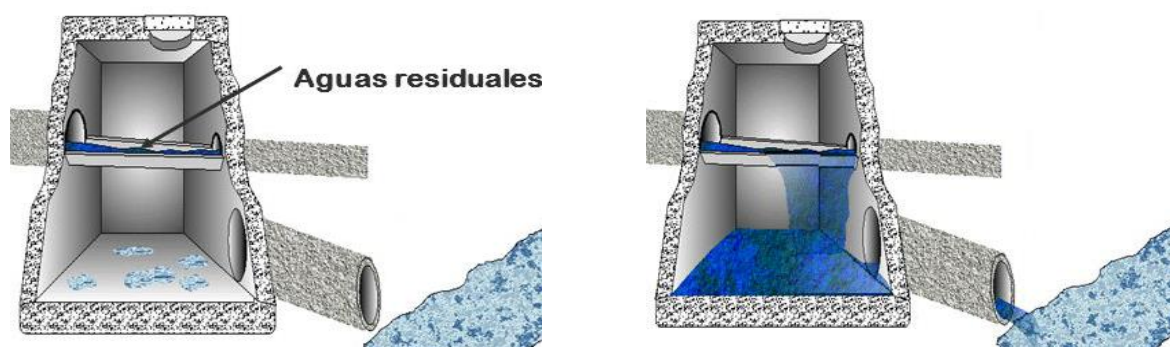
Al mismo tiempo debe tenerse en cuenta la posibilidad de que las redes pluviales que viertan directamente al medio sin tratamiento de las aguas de escorrentía puedan producir importantes contaminaciones como consecuencia del primer lavado o "first flush" sobre todo tras largos períodos de tiempo seco.

Las redes unitarias (cuyas conducciones poseen de base unos diámetros considerables) se han dimensionado tradicionalmente para transportar un determinado caudal de agua residual, pero eventos de lluvia extremos generan unos excesos de agua en la red que superan la capacidad de drenaje de esta o incluso la capacidad de depuración de las EDAR, afectando a su rendimiento.

La concentración de la población en las ciudades resulta cada vez mayor y por consiguiente, la correspondiente urbanización de los suelos provoca un aumento de la impermeabilización de éstos, produciendo un aumento en los volúmenes y en la velocidad de los flujos de escorrentía reduciendo los tiempos de concentración.

Estos efectos tienen consecuencias drásticas en cuanto a los volúmenes y caudales punta que se producen en las redes de alcantarillado.

Para evitar sobrepresiones o entradas en carga que deriven en inundaciones e impactos tanto económicos y sociales como medioambientales, los sistemas unitarios se proveen de puntos de alivio.

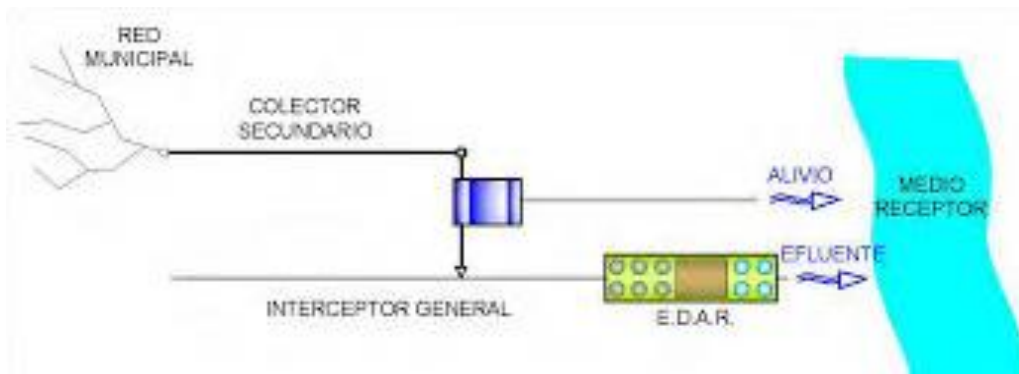


**Ilustración 2: Esquema de aliviadero de red de saneamiento.**



Fuente: [www.slideplayer.es](http://www.slideplayer.es).

Los aliviaderos o puntos de alivio son elementos de las redes unitarias que permiten la evacuación del caudal que excede de la capacidad de transporte de la red o de la capacidad de tratamiento de las EDAR, a otros puntos de la red, hacia instalaciones de almacenamiento temporal o al medio receptor.



**Ilustración 3: Esquema de sistema de drenaje urbano.**

Fuente: [www.medioambienteysalud.com](http://www.medioambienteysalud.com).

La disposición de los aliviaderos a lo largo de la red depende de las condiciones y situación del entorno. En primer lugar debe existir un cauce próximo ya sea natural o canalizado donde verter dicho exceso de caudal y en segundo lugar, se debe disponer de espacio suficiente como para la instalación de las arquetas aliviaderos o de los colectores de descarga.

Los aliviaderos se instalarán en los siguientes casos:

- Para limitar el caudal en las incorporaciones de los colectores a sistemas de rango superior.
- Para regular el caudal, de modo que se permita el paso de una parte de caudal de una red de saneamiento que pueda trabajar en carga a otra que esté menos sobrecargada o de mayor capacidad.
- Para permitir reparaciones o limpiezas de las redes de saneamiento.
- Cuando el caudal circulante exceda de la capacidad de tratamiento de la estación depuradora.
- En las estaciones depuradoras o elevadoras de aguas residuales, para poder evacuar el caudal de las aguas residuales al cauce receptor en caso de averías que interrumpan su funcionamiento.

## Desarrollo

Las arquetas aliviadero deben disponer de al menos dos accesos que faciliten las labores de ventilación y permitan su mantenimiento cumpliendo con las condiciones de seguridad y salud laboral. Del mismo modo, deberán disponer de espacio suficiente como para la instalación de elementos de corte que permitan realizar reparaciones aguas debajo de las mismas y dispositivos que permitan la toma de muestras y la medición de caudal.

Los aliviaderos de la red de saneamiento (o previos a una estación depuradora), deberán limitar la salida de sólidos.

### *4.1.3. Variables de interés para la caracterización de los alivios e instrumentación asociada*

Para la monitorización de puntos de alivio en sistemas de alcantarillado existen una serie de variables cuyo conocimiento resulta fundamental para la caracterización de los vertidos.

#### *4.1.3.1. Número y duración de los alivios*

La información de partida para poder analizar de qué forma, en qué cantidad y con qué frecuencia ocurren descargas del sistema unitario (DSU) para una posterior gestión y cuantificación, es establecer el número de vertidos que se producen y su duración.

Conocer esta variable no proporciona en si ninguna información de qué se está vertiendo o en qué cantidad, pero puede identificar la existencia de puntos problemáticos en la red en relación a una frecuencia elevada de vertidos y su duración.

Uno de los criterios de calidad que puede establecerse para una red unitaria es el número de vertidos al año, que podría ser verificado de esta manera.

##### **4.1.3.1.1. Metodologías empleadas en la detección de vertidos y su duración.**

###### **- Medida de nivel**

Conociendo la cota a la que empieza a producirse el alivio, basta con determinar en qué momento la lámina de agua se encuentra por encima o por debajo de dicha cota previamente determinada. De este modo, puede conocerse cuándo se está produciendo una DSU.

- Nivel de ultrasonidos
- Sensores resistivos o capacitivos

###### **- Medida de temperatura**

Consiste en la instalación de un sensor de temperatura en el colector principal que mida permanentemente la temperatura del caudal circulante por la red y otro en

el canal de alivio, el cual mostrará variaciones bruscas de temperatura, pasando de medir la temperatura ambiente del aire en ausencia de aliviós a la temperatura de los caudales aliviados en caso de DSU.

#### 4.1.3.2. Caudal

Para poder cuantificar las DSU se requiere conocer una estimación de los caudales vertidos asociados a las DSU para cada evento de lluvia.

El caudal de paso por una sección responde a la fórmula  $Q = v \cdot A$ , siendo  $Q$  el caudal,  $v$  la velocidad del flujo y  $A$  el área mojada de la sección de paso, la cual puede expresarse en función del calado.

Debido a que la velocidad no adquiere un valor uniforme a lo largo de la sección, sino que varía en función de variables como la pendiente, rugosidad de las conducciones o la energía que posee el flujo, el método más común para el cálculo del caudal de paso consiste en calcular el calado del flujo a su paso por estructuras hidráulicas de tipo vertedero o canal con secciones especiales, lo cual permite el cálculo del caudal a partir de la medición del nivel.

Pese a ello, en instalaciones de redes de alcantarillado no pensadas para la medida del caudal, la medida de este se obtiene mediante caudalímetros que miden la velocidad del flujo y el nivel de forma independiente.

#### 4.1.3.3. velocidad

Se dispone de cuatro tecnologías que permiten la determinación de la velocidad de un fluido que atraviesa un canal en lámina libre:

##### **4.1.3.3.1. Sistemas empleados para la medición de la velocidad.**

###### **- Por tecnología radar**

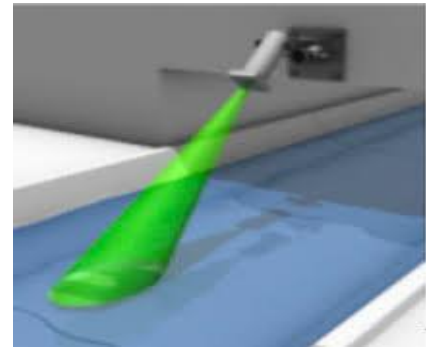
Un sensor radar situado por encima de la lámina de agua, emite unas ondas a una frecuencia determinada que son reflejadas por la superficie del fluido y regresan a una frecuencia distinta.



**Ilustración 4: Sensor radar.  
Fuente: Empresa MARFEL.**

La diferencia entre las frecuencias emitidas y reflejadas está directamente relacionada con la velocidad de la superficie de fluido.

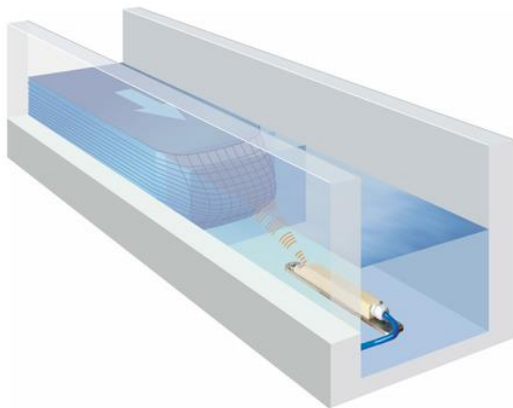
La velocidad medida no es la velocidad media del fluido, sino la correspondiente a la velocidad en superficie a su paso por una determinada sección, por lo que debe de establecerse una relación entre la velocidad en superficie del líquido y la velocidad media de la sección.



**Ilustración 5 : Sensor radar.**  
**Fuente: Seba Hydrometrie.**

#### - **Sensores de ultrasonidos**

El funcionamiento de estos sensores se basa en la emisión de ultrasonidos a una determinada frecuencia, que al ser reflejados por el material en suspensión presente en el flujo, permiten conocer la velocidad de los distintos puntos. La diferencia entre la frecuencia emitida y recibida varía en función de la velocidad del objeto en el que ha rebotado (efecto Doppler).

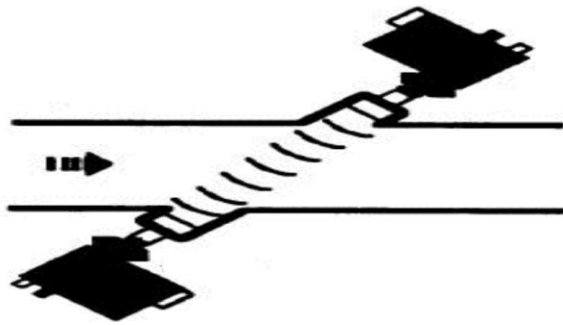


Los sensores de ultrasonidos son instalados en el fondo de la conducción, con los correspondientes problemas de mantenimiento que esto conlleva.

**Ilustración 6: Sensor de ultrasonidos.**  
**Fuente: Empresa ECOPRENEUR.**

#### - **Mediante transductores hidroacústicos**

Una serie de transductores hidroacústicos son instalados, sumergidos y separados entre sí a una distancia determinada. Su funcionamiento consiste en la emisión de una serie de señales acústicas cuya velocidad se verá influenciada por la del flujo, de manera que la diferencia de tiempo que tarden dichas señales acústicas en recorrer la distancia entre los transductores en situaciones distintas será directamente proporcional a la diferencia de velocidades en el flujo.



**Ilustración 7: Transductores hidroacústicos.**  
Fuente: Empresa OTT hydromet.

Este método requiere de una calibración muy precisa y por tanto muy difícil de lograr en los aliviaderos.

#### - **Sensores electromagnéticos**

Este método consiste en generar un campo magnético en una sección determinada a partir de una inducción magnética, que al ser atravesado por un elemento conductor como es el agua, se crea una corriente eléctrica proporcional a la velocidad con la que lo atraviesa, que es medida por un conjunto de electrodos.

### *4.1.3.4. Nivel del agua/Calado*

Resulta una de las variables que más interés poseen en la monitorización de las DSU. En primer lugar permite conocer si en un determinado instante circula agua o no por el aliviadero y si abarca la totalidad o parte de la conducción. Adicionalmente permite obtener una serie de resultados cualitativos como cuál es el nivel de agua en la conducción, lo que permite la estimación del caudal vertido en caso de conocer la sección de desagüe siempre que se cumplan determinadas condiciones.

Del mismo modo, permite obtener una serie de parámetros estadísticos relativos a las DSU midiendo los intervalos de tiempo en los que se ha producido vertido por el aliviadero.

#### **1.3.4.1. Sensores empleados para la medida del nivel de agua.**

#### - **Sensores de presión**

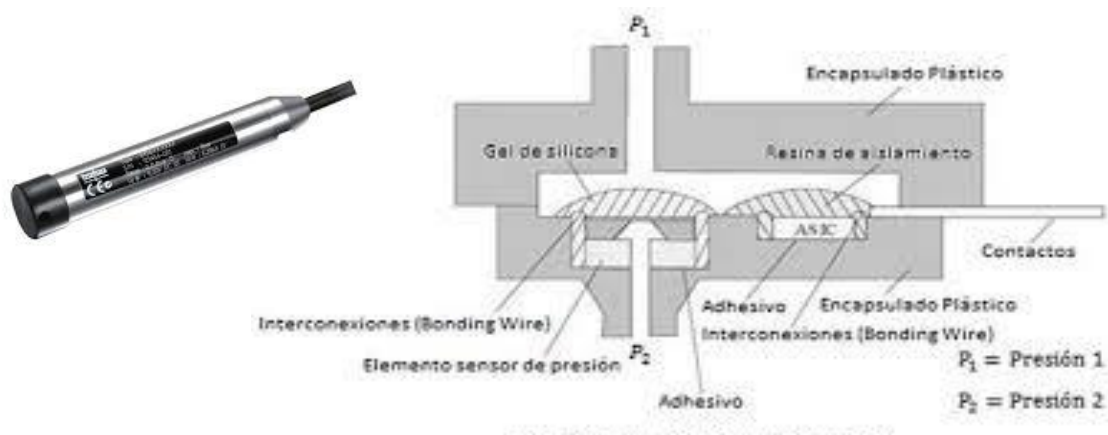
Estos sensores de fácil instalación resultan la forma más sencilla de medir el nivel de un fluido. Se basan en la aplicación de la presión hidrostática a la que se encuentran sobre una galga extensiométrica montada en un puente.

Las señales emitidas por estos sensores deben referenciarse respecto a la presión atmosférica. En ocasiones esto se lleva a cabo empleando un sensor de presión barométrica y obteniendo una medida diferencial, pero normalmente se logra mediante el uso de un tubo de ventilación que permita mantener la referencia atmosférica.

El mantenimiento es complicado y al estar sumergidos, la suciedad arrastrada por el agua puede acumularse sobre ellos y afectar a la medición. Además pueden verse expuestos a un efecto Venturi en caso de velocidades altas, captando menores valores de presión y dando como resultado medidas no reales.

#### - Sensores piezorresistivos

Estos sensores miden la carga hidráulica a partir de parámetros eléctricos que varían en función de la presión ejercida sobre una sonda sumergida. El sensor, el cual debe ser situado en el fondo de la conducción en una zona en calma de velocidad de flujo mínima evitando al mismo tiempo la sedimentación sobre este, pues se generaría una presión adicional que falsearía las medidas, ya que dicho sensor dispone de una membrana elástica que al deformarse por efecto de la carga hidráulica provoca una variación de la resistencia eléctrica del sensor, cuyo valor será función del nivel de agua.



**Ilustración 8: Sensor piezorresistivo.**  
 Fuente: SciELO y Pixsys electronics.

#### - Sensores de ultrasonidos

Los sensores de ultrasonidos son instalados en la parte superior de la conducción y calculan el espacio libre existente entre la lámina de agua y el dispositivo a partir de

la medición del tiempo que tarda una señal de ultrasonidos de corta duración en viajar desde el emisor a la superficie del agua y regresar tras reflejarse en esta.

Poseen una precisión mayor que los sensores de presión, pero en caso de ser superados por el agua, dejan de medir. Por ello deben ser colocados por encima del nivel de agua esperable.

- **Sensores laser**

Poseen un funcionamiento similar al de los sensores de ultrasonidos. Un haz laser es emitido por el dispositivo, calculando la distancia existente entre este y la lámina de agua a partir de la medición del tiempo que tarda en regresar al emisor.

Resultan sensibles a que la suciedad y el polvo o el agua en suspensión obstaculicen el receptor óptico.

Suelen ser empleados para rangos de medida muy grandes.

- **Sensores radar**

Los sensores radar siguen el mismo principio de funcionamiento que los sensores laser y de ultrasonidos, con la diferencia de que lo que emiten éstos sensores es una onda electromagnética y que la medida de nivel se realiza por comparación entre la frecuencia de la onda de radar emitida con la frecuencia de la onda reflejada. Siendo la distancia proporcional a la diferencia entre ambas frecuencias.

Estos dispositivos son más caros que los anteriores pero no se ven afectados por los cambios en las condiciones del entorno como cambios de temperatura, humedad o presencia de polvo.



**Ilustración 9: Sensor radar.**  
**Fuente: Seba Hydrometrie.**

#### 4.1.3.5. *Temperatura*

La temperatura de las DSU, resulta un importante indicador de la calidad del agua vertida al medio que interacciona directamente con el entorno próximo a la zona de vertido afectando directamente a parámetros o características tales como la solubilidad de los gases y de las sales o a las velocidades de las reacciones químicas.



El oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría, lo cual, combinado con el aumento en las velocidades de las reacciones químicas que se produce al aumentar la temperatura, puede producir la muerte de parte de la vida acuática, así como un indeseado aumento de plantas acuáticas y hongos.

Adicionalmente, el control de la temperatura en los puntos de alivio permite conocer, mediante el uso de sensores, la existencia o no de vertidos al mismo tiempo que se puede controlar la duración de estos.

La temperatura es uno de los parámetros cuya medida resulta más sencilla y económica. Esta puede realizarse mediante:

#### 4.1.3.5.1. Instrumentos empleados para la medida de la temperatura.

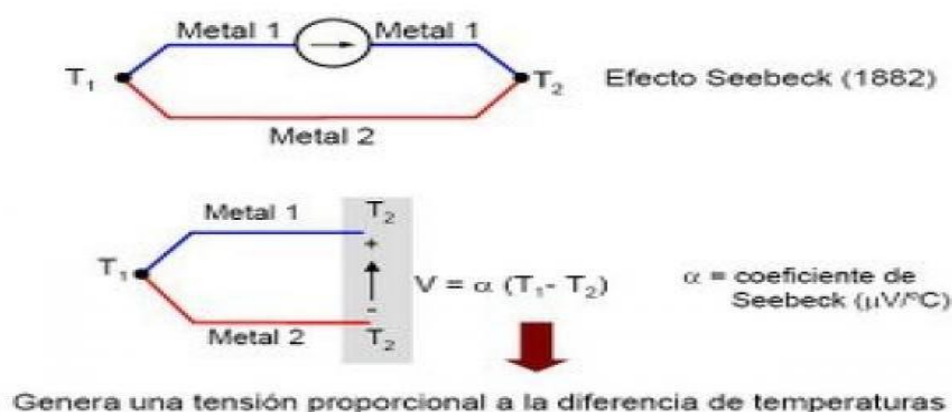
##### - Termopares

Su actividad se basa en el efecto Seebeck. Consiste en la formación de un circuito a partir de dos metales diferentes, cuyos extremos de unión, al exponerse a un diferencial de temperatura generan una corriente eléctrica por diferencia de potencial.

El circuito desarrollará una tensión proporcional a la temperatura de la unión de medida siempre que exista una diferencia de temperatura con la unión de referencia.

Estos dispositivos son económicos y destacan por sus reducidas dimensiones y por su amplio rango de medida de temperaturas.

Por otro lado, poseen una baja sensibilidad y requieren de la compensación de la temperatura de referencia, pues esta no debe influir en el valor de la medida.



**Ilustración 10: Principio de funcionamiento de los termopares (efecto Seebeck).**  
 Fuente: [www.obolog.com](http://www.obolog.com).

Desarrollo

### - **Sondas de resistencia**

Estas sondas consisten en resistencias cuyo valor resistivo es función de la temperatura a la que se encuentren.

En función del valor resistivo de salida tras la aplicación de una corriente eléctrica, se obtiene una relación directa con la temperatura a la que están expuestas las sondas.

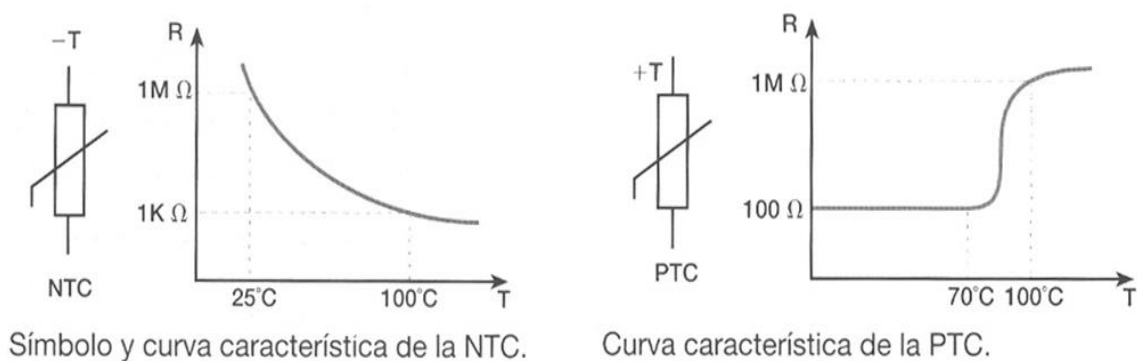
### - **Termistores**

Realizados a partir de materiales semiconductores de alta sensibilidad térmica y bajo precio.

Su funcionamiento se basa en la dependencia que existe entre la resistencia de los semiconductores con la temperatura de estos. Un aumento de la temperatura reduce la resistencia de los semiconductores y una disminución, la aumenta.

Para medir la resistencia ofrecida por los semiconductores, éstos deben conectarse a puentes Wheatstone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia.

En principio pueden distinguirse dos tipos de termistores, los de Coeficiente de temperatura negativo (NTC) y los de Coeficiente de temperatura positivo (PTC).



**Ilustración 11: Curvas características de termistores NTC y PTC.**

**Fuente: Technimares.**

### 4.1.3.6. Calidad de las aguas

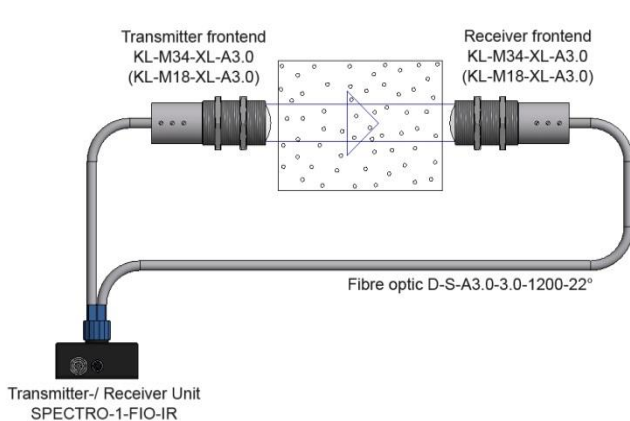
La contaminación presente en las DSU viene condicionada por las características de las aguas residuales urbanas en tiempo seco y los contaminantes depositados en la superficie de la cuenca que son arrastrados por la escorrentía superficial.

Dichos vertidos de agua sin tratar son portadores de una gran carga contaminante. Estos contaminantes pueden ser medidos a partir de:

#### 4.1.3.6.1. Sensores para la medida de contaminantes.

##### - **Sensores ópticos**

Permiten determinar la concentración de algunos contaminantes significativos en las aguas midiendo parámetros globales que caracterizan la materia orgánica y los sólidos en suspensión, así como parámetros específicos como los nitratos, fenoles, detergentes aniónicos, cromo hexavalente y trazas de aceites minerales sin necesidad de adicionar reactivos. Estos sensores ofrecen la posibilidad de monitorizar en tiempo real y de forma continua el estado de las aguas de los sistemas de saneamiento.



Los parámetros ópticos más comunes son la "dispersión" y la "atenuación" de la luz. La primera mide la turbidez y la segunda la absorción molecular de la luz en el agua.

#### **Ilustración 12: Sensor óptico para la medida de la atenuación.**

**Fuente: Empresa Sensor Instruments.**

**Dispersión:** Consiste en medir la intensidad de la luz irradiada por una muestra iluminada por un haz emisor de luz de intensidad y longitud de onda conocidas.

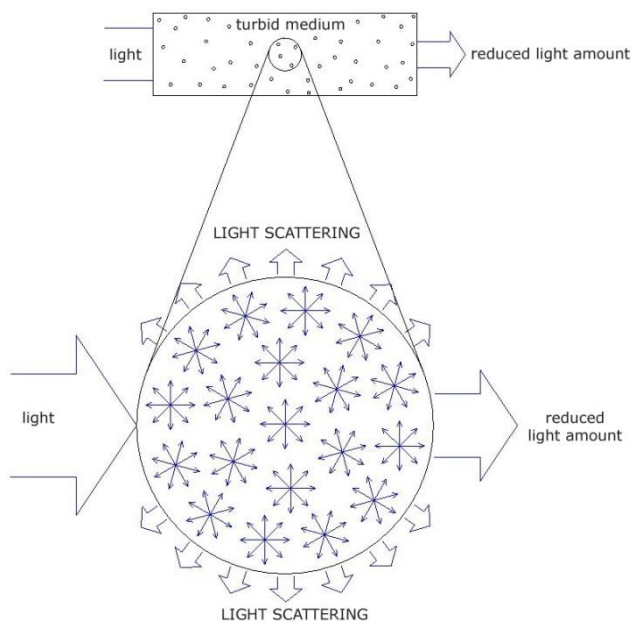
La dispersión de la luz por parte de una partícula iluminada depende de parámetros como la longitud de onda, el tamaño y la forma de la partícula o su índice de refracción.

## Desarrollo

Una de las limitaciones del método de dispersión de la luz consiste en asociar una apariencia esférica a las partículas pese a poseer infinidad de formas geométricas.

**Atenuación:** Consiste en medir la disminución de la intensidad de un haz de luz de características conocidas una vez pasa a través de una muestra.

Cuando un haz de luz atraviesa una muestra de agua, este es parcialmente absorbido por los compuestos que se encuentran en disolución.



Este fenómeno se debe a la excitación de los electrones de los átomos y grupos de átomos de los compuestos generada al absorber la energía lumínica que incide sobre ellos. Cada compuesto posee un espectro de absorción específico y característico.

De esta forma puede cuantificarse la concentración existente en la muestra de agua midiendo la intensidad luminosa antes y después de atravesar la muestra.

**Ilustración 13: Efecto de dispersión y atenuación de la luz.**  
**Fuente: Empresa Sensor Instruments.**

Los sensores ópticos deben sumergirse en las aguas para obtener las mediciones pertinentes. Esto acarrea la posibilidad de la obstrucción óptica por la adhesión de barro a las células ópticas de emisión y recepción de luz por lo que requieren de limpiezas manuales o automáticas de forma periódica mediante soplado de aire o agua a presión, o raspado.

Otro de los problemas es la presencia de burbujas de aire, que pueden perturbar la medición, para evitarlo se debe tener en cuenta tanto la forma como el posicionamiento y la ubicación de los sensores.

### - **Sensores electroquímicos**

Se emplean para la medición de las reacciones en las que intervienen partículas cargadas (iones) disueltas en las aguas.

Estos sensores electroquímicos son empleados para la medición de variables tales como las concentraciones Redox, la conductividad o el pH de las soluciones.

Las partículas cargadas del medio a analizar interactúan con el sensor mediante la transferencia de cargas, provocando una señal en forma de tensión o corriente eléctrica.

Constan de tres elementos, un electrodo de referencia, un electrodo selectivo a los iones a caracterizar, y un amplificador de alta impedancia de entrada para amplificar la señal eléctrica producida por los electrodos.

Pueden diferenciarse tres grupos de sensores electroquímicos:

1.- Sensores conductimétricos: Son utilizados para la medir la conductividad eléctrica de una solución a partir de la aplicación de una tensión o una intensidad de corriente, midiendo la intensidad o la tensión de forma respectiva.

Son fabricados generalmente de acero inoxidable o de carbono, pudiendo llegar a utilizarse células cuyos electrodos sean de oro, paladio o platino si el medio resulta muy agresivo.

2.- Sensores amperimétricos: Estableciendo una diferencia de potencial entre dos electrodos podrá determinarse la concentración de la variable a estudiar, pues dicha concentración resultará proporcional a la intensidad de corriente que circule por el circuito establecido entre los electrodos.

3.- Sensores potenciométricos: A partir de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de medida y un electrodo de referencia cuyo potencial es constante, es posible determinar de forma proporcional la actividad de los iones presentes en el electrolito en el que se sumerge el sensor.

Pueden considerarse diferentes tipos de sensores potenciométricos

- Sensores iono-selectivos estándar.
- Sensores iono-selectivos de estado sólido.
- Sensores sensibles a los iones basados en transistores de efecto de campo (ISFET).
- Sensores Redox.

Tipos de electrodos selectivos:

a) Electrodos de vidrio para la medida del pH

Debido a que ciertas clases de vidrio son ligeramente conductoras de la electricidad, el potencial existente entre una membrana constituida por un determinado vidrio y una solución acuosa dependerá de la acidez de esta última.

Para la medida del pH, es suficiente con sumergir el electrodo en la solución a analiza y comparar la diferencia de potencial existente con el electrodo de referencia.

b) Electrodos para la medida de iones alcalinos

Se ha demostrado que determinados tipos de vidrio que no dan buenos resultados para la medida del pH de las soluciones, sí poseen una buena sensibilidad para la medida de iones alcalinos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ), posibilitando la realización de electrodos específicos para la medida de las concentraciones de estos iones.

c) Electrodos para la medida del potencial óxido-reducción.

La medida del potencial se efectúa por medio de un electrodo inatacable que funciona como donador o aceptador de electrones, que al ser sumergido en la solución a analizar, adquiere un potencial.

Los electrodos más utilizados son de gota de mercurio, de grafito, de carbono vitroso o de metales inatacables como el oro, el platino, el mercurio o la plata.

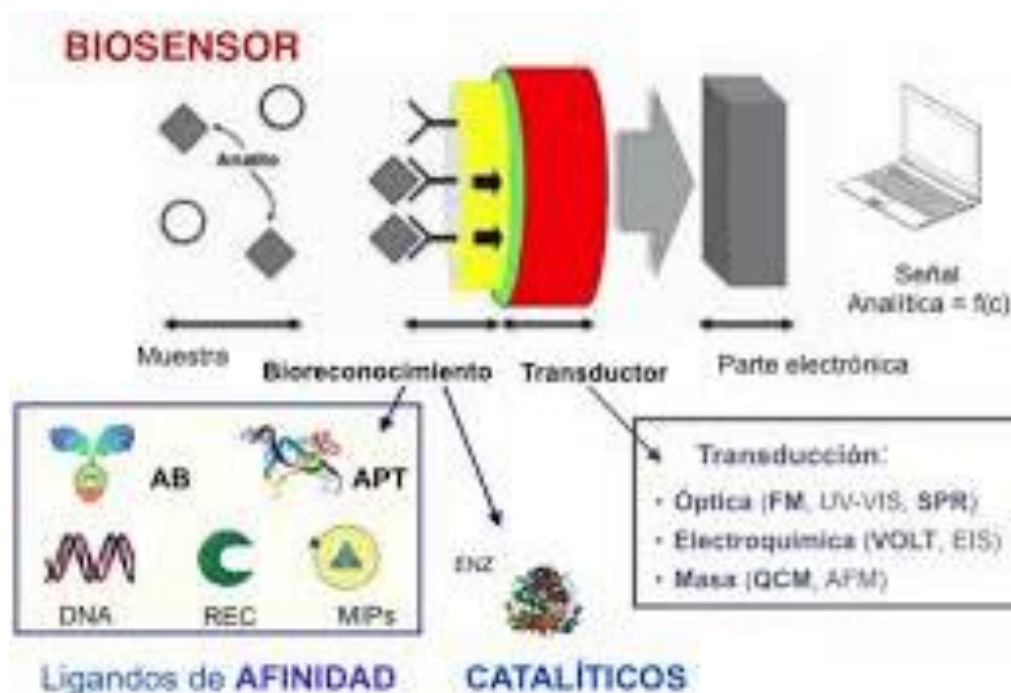
- **Biosensores**

Los biosensores se utilizan en la monitorización de vertidos de agua para medir parámetros químicos y detectar e identificar parámetros biológicos como hongos y bacterias, los cuales son causantes de muchas enfermedades, pudiendo destacar la escherichia coli (E.coli).

Las principales ventajas de estos sensores son su sensibilidad, su especificidad, su rapidez de respuesta que le permite trabajar en tiempo real, su capacidad de miniaturización y su bajo coste.

Estos sensores tienen dos partes diferenciables:

- **Biorreceptor:** Es la parte sensible al reconocimiento de parámetros biológicos, pudiendo reconocer una sustancia determinada en un medio complejo a partir de una estructura biológica o bioquímica que posea dicha capacidad. Generalmente se utilizan estructuras proteínicas (enzimas y anticuerpos) y ácidos nucleicos (ADN o ARN).
- **Transductor:** Es el encargado de traducir las modificaciones físico químicas producidas en el biorreceptor en una señal eléctrica medible relacionada con la concentración de la sustancia estudiada.



**Ilustración 14: Representación esquemática de un biosensor.**  
Fuente: Forum Biotech JC Vidal.

Formas de clasificar los biosensores:

**1.-** Según la naturaleza de la señal físico-química generada por el reconocimiento molecular, se utilizan diferentes modos de conversión de la señal eléctrica:

- a) Electroquímicos: Se basan en la medida eléctrica de la transferencia de carga y de electrones entre las especies electroactivas presentes en una solución y un electrodo. Estos sensores pueden clasificarse en:
  - Potenciométricos: miden el potencial eléctrico.
  - Amperométricos: miden la intensidad de corriente.
  - Conductimétricos: miden la variación de la conductividad.
  - Impedimétricos: miden la variación de impedancia.
- b) Másicos: Generan una señal eléctrica a partir de la detección por parte de un material piezométrico de soporte, de un cambio de masa originado por acumulación selectiva del analito sobre este.
- c) Ópticos. Se basan en cambios en las propiedades de la luz conducida por fibras ópticas y sistemas optoelectrónicos.
- d) Térmicos. Se mide la variación de temperatura sobre la superficie del sensor. Estos cambios de temperatura son originados debido al intercambio de calor por parte de las reacciones en las que interviene el analito.

**2.-** Según la tecnología empleada en el diseño del transductor:

- a) Electroquímicos: Basan su funcionamiento en la tendencia a un equilibrio de intercambio de iones en la superficie existente, entre la solución a analizar y una membrana creada a partir de un material conductor iónico, a partir del cual puede medirse una diferencia de potencial entre el electrodo selectivo en el que se inmoviliza el biorreceptor y un electrodo de referencia.
  - Basados en electrodos enzimáticos
  - Basados en transistores de efecto de campo enzimáticos
  - Biométricos



- b) De cuarzo piezoeléctrico: En un cristal piezoeléctrico, las vibraciones generan un campo eléctrico que oscila a la misma frecuencia que estas. Partiendo de la base de que la frecuencia de vibración de un cristal oscilante obedece a la masa absorbida, puede establecerse una relación directamente proporcional entre la variación de la frecuencia de resonancia y la cantidad de sustancia captada.
- c) Ópticos: Estos sensores son capaces de medir variaciones y fenómenos basados en la absorción de la luz, la fluorescencia, en los índices de refracción o cualesquiera parámetros ópticos de los sistemas biológicos utilizados como biorreceptores, dependiendo del método escogido.
- De fibra óptica
  - Interferómetros de Mach-Zender
  - De resonancia
  - De espectroscopia en guías de ondas ópticas
  - De fluorescencia de reflexión interna total
- d) BioMEMs: A partir del incremento de masa de la membrana debido a la absorción de determinadas moléculas y detectando las vibraciones de esta es posible asociar las variaciones de la frecuencia de resonancia con la cantidad de biomoléculas presentes.
- e) Por variación de impedancia: A partir de la medida de la impedancia es posible medir de forma sensible todo tipo de parámetros. Normalmente es utilizada para la caracterización de las propiedades de sólidos, líquidos y algunos gases, así como la caracterización de microfluidos, reconocimiento celular o incluso la monitorización del crecimiento de bacterias.
- Inductivos
  - Capacitivos
  - Basados en el principio de la magnetoimpedancia gigante
- f) Basados en cavidades de microondas: Los cambios en las frecuencias de resonancia de una cavidad de microondas incumbidas por distintos mi-

croorganismos permiten identificar y enumerar diferentes microbacterias en muestras ambientales en un corto espacio de tiempo.

**3.-** Según la naturaleza del elemento biológico:

- a) Sensores catalíticos o enzimáticos.
- b) Inmunosensores.
- c) Afinidad-biomimétricos

Para fabricar un biosensor es fundamental conseguir una buena inmovilización del material biológico de reconocimiento sobre una membrana o matriz (soporte sólido) fijada a la superficie del transductor, a partir de la insolubilización de enzimas.

Métodos de inmovilización:

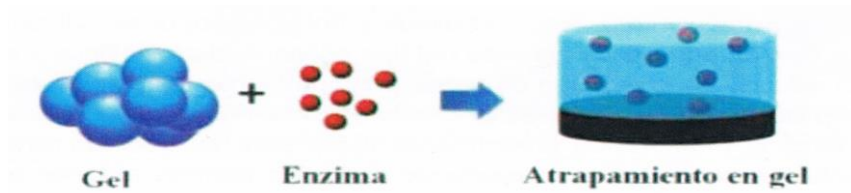
Adsorción: Se emplea para fijar las proteínas sobre soportes de celulosa, colágeno o colodión. El material biológico es unido mediante interacciones iónicas, hidrofóbicas, puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals...

Consiste en una técnica simple y de bajo coste, pero resulta poco estable y reproducible debido a la pérdida de sensibilidad que sufre con el uso, siendo fácilmente alterable por cambios de pH, temperatura o fuerza iónica.



**Ilustración 15: Inmovilización por adsorción.**  
Fuente: Sandra Pérez (2012).

Inclusión o atrapamiento: Este método es empleado principalmente para la inmovilización de células enteras o de fracciones subcelulares. El funcionamiento de este método consiste en atrapar el elemento biológico en un gel, manteniendo la actividad biológica del material atrapado en buen estado.



**Ilustración 16: Inmovilización por atrapamiento.**  
 Fuente: Sandra Pérez (2012).

Confinamiento o entrecruzamiento: Consiste en confinar el biorreceptor en solución en el interior de un compartimento delimitado por una membrana que únicamente permite el paso de pequeñas moléculas. De esta forma se consigue un buen contacto entre el material biológico y el transductor al tiempo que se preservan sus propiedades limitando la contaminación y la biodegradación, además de adquirir estabilidad a los cambios de pH, temperatura y fuerzas iónicas.



**Ilustración 17: Inmovilización por confinamiento.**  
 Fuente: Sandra Pérez (2012).

Inmovilización Covalente: El principio de operación de este método consiste en la formación de enlaces covalentes entre la superficie del sensor, la cual debe ser previamente activada, y los grupos funcionales de proteínas que no estén directamente implicados en la acción catalítica.



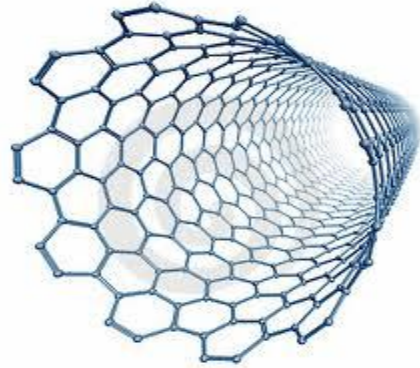
**Ilustración 18: Inmovilización covalente.**  
 Fuente: Sandra Pérez (2012).

La utilización de nanomateriales en diversos aspectos del sistema de detección como las sondas sensoras y la fabricación y recubrimiento de electrodos, ha abierto especial interés en este campo ya que poseen mayor biocompatibilidad, puntos de

unión adicionales e intensidades mayores de señal, proporcionando al sensor un alto grado de selectividad para el analito a medir y reduciendo el tiempo de diagnóstico.

- **Nanotubos de carbono:** Presentan una estructura atómica similar a la de una capa de grafito (grafeno) y pueden considerarse formados a partir del enrollamiento de una lámina de grafeno.

Son empleados para biofuncionalización con múltiples copias de biomoléculas para una mejor detección del antígeno del analito.



**Ilustración 19: Nanotubo de carbono.**  
Fuente: [www.ingenieros.es](http://www.ingenieros.es).

- **Nanopartículas de metales nobles:** Se tratan de conjuntos de átomos que se encuentran rodeados por una cápsula protectora o estabilizadora que evita su aglomeración.  
Cabe destacar las propiedades fototérmicas de las nanopartículas de oro, que al ser activadas en presencia de luz láser, desprenden energía térmica.
- **Liposomas:** Son pequeñas vesículas esféricas compuestas por una o más bicapas lipídicas que rodean compartimentos acuosos quedando la parte apolar hacia el interior de la membrana.
- **Dendrímeros:** Son macromoléculas tridimensionales de estructuras rígidas ramificadas en forma de árbol. Se diferencian de los polímeros en la distribución de las moléculas, la cual resulta de una estructura química precisa con características estructurales y topológicas únicas.  
Una característica de los dendrímeros es su capacidad para formar complejos huésped-anfitrión, capaces de dar cabida a diferentes moléculas.

- **Nanopartículas poliméricas conductoras:** Estas partículas presentan enlaces deslocalizados de forma que al aplicar una diferencia de potencial en uno de ellos, su conductividad eléctrica se ve aumentada.

El comportamiento de muchos de ellos es similar al de los semiconductores y el de otros, a conductores metálicos.

Se tratan de partículas adecuadas para la fabricación de electrodos encimáticos.

- **Nanocomposites poliméricos:** Son empleados como biosensores debido a que la dispersión homogénea de las nanopartículas metálicas empleadas como relleno conducen a una elevada superficie interfacial.
- **Nanopartículas de poliestireno:** Son empleadas para portar iones de europio III, los cuales poseen características fotofísicas útiles para detectar objetos biológicos actuando como indicadores fluorescentes.
- **Nanopartículas superparamagnética:** Se tratan de soluciones coloidales que albergan un núcleo inorgánico de óxido de hierro recubierto con polímeros que le confieren una estabilidad con grupos funcionales adicionales para la posterior realización de conjunciones.
- **Los puntos cuánticos:** Son nanocristales compuestos por un núcleo de material semiconductor formado por átomos de los grupos II y VI o II y V, encerrados en una cápsula de otro semiconductor de mayor anchura de banda prohibida.  
Debido a su alta sensibilidad, amplio espectro de excitación y fluorescencia sin necesidad de láseres, son utilizados para aplicaciones biomédicas tales como sensores, detección de biomarcadores incluyendo antígenos y patógenos e inmunomarcaje de células y tejidos.
- **Partículas de bacteriófagos:** Se tratan de virus que infectan y se replican en determinadas bacterias para su posterior detección.

#### **4.1.3.6.2. Parámetros indicadores de la calidad.**

## Desarrollo

La calidad del agua es definida a través de sus características físicas, químicas, biológicas y estéticas. Entre los parámetros más comunes a partir de los cuales se puede establecer la calidad se encuentran:

### - **Sedimentos**

Cuanto más erosionable sea la cuenca y los elementos que la componen, mayor presencia tendrán. Una gran cantidad de sedimentos provoca en el medio receptor un aumento en la turbidez del agua, que reduce la transmisión de luz variando las condiciones de vida del entorno acuático. Así mismo los sedimentos limitan las zonas de puesta de los peces, provoca la colmatación de las agallas de los peces y la alteración de la cadena alimenticia del medio.

Además la acumulación física de estos provoca la alteración estética del medio.

En redes urbanas durante las descargas de la red unitaria, la concentración de sólidos resulta elevada como consecuencia del arrastre y lavado de la superficie del terreno por parte de la escorrentía superficial, además de la movilización de las partículas sólidas sedimentadas en la red durante el tiempo seco.

El contenido en materia sólida se estima a partir de los siguientes parámetros: sólidos volátiles y no volátiles, sólidos en suspensión, sólidos sedimentables y turbiedad.

La mayor carga contaminante se encuentra asociada a las partículas finas, por lo que la determinación de la concentración de los sólidos en suspensión resulta un buen indicador de la contaminación.

### - **Sustancias con demanda de oxígeno**

Parte del oxígeno disuelto en el agua (DO) necesario para el desarrollo de la vida acuática, es consumido en las reacciones de oxidación de la materia orgánica durante su descomposición debido a las bacterias que intervienen en dicho proceso.

Si la producción de O<sub>2</sub> del entorno generado por algas y vegetales junto al aporte atmosférico no compensa el consumido en las reacciones de oxidación, éste puede descender hasta unos niveles por debajo de los umbrales de supervivencia de las especies.

El cálculo de la carga orgánica de las aguas residuales suele calcularse a partir de la DBO<sub>5</sub> (demanda de Bioquímica de Oxígeno por parte de los organismos descomponedores durante cinco días a una temperatura de 20°C).

Para calcular la carga orgánica de aguas residuales no biodegradables o que contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos, se emplea la DQO (demanda Química de Oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida hasta ser convertida en CO<sub>2</sub> y agua).

La cantidad de oxígeno disuelto puede calcularse de forma directa o de forma indirecta mediante la estimación de DBO<sub>5</sub>, DQO o del carbono orgánico total (TOC).

#### - **Indicadores biológicos**

Las aguas procedentes de las DSU llevan asociadas una gran carga biológica de bacterias perjudiciales para la salud tanto de los seres humanos como de los animales. Coliformes fecales u organismos patógenos como la salmonella son un ejemplo.

La contaminación microbiológica de estas aguas es medida en términos de E. Coli y nematodos intestinales.

De las distintas técnicas empleadas para el análisis de los indicadores de contaminación fecal que afectan a la calidad del agua, destacan:

Las basadas en la óptica, que resultan ser muy rápidas y no requieren de reactivos pero que por el contrario, ofrecen poca fiabilidad al dar elevados falsos positivos y una baja especificidad.

Las técnicas basadas en la fluorescencia, las cuales a pesar de ser la alternativa más convincente, resultan ser métodos lentos.

Los inmunoensayos, que presentan una sensibilidad reducida y requieren la realización de pre-concentraciones, pero que resultan de base para la detección óptica tras su captura.

Los PCR, los cuales son rápidos, sensibles y de alta especificidad, pero son afectados por inhibidores y de difícil integración en dispositivos autónomos.

#### - **Nutrientes o bioestimulantes**

Estos nutrientes son sustancias que estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Los nutrientes básicos son: el carbono, el nitrógeno y el fósforo, los cuales

se encuentran presentes permanentemente en el medio, pero cobran especial importancia cuando las concentraciones aumentan como consecuencia de los vertidos.

Estas sustancias pueden provocar la eutrofización del entorno natural, asociada de forma directa a la demanda de oxígeno como consecuencia de un gran crecimiento de la vegetación acuática. Esto reduce la biodiversidad al tiempo que emite olores molestos y provoca la coloración del agua.

Otro de los efectos negativos que acarrea un exceso de estos nutrientes, deriva de las concentraciones de amoníaco, pues determinadas concentraciones a bajas temperaturas o en presencia de un pH bajo, pueden resultar muy tóxicas pudiendo llegar a causar la muerte de la fauna acuática.

#### - **Turbidez**

Por turbidez se entiende la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión presentes en el agua. La mayor parte de la turbiedad encontrada en el agua proviene del arrastre de partículas coloidales, arcillas, partículas vegetales y distintos tipos de sedimentos.

La turbidez o turbiedad se considera una buena herramienta para la medida de la calidad del agua y es estimada a partir de procesos fotométricos, determinando la cantidad de luz absorbida o dispersada.

Un efecto directo de las aguas turbias sobre el medio es que las partículas en suspensión dificultan el paso de luz, interfiriendo la vida fotosintética de las plantas o algas.

De forma indirecta, la luz solar absorbida por estas partículas, se manifiesta en un aumento de la temperatura, reduciendo la concentración de oxígeno.

#### - **Metales pesados**

Los metales pesados son elementos perjudiciales para la salud a niveles excesivos y pueden llegar a ser letales si superan ciertas concentraciones umbrales.

Estos se encuentran presentes casi siempre en las aguas de escorrentía como consecuencia del arrastre y lavado de la superficie de la cuenca.



A pesar de que los más habituales sean el Cobre, el Plomo, y el Zinc, los metales que se además se controlan en los análisis de escorrentía son: Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plata y Selenio.

Está demostrado que la fuente de metales pesados más importante en el entorno urbano es el tráfico rodado (frenos, neumáticos, motor, humos), por lo que a mayor densidad de tráfico, mayor será la concentración de metales pesados.

- **Otras sustancias tóxicas**

Suelen aparecer como resultado de un vertido tóxico. Sustancias como fenoles, pesticidas, herbicidas, aceites, grasas, cloruros o compuestos plásticos, petróleo y gasolinas, son las más habituales dentro de este grupo.

- **Temperatura**

Se trata de un parámetro de gran influencia tanto para el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y sus velocidades de reacción.

Un aumento de la temperatura viene acompañado de un descenso de la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Esto se debe al aumento de la velocidad de las reacciones químicas y a que el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en fría.

Como consecuencia, aumentos bruscos de las temperaturas pueden conducir a un aumento en la mortandad de la vida acuática además de una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

- **Conductividad**

La conductividad se asocia directamente de forma proporcional al contenido de sales y otros compuestos que se encuentran en disolución en las aguas del vertido.

Esta resulta casi nula al inicio del ciclo del agua de lluvia, pero aumenta progresivamente a medida que se mezcla con las aguas residuales.

- **pH**

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad de una disolución. Nos indica la concentración de iones Hidronio  $H_3O^+$  presentes en las disoluciones.

El pH se mide sobre una escala de 14 puntos, siendo ácidas las disoluciones con pH menor de 7 y alcalinas aquellas con valor superior a este.

La tolerancia de los valores de pH dependerá de los usos previstos para las aguas.

En referencia a los organismos acuáticos, una reducción del pH ácido puede provocar la liberación de determinados metales tóxicos que pueden ser absorbidos por los sedimentos y posteriormente por los organismos presentes en el medio, mientras que un aumento del pH puede dar lugar a disoluciones alcalinas y causar un aumento de las concentraciones de amoníaco, el cual con pH bajo reacciona con el agua dando como resultado iones amonio, que no resultan ni tóxicos ni peligrosos para los organismos, pero por encima de un pH de 9, las grandes concentraciones de amoníaco no ionizado resultan muy tóxicas.

#### **4.1.3.6.3. Correlaciones entre parámetros.**

Todos estos parámetros previamente nombrados establecen en conjunto el nivel de contaminación de las aguas de escorrentía.

Debido a que el rango de variables que pueden ser medidas con el fin de determinar la calidad de las aguas es muy amplio y a que la monitorización de todas ellas resulta inviable económicamente, ha sido objeto de estudio la determinación de parámetros cuyas concentraciones resulten indicativas de las demás.

Para el conocimiento de las correlaciones de concentración existentes entre los diversos parámetros, se realizaron análisis estadísticos a partir de matrices de correlación sobre muestreos tomados en distintos sucesos permitiendo así el análisis de la dependencia entre las diferentes variables.

Estos estudios estadísticos buscan correlaciones entre las concentraciones de:

-Parámetros convencionales: DQO (Demanda química de oxígeno), DBO<sub>5</sub> (Demanda biológica de oxígeno a los cinco días), N y P totales (nutrientes), SD (Sólidos disueltos), SS (Sólidos en suspensión), ST (Sólidos totales).

-Hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP.

-Grasas y aceites.

-Fracciones disueltas y particuladas de los metales más comúnmente encontrados en aguas de escorrentía: Al, As, Au, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Pb, y Zn.

En ellos se han obtenido, como es de esperar, buenas correlaciones entre la turbidez de las aguas, los sólidos en suspensión y los sólidos en suspensión totales, y estos a su vez con concentraciones de Al, Pb, Fe, Zn, Cr, V, Ni, Mn y SSV.

PARÁMETROS	UNIDADES	TIPO DE AGUA RESIDUAL			
		CONCENTRADA	MODERADA	DILUIDA	MUY DILUIDA
<b>Aluminio</b>	mg Al/m <sup>3</sup>	1000	650	400	250
<b>Arsénico</b>	mg As/m <sup>3</sup>	5	3	2	1
<b>Cadmio</b>	mg Cd/m <sup>3</sup>	4	2	2	1
<b>Cromo</b>	mg Cr/m <sup>3</sup>	40	25	15	10
<b>Cobalto</b>	mg Co/m <sup>3</sup>	2	1	1	0,5
<b>Cobre</b>	mg Cu/m <sup>3</sup>	100	70	40	30
<b>Hierro</b>	mg Fe/m <sup>3</sup>	1500	1000	600	400
<b>Plomo</b>	mg Pb/m <sup>3</sup>	80	65	30	25
<b>Manganeso</b>	mg Mn/m <sup>3</sup>	150	100	60	40
<b>Mercurio</b>	mg Hg/m <sup>3</sup>	3	2	1	1
<b>Níquel</b>	mg Ni/m <sup>3</sup>	40	25	15	10
<b>Plata</b>	mg Au/m <sup>3</sup>	10	7	4	3
<b>Zinc</b>	mg Zn/m <sup>3</sup>	300	200	130	80

**Tabla 1: Contenido de metales típico en aguas residuales domésticas.**  
**Fuente: Implantación de técnicas de drenaje sostenible de escorrentías de autopistas (TDSEA) en la comunidad autónoma de Galicia.**

Entre los metales pesados más comunes en las aguas de escorrentía Cu, Cd, Zn, Pb y Cr, cuyo origen procede principalmente del tráfico rodado, existe una buena relación entre las concentraciones de estos con las del Cu o el Cr.

Al mismo tiempo se ha observado una peculiar relación entre la conductividad de las aguas y la concentración de Cd presente.

También ha podido determinarse la alta correlación existente entre la DQO de las muestras con la DBO<sub>5</sub>, los nutrientes, la turbidez, los coliformes fecales y las concentraciones totales de determinados metales.

La DBO<sub>5</sub> también tiene una buena correlación con los coliformes fecales y totales y con los nutrientes.

PARÁMETROS	CONCENTRACIONES		
	DÉBIL	MEDIA	FUERTE
<b>DQO (mg/L)</b>	250	430	800
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	110	190	350
<b>N<sub>TOTAL</sub> (mg/L)</b>	20	40	70
<b>P<sub>TOTAL</sub> (mg/L)</b>	7	7	12
<b>SS (mg/L)</b>	120	210	400
<b>SD (mg/L)</b>	270	500	860
<b>ST (mg/L)</b>	390	720	1230
<b>Grasas y aceites (mg/L)</b>	50	90	100
<b>Coliformes fecales (UFC/100 mL)</b>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>
<b>Coliformes totales (UFC/100 mL)</b>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>10</sup>

**Tabla 2: Valores típicos de aguas residuales urbanas.**

**Fuente: Implantación de técnicas de drenaje sostenible de escorrentías de autopistas (TDSEA) en la comunidad autónoma de Galicia.**

Los aceites y grasas, así como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, presentan comportamientos independientes del resto de parámetros.

Además de los análisis de correlaciones realizados sobre las muestras de los sucesos de lluvia, se realizaron una serie de estudios sobre determinados parámetros característicos tales como concentraciones máximas (CMAX), concentraciones medias de suceso (CMS) y cargas movilizadas (CMOV).

Las conclusiones que se pueden extraer del análisis de correlaciones entre las concentraciones CMAX son las siguientes:

De estos análisis, se ha podido determinar que las CMAX de los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentan buenas correlaciones con los elementos de su grupo y con los ST, los SDT y con la conductividad del agua.

En menor medida, las CMAX de aceites y grasas, también se correlacionan algo con las de los HAP.

Las concentraciones máximas de los parámetros básicos tienen buenas correlaciones entre ellas, al mismo tiempo que con las concentraciones bacteriológicas, que a su vez se correlacionan bastante bien con las concentraciones máximas de algunos metales correlacionados consecuentemente con los parámetros básicos.

Del análisis de las correlaciones de concentraciones medias de suceso, se determina que el parámetro básico que ofrece mejores correlaciones, son los ST, a pesar de que los SST y los SSV apenas tienen correlación con el resto de los parámetros básicos.

Las CMS de los parámetros básicos, en general, correlacionan bien entre ellas.

Todas las correlaciones establecidas a partir de los parámetros básicos de DBO<sub>5</sub>, DQO, ST, pH, conductividad y turbidez son buenas o muy buenas con la excepción de los SDV, el B y los hidrocarburos totales, los cuales tienen malas correlaciones con el resto de los parámetros.

Las concentraciones medias de suceso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos correlacionan bien dentro del grupo de los HAP, pero mal con el resto de parámetros.

Las CMS de los metales correlacionan bien con las de los parámetros básicos, con las de DQO y N total, y las concentraciones medias de suceso de las fracciones particuladas y disueltas de metales entre sí muestran buenas correlaciones.

EL Cd, el Fe y el Al son los metales que mejores correlaciones presentan entre sí.

Las CMS de bacteriología correlacionan bien con las de los parámetros básicos, con las de algunos metales (Hg, Cd, Cu, Al, Fe y Pb) y con la de las de grasas y aceites.

Los resultados obtenidos tras analizar los valores de las cargas movilizadas son los siguientes:

Las CMOV de los SST tienen buena correlación con los metales y los HAP, las de los ST tienen buena correlación con el Cd, el Ni y los HAP, y la correspondiente a la DQO presenta buenas correlaciones con los nutrientes y los metales.

Como consecuencia, el conjunto de las CMOV de DQO, ST y SST son buenos parámetros indicadores de las CMOV de los nutrientes, metales y HAP.

## Desarrollo

Las CMOV de los metales pesados más comunes (CU, Cd, Zn, Cr y Ni) tienen buenas correlaciones con las CMOV de los metales y los HAP.

Dentro del grupo de los parámetros básicos, las cargas movilizadas de las sustancias en suspensión obtienen mayores correlaciones con las CMOV de los metales y las CMOV de las formas solubles, con las de las sustancias peligrosas.

Uno de los objetivos de estos tratamientos estadísticos consiste en buscar los parámetros de contaminación de las aguas cuyas concentraciones puedan resultar indicativas respecto a los demás parámetros.

Uno de los parámetros de contaminación que mayor información sobre la calidad de las aguas aliviadas puede ofrecer es la turbiedad.

Queda demostrado que está directamente relacionada con las fracciones sólidas disueltas, sedimentables y en suspensión, entre las cuales existe una alta correlación con la DQO y en consecuencia con la DBO<sub>5</sub>, que así mismo tiene relación directa con los nutrientes y los coliformes fecales y totales.

Al mismo tiempo, la turbiedad de las aguas procedentes de la escorrentía obtiene buenas relaciones con las concentraciones de metales como Al, Pb, Fe, Zn, Cr, V, Ni y Mn.

## 4.2. PROMOVER

### 4.2.1. *Marco general y contexto*

Debido a los problemas derivados de las descargas de los sistemas unitarios a los medios receptores, el Real Decreto 1290/2012 establece en consecuencia a la preocupación por la falta de control público de este tipo de sucesos, unas medidas y exigencias de obligado cumplimiento por las que se modifica el Reglamento de Dominio Público hidráulico, fijando en particular, en su Disposición Transitoria Tercera, que los titulares de las autorizaciones de vertido vigentes y las que estuvieran en trámite a la entrada en vigor de este real decreto, así como las que sean solicitadas hasta el 31 de diciembre de 2015, deberán proporcionar a los puntos de alivio, en un plazo de 4 años desde la entrada en vigor del Decreto, de sistemas que permitan su cuantificación, debiéndose presentar la respectiva documentación técnica antes del 31 de diciembre de 2019, todo ello siempre que se traten de:

- Vertidos procedentes de aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes equivalentes
- Vertidos procedentes de instalaciones industriales que requieran de una autorización ambiental integrada
- Vertidos procedentes de aglomeraciones urbanas de más de 2.000 habitantes equivalentes o zonas industriales diferentes a los anteriores situados en una zona protegida que haya sido declarada como aguas de baño y estén incluidas en el Registro de Zonas Protegidas de la Demarcación Hidrográfica correspondiente.

Con todo esto presente, el proyecto PROMOVER surge con el objetivo de proponer una solución para el reto planteado de una monitorización integral, continua y en tiempo real de los puntos de alivio de los sistemas de alcantarillado que sea capaz de determinar, a partir de la medida y/o el control de una serie de magnitudes físicas mediante dispositivos digitales que transmitan la información muestreada, los impactos de las DSU originadas por eventos de lluvia extremos sobre el medio receptor.

Desarrollo

Los socios y participantes que abordan este proyecto son:

- ZINNAE (Clúster urbano para el uso eficiente del agua)
- ALPHASIP (Laboratorios Alpha San Ignacio Pharma)
- AQUARA (Gestión Ciclo integral de Aguas de Aragón)
- ECOCIUDAD ZARAGOZA. (Ecociudad Zaragoza S.A.U.)
- AQUALOGY (AQUATEC proyectos para el sector del agua S.A.U.)
- EUPLA (Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia) como responsable técnico del proyecto.



**Ilustración 20: Socios PROMOVER.**



## 4.2.2. *Variables a monitorizar*

Debido a las limitaciones económicas del proyecto y a la imposibilidad de medir todos los parámetros hidráulicos y de calidad de las DSU, se opta por el estudio de una serie limitada de parámetros apostando por una metodología de monitorización integral, continua y en tiempo real de los puntos de alivio que permita su caracterización cualitativa y cuantitativa. Los parámetros de medición son los siguientes:

- **Frecuencia y duración de las DSU:**

La frecuencia resulta un parámetro básico necesario para analizar en qué cantidad y qué tan a menudo se producen vertidos al medio para una posterior gestión.

En sí no proporciona ninguna información sobre qué se está vertiendo al medio o en qué cantidad, pero puede identificar determinados puntos problemáticos en la red en caso de detectar una frecuencia elevada de vertidos.

La duración de las DSU, por su parte, indica el tiempo durante el cual se vierte al medio durante un episodio de lluvia, de modo que puede estimarse el porcentaje de tiempo de vertido frente a un periodo concreto (mes, año, temporada de baño).

Tanto la frecuencia como la duración de los vertidos pueden ser analizadas de forma sencilla y con un coste económico relativamente bajo en lo que respecta al coste del sensor y su instalación a partir del uso de sensores de temperatura.

- **Caudales vertidos:**

La medida de este parámetro permite la cuantificación de las DSU para cada evento de lluvia. En el caso piloto de este proyecto, se opta por la estimación de los caudales a partir de la medida de nivel de la lámina de agua de vertido asociada a una sección de control perteneciente a una estructura hidráulica tipo vertedero.

- **Calidad de las aguas vertidas:**

Debido a la gran cantidad de variables en relación a la calidad del agua, el coste de un sistema monitorización para la evaluación de todas ellas resulta económicamente inviable.

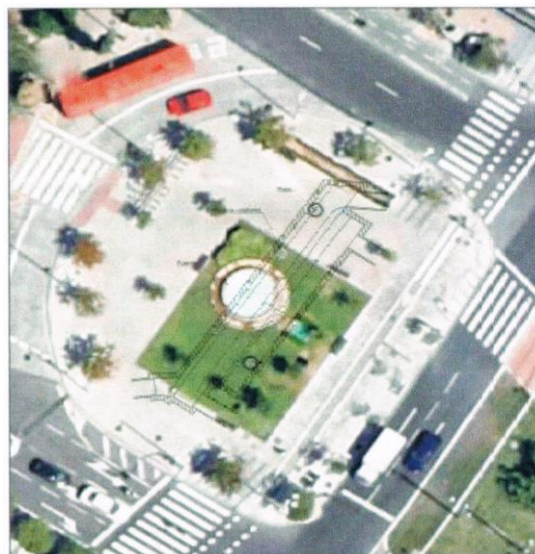
El proyecto PROMOVER opta por la medición continua y en tiempo real de la temperatura y la turbidez de los caudales vertidos al medio como indicador de la contaminación.

Tal como ha quedado reflejado anteriormente, la turbidez resulta un parámetro que es fácilmente correlacionable con las partículas de sólidos disueltos, en suspensión y totales presentes en el agua, relacionados a su vez de forma directa con la presencia de nutrientes, coliformes y determinados metales arrastrados por la escorrentía superficial.

Estas características dependerán por otro lado del tipo de cuenca urbana, el uso del suelo, la densidad demográfica, el régimen de lluvias y del momento temporal en el que se realiza la muestra, ya sea durante tiempo seco o durante un suceso de lluvia, debido a que gran parte de los contaminantes se encuentran asociados a los sedimentos.

### *4.2.3. Implementación del proyecto piloto*

Tras analizar las diferentes alternativas, la empresa Ecociudad de Zaragoza pre-seleccionó sobre la base de aspectos técnicos, hidráulicos, ambientales y logísticos tres posibles puntos de alivio a monitorizar como caso piloto del sistema de monitorización, aplicándose finalmente a la cámara de alivio de la red de drenaje de Zaragoza localizada en la plaza emperador Carlos V, cuyas DSU vierten directamente al río Huerva a través de un colector sin pozos de registro intermedios.



**Ilustración 21: Plaza Emperador Carlos V.**

Para la implementación del sistema de monitorización en esta cámara, se han realizado una serie de actuaciones de obra civil tales como el recrecimiento de una parte del aliviadero y la creación de una sección de control así como una zanja y canalización para los cables eléctricos entre un armario eléctrico y una arqueta donde se albergan los equipos de almacenamiento y transmisión de datos.

De esta forma la actual cámara rectangular de 25 metros de longitud y 5 de anchura recibe aguas procedentes de dos tuberías de 1,5 metros de diámetro. Estas aguas que normalmente circulan por un canal de 2,34 metros de ancho y son conducidas hacia una tubería de salida de 1,5 metros de diámetro, en caso de un incremento de caudal tal que el nivel de agua supere la cota del aliviadero longitudinal, éste excedente verterá a una sección de control que permitirá la medición del caudal aliviado, el cual será vertido al medio a través de otra tubería de 1,5 metros de diámetro.

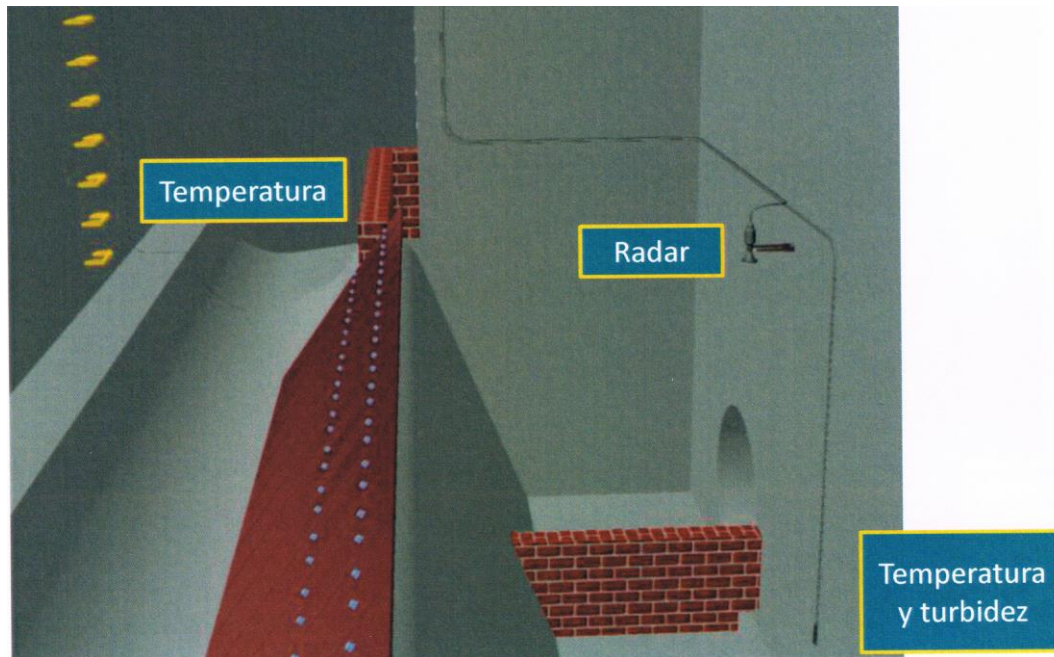
Para la medida de la frecuencia y la duración de los alivios se emplean dos sensores de temperatura, uno situado en el colector de la cámara de alivio y otro aguas arriba del aliviadero, que medirá la temperatura del aire en ausencia de alivios y la temperatura de los caudales aliviados en caso de DSU.

Para la medida de la temperatura se emplean termistores debido a su bajo coste y a su elevada sensibilidad.

La medida del caudal aliviado en caso de DSU se estima a partir del conocimiento del nivel del de las aguas de alivio.

Para la medida del nivel, se opta por un sensor de nivel tipo radar debido a su buena precisión y a que no se ve afectado por condicionantes externos como la temperatura, la cual resulta ser determinante en la calibración de sensores de nivel por ultrasonidos. Este sensor se encuentra aguas arriba del aliviadero.

El sensor de turbidez se localiza pegado a la pared de la cámara y sumergido de tal forma que medirá la turbidez de los caudales aliviados siempre y cuando estos sean significativos, quedando a resguardo de posibles turbulencias, burbujas de aire o espuma.



**Ilustración 22: Representación de la cámara de alivio y localización de los sensores.**

- Sensor de nivel: VEGAPLUS WL61 de la empresa VEGA.
- Sensores de temperatura: Se emplean sondas AKO-15561 NTC de temperatura
- Sensor de turbidez: proporcionado por la empresa Aqualab Contrôle.

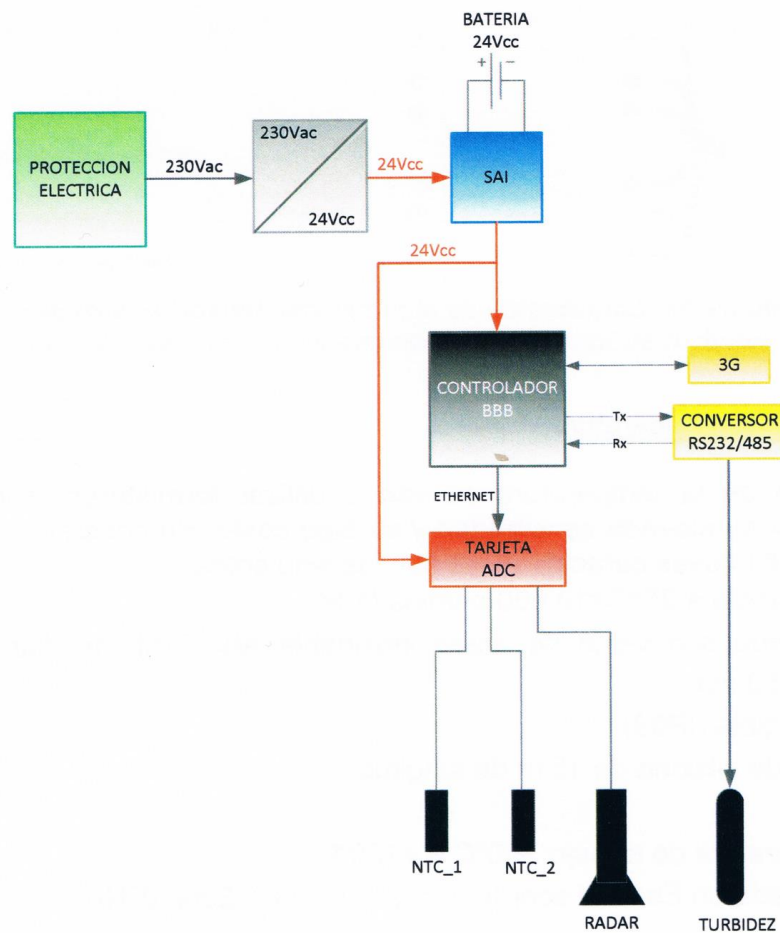
Como sistema de adquisición y transmisión de datos, se emplea un sistema basado en un controlador Beagle Board Black (BBB) al que se conecta una tarjeta de adquisición de datos a la que llega la salida del circuito potenciométrico empleado en la medida de la temperatura y la salida del sensor radar. La sonda de turbidez emplea un conversor RS232/485 para la adaptación de la salida de la sonda con la entrada de la BBB.

Para la adquisición de datos se emplea una placa PC con sistema operativo Linux que dispone de una memoria capaz de almacenar más de tres años de información.

Una conexión 3G sobre el equipo de recogida y transmisión de datos abre la posibilidad de ver en tiempo real la lectura de datos y el funcionamiento del sistema.

El acceso de cada usuario en ubicación remota a dichos datos se realiza a través de un servidor web mediante Internet.

Una SAI asegura el oportuno funcionamiento del sistema aunque haya caídas en la red de alimentación.

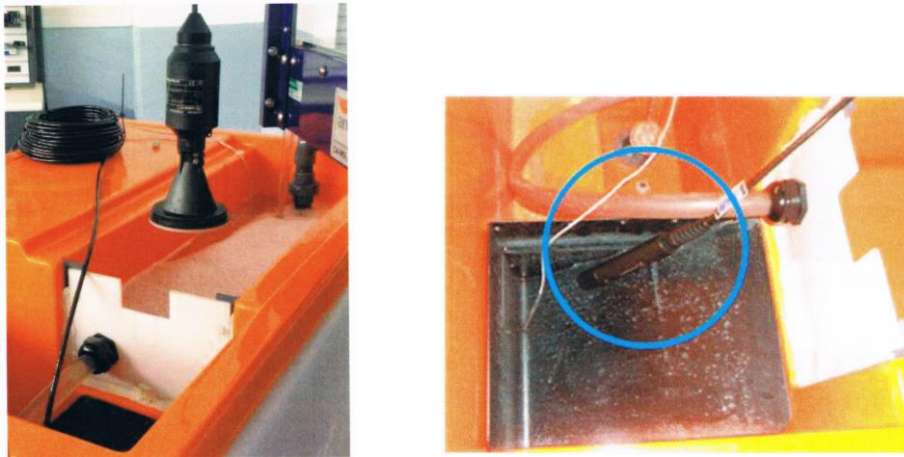


**Ilustración 23: Diagrama del sistema electrónico y de alimentación.**

#### 4.2.4. Fase de pruebas y primeros resultados

El funcionamiento de los sensores y del sistema de monitorización en su conjunto ha pasado por una fase de prueba en los laboratorios de Ingeniería Hidráulica de la Escuela Politécnica de La Almunia donde se ha analizado tanto la sensibilidad como el tiempo de respuesta frente a cambios forzados y controlados.

Desarrollo



**Ilustración 24: Sensor de nivel (izquierda) y de turbidez (derecha) durante la fase de pruebas en los laboratorios de la EUPLA.**

Las medidas tomadas por los sensores son almacenadas en el equipo de recogida de datos que comunican en tiempo real a un centro de control en la EUPLA. Estos mismos datos, así como los valores directos de medición de los cuatro sensores, pueden ser observados en tiempo real tanto en versión alfanumérica como gráfica a través de una plataforma de visualización.

Durante la fase de prueba del sistema de monitorización, y en concreto durante los días 9, 10 y 11 de junio de 2015, se produjeron en Zaragoza precipitaciones de intensidad elevada con valores de precipitación acumulada muy elevados.

A lo largo de estos tres días, los sensores del sistema de monitorización registraron correctamente los alivios y se pudo observar como las medidas de temperatura proporcionadas por los termistores convergían bruscamente indicando vertido de caudal al medio y cómo aumentaba el gradiente de temperatura a su cese.

Se observó también el correcto funcionamiento del sensor de nivel tipo radar.

El sensor de turbidez realizó las correspondientes medidas proporcionando datos esperables conforme a la evolución de los eventos respecto a máximos valores durante los primeros minutos del evento debido al primer lavado de la superficie de la cuenca (first-flush) y a la resuspensión de los sedimentos de la red de colectores de la cuenca aguas arriba.

#### 4.2.4.1. Registros durante la fase de prueba



**Ilustración 25: Curvas de masa de los eventos registrados.**

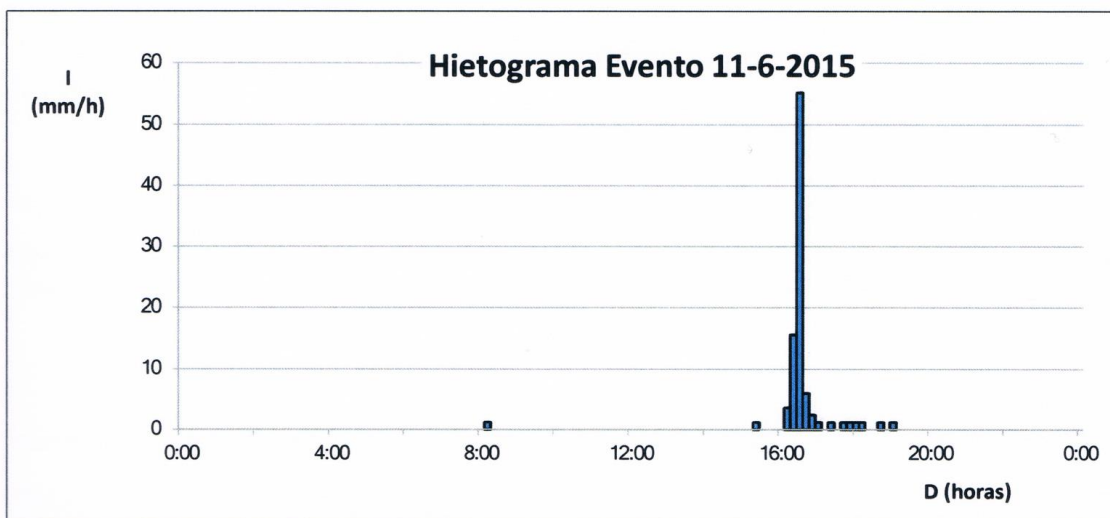
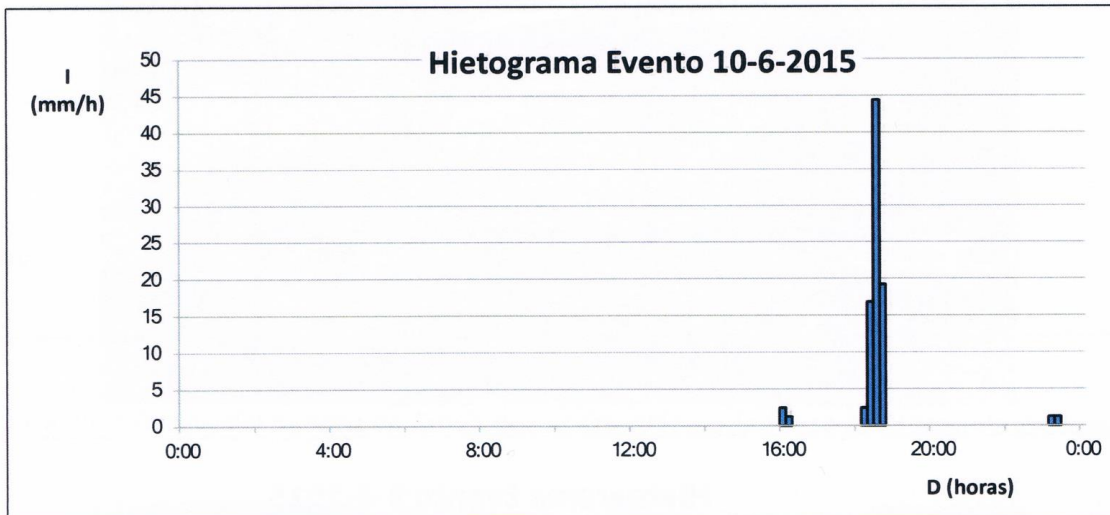
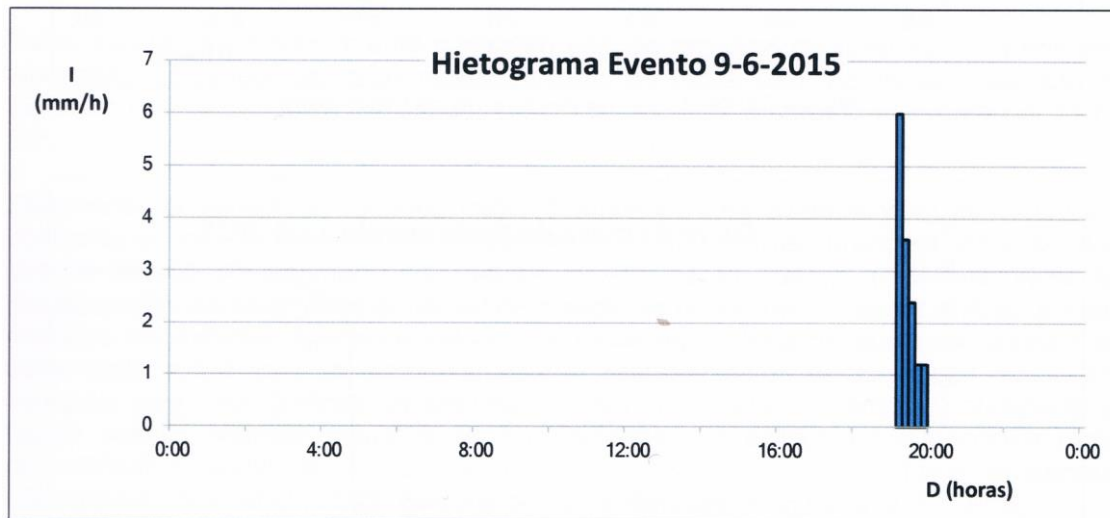
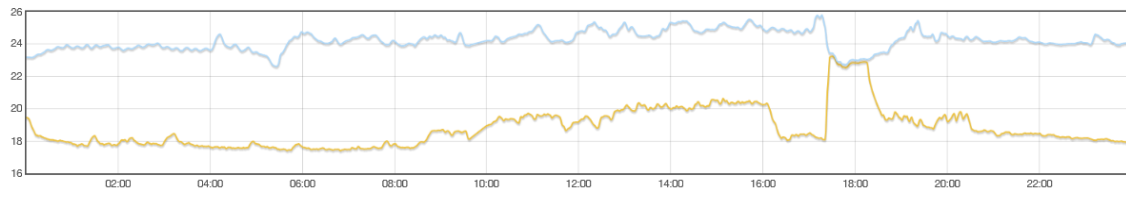


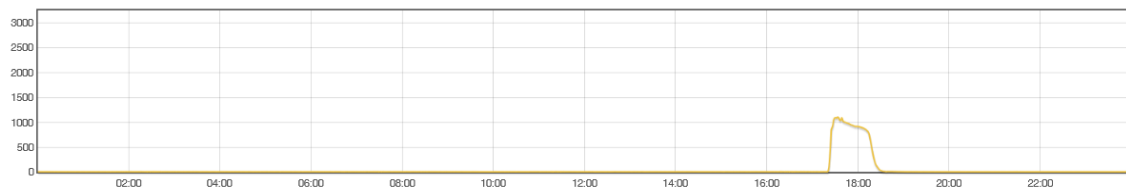
Ilustración 26: Hietogramas de los eventos registrados.



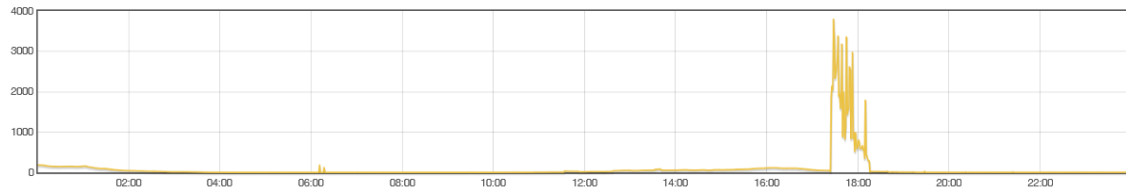
Temperature (°C)



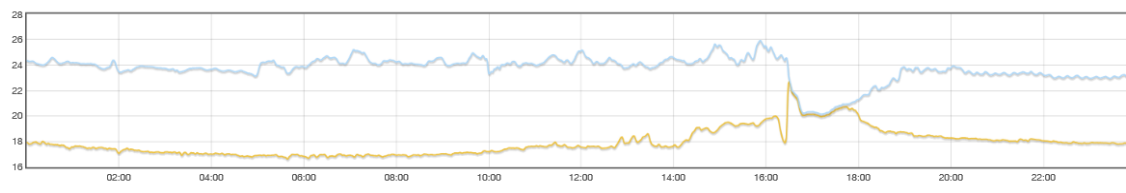
Water level (mm)



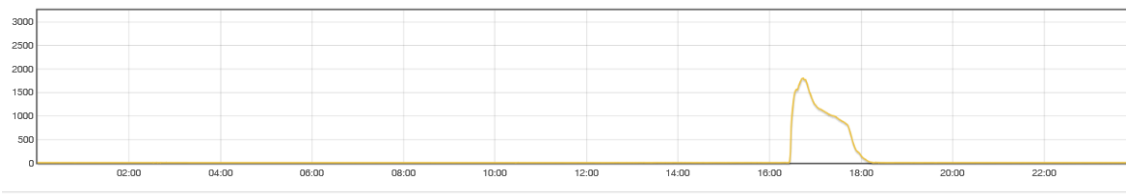
Turbidity (NTU)



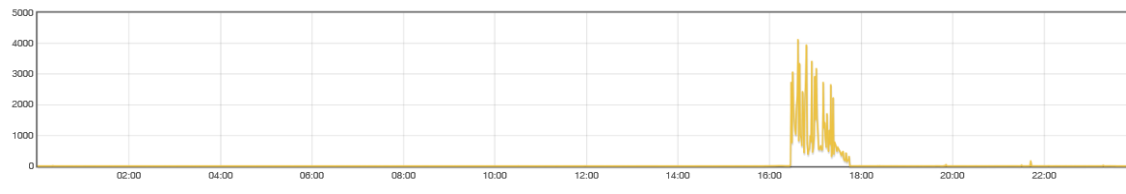
Temperature (°C)



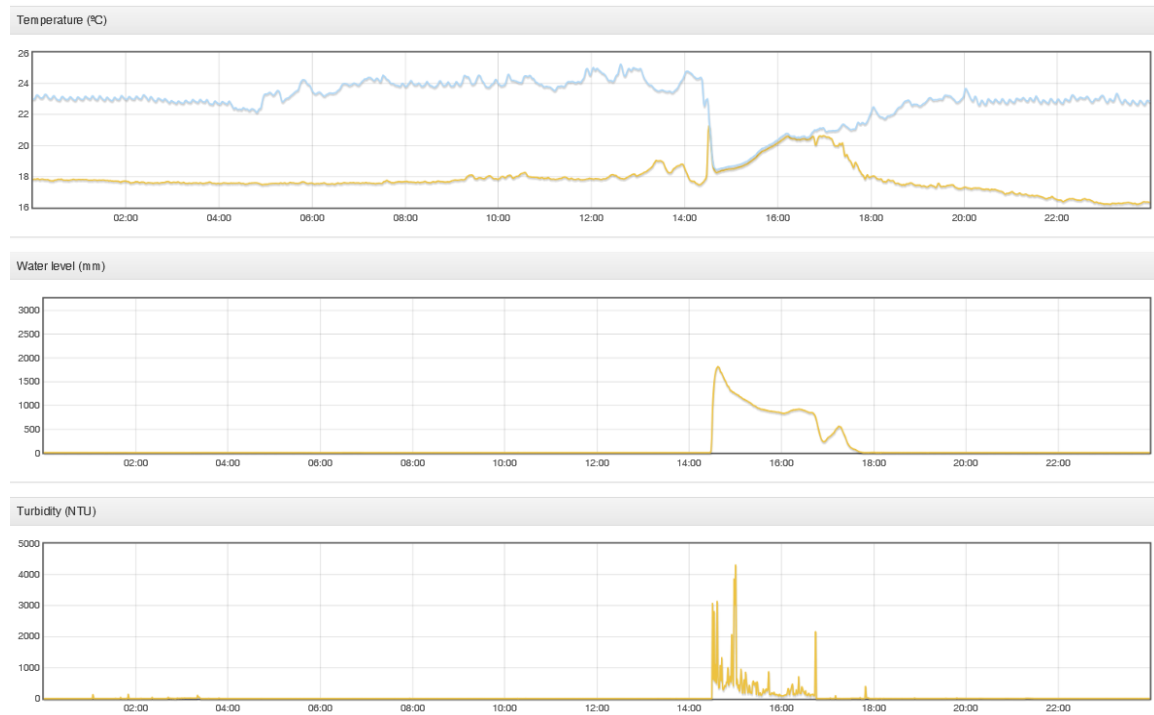
Water level (mm)



Turbidity (NTU)



## Desarrollo



**Ilustración 27: Evolución temporal de las variables medidas durante los eventos registrados.**

Como puede apreciarse, la implementación del proyecto piloto ha resultado exitosa, permitiendo el registro de forma correcta de las medidas en tiempo real de la temperatura, el nivel y la turbidez durante los eventos ocurridos en los días 9 10 y 11 de junio de 2015 en Zaragoza.

El análisis de las medidas confirma la posibilidad de detectar sucesos de DSU, así como su duración a través de sensores de temperatura.

El sensor de nivel, además de detectar alivios, permite la estimación de los caudales vertidos al medio.

El registro temporal de la turbidez de las aguas aliviadas muestra una evolución de acuerdo a lo previsto, mostrando valores máximos durante los primeros instantes de vertido, debido a los fenómenos de first-flush y de resuspensión de sedimentos en la red de colectores aguas arriba.

### 4.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS MEDIDOS POR LOS SENSORES

Pasado un año desde la implantación del sistema de monitorización y de los primeros resultados, se dispone de la suficiente cantidad de datos como para extraer unas primeras conclusiones derivadas de su análisis.

El sistema de monitorización ha sido capaz de detectar la totalidad de los vertidos de la red unitaria de saneamiento de Zaragoza al Río Huerva, a través de la cámara de alivio situada en la Plaza Emperador Carlos V, debidos a eventos de lluvia intensos en el período de tiempo de un año natural que comprende desde el 1 de junio de 2015 hasta el 31 de mayo de 2016.

En concreto se han detectado 30 episodios importantes de vertido con la siguiente relación mensual:

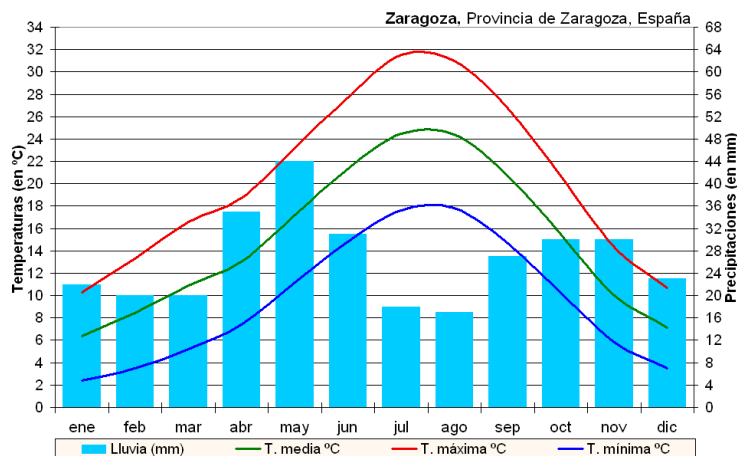
<b>Mes:</b>	<b>JN</b>	<b>JL</b>	<b>AG</b>	<b>SE</b>	<b>OC</b>	<b>NO</b>	<b>DI</b>	<b>EN</b>	<b>FE</b>	<b>MA</b>	<b>AB</b>	<b>MY</b>
<b>Nº de vertidos:</b>	5	3	3	2	1	2	0	1	3	3	2	5

**Tabla 3: Relación mensual de eventos de vertido.**

Puede apreciarse que durante el segundo trimestre del año, el cual engloba los meses de abril, mayo y junio, se han recogido casi la mitad del total de los eventos ocurridos a lo largo del año.

Estos resultados están correlacionados con los datos estadísticos meteorológicos propios del clima mediterráneo continental de Zaragoza.

Asimismo las temperaturas medidas por los distintos sensores de temperatura se encuentran dentro de la media global, si bien resultan algo más elevadas que en anteriores años.



**Ilustración 28: Datos estadísticos meteorológicos de Zaragoza, España.**  
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

Se confirma de este modo el correcto funcionamiento de los sensores a lo largo del periodo de prueba de un año, estando los resultados obtenidos dentro de los márgenes esperados según la distribución media correspondiente.

Los datos expulsados por los diferentes sensores muestran en ocasiones pequeñas desviaciones en las lecturas ocasionadas por el "ruido" eléctrico. Dicho ruido puede ser ocasionado ya sea de forma intrínseca por los propios componentes o por interferencias electromagnéticas, incluidas aquellas perturbaciones ocasionadas por agentes naturales.

NTC1
17,78
17,75
17,77
17,77
17,74
17,67
17,58
17,47
17,40
17,35

Estas pequeñas variaciones resultan fácilmente identificables en aquellas situaciones en las que no corresponden y totalmente despreciables en el resto.

En esta tabla puede apreciarse la existencia de errores de lectura debidos a ruido electrónico en los sensores de temperatura, manifestados como un aumento puntual de la temperatura en una progresión de descenso.

**Tabla 4: Aumento puntual de la temperatura en una progresión de descenso correspondiente a la madrugada del 1 de diciembre de 2015.**

Time	NTU
0:00:49	10,03
0:01:49	10,07
0:02:49	10,08
0:03:49	10,19
0:04:49	10,10
0:05:49	10,07

Time	NTU
21:26:03	1324,59
21:27:03	2586,32
21:28:03	2617,62
21:29:03	3678,90
21:30:03	2207,74
21:31:03	2333,39

**Tabla 5: Mediciones del sensor de turbidez durante un evento de vertido (derecha) y en ausencia de este (izquierda).**

Debido a que uno de los objetivos principales de este proyecto consiste en la identificación de los distintos eventos de vertido, a continuación se procede a la evaluación de los datos registrados por los diferentes sensores a lo largo del período anual haciéndose especial hincapié en aquellos lapsos de tiempo en que es registrada una determinada actividad como consecuencia directa de un alivio con el fin de reconocer patrones concretos que faciliten posteriores análisis en relación a la frecuencia y duración de estos, teniendo en cuenta a su vez los instantes de inicio y final de vertido con objeto de extraer conclusiones definidas.

### *4.3.1. Evaluación de los registros proporcionados por los sensores*

#### *4.3.1.1. Evaluación de los registros del sensor de nivel*

Los datos registrados por el sensor de nivel indican a intervalos de 60 segundos el nivel de agua presente, en milímetros, aguas arriba del aliviadero.

Estos registros deberían adoptar el valor de 0 en caso de no existir vertido, pero como consecuencia de errores en la calibración, distorsiones en las lecturas debidas a ruido eléctrico como ya se ha mencionado previamente o a un remanente residual de agua que queda encharcada en la cámara, en ningún momento se alcanza el cero absoluto. Los valores de nivel en esta situación oscilan entre los 0,01 y 0,03 metros.

En caso de vertido al medio receptor como consecuencia de un aumento de caudal en la red de saneamiento, aguas arriba del aliviadero se registran valores de nivel cuya magnitud dependerá de forma directa de la importancia de este.

Para aquellos vertidos de volúmenes importantes de agua, cuyo vertido directo al medio pueda acarrear consecuencias medioambientales relevantes, los registros del sensor de nivel oscilan en rangos superiores a los 0,8 metros, siendo habitual la detección de niveles de 1,2 metros.

A la hora de poder plantear a partir de qué valor de nivel puede considerarse que está produciéndose un vertido, debería poder estimarse un calado mínimo a partir del cual pueda estimarse un valor de caudal (y como consecuencia un volumen) donde valores superiores impliquen la necesidad de tener en cuenta un vertido y valores inferiores sean despreciados por el escaso impacto que puedan ocasionar.

Debido a que las dimensiones de la cámara de alivio se encuentran parametrizadas, a partir del nivel de calado es posible calcular, de forma estimada, el caudal de paso y como consecuencia el volumen que está vertiéndose.

Tras el análisis de los vertidos acontecidos a lo largo de los 12 meses registrados, se ha observado que un valor estimado de caudal superior a  $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$  resulta

claro indicador de vertido con relativa trascendencia, que debe ser tenido en cuenta para su análisis.

De esta forma es posible definir un umbral mínimo a partir del cual establecer si las lecturas del sensor de nivel indican que está produciéndose, o no, un vertido directo al medio receptor, de un caudal de magnitud suficiente como para tenerlo en consideración.

En el caso concreto de la cámara de alivio parametrizada en este proyecto, cuando el sensor de nivel registra valores por encima de los 0,08 metros, el de 0,013 m<sup>3</sup>/s de caudal, es superado.

De acuerdo con esta condición establecida, tanto los instantes de inicio y final de los eventos de vertido resultan identificables de forma sencilla, facilitando la posibilidad de realizar un control del evento.

Todos los eventos de vertido han podido ser identificados de forma precisa empleando únicamente el sensor de nivel como sistema de referencia, el cual ha funcionado correctamente sin sufrir averías durante el periodo anual de recogida de datos.

#### *4.3.1.2. Evaluación de los registros de los sensores de temperatura*

Al igual que los datos proporcionados por el sensor de nivel, los sensores de temperatura emiten registros de esta cada 60 segundos, en este caso, en grados centígrados.

Mientras que las temperaturas más bajas han sido detectadas en el mes de octubre, las máximas lo han sido en el mes de julio.

En los datos proporcionados por el sensor NTC1, situado aguas arriba del aliviadero, se observa que oscilan desde los 1,99 °C hasta los 26,23 °C.

Los proporcionados por el Sensor NTC2, situado en el colector de la cámara de alivio, lo hacen entre los 4,80 °C y los 28,49 °C.

De forma previsible, las temperaturas nocturnas detectadas de madrugada resultan más bajas que las diurnas, que alcanzan su valor máximo a medio día.

Desarrollo

Del mismo modo, las temperaturas durante la estación de verano resultan más elevadas que las detectadas en invierno.

No todos los eventos de vertido acontecidos durante el periodo de anual han sido registrados correctamente de forma simultánea por ambos sensores de temperatura.

El sensor NTC2 por su parte se averió por un plazo de 82 días, 6 horas y 33 minutos entre los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2015, dejando de estudiar 7 eventos de vertido.

El sensor NTC1 ha mostrado registros electrónicamente incorrectos debido a una avería electrónica por un plazo de 73 días 12 horas y 34 minutos correspondientes a los meses de febrero, marzo y abril de 2016, dejando de estudiar 4 eventos de vertido acontecidos durante este período.

Dichas averías en la medición son identificadas a partir de incrementos constantes (no concordes a la realidad) de los valores de temperatura registrados por el sensor hasta alcanzar valores por encima de los 80 °C.

Ambos sensores fueron reajustados mediante operaciones de mantenimiento en noviembre de 2015 y en abril de 2016.

Un fenómeno que ha podido apreciarse de forma clara durante las estaciones de otoño de 2015 y primavera de 2016 ha sido el proceso de inversión térmica:

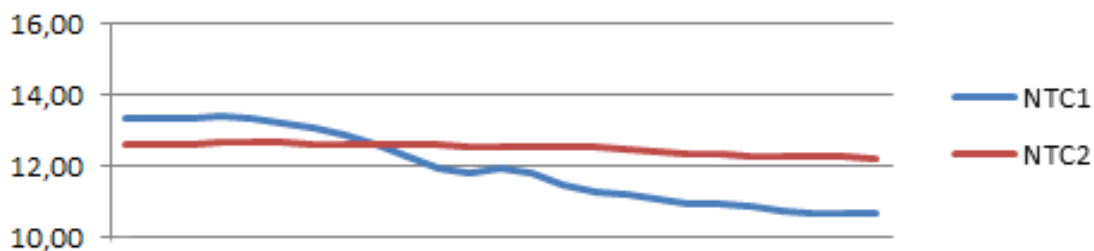
En invierno, la temperatura de las aguas que circulan por la red de saneamiento resulta inferior a la temperatura ambiente del aire, mientras que en verano ocurre al revés, siendo la temperatura de las aguas superior.



**Ilustración 29: Gráficos de las temperaturas registradas por los sensores de temperatura en junio (izquierda) y en diciembre (derecha).**

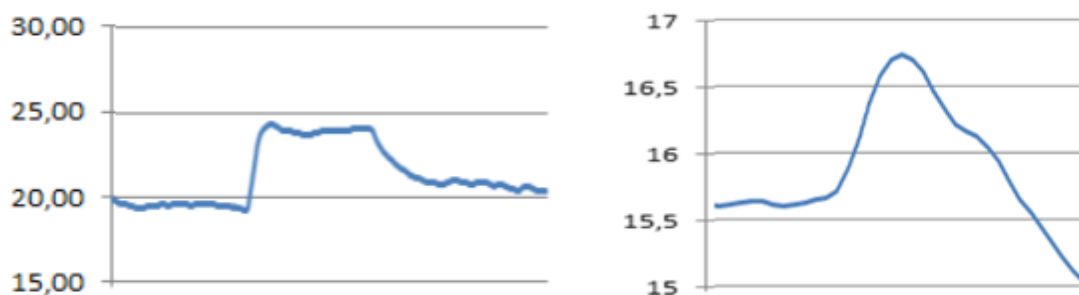


Durante las estaciones de otoño de 2015 y primavera de 2016 se ha podido detectar el proceso gradual de inversión térmica. Puede observarse como en el mes de abril la temperatura del aire medida por el sensor NTC1, que a lo largo del invierno es en todo momento superior a la temperatura de las aguas medida por el sensor NTC2 sumergido en el colector principal, invirtiéndose la situación.



**Ilustración 30: Gráfico de inversión térmica del mes de abril.**

Un acontecimiento apreciado a partir de la observación de los registros proporcionados por los sensores de temperatura consiste en el aumento de la temperatura ambiente durante cada uno de los eventos de vertido asociados a una precipitación. Este fenómeno se debe al proceso de condensación en el que, al condensarse el vapor de agua presente en la atmósfera y pasar de estado gaseoso a estado líquido, se libera una cantidad de energía equivalente a 540 cal/g que pasa al aire calentándolo.



**Ilustración 31: Aumento de la temperatura ambiente durante los eventos de junio y Noviembre de 2015.**

### *4.3.1.3. Evaluación de los registros del sensor de turbidez*

Del mismo modo que los anteriores sensores, el sensor de turbidez registra una medición cada 60 segundos.

Este sensor localizado aguas arriba del aliviadero junto al sensor de temperatura NTC1 indica la concentración en miligramos por litro de sedimentos y partículas en suspensión presentes.

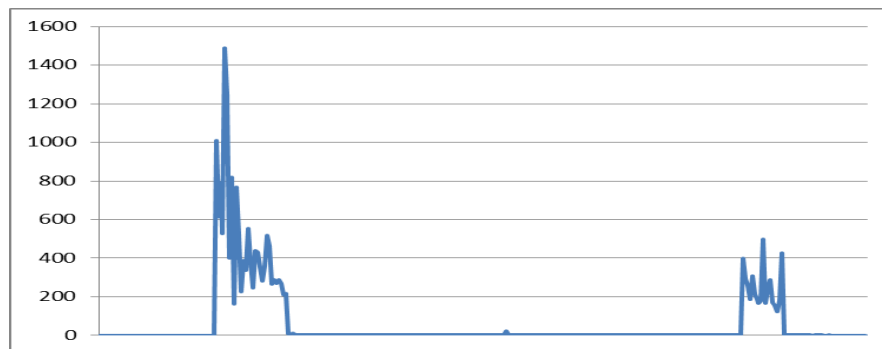
En ausencia de alivio, los registros de turbidez no son nulos debido al ruido electrónico, pero sí resultan despreciables tal y como se ha comentado anteriormente.

Se ha detectado que la intensidad de la turbidez registrada en los distintos eventos de vertido identificados sigue una disposición lógica en función de varios aspectos:

- El primero de ellos viene relacionado directamente con el fenómeno del "first flush". Los instantes iniciales de vertido portan una mayor carga de sedimentos y partículas disueltas como resultado del lavado de las calles en los primeros minutos de lluvia, provocando en consecuencia unos registros de turbidez mucho más elevados durante esta primera fase.
- El segundo de los aspectos tiene que ver con el tiempo transcurrido entre vertidos. A mayor separación temporal entre eventos de vertido, mayor será la turbidez registrada por el sensor a lo largo de los primeros minutos. Esto se debe a que a mayor tiempo transcurrido entre eventos, mayor cantidad de partículas sólidas habrán podido sedimentar a la espera de ser arrastrados por un caudal lo suficientemente fuerte como para ello.
- Entra en juego un tercer aspecto el cual depende directamente de la intensidad de la lluvia. A mayor intensidad, mayor será el caudal que recorra la red de saneamiento, hasta el punto de poder llegar a arrastrar consigo aquella fracción más pesada de materia sólida sedimentada en la red de colectores que pudiese permanecer sedimentada en esta.

Adicionalmente ha podido analizarse a partir de los registros obtenidos por el sensor de turbidez que esta se encuentra relacionada con el caudal de vertido de tal forma que, tras alcanzarse el caudal punta, ambos parámetros comienzan a disminuir de forma gradual y progresiva.

Durante los últimos vertidos de la serie registrada, concretamente aquellos ocurridos entre los días 9 y 10 de mayo, los cuales se produjeron con escasa separación temporal, se puede observar cómo los registros de turbidez tras el primero presentan, en comparación, valores bastante moderados.



**Ilustración 32: Registros de turbidez para dos eventos consecutivos los días 9 y 10 de mayo de 2016.**

#### 4.3.1.1. Resumen de la actividad registrada

A continuación se muestra una tabla resumen en la que pueden observarse los periodos de funcionamiento de los distintos sensores a lo largo del último año de datos registrados.

	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI	EN	FE	MA	AB	MY	%
<b>Nivel</b>	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	100%
<b>NTC1</b>	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	79,90%
<b>NTC2</b>	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	77,50%
<b>Turbidez</b>	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	85,50%

**Ilustración 33: Funcionamiento de los sensores durante el periodo de monitorización.**

Así mismo se expone la relación de eventos de vertido registrados por cada uno de los sensores respecto al total de alivios detectados.

	Detectados	No detectados	%
<b>Nivel</b>	30	-	100%
<b>NTC1</b>	23	7	76,66%
<b>NTC2</b>	24	6	80,00%
<b>Turbidez</b>	24	6	80,00%

**Ilustración 34: Eventos de vertido detectados por los sensores.**

## 4.3.2. *Detección de vertidos*

### 4.3.2.1. *Sensor radar de nivel para la detección de vertidos*

El empleo de sensores radar de nivel para la detección de flujos de agua aliviados es una práctica habitual debido a su gran precisión.

Una vez establecido un valor umbral de nivel a partir del cual se determine la existencia efectiva de vertido, un sistema electrónico de evaluación de datos puede detectar y reconocer tanto el instante inicial exacto en el que se inicia el evento de vertido, como el momento en que deja de haberlo.

De esta forma los vertidos pueden ser caracterizados tanto en frecuencia como en duración.

Adicionalmente, si se tiene parametrizada la cámara de alivio donde se encuentre instalado el sensor (tal y como es el caso de este proyecto), existe la posibilidad de controlar de forma muy precisa la cantidad de volumen que está vertiéndose a cada instante, consiguiendo de este modo información acerca de los volúmenes vertidos por cada evento así como la progresión temporal de estos.

Como ya se ha comentado anteriormente, para el caso concreto del proyecto piloto implementado que ha estado bajo análisis este último año, ha podido determinarse que a partir de los 0,08 metros de nivel, lo cual implica un caudal de volumen de vertido de  $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$ , existe vertido.

#### **PRINCIPALES VENTAJAS:**

- Las medidas de nivel mediante el uso de estos sensores resultan precisas y de gran fiabilidad a la hora de determinar si está produciéndose vertido.
- A partir de las medidas de nivel registradas, es posible obtener registros de caudales y por tanto de volúmenes vertidos al medio. Siempre y cuando las dimensiones de la cámara de vertido se encuentren parametrizadas.
- Los sensores radar de nivel no se ven afectados por cambios en las condiciones del entorno como cambios de temperatura, humedad o presencia

de polvo, por tanto no suelen estropearse, lo cual aporta un punto importante a la fiabilidad de las medidas realizadas.

- No requieren de importantes mantenimientos debido a que en ningún momento entran en contacto con las aguas.

#### **INCONVENIENTES DESTACABLES:**

- El principal inconveniente acerca de la detección de vertidos mediante sensores radar va asociado a su alto coste.

Debido a la cuantía económica necesaria para la adquisición e instalación de estos sistemas, hace que su implantación difusa en un gran número de aliviaderos resulte del todo inviable económicamente.

#### *4.3.2.2. Dos sensores de temperatura para la detección de vertidos*

La investigación acerca de la posibilidad de detección de los eventos de vertido mediante el uso de sensores de temperatura abre una vía asequible frente a la inviabilidad económica de una instalación a gran escala de sensores radar de nivel.

Con la instalación de un sensor de temperatura sumergido en el colector y otro aguas arriba del aliviadero, los registros del gradiente de temperatura entre ambos son capaces de identificar eventos de vertido.

En el instante en que el agua del colector vierte hacia el aliviadero y ésta entra en contacto con el sensor de temperatura que previamente se encontraba registrando la temperatura del aire, el gradiente de temperatura existente entre ambos sensores comienza a reducirse de forma parabólica hasta alcanzar la misma medida.

Debido a que los sensores de temperatura poseen unas inercias térmicas, la reducción del gradiente de temperatura entre ambos sensores no resulta instantánea al entrar en contacto el caudal de vertido con el sensor localizado aguas arriba del aliviadero, sino que ocurre de forma gradual. Es por ello que desde que las temperaturas de los sensores convergen a la misma temperatura, ha pasado un lapso de tiempo más o menos grande en función del gradiente existente entre las temperaturas antes del vertido.

## Desarrollo

En este punto surgen ciertas complicaciones, pues el gradiente de temperatura entre ambos sensores nunca llega al cero absoluto. Siempre existe una diferencia de unas pocas décimas. A partir de la evaluación de los registros proporcionados por los sensores de temperatura, este gradiente en presencia de vertido suele oscilar entre los 0,3 grados centígrados.

Bastaría en este caso con determinar unos márgenes de tiempo, previos y posteriores a dicha convergencia de temperaturas, de tal forma que el propio sistema electrónico de evaluación de datos pueda implementarlos e intuir de forma aproximada, pero mucho más precisa, el instante inicial y final de cada vertido. Suele oscilar entre los 10 y 20 minutos dependiendo del caudal de vertido aliviado como consecuencia de la intensidad de la lluvia.

Llegada la investigación a este punto, debe plantearse un problema que descoloca la principal base sobre la que se fundamenta la detección de vertidos empleando sensores de temperatura, la convergencia de las temperaturas medidas por los sensores. Pues durante las estaciones de primavera y otoño, se da el fenómeno anteriormente mencionado de la inversión térmica, por el cual las temperaturas del aire y de las aguas invierten los roles de cuál de ellos es superior al otro.

Esto se convierte en un serio problema a la hora de poder detectar eventos de vertido durante estas estaciones, en concreto durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, en los cuales existe una continua alternancia en la inversión térmica.

Esto ha llevado a la investigación, a partir de los registros de temperatura proporcionados por los sensores durante los distintos eventos de vertido, de patrones característicos que permitan tomar una opción alternativa para la identificación de los eventos de vertido.

Se ha podido observar que durante los meses cálidos en los que la temperatura del aire resulta inferior a la de las aguas, el sensor NTC1 situado aguas arriba del aliviadero, al entrar en contacto con las aguas de vertido sufre "grandes" aumentos en la temperatura de un registro a otro si los comparamos con la progresión suave que los caracteriza en ausencia de vertido.

Al igual, pero de forma contraria, durante los meses fríos en los que la temperatura de las aguas es superior a la del aire, es el sensor NTC2, sumergido en el colector, el que registra dichas variaciones bruscas de aumento de temperatura.

De forma general, aunque existiendo excepciones, son ambos sensores los que registran cambios bruscos en presencia de vertido.

Este hecho resulta de gran interés para determinar de forma muy aproximada, con un margen de entre 0 y 5 minutos, el instante de inicio del evento de vertido, e imprescindible a su vez para descartar los falsos positivos que de otra forma se darían en aquellos meses que presentasen inversión térmica.

Para determinar el final del evento de vertido, basta con atender al alejamiento progresivo del gradiente de temperatura. De forma genérica puede concluirse que el evento ha finalizado cuando el gradiente de temperatura entre ambos sensores de temperatura se distancia en más de 1°C.

#### **PRINCIPALES VENTAJAS:**

- La principal ventaja de un sistema de detección de vertidos mediante sensores de temperatura radica en su bajo coste económico, abriendo la posibilidad a la implementación de una red de sensores con el fin de monitorizar cada uno de los puntos de vertido de un área establecida.

#### **ICONVENIENTES DESTACABLES:**

- Debido a que estos sensores se ven obligados a trabajar sumergidos en aguas residuales urbanas, se encuentran permanentemente en contacto con un medio muy agresivo químicamente, por lo que requieren estar provistos de las protecciones necesarias así como de mantenimiento. También se debe tener en cuenta el deterioro físico causado por la acción mecánica del flujo, pues como consecuencia del arrastre de material que pueda ser transportado por este, tanto el cable como el propio sensor pueden resultar dañados.
- El principal inconveniente de la detección de vertidos a partir del uso de sensores de temperatura consiste en la detección precisa del final del evento. En la mayoría de los eventos de vertido analizados, resulta complicado establecer a partir de la temperatura el final exacto del vertido, así como en el instante inicial los gradientes de los propios sensores de temperatura sufren variaciones bruscas que ayudan a su identificación, no ocurre lo mismo para reconocer un final.

### *4.3.2.3. Un sensor de temperatura para la detección de vertidos*

La detección de vertidos de la red de saneamiento empleando únicamente un sensor de temperatura es una posibilidad que debe analizarse detenidamente.

En primer lugar habría que plantear si su instalación debe realizarse sumergido en el colector o aguas arriba del aliviadero.

A raíz de la investigación acerca de la posibilidad de la detección de vertidos empleando dos sensores de temperatura de forma simultánea, sí que sería posible determinar el inicio de un vertido únicamente con un sensor situado aguas arriba del aliviadero. De todas formas, se han registrado eventos los cuales no han sido identificados como tal por este sensor pero sí lo ha hecho el que se encuentra sumergido en el colector. A pesar de que sólo ha ocurrido para el 10% de los eventos registrados, plantea cierta incertidumbre perfectamente evitable si tenemos en cuenta la mínima inversión que supone la instalación de un segundo sensor.

A pesar de ello, el principal problema surge al no poderse determinar el final de un evento de vertido. Como se ha comentado anteriormente, una vez finaliza el evento, los sensores de temperatura tienden a regresar gradualmente a la temperatura previa al vertido, proporcionando un gradiente cuyo valor va aumentando hasta alcanzar una diferencia de temperatura suficiente como para concluir que ha finalizado dicho vertido. Si solo se dispone un único sensor de temperatura, ya sea sumergido en el colector o aguas arriba del aliviadero, las paulatinas variaciones de temperatura que registra tras el evento, no pueden distinguirse de las propias variaciones de temperatura que pudiese sufrir debidas a la propia climatología.

La implementación de un sistema de detección de vertidos empleando un único sensor de temperatura resulta inefectiva debido a no poder ni siquiera intuir el instante en el que finaliza el evento de vertido.

#### **INCONVENIENTES DESTACABLES:**

- Además de los aspectos anteriormente nombrados respecto a trabajar sumergidos, la identificación completa de un evento de vertido empleando un solo sensor, no resulta posible al no poder determinar de ninguna forma el instante final del suceso.



#### 4.3.2.4. *Sensor de turbidez para la detección de vertidos*

Tras el análisis de los registros obtenidos por el sensor de turbidez, la detección de eventos de vertido utilizando estos sensores no resulta del todo concluyente.

Si bien es cierto que un sensor de turbidez detectará índices altos únicamente en presencia de vertidos, entran en juego multitud de variables muy complicadas de predecir como para determinar qué valores establecer como líneas umbral a partir de las cuales considerar que se está produciendo vertido.

En primer lugar debe tenerse en cuenta que el nivel de turbidez registrado depende directamente del tiempo transcurrido entre dos eventos sucesivos, a mayor tiempo, mayor cantidad de partículas habrán podido sedimentar.

En relación a esto, también se debe de tener en cuenta la intensidad del evento, pues a mayor caudal, mayor será la cantidad de partículas sedimentadas que arrastre consigo.

A su vez, también entra en juego la intensidad del último vertido, el cual habrá sido capaz de "limpiar" en mayor o menor cuantía las redes de saneamiento.

Pudiendo determinarse de forma relativamente precisa el instante inicial de vertido, debido a que durante los primeros minutos de lluvia arrastra consigo el denominado "first-flush", determinar el fin del evento resulta totalmente indetectable al desconocer si la no detección de índices de turbidez se debe a que ha finalizado el evento o a que las aguas vertidas posean una índice menor de contaminación.

##### **INCONVENIENTES DESTACABLES:**

- Puesto que los sensores ópticos deben sumergirse en las aguas para obtener las mediciones pertinentes, esto acarrea la posibilidad de la obstrucción óptica por la adhesión de barros a las células ópticas de emisión y recepción de luz por lo que requieren de limpiezas manuales o automáticas de forma periódica.
- Otro de los problemas es la presencia de burbujas de aire, que pueden perturbar la medición, para evitarlo se debe tener en cuenta tanto la forma como el posicionamiento y la ubicación de los sensores.

#### 4.3.2.5. Comparación de los rasgos distintivos entre los diferentes métodos

A continuación se plantea una tabla resumen en la que quedan sintetizados los diferentes rasgos de las metodologías planteadas para la detección y la caracterización de los vertidos.

	INICIO	FIN	VOLUMEN	TURBIDEZ	Puntos fuertes	Puntos desfavorables
Sensor de nivel	✓	✓	✓	X	-Datos precisos -Fácil de implementar -Requiere poco mantenimiento	-Inversión económica importante
2 sensores de temperatura	✓	✓	X	X	-Bajo coste -Fácil de implementar	-Mantenimiento periódico
1 sensor de temperatura	✓	X	X	X	-Bajo coste -Fácil de implementar	-No permite definir eventos -Mantenimiento periódico
Sensor de turbidez	✓	X	X	✓	-Permite medir la turbidez	-No permite definir eventos -Mantenimiento periódico -Inversión económica importante

**Tabla 6: Comparación de los distintos sistemas para la caracterización de eventos.**

Como puede observarse, el método de detección más completo y preciso es el que basa sus mediciones en un sensor radar de nivel, identificando los instantes de inicio y final de cada evento así como el volumen vertido al medio. A pesar de ello, cuenta con un gran inconveniente como es el coste económico, que hace inviable su implantación difusa.

El sistema de detección compuesto por dos sensores de nivel, permiten del mismo modo identificar los instantes de inicio y final de los eventos, lo cual basta para analizar frecuencias y duraciones. A favor cuenta con su bajo coste de implantación, lo cual permite una implantación difusa a lo largo de la red de puntos de alivio del área que quiera analizarse.

Tanto el sistemas compuesto por un único sensor de temperatura como el compuesto sensor de turbidez son incapaces de caracterizar de forma completa y fiable un evento de vertido, por lo que quedan descartados como metodologías para la detección y caracterización de eventos de vertido.

## 4.4. PROGRAMA PARA LA DETECCIÓN DE EVENTOS DE VERTIDO

Teniendo en cuenta que el sistema de recogida de datos implementado en el proyecto piloto proporciona diariamente una cifra cercana a los 14.400 registros, su evaluación manual para la detección de alivios resulta del todo inviable.

Por lo tanto, tras el análisis de los datos proporcionados por los sensores y la evaluación de estos de cara a poder identificar eventos de vertido en aquellos puntos de alivio monitorizados, se procede a la creación de un programa informático que permita procesar de forma automática la ingente cantidad de datos recogidos a lo largo de los días por los distintos sensores.

De esta forma se facilita la tarea de evaluar los datos proporcionados por los sensores hasta el punto de que incluso un usuario ajeno a los conocimientos técnicos en materia de los sensores utilizados para la monitorización sea capaz de entenderlo.

### 4.4.1. *Bases del programa*

El programa para la detección de eventos de vertido se programa en lenguaje de macros VBA (Visual Basic for Applications) de Microsoft sobre un documento Excel de forma que pueda ser manejado y reprogramado por cualquier usuario interesado.

Este programa basa su funcionamiento en el análisis de un intervalo de tiempo, previamente designado por el usuario, en el cual identifica determinados patrones registrados por los sensores para determinar eventos de vertido.

Anteriormente se concluyó que tanto la evaluación de eventos de vertido a partir de un sensor radar de nivel como a partir de dos sensores de temperatura estratégicamente colocados es posible la identificación de los vertidos, por lo que se han establecido ambas opciones como vías válidas para el análisis de estos sucesos.

Si se dispone de un sensor de nivel aguas arriba del aliviadero del punto a monitorizar, la evaluación de los datos debería realizarse en función de las lecturas de este, pues previamente se ha resaltado su alta precisión.

## Desarrollo

Atendiendo a los datos proporcionados por el sensor de nivel, el programa identificará como eventos de vertido todos aquellos lapsos de tiempo en los que una determinada cota previamente determinada sea superada. De acuerdo a los registros proporcionados por el proyecto piloto durante el último año, para la cámara de alivio monitorizada esta cota queda fijada a los 0,08 metros.

En caso de que no se disponga de sensores de nivel, pero sí de sensores de temperatura, el análisis de los registros para la identificación de eventos de vertido podrá realizarse a partir de los datos proporcionados por estos sensores.

Así pues, el programa busca la combinación de dos situaciones de forma simultánea en un breve espacio de tiempo como sistema para salvar el problema derivado de la inversión térmica que de otro modo se traduciría como una incertidumbre asociada a dichos periodos anuales.

En primer lugar los datos deben registrar aquella convergencia de temperaturas, de la que anteriormente se ha hablado, característica de los eventos de vertido cuando el sensor situado aguas arriba del aliviadero entra en contacto con el caudal aliviado durante el evento.

En segundo lugar, deben identificarse en los minutos previos a la convergencia de temperaturas, saltos significativos en los registros de temperatura proporcionados por los sensores que indiquen la incidencia de algún factor externo sobre ellos.

El evento de vertido se dará por finalizado cuando, tras la convergencia de temperaturas, el gradiente entre ambos sensores supere la diferencia de 1°C.

Una vez los eventos de vertido han sido identificados por el programa, éste indicará el número de sucesos acontecidos a lo largo del periodo de tiempo que haya decidido analizarse, incluyendo la duración total, así como el volumen total vertido en caso de disponerse de un caudalímetro o de un sensor de nivel, y de la magnitud total de sedimentos vertidos de forma directa al medio natural, siempre que se disponga de un sensor de turbidez.

Gráficamente se visualizará la progresión de las temperaturas medidas por ambos sensores, así como el nivel de la lámina de agua, aguas arriba del aliviadero, en milímetros, la relación en miligramos por litro de turbidez analizada y el caudal aliviado en m<sup>3</sup>/s.

A su vez, podrá analizarse individualmente cada uno de los vertidos identificados, de tal forma que pueda observarse tanto el momento exacto del inicio de vertido como el instante en que finaliza, la duración total del evento y, en caso de disponer de sensores de nivel o caudalímetros y de turbidez, el volumen total vertido y la cantidad total de sedimentos.

Gráficamente se podrá visualizar la progresión de las temperaturas, la altura del vertido aguas arriba del aliviadero, la turbidez y el caudal aliviado para el evento concreto.

#### 4.4.2. *Manual de usuario*

Cuando se abre un archivo con macros, aparece la barra de mensajes amarilla con un icono de escudo y el botón Habilitar contenido. Si se sabe que las macros proceden de un origen confiable, deberán seguirse las siguientes instrucciones:

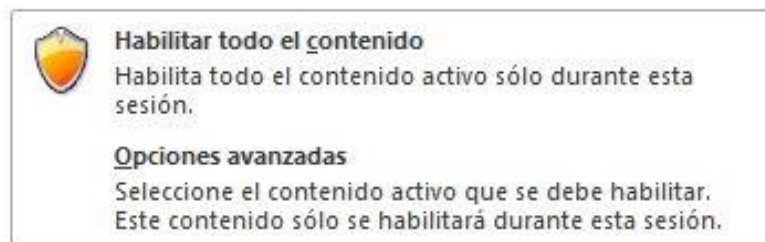
En la Barra de mensajes, hacer clic en Habilitar contenido.



**Ilustración 35: Habilitación de macros.**

Otro método para habilitar macros en un archivo es mediante la vista Backstage de Microsoft Office, que aparece al hacer clic en la pestaña Archivo, cuando aparece la barra de mensajes amarilla.

1. Hacer clic en la pestaña Archivo.
2. En el área Advertencia de seguridad, hacer clic en Habilitar contenido.
3. En Habilitar todo el contenido, hacer clic en Habilitar siempre el contenido activo del documento.



**Ilustración 36: Habilitación de contenido.**

Desarrollo

Deberán seguirse las siguientes instrucciones para habilitar macros mientras el archivo esté abierto. Cuando se cierre el archivo y, a continuación, se vuelva a abrir, la advertencia aparecerá de nuevo:

1. Hacer clic en la pestaña Archivo.
2. En el área Advertencia de seguridad, hacer clic en Habilitar contenido.
3. Seleccionar Opciones avanzadas.
4. En el cuadro de diálogo Opciones de seguridad de Microsoft Office, hacer clic en Habilitar contenido para esta sesión para cada macro.
5. Hacer clic en Aceptar.

Existen una serie de restricciones para lograr el correcto funcionamiento del programa:

Será indispensable la carga de los datos analizados por los sensores, en el documento de Microsoft Excel correspondiente, con la siguiente disposición ordenada de los datos:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<b>1</b>	Date	Time	Temperature	Nephelo turbidity NTU	Nephelo turbidity FNU	TU turbidity	Level	NTC 1	NTC 2	Flow
<b>2</b>	01/07/2015	0:00:12	21,84	283,66	283,66	441,23	3,00	21,62	24,11	0,00
<b>3</b>	01/07/2015	0:01:12	21,82	278,66	278,66	433,39	3,05	21,59	24,11	0,00
<b>4</b>	01/07/2015	0:02:12	21,85	279,71	279,71	435,47	3,02	21,57	24,10	0,00

**Tabla 7: Disposición de los datos registrados por los sensores.**

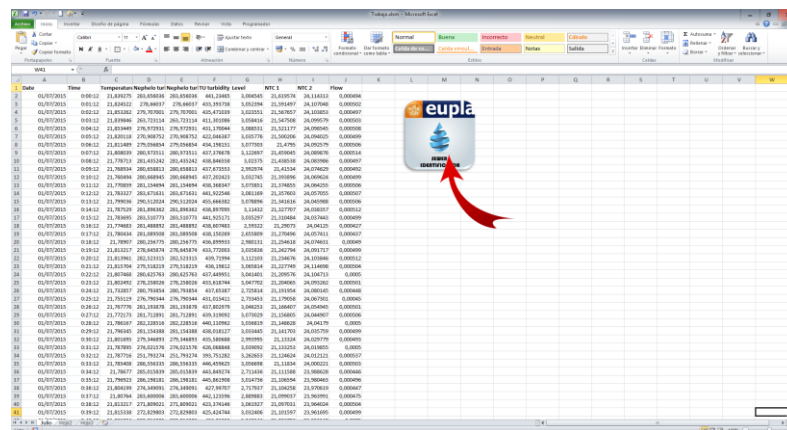
Comenzando en la segunda fila deberán cargarse de forma ordenada por columnas a intervalos de 1 minuto en la primera hoja los siguientes registros:

- A. Fecha, indicando el día, el mes y el año al que corresponde.
- B. Hora a la que se tomó la medición.
- C. Temperatura registrada por el sensor de temperatura localizado en el equipo de transmisión de datos (°C).
- D. Registros de turbidez NTU (mg/l).
- E. Registros de turbidez FNU (mg/l). (No son tenidos en cuenta en el análisis)
- F. Registros de turbidez TU (mg/l). (No son tenidos en cuenta en el análisis)
- G. Mediciones proporcionadas por el sensor de nivel (mm).
- H. Temperatura registrada por el sensor de temperatura NTC1 (°C).
- I. Temperatura registrada por el sensor de temperatura NTC2 (°C).
- J. Registros de caudal (m<sup>3</sup>/s).

Si no se dispone de la totalidad de los datos debido a la falta del sensor correspondiente, deberá respetarse la columna indicando valor 0 en su lugar. Las columnas A y B correspondientes a "Fecha" y "Hora" resultarán imprescindibles.

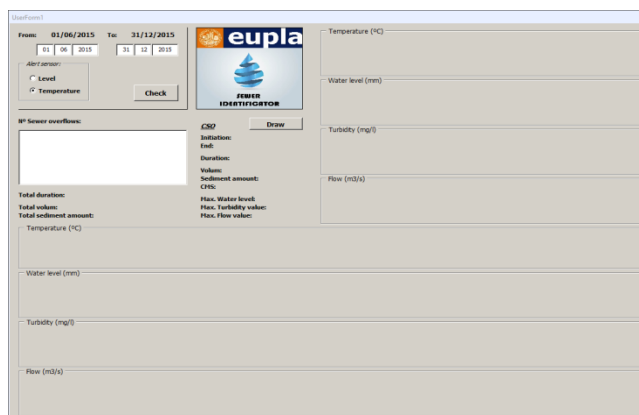
La vía más sencilla y cómoda para la carga de los datos consiste en pegar los registros proporcionados por un fichero .txt auto-rellenable por el propio sistema de adquisición de datos.

Una vez cargados los datos deberá iniciarse el programa. Esto puede hacerse clicando directamente sobre la imagen de arranque del programa que podrá localizarse en la primera hoja junto a los registros cargados.



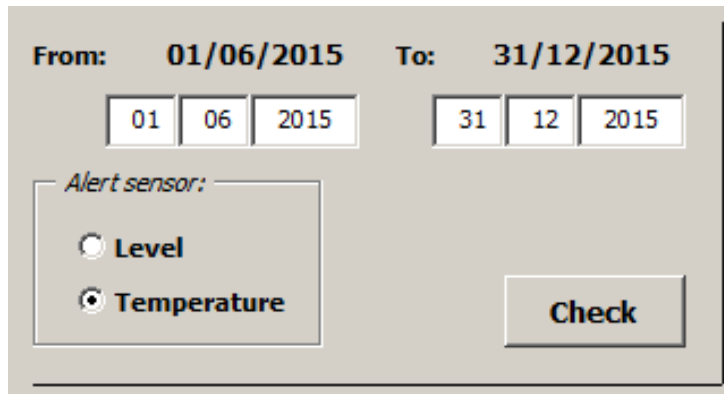
**Ilustración 37: hoja 1 del programa Excel.xlsm.**

Tras iniciarse el programa se mostrará de forma instantánea una pantalla emergente:



**Ilustración 38: Menú de inicio.**

A continuación deberá introducirse en los espacios en blanco correspondientes el periodo de tiempo que desea analizarse e indicar si se quiere realizar dicho análisis a partir de los registros obtenidos por el sensor de nivel o por los sensores de temperatura.



The image shows a web form with the following elements:

- From:** 01/06/2015
- To:** 31/12/2015
- Alert sensor:**
  - Level
  - Temperature
- Check** button

**Ilustración 39: Introducción de fechas y elección del criterio de análisis.**

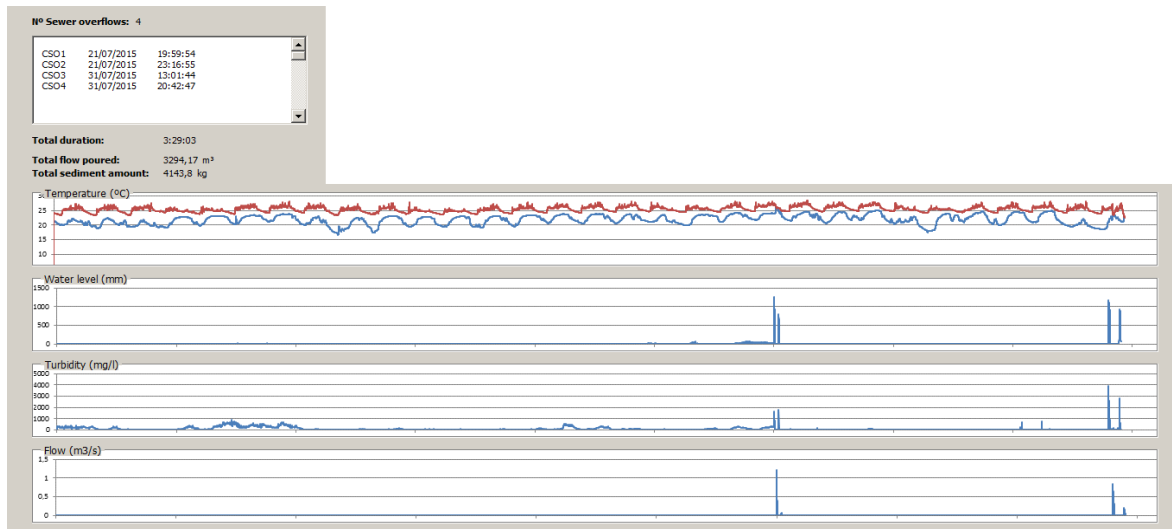
Presionando el botón "Check" comenzará el análisis.

Se mostrará entonces un listado con cada uno de los eventos registrados durante el periodo de tiempo establecido indicando la fecha y la hora a la que se produjeron.

Además proporcionará los datos correspondientes al volumen y a la cantidad total de sedimentos vertidos.

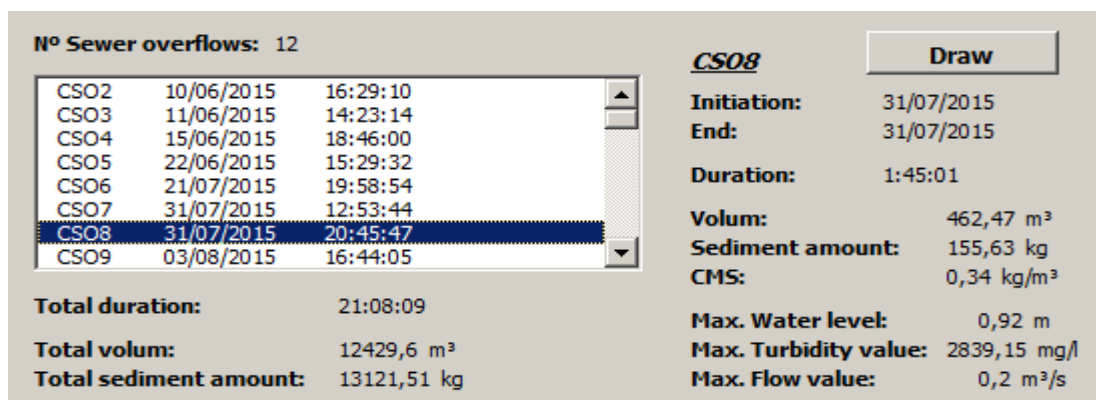
De forma automática se generarán una serie de gráficos correspondientes a las mediciones de temperatura, de nivel, de turbidez y de caudales registrados por los sensores.





**Ilustración 40: Análisis realizado por el programa para el mes de Junio de 2015.**

Para observar cada uno de los eventos de vertido de forma individual, bastará con clicar sobre el evento deseado y de forma automática se rellenarán los campos indicadores de los instantes de inicio y fin, la duración del evento de vertido y las cantidades totales de volumen y sedimentos vertidos al medio, así como los valores máximos de nivel, turbidez y caudal detectados y la concentración media de suceso (CMS).



**Ilustración 41: Detalle del análisis de un evento de vertido.**

Por último clicando en el botón "Draw" se generarán los gráficos correspondientes a las mediciones de temperatura, de nivel, de turbidez y de caudales registrados por los sensores para dicho evento.

### 4.4.3. Código VBA

Para arrancar el programa y que, los gráficos que posteriormente serán generados en los diferentes marcos como imágenes, lo hagan de forma adecuada con el zoom apropiado, en el módulo 1 se define lo siguiente:

```
Sub INICIO()  
    ActiveWindow.Zoom = 70  
    UserForm1.Show  
End Sub
```

A continuación se introducen los siguientes códigos sobre el UserForm1 comenzando con la definición de las siguientes variables que serán de uso recurrente a lo largo del programa:

```
Dim tabla_lluvias() As String  
Dim episodio As Integer  
Dim episodioslluvias As Integer
```

Se introduce el siguiente código para que de forma automática tras el arranque del programa, aparezcan por defecto la primera y la última fecha del listado de datos recogidos por el documento Excel:

```
Private Sub UserForm_Initialize()  
    TextBox1.Value = Cells(2, 1)  
    TextBox3.Value = Mid(Cells(2, 1), 1, 2)  
    TextBox4.Value = Mid(Cells(2, 1), 4, 2)
```

```
TextBox5.Value = Mid(Cells(2, 1), 7, 4)

    For i = 1 To 10 ^ 7
        If Cells(i, 1) = "" Then Exit For
    Next

    TextBox2.Value = Cells(i - 1, 1)
    TextBox6.Value = Mid(Cells(i - 1, 1), 1, 2)
    TextBox7.Value = Mid(Cells(i - 1, 1), 4, 2)
    TextBox8.Value = Mid(Cells(i - 1, 1), 7, 4)

End Sub
```

Con objeto de evitar errores a la hora de introducir las fechas que marcan el intervalo de tiempo a analizar, se define el siguiente código de modo que los "TextBox" no admitan ni letras ni símbolos:

```
Private Sub TextBox3_Change()

    Dim Texto As Variant
    Dim Caracter As Variant
    Dim Largo As Integer
    On Error Resume Next
    Texto = Me.TextBox3.Value
    Largo = Len(Me.TextBox3.Value)
    For i = 1 To Largo
        Caracter = Mid(Texto, i, 1)
        If Caracter <> "" Then
            If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then
                Me.TextBox3.Value = Replace(Texto, Caracter, "")
            End If
        End If
    Next i
End Sub
```

```
End If

Next i

On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub

Private Sub TextBox4_Change()

Dim Texto As Variant

Dim Caracter As Variant

Dim Largo As Integer

On Error Resume Next

Texto = Me.TextBox4.Value

Largo = Len(Me.TextBox4.Value)

For i = 1 To Largo

Caracter = Mid(Texto, i, 1)

If Caracter <> "" Then

If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then

Me.TextBox4.Value = Replace(Texto, Caracter, "")

End If

End If

Next i

On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub

Private Sub TextBox5_Change()
```

```
Dim Texto As Variant

Dim Caracter As Variant

Dim Largo As Integer

On Error Resume Next

Texto = Me.TextBox5.Value

Largo = Len(Me.TextBox5.Value)

For i = 1 To Largo

    Caracter = Mid(Texto, i, 1)

    If Caracter <> "" Then

        If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then

            Me.TextBox5.Value = Replace(Texto, Caracter, "")

        End If

    End If

Next i

On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub

Private Sub TextBox6_Change()

Dim Texto As Variant

Dim Caracter As Variant

Dim Largo As Integer

On Error Resume Next

Texto = Me.TextBox6.Value

Largo = Len(Me.TextBox6.Value)

For i = 1 To Largo
```

```
Caracter = Mid(Texto, i, 1)

If Caracter <> "" Then

    If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then

        Me.TextBox6.Value = Replace(Texto, Caracter, "")

    End If

End If

Next i

On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub

Private Sub TextBox7_Change()

    Dim Texto As Variant

    Dim Caracter As Variant

    Dim Largo As Integer

    On Error Resume Next

    Texto = Me.TextBox7.Value

    Largo = Len(Me.TextBox7.Value)

    For i = 1 To Largo

        Caracter = Mid(Texto, i, 1)

        If Caracter <> "" Then

            If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then

                Me.TextBox7.Value = Replace(Texto, Caracter, "")

            End If

        End If

    Next i
```

```
On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub

Private Sub TextBox8_Change()

Dim Texto As Variant

Dim Caracter As Variant

Dim Largo As Integer

On Error Resume Next

Texto = Me.TextBox8.Value

Largo = Len(Me.TextBox8.Value)

For i = 1 To Largo

Caracter = Mid(Texto, i, 1)

If Caracter <> "" Then

If Caracter < Chr(48) Or Caracter > Chr(57) Then

Me.TextBox8.Value = Replace(Texto, Caracter, "")

End If

End If

Next i

On Error GoTo 0

Caracter = 0

Caracter1 = 0

End Sub
```

Desarrollo

Para que al presionar el CommandButton2 (Check) el programa realice el análisis sobre el periodo de tiempo marcado previamente, en función del sensor de referencia seleccionado y muestre tanto el listado de eventos detectados como sus lecturas y gráficos correspondientes, y se muestren sobre la ListBox1 los distintos eventos identificados:

```
Private Sub CommandButton2_Click()  
ReDim tabla_lluvias(100, 8)  
Dim episodioslluvia As Integer  
Dim dia1, dia2, mes1, mes2, año1, año2 As String  
If CInt(TextBox3.Value) > 31 Then Exit Sub  
If CInt(TextBox3.Value) > 30 Then  
    If CInt(TextBox4.Value) = 2 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox4.Value) = 4 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox4.Value) = 6 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox4.Value) = 9 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox4.Value) = 11 Then Exit Sub  
End If  
If CInt(TextBox3.Value) > 29 And CInt(TextBox4.Value) = 2 Then Exit Sub  
If CInt(TextBox6.Value) > 31 Then Exit Sub  
If CInt(TextBox6.Value) > 30 Then  
    If CInt(TextBox7.Value) = 2 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox7.Value) = 4 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox7.Value) = 9 Then Exit Sub  
    If CInt(TextBox7.Value) = 11 Then Exit Sub  
End If  
If CInt(TextBox6.Value) > 29 And CInt(TextBox7.Value) = 2 Then Exit Sub  
dia1 = CInt(TextBox3.Value)
```



```
If dia1 < 10 Then dia1 = "0" & dia1
mes1 = CInt(TextBox4.Value)
If mes1 < 10 Then mes1 = "0" & mes1
año1 = CInt(TextBox5.Value)

dia2 = CInt(TextBox6.Value)
If dia2 < 10 Then dia2 = "0" & dia2
mes2 = CInt(TextBox7.Value)
If mes2 < 10 Then mes2 = "0" & mes2
año2 = CInt(TextBox8.Value)

TextBox1.Value = dia1 & "/" & mes1 & "/" & año1
TextBox2.Value = dia2 & "/" & mes2 & "/" & año2

If CDate(TextBox1.Value) > CDate(TextBox2.Value) Then
    MsgBox ("Invalid date range")
    Exit Sub
End If

margentemperatura = 0.2
margentdetencion = 1
episodioslluvias = 0

nivel_inicio = 100
nivel_final = 100

fechainicio = CDate(TextBox1.Value)
```

```
fechafinal = CDate(TextBox2.Value)

If OptionButton1.Value = True Then
    i = 1
    For p = 2 To 999999999
        i = i + 1
        If Cells(i + 1, 1) = "" Then Exit For
        If Cells(i, 1) > fechafinal Then Exit For
        If Cells(i, 1) >= fechainicio Then
            If Abs((Cells(i + 1, 8) - Cells(i, 8))) >= margentemperatura Or Abs((Cells(i + 1,
9) - Cells(i, 9))) >= margentemperatura Then
                For i2 = 1 To 20
                    If Abs((Cells(i + i2 + 1, 8) - Cells(i + i2, 9))) <= margentemperatura Then
                        episodioslluvias = episodioslluvias + 1
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 0) = "CSO" & episodioslluvias
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 1) = Cells(i + 1, 1)
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 2) = Format(Cells(i + 1, 2), "Long time",
vbUseSystemDayOfWeek)
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 5) = i + 1
                        For i3 = 1 To 999999
                            If Abs((Cells(i + i3 + 1, 8) - Cells(i + i3 + 1, 9))) >= margentdeten-
cion And Abs((Cells(i + i3, 8) - Cells(i + i3, 9))) <= margentdetencion Then
                                tabla_lluvias(episodioslluvias, 3) = Cells(i + i3 + 1, 1)
                                tabla_lluvias(episodioslluvias, 4) = Cells(i + i3 + 1, 2)
                                i = i + i3 + 1
                                tabla_lluvias(episodioslluvias, 6) = i
                                Exit For
                            End If
                        End If
                    End If
                End For
            End If
        End If
    End For
End If
```

```
        Next
        Exit For
    End If
    Next
End If
End If
Next

Else
    i = 1
    For p = 2 To 999999999
    If CDate(Cells(i, 1)) = fechainicio Then filainicio = i
        If Cells(i, 1) = fechafinal Then filafinal = i
        i = i + 1
        If Cells(i + 1, 1) = "" Then Exit For
        If Cells(i, 1) > fechafinal Then Exit For
        If Cells(i, 1) >= fechainicio Then
            If Cells(i, 7) >= nivel_inicio And Cells(i - 1, 7) < nivel_inicio Then
                If i = 2 Then
                    Else
                        episodioslluvias = episodioslluvias + 1
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 0) = "CSO" & episodioslluvias
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 1) = Cells(i + 1, 1)
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 2) = Format(Cells(i + 1, 2), "Long time",
vbUseSystemDayOfWeek)
                        tabla_lluvias(episodioslluvias, 5) = i + 1
                        For i3 = 1 To 999999
                            If Cells(i + i3, 7) >= nivel_final And Cells(i + i3 + 1, 7) < nivel_final
```



```
Label13.Caption = Format(totaltime, "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)

Label14.Caption = Round(totalflow, 2) & " m" & Chr(179)

Label12.Caption = Round(sediment, 2) & " kg"

If totalflow = 0 Then Label14.Caption = "Unavailable"

If totalflow = 0 Then Label12.Caption = "Unavailable"

Dim mychart As Chart
Dim ChartData As Range
Dim ChartName As String

ChartName = "Temperaturas"
Application.ScreenUpdating = False
Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlLine).Chart
With mychart.Parent
    .Height = 160 ' resize
    .Width = 1320 ' resize
End With

For Each s In mychart.SeriesCollection
    s.Delete
Next s
mychart.SeriesCollection.NewSeries
mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"
mychart.SeriesCollection(1).Values = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 8),
Cells(filafinal, 8))
mychart.SeriesCollection.NewSeries
Set ChartData2 = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 9), Cells(filafinal, 9))
```

```
mychart.SeriesCollection(2).Name = "NTC2"

mychart.SeriesCollection(2).Values = ChartData2

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 1),
Cells(filafinal, 2))

Dim imageName As String

imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "TempChart.gif"

mychart.Export Filename:=imageName

ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete

Application.ScreenUpdating = True

UserForm1.Image6.Picture = LoadPicture(imageName)

Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 7), Cells(filafinal, 7))

ChartName = tabla_lluvias(episodio, 0)

Application.ScreenUpdating = False

Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlLine).Chart

For Each s In mychart.SeriesCollection
    s.Delete
Next s

mychart.SeriesCollection.NewSeries

mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"

mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 1),
Cells(filafinal, 2))

With mychart.Parent
    .Height = 190 ' resize
```

```
.Width = 1320 ' resize

End With

imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "TempChart.gif"

mychart.Export Filename:=imageName

ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete

Application.ScreenUpdating = True

UserForm1.Image7.Picture = LoadPicture(imageName)

Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 4), Cells(filafinal, 4))

ChartName = tabla_Iluvias(episodio, 0)

Application.ScreenUpdating = False

Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlLine).Chart

For Each s In mychart.SeriesCollection
    s.Delete
Next s

mychart.SeriesCollection.NewSeries

mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"

mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 1),
Cells(filafinal, 2))

With mychart.Parent
    .Height = 190 ' resize
    .Width = 1320 ' resize
End With

imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "TempChart.gif"
```

```
mychart.Export Filename:=imageName
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
Application.ScreenUpdating = True
UserForm1.Image8.Picture = LoadPicture(imageName)

Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 10), Cells(filafinal, 10))
ChartName = tabla_lluvias(episodio, 0)
Application.ScreenUpdating = False
Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlLine).Chart
For Each s In mychart.SeriesCollection
    s.Delete
Next s
mychart.SeriesCollection.NewSeries
mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"
mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData
mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(filainicio, 1),
Cells(filafinal, 2))
    With mychart.Parent
        .Height = 190 ' resize
        .Width = 1320 ' resize
    End With
imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "TempChart.gif"
mychart.Export Filename:=imageName
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
Application.ScreenUpdating = True
UserForm1.Image9.Picture = LoadPicture(imageName)
End Sub
```



Finalmente, para que al clicar sobre el commandButton1 (Draw) se muestren los gráficos correspondientes al evento de vertido seleccionado:

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    'condiciones de descarte si no seleccionas un episodio cso valido  
    If episodio = 0 Then Exit Sub  
    If episodio > episodioslluvias Then Exit Sub  
    If tabla_lluvias(1, 0) = "" Then Exit Sub  
    Dim mychart As Chart  
    Dim ChartData As Range  
    Dim ChartName As String  
    Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 60, 8), Cells(tabla_lluvias(episodio, 6) + 60, 8))  
    ChartName = tabla_lluvias(episodio, 0)  
    Application.ScreenUpdating = False  
    Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlXYScatterLinesNoMarkers).Chart  
    For Each s In mychart.SeriesCollection  
        s.Delete  
    Next s  
    mychart.SeriesCollection.NewSeries  
    mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"  
    mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData  
    mychart.SeriesCollection.NewSeries  
    Set ChartData2 = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 9), Cells(tabla_lluvias(episodio, 6) + 63, 9))  
    mychart.SeriesCollection(2).Name = "NTC2"  
    mychart.SeriesCollection(2).Values = ChartData2
```

```
mychart.SeriesCollection.NewSeries

If Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 9) >= Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 8) Then
    Cells(1, 50) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 9) + 1
    Cells(1, 51) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 8) - 1
Else
    Cells(1, 50) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 9) - 1
    Cells(1, 51) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 8) + 1
End If

ChartData3 = Range(Cells(1, 50), Cells(1, 51))
mychart.SeriesCollection(3).Values = ChartData3

If Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 9) >= Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 8) Then
    Cells(1, 52) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 9) + 1
    Cells(1, 53) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 8) - 1
Else
    Cells(1, 52) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 9) - 1
    Cells(1, 53) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 8) + 1
End If

mychart.SeriesCollection.NewSeries

ChartData4 = Range(Cells(1, 52), Cells(1, 53))
mychart.SeriesCollection(4).Values = ChartData4

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 2), Cells(tabla_lluvias(episodio, 6) + 30, 2))

mychart.SeriesCollection(2).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 2), Cells(tabla_lluvias(episodio, 6) + 30, 2))

Cells(1, 100) = 30
```

```
Cells(1, 101) = 30
mychart.SeriesCollection(3).XValues = Range(Cells(1, 100), Cells(1, 101))
Cells(1, 102) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) -
30
Cells(1, 103) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) -
30
mychart.SeriesCollection(4).XValues = Range(Cells(1, 102), Cells(1, 103))
puntos3 = mychart.SeriesCollection(3).Points.Count
puntos4 = mychart.SeriesCollection(4).Points.Count
mychart.SeriesCollection(3).HasDataLabels = True
mychart.SeriesCollection(4).HasDataLabels = True

For p = 1 To puntos3
    mychart.SeriesCollection(3).DataLabels(p).Text = Format(
    mat(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
For p = 1 To puntos4
    mychart.SeriesCollection(4).DataLabels(p).Text = Format(
    mat(Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
With mychart.Parent
    .Height = 115 ' resize
    .Width = 700 ' resize
End With
Dim imageName As String
imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "Temp-
Chart.gif"
mychart.Export Filename:=imageName
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
```

```
Application.ScreenUpdating = True

UserForm1.Image2.Picture = LoadPicture(imageName)

Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_Ilubias(episodio, 5) - 30, 7), Cells(tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30, 7))

ChartName = tabla_Ilubias(episodio, 0)

Application.ScreenUpdating = False

Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlXYScatterLinesNoMarkers).Chart

For Each s In mychart.SeriesCollection
    s.Delete
Next s

mychart.SeriesCollection.NewSeries
mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"
mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData

mychart.SeriesCollection.NewSeries
    Cells(1, 50) = Cells(tabla_Ilubias(episodio, 5), 7) + 400
    Cells(1, 51) = 0
ChartData2 = Range(Cells(1, 50), Cells(1, 51))
mychart.SeriesCollection(2).Values = ChartData2
    Cells(1, 52) = 0
    Cells(1, 53) = Cells(tabla_Ilubias(episodio, 6), 7) + 400

mychart.SeriesCollection.NewSeries
ChartData3 = Range(Cells(1, 52), Cells(1, 53))
mychart.SeriesCollection(3).Values = ChartData3

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_Ilubias(episodio, 5) - 30, 1), Cells(tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30, 2))

Cells(1, 100) = 30
Cells(1, 101) = 30
```

```
mychart.SeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(1, 100), Cells(1, 101))
Cells(1, 102) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) -
30
Cells(1, 103) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) -
30
mychart.SeriesCollection(3).XValues = Range(Cells(1, 102), Cells(1, 103))
puntos2 = mychart.SeriesCollection(2).Points.Count
puntos3 = mychart.SeriesCollection(3).Points.Count
mychart.SeriesCollection(2).HasDataLabels = True
mychart.SeriesCollection(3).HasDataLabels = True
For p = 1 To puntos2
    mychart.SeriesCollection(2).DataLabels(p).Text = Format(
    Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
For p = 1 To puntos3
    mychart.SeriesCollection(3).DataLabels(p).Text = Format(
    Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
With mychart.Parent
    .Height = 115 ' resize
    .Width = 700 ' resize
End With
imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "Temp-
Chart.gif"
mychart.Export Filename:=imageName
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
Application.ScreenUpdating = True
UserForm1.Image3.Picture = LoadPicture(imageName)
Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 4), Ce-
```

```
lIs(tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30, 4))

ChartName = tabla_Ilubias(episodio, 0)

Application.ScreenUpdating = False

Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlXYScatterLinesNoMarkers).Chart

mychart.SeriesCollection.NewSeries

mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"

mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData

mychart.SeriesCollection.NewSeries

Cells(1, 50) = Cells(tabla_Ilubias(episodio, 5), 4) + 400

Cells(1, 51) = 0

ChartData2 = Range(Cells(1, 50), Cells(1, 51))

mychart.SeriesCollection(2).Values = ChartData2

Cells(1, 52) = 0

Cells(1, 53) = Cells(tabla_Ilubias(episodio, 6), 4) + 400

mychart.SeriesCollection.NewSeries

ChartData3 = Range(Cells(1, 52), Cells(1, 53))

mychart.SeriesCollection(3).Values = ChartData3

mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_Ilubias(episodio, 5) - 30, 1), Cells(tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30, 2))

Cells(1, 100) = 30

Cells(1, 101) = 30

mychart.SeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(1, 100), Cells(1, 101))

Cells(1, 102) = tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30 - (tabla_Ilubias(episodio, 5) - 30) - 30

Cells(1, 103) = tabla_Ilubias(episodio, 6) + 30 - (tabla_Ilubias(episodio, 5) - 30) - 30

mychart.SeriesCollection(3).XValues = Range(Cells(1, 102), Cells(1, 103))
```

```
puntos2 = mychart.SeriesCollection(2).Points.Count
puntos3 = mychart.SeriesCollection(3).Points.Count
mychart.SeriesCollection(2).HasDataLabels = True
mychart.SeriesCollection(3).HasDataLabels = True
For p = 1 To puntos2
    mychart.SeriesCollection(2).DataLabels(p).Text = Format(
Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
For p = 1 To puntos3
    mychart.SeriesCollection(3).DataLabels(p).Text = Format(
Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)
Next
With mychart.Parent
    .Height = 115 ' resize
    .Width = 700 ' resize
End With
imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "Temp-
Chart.gif"
mychart.Export Filename:=imageName
ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete
Application.ScreenUpdating = True
UserForm1.Image4.Picture = LoadPicture(imageName)
Set ChartData = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 10), Ce-
lls(tabla_lluvias(episodio, 6) + 30, 10))
ChartName = tabla_lluvias(episodio, 0)
Application.ScreenUpdating = False
Set mychart = ActiveSheet.Shapes.AddChart(xlXYScatterLinesNoMarkers).Chart
mychart.SeriesCollection.NewSeries
```

```
mychart.SeriesCollection(1).Name = "NTC1"
mychart.SeriesCollection(1).Values = ChartData
mychart.SeriesCollection.NewSeries
    Cells(1, 50) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 5), 10) + 0.5
    Cells(1, 51) = 0
ChartData2 = Range(Cells(1, 50), Cells(1, 51))
mychart.SeriesCollection(2).Values = ChartData2
    Cells(1, 52) = 0
    Cells(1, 53) = Cells(tabla_lluvias(episodio, 6), 10) + 0.5
mychart.SeriesCollection.NewSeries
ChartData3 = Range(Cells(1, 52), Cells(1, 53))
mychart.SeriesCollection(3).Values = ChartData3
mychart.SeriesCollection(1).XValues = ActiveSheet.Range(Cells(tabla_lluvias(episodio, 5) - 30, 1), Cells(tabla_lluvias(episodio, 6) + 30, 2))
    Cells(1, 100) = 30
    Cells(1, 101) = 30
mychart.SeriesCollection(2).XValues = Range(Cells(1, 100), Cells(1, 101))
Cells(1, 102) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) - 30
Cells(1, 103) = tabla_lluvias(episodio, 6) + 30 - (tabla_lluvias(episodio, 5) - 30) - 30
mychart.SeriesCollection(3).XValues = Range(Cells(1, 102), Cells(1, 103))
puntos2 = mychart.SeriesCollection(2).Points.Count
puntos3 = mychart.SeriesCollection(3).Points.Count
mychart.SeriesCollection(2).HasDataLabels = True
mychart.SeriesCollection(3).HasDataLabels = True
For p = 1 To puntos2
    mychart.SeriesCollection(2).DataLabels(p).Text = For-
```



```
mat(Cells(tabla_Iluvias(episodio, 5), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)

    Next

    For p = 1 To puntos3

        mychart.SeriesCollection(3).DataLabels(p).Text = Format(
mat(Cells(tabla_Iluvias(episodio, 6), 2), "Long time", vbUseSystemDayOfWeek)

    Next

    With mychart.Parent

        .Height = 115 ' resize

        .Width = 700 ' resize

    End With

    imageName = Application.DefaultFilePath & Application.PathSeparator & "Temp-
Chart.gif"

    mychart.Export Filename:=imageName

    ActiveSheet.ChartObjects(1).Delete

    Application.ScreenUpdating = True

    UserForm1.Image5.Picture = LoadPicture(imageName)

End Sub
```

## 5. CONCLUSIONES

Tras el estudio de las variables implicadas en la caracterización de las aguas residuales vertidas al medio natural, como consecuencia directa de eventos de vertido, y la monitorización de la cámara de alivio localizada bajo la plaza Emperador Carlos V de Zaragoza, como parte del proyecto piloto, el análisis de los datos registrados por los distintos sensores con el objetivo de establecer un sistema inteligente de detección de vertidos a partir de diferentes tecnologías ha proporcionado una valiosa información:

Los resultados favorables en la detección de caudales aliviados a partir del uso de un par de sensores de temperatura, habiéndose solventado el gran problema de incertidumbre generado por el fenómeno de la inversión térmica, dan pie a la utilización de esta nueva técnica para una implantación económicamente viable de sistemas de cuantificación de alivios en los puntos de desbordamiento de aquellas redes de saneamiento que así lo requieran según el RD 1290/2012.

La detección mediante sensores radar de nivel resulta precisa y muy fiable tal y como se esperaba.

El sensor de turbidez, de forma contraria a los dos anteriores, no es útil para la detección de vertidos, pues entran en juego multitud de variables cuyo control resulta extremadamente complejo.

La creación de un programa en lenguaje VBA que permite la transcripción de los registros proporcionados por los sensores, en datos objetivos con los que poder trabajar y extraer conclusiones de forma rápida y objetiva, junto con las conclusiones obtenidas tras los análisis de los datos recopilados por los sensores instalados, suponen un gran avance de cara a una futura monitorización inteligente "low-cost" de los puntos de alivio.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Russo, B. (2015). PROMOVER: Estado del arte sobre monitorización de vertidos. Marco legal, tipología de sensores y sistemas de transmisión y adquisición de datos. Zaragoza: EUPLA.
- Russo, B. (2015). PROMOVER: Proyecto de instrumentación de la cámara de alivio. Selección de variables a medir y elección de sensores. Selección de la cámara de alivio, proyecto de obra civil y diseño del sistema de instrumentación. Zaragoza: EUPLA.
- Russo, B. (2015). PROMOVER: Instrumentación y puesta en marcha del sistema de monitorización en el caso piloto. Zaragoza: EUPLA.
- Gomez Valentín, M. (2008). Curso de hidrología urbana. Barcelona: Distribuidora Alfambra de Papelería, S.L.
- Puertas Agudo, J., Suárez López, J., Anta Álvarez, J. (2008). Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano. Ministerio de Fomento.
- Hofer, T., Gruber, G., Gamerith, V., Montserrat, A., Corominas, L., Muschalla, D. (2014). Using Temperature Sensors to Detect Occurrence and Duration of Combined Sewer Overflows. 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia.
- Jiménez Fernández, V., Suárez López, J. (2015). Implantación de técnicas de drenaje sostenibles de escorrentías de autopistas (TDSEA) en la comunidad autónoma de Galicia. Universidade Da Coruña.
- Montserrat Royuela, A. (2015). Towards better management of combined sewer systems, a methodology based on low-cost monitoring. Universitat De Girona.
- Poch, M., Corominas, Ll., Montserrat, A., Bosch, Ll., Kiser, M.A. (2015). Science of the Total Environment. Using data from monitoring combined sewer overflows to assess, improve, and maintain combined sewer systems. ELSEIVER.
- Base de datos Zinnae.dynamics.org. Tecnalía.