

Eric Tiñena Torres

Aguas subterráneas: piezómetros, sistemas
de remediación y muestreo en una planta

TAR

Treball Fi de Grau

Dirigit per la Sra. Enedina Espallargas

Universitat Rovira i Virgili



Tarragona

2014

Summary TFG English

Indústria Petroquímica Tarragona (IPT) has a chemical division where this work has been done specifically in the Department of Environment. IPT Química is geographically located near a river and an extensive network of groundwater flowing into the same river.

This paper deals with the installation of a preventive remediation system using monitoring wells building to combat future problems sealing the biological-1 reactor (PACT-1) on Wastewater Treatment plant. The monitoring wells are underground ducts with exit to the surface with a variable deep and diameter, made by a survey in a specific area for further study of some of the natural elements (water and/or soil) that are between the surface and the end of the hole.

The remediation system is selected through the analysis of different factors such as location, hydrogeology of the area, depth, pollutants that reach the ground TAR and functionality of each system remediation. Once the remediation system is chosen, the location is studied through hydraulic gradient lines to justify the direction of flow of groundwater.

After the installation of the piezometric network made, we proceed to the elaboration of a lithologic court to study the hydrogeology of the area. Then is developed a sampling groundwater efficient protocol by analyzing all the factors of this, from the choice of sampling material to storage, labeling and transport.

Finally, a brief description of the three treatment processes applied to water that reaches the TAR plant; Wet oxidation, biological treatment and sludge regeneration.

Índice

1	Objetivos	4
2	Introducción	4
	2.1 Definición	5
	2.2 Tipo de piezómetros	6
3	Sistemas de remediación	6
	3.1 Sistema iSOC®	7
	3.2 Sistema O-socks	7
	3.3 Air Sparging	8
	3.4 Soil Vapor Extraction (SVE)	10
	3.5 Infiltración de surfactente	11
	3.6 Hidrosiembra	12
	3.7 Ventilación pasiva	13
	3.8 Barrera hidráulica	13
	3.9 Fitobarrera	15
4	Instalación de un sistema de remediación preventivo en la planta TAR	16
	4.1 Elección del sistema de remediación	16
	4.2 Ubicación	17
	4.3 Construcción del piezómetro	19
	4.3.1 Perforación	19
	4.3.1.1 Método	19
	4.3.1.2 Diámetro	20
	4.3.1.3 Profundidad	20
	4.3.2 Materiales del tubo piezométrico	20
	4.3.3 Sellado	22
	4.3.4 Desarrollo del piezómetro	22
	4.3.5 Acabado	23
5.	Corte litológico	23
6.	Sistemas de muestreo	25
	6.1 Introducción	25
	6.2 Consideraciones previas	26
	6.3 Muestras no representativas	26
	6.4 Protocolo para un correcto sistema de muestreo	27
	6.4.1 Introducción	27
	6.4.2 Medición del nivel del agua	27
	6.4.3 Elección del equipo y del material de muestreo	28
	6.4.3.1 Elección del equipo de muestreo	28
	6.4.3.2 Elección del material del equipo de muestreo	29
	6.4.4 Purga	30
	6.4.4.1 Procedimiento de purga	31
	6.4.5 Almacenaje, etiquetado y transporte	33

7. Planta TAR (Tratamiento de Aguas Residuales)	33
7.1 WAO (Wet Air Oxidation)	34
7.2 PACT® (Powered Activated Carbon Treatment)	36
7.2.1 Tanque homogeneizador	37
7.2.2 PACT-1	37
7.2.3 PACT-2	38
7.3 WAR (Wet Air Regeneration)	39
7.4 Emisario	40
8. Conclusiones	40
9. Bibliografía	41
10. Glosario	43
Anexo 1	45
Anexo 2	46

1. Objetivos

- a) Elaborar un proyecto de implantación de un Sistema de Remediación en la planta TAR de IPT Química, evaluando todos los aspectos del proyecto, desde la elección del Sistema de Remediación hasta su ubicación y su construcción.
- b) Elaborar e interpretar un corte geológico para poder, así estudiar la hidrogeología de la zona de instalación de los piezómetros.
- c) Crear un procedimiento de muestreo piezométrico eficiente para el análisis de los principales contaminantes de las aguas que se tratan en la planta TAR.
- d) Estudiar y elaborar una breve descripción del tratamiento de las aguas residuales desde su inicio hasta su vertido al mar mediterráneo.

2. Introducción

Industria Petroquímica Tarragona (IPT) tiene una división química (IPT Química) que es dónde se ha realizado este trabajo, concretamente, en el departamento de Medio Ambiente.

IPT Química está situada geográficamente cerca de un río y sobre una extensa red de aguas subterráneas que desembocan en el mismo río.

El departamento de Medio Ambiente tiene la responsabilidad y el deber de mantener todas las aguas subterráneas libres de cualquier contaminación que pudiera alcanzar el río a través del freático y provocar una potencial amenaza a la flora o a la fauna de la zona.

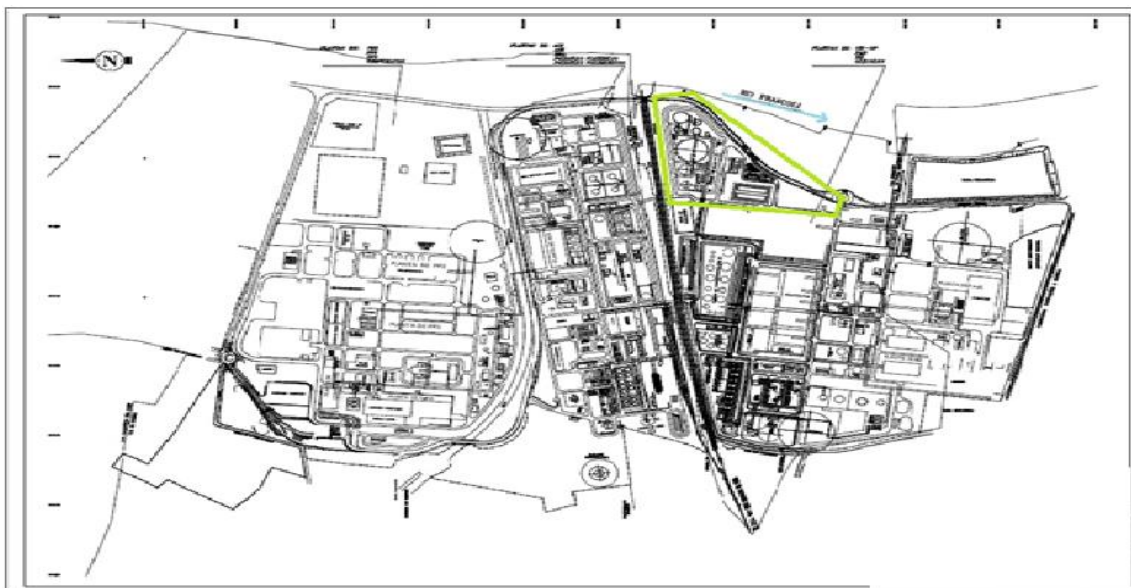


Figura 1: Mapa general de IPT Química con la planta TAR señalada en color verde

Este trabajo se realizará concretamente en la planta TAR (señalada en color verde) y sobre el vector de suelo y aguas subterráneas ya que es la planta que está más próxima al río, con lo que será necesario prestar especial atención a las aguas subterráneas de ésta zona.

IPT es una empresa muy comprometida con el medio ambiente, un claro ejemplo de su compromiso es la extensa red piezométrica instalada por todo el complejo, ésta cuenta con más de 250 piezómetros.

El compromiso de IPT por el medio ambiente se magnifica cuando la legislación referente al control, tratamiento y remediación de las aguas subterráneas y de los suelos carece de requisitos y restricciones concretas para protegerlos de posibles alteraciones que éstos puedan sufrir, consecuencia de irregularidades en la actividad industrial.

En una planta química, en este caso, en la planta TAR (Tratamiento de Aguas Residuales) la instalación de todos los equipos integrados debe garantizar la seguridad del personal que trabaja en ésta y evitar cualquier impacto ambiental.

Todas las instalaciones industriales pueden presentar irregularidades en su funcionamiento, que pueden ser causadas por errores humanos, deterioro o factores intangibles. Por este motivo las empresas comprometidas con el Medio Ambiente desarrollan sistemas de control y gestión para tener un control y hacer un seguimiento de puntos potenciales. En cuanto al vector de suelo y aguas subterráneas, la mayoría de los sistemas de control y remediación que se instalan en IPT están integrados por piezómetros.

2.1 Definición

Los piezómetros son conductos subterráneos con salida a la superficie, de profundidad y diámetro variable, hechos mediante un sondeo¹ en una zona específica para el posterior estudio de alguno de los elementos naturales (agua y/o suelos) que se encuentren entre la superficie y el final de la perforación.

Los piezómetros pueden tener características diferentes, según su finalidad y las características hidrogeológicas de la zona. Los sondeos efectuados en IPT Química tienen entre 7-25 metros de profundidad respecto a la superficie y una estructura cilíndrica, habitualmente de plástico.

¹ Del verbo sondear; explorar mediante una sonda o instrumento adecuado [un medio] para averiguar sus características, su profundidad, etc.

Normalmente sobresalen del suelo unos 20-30 centímetros para que sean visibles y facilitar así el muestreo de las aguas subterráneas.

2.2 Tipos de piezómetros

Existen 2 tipos de piezómetros según el motivo para el cual ha sido diseñado y la función que va a tener:

- Piezómetros de control
- Piezómetros de remediación

Los piezómetros de control son aquellos piezómetros de carácter preventivo que se instalan con el objetivo de obtener información, tanto de los suelos como de las aguas subterráneas de las diferentes zonas del complejo.

Los piezómetros de remediación son aquellos diseñados para poder tratar y controlar los focos de contaminación detectados, normalmente, por un piezómetro de control. Tienen el objetivo de contener el penacho de contaminación o tratar tanto el suelo como el agua para evitar que las sustancias contaminantes sigan el flujo de las aguas subterráneas y puedan llegar al exterior provocando una afectación al medio ambiente.

3. Sistemas de remediación

Cuando las analíticas de un piezómetro de control detectan alguna irregularidad se procede a la instalación de piezómetros de remediación. Instalados los piezómetros de remediación se procede a la elección del sistema de remediación adecuado.

Los sistemas de remediación disponibles son:

- Sparging de oxígeno
- O-socks
- Air Sparging
- Soil Vapor Extraction (SVE)
- Infiltración de surfactante
- Hidrosiembra
- Ventilación pasiva
- Barrera hidráulica
- Fitobarrera

3.1 Sparging de oxígeno

El sistema de Sparging de oxígeno más utilizado es el iSOC® (in-situ Submerged Oxygen Curtain) se trata de un sistema de introducción de grandes cantidades de oxígeno en las aguas subterráneas.



Figura 2: Membrana sumergida iSOC®

Este sistema introduce en el agua grandes cantidades de oxígeno disuelto (sin burbujeo) constantemente.

iSOC® gracias a su sistema de suministro de oxígeno tiene la capacidad de incentivar la actividad microbiológica ya que es capaz de alcanzar concentraciones de oxígeno disuelto en agua de 40 ppm, cantidad muy superior a los demás sistemas de remediación. Tiene especial efecto en

altas concentraciones de COV's. Tiene un radio de acción en el piezómetro de 3-5 metros. Uno de los aspectos característicos del sistema iSOC® es su elevado precio; 15.000€/membrana, con el agravante de tener un coste adicional ya que requiere un elevado mantenimiento.

3.2 Sistema O-socks

O-socks (Oxygen socks) o calcetines de oxígeno es un sistema basado en la liberación de oxígeno a una velocidad moderada mediante compuestos oxidantes; peróxidos y permanganatos.

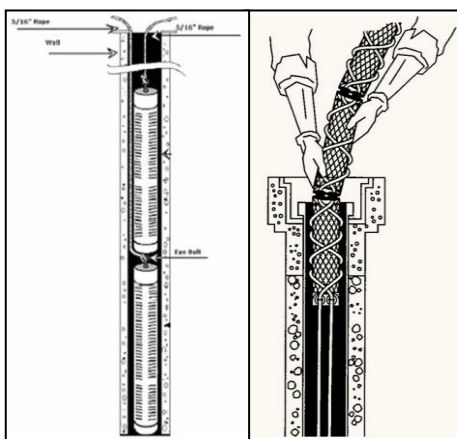


Figura 3: Sistema O-socks

Este sistema se basa en la instalación por inmersión de unos “calcetines” con sustancias oxidantes en su interior que, de manera progresiva, van liberando estos compuestos en el agua haciendo que se produzca una oxidación química (reacción Fenton) muy localizada y se incentive la actividad microbiológica. Este sistema no es tan efectivo como el Sparging de oxígeno ya que solo tiene la capacidad de generar 10 ppm de oxígeno disuelto en agua. Tiene un radio de acción en el piezómetro de 2-3 metros.

Tiene una duración limitada de 2 meses ya que hay un elevado consumo de los reactivos. Su precio no es excesivamente reducido para la autonomía que tienen los O-socks, 450€/piezómetro.

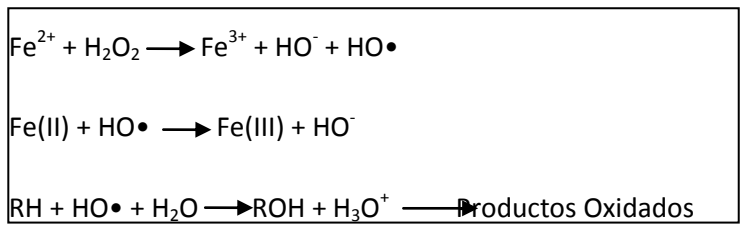


Figura 4: Reacción Fenton

3.3 Air Sparging

Air Sparging o burbujeo de aire es una técnica que consiste en la inyección de aire en los piezómetros situados en zonas que requieren de un tratamiento de remediación.

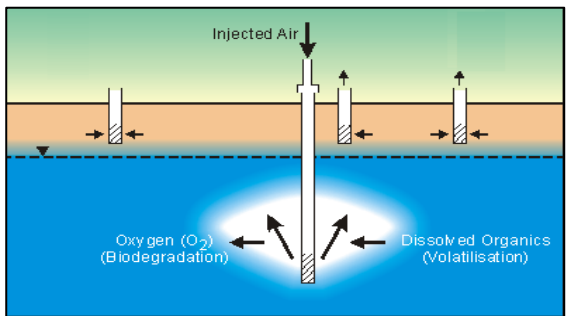


Figura 5: Esquema del sistema Air Sparging



Figura 6: Air Sparging visto desde la superficie

Esta técnica inyecta a través de unos compresores de aire una cantidad de aire atmosférico en el interior del piezómetro. Al efectuar la inyección de aire se facilita la extracción de todos los gases (aire² y COV's) hacia la superficie.

Cuando la concentración de gases a eliminar es muy elevada y para evitar emisiones a la atmosfera, es necesario instalar un equipo para poder tratar los gases extraídos. La instalación de estos equipos necesita de unas características geológicas concretas para poder tener puntos de extracción de gases localizados y poder aplicar un tratamiento eficiente a los gases extraídos.

² Composición de gases en el aire: 78% Nitrógeno, 21% Oxígeno, 1% Otros gases presentes en la atmosfera.

Esta técnica es aparentemente sencilla y efectiva, pero presenta una serie de restricciones por lo que hay una serie de factores a tener en cuenta antes de aplicarla en un piezómetro o piezómetros en concreto:

- Es necesario hacer un estudio litográfico³ sobre la composición de los diferentes estratos geológicos⁴, ya que hay una serie de factores que hacen que el Air Sparging no sea una técnica adecuada:
 - La baja permeabilidad de alguno de los estratos situados entre la superficie y el final del piezómetro, propia de terrenos con un tamaño de partícula muy reducido, propicia que no haya una dispersión eficiente de los gases y éstos no puedan llegar a la superficie haciendo que la técnica no sea la más adecuada para un piezómetro en una zona de estas características.
 - Cuando los suelos presentan una composición de sus estratos muy heterogénea es difícil prever por dónde saldrán los gases a la superficie y para zonas con una concentración elevada de contaminantes, donde se requiere de la instalación de un equipo para poder tratarlos, no es posible encontrar una ubicación del equipo para el tratamiento eficiente de los gases por lo que el Air Sparging no es la técnica adecuada en estos casos.
- Una vez hecho el estudio litográfico hay que conocer los componentes que forman los diferentes sustratos ya que si alguna de las sustancias volátiles que quieres “airear” forma algún tipo de complejo con algún componente presente en algún estrato, la sustancia a extraer no llegará a la superficie por lo que un tratamiento de inyección de aire no será el más adecuado para la extracción de determinados COV’s en un suelo de estas características.
- Otros factores que pueden influir para determinar si el Air Sparging es una técnica adecuada son la profundidad en la que se encuentran los diferentes contaminantes y el grosor de la capa saturada, ya que todas las aguas subterráneas a profundidades inferiores a 1.5-2 metros que tengan la capa saturada a tratar muy gruesa supondría la instalación de una red piezométrica muy extensa en una porción de terreno muy

³ Prov. Litografía; del griego *lithos* (piedra), es la rama de la geología que estudia el origen y composición de las rocas, especialmente en sus aspectos descriptivos y clasificatorios.

⁴ Cada una de las capas superpuestas en yacimientos de fósiles, restos arqueológicos, etc. Masa mineral en forma de capa de espesor más o menos uniforme, que constituye los terrenos sedimentarios.

reducida haciendo que la extracción no fuera eficiente y además la instalación se encarecería considerablemente.

El Air Sparging es una técnica más física que química motivo por el cuál la efectividad en la eliminación de contaminantes por actividad biológica queda notablemente limitada. Su capacidad para suministrar oxígeno disuelto al agua es poco efectiva, comparada con otras técnicas, tan solo una concentración de 0.1 ppm. Su radio de acción en el piezómetro es de 3-5 metros. Otro factor a tener en cuenta es su elevado precio; 4000€/piezómetro aunque es compensado al ser un sistema desatendido y no tener un coste de mantenimiento adicional.

3.4 Soil Vapor Extraction (SVE)

Soil Vapor Extraction o Extracción de vapores combinada con la extracción de agua es una técnica diseñada para la extracción de compuestos volátiles en suelos contaminados.

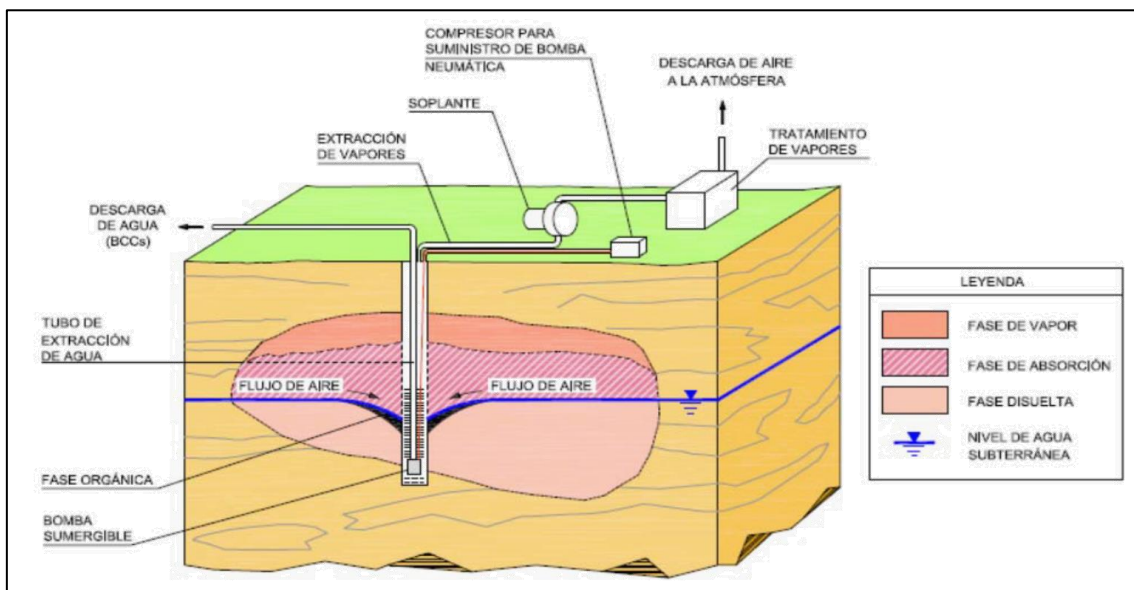


Figura 7: Esquema de las partes del SVE (Soil Vapor Extraction)

Este sistema de remediación consiste en aplicar vacío al piezómetro al mismo tiempo que una bomba extrae el agua del interior constantemente deprimiendo el nivel freático, haciendo que aumente la superficie del piezómetro sin agua y se facilite la extracción de compuestos volátiles del suelo a lo largo de toda la longitud del piezómetro.

Una vez los compuestos volátiles están en el interior del piezómetro, una bomba de succión se encarga de la extracción de todos los vapores generados. Una vez extraídos, los vapores son transportados a un equipo de tratamiento de gases, que normalmente se suelen tratar con

carbón activo, dónde son tratados hasta llegar a niveles óptimos para poder emitirlos a la atmosfera.

SVE tiene una efectividad muy alta para una elevada concentración de COV's, provoca un eficiente y rápido retroceso del penacho⁵. El principal aspecto negativo que tiene la utilización de esta técnica de remediación es su elevado precio, 20.000 €/piezómetro.

3.5 Infiltración de surfactante

La infiltración de un surfactante o tensoactivo es un sistema de remediación que se utiliza para la limpieza de suelos contaminados.

Existen dos tipos de sistemas de infiltración de surfactante dependiendo de dónde se produzca el lavado de los suelos:

- *Ex situ*: cuando se excava el suelo a tratar y se lava en un lugar distinto de donde se contaminó. Este tratamiento suele aplicarse a suelos con un nivel de concentración muy elevado que requiere la intervención inmediata para evitar posibles filtraciones del contaminante a estratos más profundos pudiendo llegar a afectar a aguas subterráneas.
- *In situ*: el término *in situ* proviene del latín y significa "en su ubicación original". El tratamiento se lleva a cabo por debajo de la superficie, sin necesidad de excavar. Consiste en la inyección de soluciones lavadoras (surfactantes) al subsuelo, bajo condiciones controladas con el fin de remover los contaminantes adsorbidos por la matriz del suelo. Este tratamiento se utiliza para concentraciones de contaminación más reducidas. Una de las ventajas de la infiltración *in situ* de surfactante es que puede remediar el problema específico sin propiciar ninguna alteración del medio, suele ser idóneo para tratar suelos que se encuentran cerca de estructuras arquitectónicas o industriales sensibles a cualquier alteración del subsuelo próximo a éstas.

⁵ Extensión de terreno afectado y que requiere ser tratado.

3.6 Hidrosiembra

La Hidrosiembra es una técnica que es utilizada para la reconstrucción de superficies poco consolidadas que presentan desestabilización y erosión, y tiene como objetivo establecer una cubierta vegetal sobre terrenos de difícil acceso o de gran pendiente.



En la industria, las Hidrosiembras se utilizan básicamente para regenerar suelos que han sido dañados por el contacto con contaminantes o para generar una plantación que sea capaz de combatir de manera superficial los vertidos más comunes de las zonas en las que se encuentran.

Figura 8: Instalación de la Hidrosiembra

La Hidrosiembra es un método mediante el cual se mezclan semilla, agua, abono, hormonas y celulosa; se colocan directamente sobre el suelo por medio de un equipo especial de alto caudal. De esta manera rápidamente, mediante aspersión a distancia, se siembra, abona y se cubre el suelo con todos los componentes necesarios para el acelerado crecimiento de la siembra.



Figura 9: Hidrosiembra 4 semanas después de su instalación

La principal ventaja que tiene la hidrosiembra respecto a la siembra convencional es su rapidez y eficacia ya que en tan solo 3-4 semanas se puede observar la aparición de los primeros brotes de plantas autóctonas. Otras de las ventajas que presenta la Hidrosiembra son su reducido coste; $2\text{€}/\text{m}^2$ y el ser un sistema completamente desatendido.

3.7 Ventilación pasiva

La ventilación pasiva es una técnica utilizada en la etapa final de la remediación de suelos contaminados.



Figura 10: Sistema de Ventilación pasiva visto desde la superficie

Es un sistema técnicamente muy simple ya que se instala en la salida del piezómetro a la superficie a modo de “tapón”. En la parte superior del “tapón” hay un pistón con una esfera sensible a cambios de presión que al acumularse vapores de contaminantes volátiles en el interior del piezómetro desplazan la esfera abriendo el pistón y liberando los vapores a la atmósfera. Al ser una técnica utilizada en las fases finales de la

remediación de suelos, las concentraciones de vapores liberadas a la atmósfera tienen concentraciones muy bajas por lo que no es necesario someter a los vapores a ningún tratamiento antes de liberarlos al exterior.

Teniendo en cuenta que la instalación de la ventilación pasiva solo es efectiva en etapas finales de remediación sus principales ventajas son su radio de acción en el piezómetro; 10 metros, y su reducido precio, tan solo 60€/piezómetro.

3.8 Barrera hidráulica

La barrera hidráulica es una técnica diseñada para controlar el movimiento de aguas subterráneas contaminadas y frenar la expansión y avance del penacho de contaminación. Ésta técnica consiste en la instalación de una bomba de succión que absorbe el agua contaminada del piezómetro, en la mayoría de los casos la instalación de una barrera hidráulica va acompañada de un posterior tratamiento de las aguas bombeadas.

La eficiencia de esta técnica va estrechamente ligada a una serie de parámetros que deben ser evaluados antes de la instalación de la barrera. Estos parámetros son:

- La ubicación de los piezómetros que formarán la barrera hidráulica.
- El número de piezómetros que formaran la barrera.

- El caudal de bombeo del agua para cada piezómetro debe ser el adecuado, es decir, hay que saber cuál es el caudal del piezómetro y aplicar un flujo constante que vaya bombeando agua sin dejar que el piezómetro se seque.
- Las características hidrogeológicas. Las propiedades hidrogeológicas del sistema que merman el éxito del bombeo son dos: la heterogeneidad del acuífero y la presencia de roca fracturada.

[5] El Committee on Ground Water Cleanup Alternatives de la National Academy of Sciences de los Estados Unidos define un acuífero heterogéneo como un acuífero cuya capacidad de transmitir agua varía lateral y/o verticalmente. El contaminante viaja preferentemente por las zonas de mayor permeabilidad, a una velocidad mayor que la que se observaría basándose en la conductividad promedio del acuífero. Un acuífero de arena con lentes de arcilla es un ejemplo de acuífero heterogéneo. En este tipo de acuíferos, los contaminantes viajan preferentemente a través de las zonas de mayor conductividad, mientras, por difusión, migran hacia las zonas de permeabilidad menor. Una vez eliminada el agua contaminada desde las zonas de mayor conductividad hidráulica, el contaminante vuelve a moverse por difusión, pero esta vez en sentido inverso, desde los depósitos de menor conductividad hacia el agua limpia. Es decir, las zonas de baja permeabilidad se transforman en una fuente de contaminación muy difícil de eliminar. Asimismo, las fracturas de las rocas pueden almacenar importantes cantidades de contaminantes, que difícilmente serán extraídas mediante bombeo.

- [5] El tipo de contaminantes presentes. Contaminantes que tienden a precipitar o a adsorberse en el suelo perjudican el proceso de limpieza, pues retornan al agua (por disolución o desorción) una vez que esta ha mejorado su calidad, en busca de un nuevo equilibrio químico, extendiendo el proceso de limpieza significativamente. Los contaminantes líquidos en fase no acuosa también perjudican el bombeo y el tratamiento, pues se disuelven muy lentamente en el agua. Puede requerirse combinar bombeo y tratamiento con alguna otra tecnología.

Una vez perfectamente estudiados estos parámetros, la instalación de una barrera hidráulica tiene una alta efectividad para contaminantes en elevadas concentraciones, tiene un radio de acción en el piezómetro de unos 5-6 metros, su precio no es excesivamente elevado; 2.000€/piezómetro, su coste se encarece al tener que disponer de un sistema de tratamiento del agua extraída y su mantenimiento depende de la corrosión provocada por el contaminante extraído.

3.9 Fitobarrera

La Fitobarrera es una técnica revolucionaria y novedosa que más que ser una técnica puramente de remediación es una técnica de prevención que en el caso de haber algún tipo de fuga incontrolada actuaría como técnica de remediación.

Esta técnica se basa en la captación por fijación vegetal de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en agua. La Fitobarrera tiene una efectividad bastante elevada, dependiendo de:

- La ubicación, tiene que estar en la dirección de las corrientes de las aguas subterráneas y abarcar la máxima amplitud de las corrientes.
- Las especies de los árboles plantados, ya que un método de selección adecuado incluye especies:
 - Autóctonas
 - Con capacidad de gran consumo de agua
 - Con capacidad de supervivencia a estrés hídrico
 - Con capacidad de supervivencia a los principales contaminantes que pueden llegarles

Para escoger las especies más adecuadas para la zona donde hay que instalar la Fitobarrera es necesario hacer un proceso de selección donde se incluyan especies que cumplan los cuatro requisitos anteriores y mediante pruebas de aclimatación, consumo de agua, supervivencia a estrés hídrico y supervivencia a diferentes contaminantes y a diferentes concentraciones se escoge al grupo de especies más adecuado para la construcción de la Fitobarrera.

- La edad de los árboles plantados, la eficiencia empieza a llegar al máximo a partir de los 2 años.

Antes de plantar los árboles para la construcción de una Fitobarrera, hay que acondicionar el terreno; hay que rebajar el terreno de plantación unos 2 metros para la construcción de un

drenaje⁶ que haga llegar las aguas contaminadas hasta la base de los árboles para que éstos

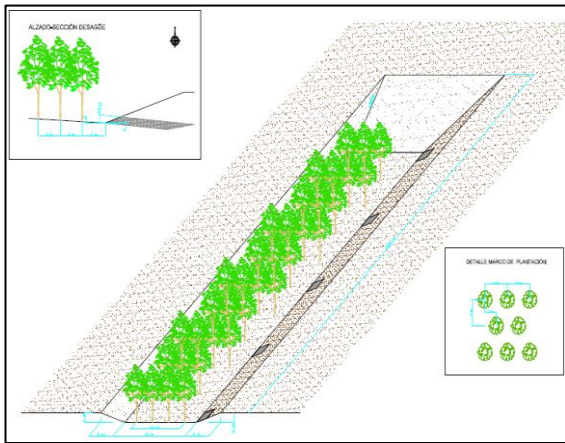


Figura 11: Esquema de una Fitobarrera

puedan absorberlas de manera eficiente y instalar un sistema de riego para que en caso de sequía los árboles puedan seguir alimentándose y creciendo.

Las principales ventajas de una Fitobarrera son su elevada capacidad de captar caudal; 3-4m³/h y su reducido coste, propio de la compra de los árboles, acondicionamiento del terreno e instalación del sistema de riego.

4. Instalación de un sistema de remediación preventivo en la planta TAR

La instalación de un sistema de remediación en un lugar estratégico en la planta TAR, que es la más cercana al río, se trata de una técnica preventiva que en el caso de producirse algún incidente en la planta TAR, el Sistema de Remediación actuaría para reducir y eliminar el penacho de contaminación.

En este proyecto se desarrollará una barrera hidráulica para controlar problemas de estanqueidad en el reactor biológico PACT-1 ya que es el reactor donde el agua tiene más concentración de contaminantes y es un foco que en caso de fuga sería muy problemático por el gran volumen de agua que alberga en su interior.

4.1 Elección del sistema de remediación

Se debe elegir un sistema de remediación que tenga la capacidad de reducir y parar la extensión del penacho de contaminación interviniendo en el flujo de agua subterránea por lo que la infiltración de surfactante, la SVE, la hidrosiembra y la ventilación pasiva no serán técnicas adecuadas para instalar en una red piezométrica que pueda remediar la

⁶ Del verbo drenar; medio para asegurar la salida de líquidos, generalmente anormales, de una herida, absceso o cavidad.

contaminación en aguas subterráneas ya que son técnicas de remediación para suelos contaminados. Otro sistema de remediación a descartar es la Fitobarrera. El motivo es simplemente que ya disponemos de una Fitobarrera instalada cerca del límite de los terrenos de IPT con el río. Quedándonos como sistemas de remediación factibles el iSOC®, los O-socks, el Air Sparging y la barrera hidráulica.

Teniendo en cuenta que la geología de la zona de la planta TAR es una zona donde predominan las arenas y gravas gruesas (MW-26) lo que hace que el flujo de aguas subterráneas sea elevado por lo que el iSOC®, los O-socks y el Air Sparging no serán técnicas adecuadas ya que estas son efectivas en flujos lentos de aguas subterráneas porque son técnicas que incentivan la actividad microbológica, en el caso del iSOC® y de los O-socks, o propician una extracción física de los contaminantes hacia la superficie, lo que sucede con el Air Sparging.

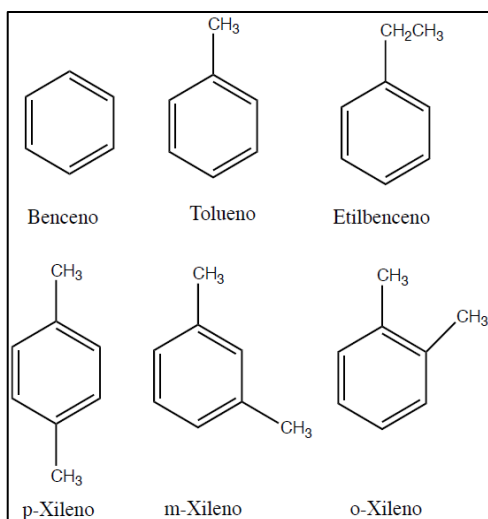


Figura 12: BTEX

Por lo que el sistema de remediación más eficiente y efectivo será la barrera hidráulica. El sistema de bombeo, materiales, flujos y demás tendrán que escogerse en función de los posibles contaminantes que puedan llegar a la planta TAR, que son básicamente Compuestos Orgánicos Volátiles, concretamente los llamados BTEX⁷. Éstos BTEX llegan a la planta TAR desde las plantas de producción química a través de sus aguas residuales.

4.2 Ubicación

La ubicación de la barrera hidráulica debe de contemplar el flujo de las aguas subterráneas, su dirección y su sentido. Mediante los programas informáticos AUTOCAD y SURFER de interpretación de datos geológicos del complejo se pueden hacer funciones del flujo de las aguas subterráneas y a partir de estas la dirección y sentido del flujo (Anexo 1).

⁷ Se denomina BTEX al conjunto de Compuestos Orgánicos Volátiles: Benceno, Etilbenceno, Tolueno y los tres isómeros del Xileno.

Teniendo esta información, la barrera debe ubicarse de manera que abarque la suficiente superficie para que intercepte la dirección del penacho (flujo de agua subterránea contaminada) y con una distribución que potencie la eficiencia de la barrera. Si observamos el plano donde aparecen las funciones del flujo y las líneas de gradiente hidráulico (anexo 1), observamos la tendencia que tiene el flujo de agua subterránea. Con las características de las bombas hidráulicas, su radio de acción y su posición podemos crear una barrera hidráulica eficiente y funcional.

Para la construcción de la barrera hidráulica aprovecharemos el piezómetro MW-26 (nomenclatura oficial de la empresa IPT, que en este proyecto se dirá MW-1 para no crear confusión) porque es un piezómetro antiguo que tiene un diámetro de 4 pulgadas, equivalente a 10.16 centímetros, que permite la introducción de una bomba hidráulica, tenemos información sobre su corte geológico, que por la proximidad de los otros piezómetros podremos interpolar con bastante exactitud las medidas de perforación y de la composición de los diferentes estratos que encontraremos.

A partir del MW-1, crearemos una barrera hidráulica en dirección perpendicular al gradiente hidráulico ubicando los puntos de perforación en zonas donde no se encuentre cableado ni conductos de ningún tipo. La distancia entre los piezómetros será de 11 metros aproximadamente ya que el radio de acción de las bombas en el piezómetro es de aproximadamente 5-6 metros, hasta que la barrera tenga un radio de acción adecuado para remediar la zona para la que se construye. La ubicación exacta de los piezómetros tendrá que ser certificada por el departamento de ingeniería para asegurarnos que no hay ningún conducto o elemento enterrado en la zona del sondeo. Las coordenadas exactas de cada piezómetro se harán con un GPS ATEX para garantizar la precisión geográfica.

Las coordenadas de los 4 piezómetros que conformarán la barrera hidráulica son:

	MW-1	MW-2	MW-3	MW-4	MW-5
X	351655.44	351663.91	351672.59	351682.08	351690.19
Y	4561780.38	4561786.54	4561793.09	4561800.19	4561806.41

Tabla 1: Coordenadas de los piezómetros MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5.



Figura 13: Mapa con la localización de los piezómetros MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5

La barrera hidráulica está formada por MW-1, MW-2, MW-3, MW-4 más el MW-5 que no formará parte de la barrera hidráulica como tal sino que será un piezómetro de control que garantizará abarcar todo el diámetro del reactor biológico y en el caso que la fuga del reactor fuera más lateral lo empalmaríamos al sistema hidráulico.

4.3 Construcción del piezómetro

4.3.1 Perforación

4.3.1.1 Método

Para escoger el método de perforación es importante definir la función del piezómetro. En nuestro caso van a ser unos piezómetros donde lo que se va a evaluar va a ser la calidad del agua subterránea con lo que se deberá escoger una técnica de perforación que altere lo mínimo posible la química del agua subterránea y la estructura geológica del emplazamiento. En este caso la técnica más adecuada será la de rotación con recuperación de testigo.

Esta técnica nos garantizará una perforación que altere lo mínimo los estratos geológicos,

pudiendo, al mismo tiempo, obtener muestras de los suelos extraídos y poder hacer el perfil litológico de los piezómetros de la barrera hidráulica. Este instrumento de perforación por rotación consta de 2 partes; la batería y en el extremo, una corona de widia.⁸

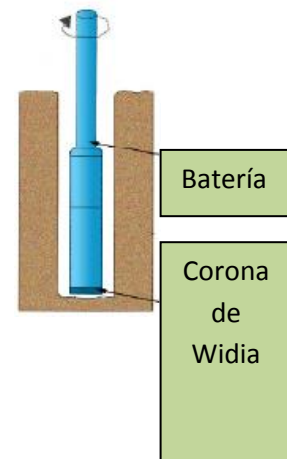


Figura 14: Esquema de sistema de perforación en rotación

4.3.1.2 Diámetro

El diámetro de perforación de los piezómetros tiene que ser suficientemente ancho para garantizar la instalación de las bombas pero no demasiado ancho porque la se acumularía volúmenes de agua muy grandes, lo que ralentizaría los procesos de purga y bombeo. El diámetro del MW-1 ya fue idóneo para este tipo de piezómetros por lo que MW-2, MW-3, MW-4 y MW-5 tendrán su mismo diámetro, 4 pulgadas (10.16 cm).

4.3.1.3 Profundidad

La profundidad de cada piezómetro depende principalmente de las condiciones hidrogeológicas de la zona de perforación. En nuestro caso tenemos el informe geológico (Anexo 2) del MW-1 con lo que tendremos una idea bastante exacta de donde se encuentra el nivel freático y a que profundidad se encuentra el estrato más impermeable, las margas. En este caso se encontrarán, aproximadamente, sobre los 7-8 metros.

4.3.2 Materiales del tubo piezométrico

⁸ Carburo de Wolframio. Es una abreviatura del alemán *wie Diamant* "como el diamante" y se caracteriza por su elevada dureza.

La elección del material del tubo piezométrico debe garantizar la funcionalidad del piezómetro, en nuestro caso, que vamos a instalar una barrera hidráulica, que el tubo resista la instalación de la bomba seleccionada y que no presente procesos de lixiviación, desorción o de reacción con los contaminantes presentes en el agua, que en nuestro caso serían los llamados BTEX. En el caso que tengamos las mismas prestaciones de varios materiales se escogerá el más económico.

Los materiales más idóneos para el tubo piezométrico son el cloruro de polivinilo (PVC) y el politetrafluoroetileno (PTFE o Teflón®). Los dos materiales son ligeros, resisten a la gran mayoría de los compuestos orgánicos, con excepción de algún organoclorado. El PTFE es más frágil que el PVC pero más inerte. La gran diferencia entre estos 2 materiales, es la económica.

Al tener prestaciones muy parejas en los 2 materiales (PVC y PTFE), escogeremos el PVC porque el PTFE tiene un precio mucho más elevado.



Figura 15: Introducción del prefiltro



Figura 16: Prefiltro de grava silícea

Una vez instalados los tubos, entre las paredes del sondeo y las del tubo piezométrico se forma un espacio anular. El material que se usa como relleno del espacio anular, el prefiltro, debe de ser sólido, debe evitar que se introduzca por las ranuras del tubo piezométrico cualquier parte de suelo de los diferentes estratos, debe de ser bastante homogéneo, que no altere las características ni del piezómetro ni del agua subterránea pero que sea muy permeable para que el agua fluya al interior del piezómetro sin obstaculizarla, que sea inerte y no produzca ningún tipo de alteración química del agua que llega al piezómetro. El relleno del prefiltro debe abarcar toda la parte ranurada del tubo, para asegurarnos de ello se instalará el prefiltro hasta unos 50-60 centímetros por encima de dicha zona.

El material idóneo para rellenar el espacio anular de cualquier piezómetro suele ser la grava silícea.

Existen tubos piezométricos con el prefiltro instalado de fábrica, con este tipo de tubos aseguras una buena homogeneización del prefiltro con las paredes del tubo. En nuestro caso, se instalarán piezómetros a los que se les bombeará el agua de su interior constantemente por lo que la utilización de este tipo de tubos no nos será especialmente útil y representaría una diferencia de coste adicional importante e innecesaria.

Cuando el terreno donde se instala el piezómetro es granular y homogéneo se puede usar como prefiltro el mismo material geológico extraído en el sondeo. En la zona donde se van a instalar nuestros piezómetros tenemos estratos con permeabilidades y tamaño de partículas diferentes, con lo cual, el prefiltro que usaremos será de grava silícea.

4.3.3 Sellado

Una vez instalado el prefiltro por encima de éste se debe colocar una capa de material inerte (tierra), y encima un material sellante. La capa de material inerte tiene la función de separar el prefiltro del material sellante, que debe de garantizar el aislamiento del piezómetro con el exterior, evitando la entrada de flujos verticales y de cualquier sustancia ajena al sistema piezométrico.

El material que se utilizará para hacer el sellado será cemento con un grosor de unos 50-60 centímetros, aproximadamente.

4.3.4 Desarrollo del piezómetro

El desarrollo del piezómetro es el procedimiento final en la construcción de un piezómetro que consiste en el bombeo del agua del interior del piezómetro con el fin de eliminar todas las alteraciones que éste tenga en su interior causadas por el sondeo y así poder obtener muestras del agua subterránea representativas.

Para este proceso se utilizarán bombas eléctricas sumergibles que se caracterizan por su potencia, porqué deben de ser capaces de bombear aguas con cantidades importantes de partículas sólidas.

El tiempo de desarrollo es diferente para cada piezómetro y depende de la composición del terreno y de la velocidad a la que se hace el sondeo. Uno de los indicadores que nos da una idea aproximada de que el desarrollo se encuentra en su fase final es la turbidez con la que

sale el agua extraída, pero lo que nos indicará realmente que el desarrollo ha terminado será cuando midamos dos o tres parámetros y estos se estabilicen. Los principales parámetros que mediremos son; pH, Conductividad, Temperatura y el Potencial Redox.

Una vez finalizado el proceso de desarrollo del piezómetro se procede al proceso de acabado.

4.3.5 Acabado

El acabado es el procedimiento que se efectúa con el objetivo de proteger el piezómetro del exterior y asegurar así su estanqueidad.

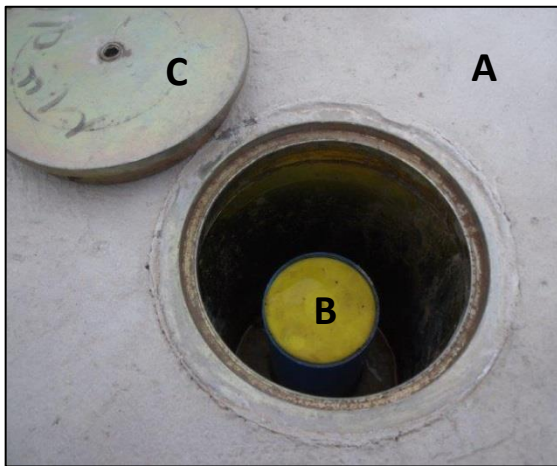


Figura 17: Partes del piezómetro; arqueta (A), tapón de PVC (B), tapa metálica atornillada (C)

MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, MW-5, son piezómetros que se instalarán en una zona pavimentada teóricamente libre de tráfico pero muy próxima a una vía de paso de vehículos por lo que se instalarán arquetas (A) que cubran toda la instalación y estén al nivel del suelo. El piezómetro tendrá un tapón de PVC (B) que prevendrá la entrada de flujos verticales y éste estará cubierto por una tapa metálica con una clavija atornillada (C), que prevendrá la manipulación indebida del

piezómetro y con el número del piezómetro grabado; Ej. MW-3, que ayudará a los técnicos a localizar cada piezómetro inequívocamente.

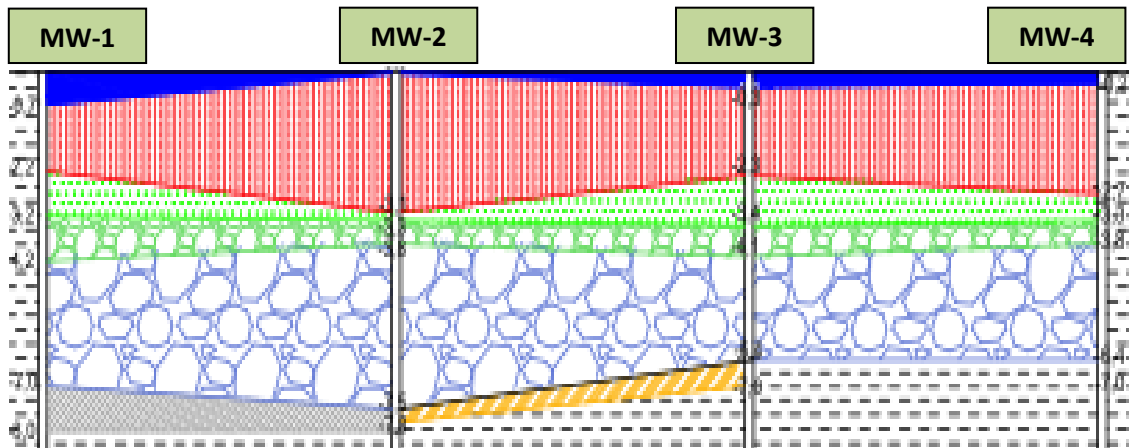
5. Corte litológico

El corte litológico es una representación gráfica de la distribución de los estratos en una porción de terreno concreta. Dicha representación gráfica se obtiene de la interpolación de los resultados de los estratos extraídos en el sondeo de cada piezómetro individualmente. Los estratos individuales de cada sondeo se van obteniendo conforme se va perforando, se acumulan muestras en cajas y se va anotando la profundidad a la que se extraen los diferentes estratos.

El corte litológico nos aporta información hidrogeológica de una porción de terreno determinada, en este caso de la porción de terreno dónde se encuentra la barrera hidráulica (MW-1 – MW-4).

La información hidrogeológica que se obtiene del corte litológico es imprescindible para poder comprender el comportamiento de los piezómetros; velocidad de flujo, estanqueidad, variaciones estacionales, variaciones meteorológicas, etc.

Si observamos nuestro corte litológico (hecho a escala 1/200) observamos que todos los piezómetros están instalados sobre una primera solera de hormigón, con excepción del MW-2 que se encuentra sobre una superficie de gravas. Antes de llegar al nivel piezométrico tenemos un estrato muy amplio de rellenos y por debajo uno más fino de limos y arenas finas. Por debajo del nivel piezométrico observamos una combinación de estratos con gravas, bolos, cantos y arena limosa; estos estratos tienen la particularidad de presentar poca compactación, esto hace que haya muchos huecos intersticiales por donde puede fluir el agua, como consecuencia de estos huecos el flujo del agua por estos estratos es elevado, por lo que elegir como sistema de remediación una barrera hidráulica nos garantizará más efectividad que cualquiera de los otros sistemas de remediación, que requieren tener un flujo de agua en el piezómetro bajo para ser efectivos. Por último en la parte inferior de los piezómetros MW-1, MW-2, MW-3, MW-4, se encuentran dos estratos de arcillas y margas. Estos estratos se caracterizan por tener una alta compactación, en consecuencia, el agua no atraviesa apenas estos estratos por la falta de huecos intersticiales. Llegado el sondeo a los niveles de arcillas y margas se detiene porque sabemos que el agua no atravesará estas capas y seguir perforando no favorecería la entrada de agua, solamente aparecerían problemas de estanqueidad del agua de la parte inferior del piezómetro.



6. Sistemas de muestreo

6.1 Introducción

El principal objetivo de la toma de muestras es la obtención de muestras representativas y minimizar todo tipo de cambios en la composición química del agua durante el muestreo. Por eso es esencial escoger un sistema de muestreo y un equipo apropiados para la toma de muestras.

Los 3 principales parámetros que repercuten en mayor medida en la elaboración de un programa de muestreo son:

- La composición geológica de los diferentes estratos presentes en el piezómetro; el tipo de materiales que los forman, su espesor, la profundidad a la que se encuentran y sobretodo, localizar el nivel del freático.

- Los tipos de contaminantes que se van a muestrear (COV's, metales, etc.) y los factores que pueden influir en el resultado de las muestras; procedimiento de muestreo, almacenaje y transporte.
- La distribución lateral y vertical de la pluma para tener conocimiento de las concentraciones aproximadas en cada uno de los puntos donde se encuentran los diferentes piezómetros.

6.2 Consideraciones previas

Todo el sistema de muestreo, método utilizado, equipo de trabajo usado, sistema de purga utilizado, material de almacenamiento usado, condiciones de almacenaje y transporte, y todo tipo de incidencias en el proceso de toma de muestras, incluyendo el almacenaje y el transporte hasta el laboratorio de análisis, deberá estar perfectamente redactado por escrito en un informe de conjunto (que incluya todas las muestras cogidas en ese mismo día) destacando todas las incidencias particulares que hayan ocurrido en cada uno de los puntos de muestreo. También se incluirá el nombre de la empresa encargada de la toma de muestras y el nombre del responsable del muestreo.

6.3 Muestras no representativas

En el muestreo de aguas subterráneas existe la gran posibilidad de que la muestra obtenida de un piezómetro no sea representativa, que su composición difiera notablemente de la composición real de las corrientes de agua subterránea. Esto sucede cuando muestreamos en un piezómetro que está compuesto por unos estratos muy compactos (arcillas) lo que provoca que las aguas en su interior estén muy estancadas, no dejando que fluyan correctamente y algunos parámetros analíticos estén alterados. Para evitar este tipo de errores se recomienda bombear el volumen del agua estancada para poder realizar un muestreo representativo.

[11] Se ha demostrado también que el bombeo excesivo de las aguas en un piezómetro puede aumentar o disminuir las concentraciones de los contaminantes haciendo que las muestras no sean representativas.

6.4 Protocolo para un correcto sistema de muestreo de piezómetros

6.4.1 Introducción

La toma de muestras de aguas subterráneas a través de piezómetros no es un proceso sencillo si lo que se quiere obtener son resultados analíticos representativos.

Uno de los parámetros más importantes en el análisis del estado de las aguas subterráneas y los suelos es la correcta elección del sistema de muestreo ya que es básico para la obtención de resultados representativos.

6.4.2 Medición del nivel del agua



Figura 19: Sonda de nivel

Antes de realizar la purga del piezómetro y el posterior muestreo, es imprescindible determinar el nivel del agua. El instrumento más utilizado para medir el nivel del agua es una sonda de nivel con señal luminosa y acústica. Este instrumento de medida está formado por un sensor, que al tocar el agua emite un sonido y una señal luminosa, ligado a una cinta métrica. Una vez que hemos determinado el nivel del agua, se apaga el sensor y se deja caer la sonda hasta que toque el fondo del piezómetro. Con este segundo procedimiento podemos

saber el volumen de agua del piezómetro y si ha habido cambios en la profundidad total del piezómetro que puede ser provocado por fracturas del tubo piezométrico o por la entrada de fines en el interior. Las principales ventajas de utilizar este dispositivo son su pequeño diámetro, lo que lo hace accesible a piezómetros de reducido diámetro, y su moderado precio. Éste dispositivo tiene un error de ± 0.5 centímetros, aproximadamente.

La medición del nivel del agua es imprescindible ya que nos dará información sobre la cantidad de agua que hay en el interior del piezómetro lo que nos proporcionará información sobre las condiciones hidráulicas de la zona y de la efectividad del piezómetro. Un nivel de agua bajo puede significar que haya un piezómetro demasiado cerca de este y haga que el piezómetro no tenga la efectividad deseada. Niveles anormalmente altos de agua en determinadas épocas del año significará que ha habido alteraciones, normalmente climatológicas (lluvias), que han hecho aumentar los niveles de agua puntualmente, por lo que se esperarán concentraciones de contaminantes menores por la dilución producida.

Un estudio sobre los niveles de agua de los piezómetros durante el año es idóneo para poder comprender los cambios estacionales del nivel del agua y los consecuentes cambios en los parámetros químicos analizados en un periodo de tiempo determinado.

6.4.3 Elección del equipo y del material de muestreo

Para la correcta elección del material de muestreo hay que tener en cuenta una serie de parámetros; saber cómo el dispositivo y el material elegido para el muestreo afecta biológica, hidrológica y químicamente a la muestra.

6.4.3.1 Elección del equipo de muestreo

[5] La elección del equipo de muestreo es fundamental y su elección debe tener en cuenta la acción que se va a realizar (purga o toma de muestras), el tipo de componentes a analizar que se encuentran presentes en el agua y el presupuesto disponible para cada uno de los piezómetros.

Existen 2 tipos de dispositivos según su estructura; los equipos manuales y equipos de bombeo.

- Equipos manuales
 - Dispositivos de carcasa que son principalmente los denominados Bailers, con una o dos aperturas. Son dispositivos de un solo uso.
El uso de estos equipos requiere una técnica experimentada por parte del técnico encargado de la toma de muestras ya que hay que introducir los recipientes muy lentamente en el piezómetro y esperar a que se llenen de agua antes de extraerlos. No son adecuados para determinar ni metales ni Compuestos Orgánicos Volátiles porque se produce la pérdida de gases disueltos y aireación en el proceso de extracción. Son una buena alternativa cuando el piezómetro no dispone de bomba y cuando el diámetro de este es pequeño.
- Equipos de bombeo
 - Bombas de succión. Estas bombas aplican una presión negativa y aspiran el agua del piezómetro. Dentro del grupo de las bombas de succión existen las bombas centrífugas y las peristálticas. Las centrífugas no son adecuadas para determinar COV's ya que con

el vacío producen la desgasificación del agua, en cambio las peristálticas sí que son adecuadas para muestrear COV's ya que se puede modificar la velocidad de succión hasta niveles muy bajos, evitando la pérdida de COV's. Una de las restricciones de estas bombas es que no pueden succionar a profundidades superiores a los 7-8 metros.

- Bombas sumergibles. Son las más adecuadas porque producen menos alteraciones, tanto físicas como químicas que los otros equipos. Existen varios tipos; centrífugas, de pistón o desplazamiento positivo y las bombas del tipo *bladder*, éste último tipo, junto con las peristálticas proporcionan mejores resultados en la recuperación de componentes sensibles a la extracción. La de pistón tienen una mayor pérdida de volátiles cuando el pistón es desplazado por gas.

Para la determinación de COV's la principal característica que debe tener una bomba es tener un flujo lo más pequeño posible y constante.

6.4.3.2 Elección del material del equipo de muestreo

Una vez se ha escogido el dispositivo adecuado que se va a utilizar para el muestreo, hay que definir qué tipo de material se va a usar. La elección del material del equipo adecuado tiene gran importancia ya que, principalmente, puede tener una influencia química en nuestra muestra, haciendo que esta no sea representativa. El material con el que está fabricado el equipo puede afectar químicamente de las siguientes maneras:

- Ataque químico: corrosión, deterioración.
- Efectos de adsorción y/o absorción.
- Efectos de lixiviación.

Los principales materiales utilizados para el muestreo de aguas subterráneas en piezómetros son:

- Teflón: es el material más recomendado para la cogida de muestras ya que es inerte a la gran mayoría de los compuestos orgánicos e inorgánicos⁹, es muy resistente a la corrosión

⁹ El Teflón solamente es atacado por metales alcalinos en estado elemental, por trifloruro de cloro y por flúor elemental a altas temperaturas y presiones.

lo que lo hace el material más fiable para prevenir deterioro e imprecisiones. Su principal desventaja es su elevado precio.

- Acero inoxidable: se considera un material inerte para muestras con componentes inorgánicos incluso en medios muy corrosivos, al contrario que cuando el medio corrosivo está presente con componentes orgánicos, que no es apropiado su uso. Su elevado precio es una de las principales desventajas, aunque es más económico que el Teflón.
- PVC: Recomendado para un muestreo limitado de componentes, adecuado para muestras con presencia de compuestos inorgánicos y ausencia de compuestos orgánicos agresivos, que tienen la capacidad de propiciar lixiviación. Su económico precio es la principal ventaja de este material.
- Polietileno/polipropileno de alta densidad: más inerte que PVC, provocando una menor alteración en la analítica de las muestras, pero menos inerte que el Teflón. Se deterioran en contacto con cetonas, ésteres e hidrocarburos aromáticos. Más económico que el PVC.

6.4.4 Purga

La purga se podría definir como la extracción del volumen de agua necesario para que se estabilicen los parámetros analizados in-situ de las muestras extraídas de un piezómetro para que el muestreo sea representativo.

La necesidad de purgar un piezómetro dependerá de dos factores fundamentalmente:

- Tipo de piezómetro; si el piezómetro es de control, que no tiene ningún sistema de remediación instalado (Sparging de oxígeno, O-socks, Air Sparging, etc.), se purgará siguiendo el procedimiento explicado más adelante, pero si se trata de un piezómetro de remediación y éste tiene un sistema instalado se deberá:
 1. Parar el sistema de remediación
 2. Extraer el sistema de remediación
 3. Esperar 24/48 horas a que se estabilicen los parámetros
 4. Proceder con la purga

A los piezómetros que se les tomen muestras a diario no será necesario realizarles ningún tratamiento de purga, bastará con dejar correr el agua extraída unos minutos y posteriormente tomar la muestra.

- Tipo de contaminante que se quiere analizar; principalmente, cuando el contaminante objetivo es un compuesto volátil, la purga será preferible no hacerla, pero, si por las características del piezómetro fuera necesario, para que la muestra fuera representativa, se recomendaría hacerla con una bomba que tenga un flujo constante y lo más bajo posible, (tal como indica el apartado 6.4.3.) porque una bomba de flujo constante y reducido, garantizaría la mínima pérdida de COV's.

Si una muestra de agua fuera tomada en un piezómetro sin purgar habría una serie de factores que podrían estar alterados y propiciar que los resultados de las analíticas distaran de la realidad afectando a parámetros de análisis como pH, Potencial de Oxidación Reducción, concentración de metales, oxígeno disuelto, etc.

Los factores que podrían ser afectados son:

- Temperatura
- Actividad Biológica
- Concentración de compuestos volátiles
- Reacciones con el material de la estructura piezométrica
- Niveles de oxidación

6.4.4.1 Procedimiento de purga

La cuestión clave en la purga de un piezómetro es conocer la cantidad de agua que hay que extraer para poder garantizar que un piezómetro está correctamente purgado.

El error más común que se suele cometer y que se encuentra escrito en numerosa bibliografía es el de creer que purgando 2,3 o 5 veces el volumen de agua de un piezómetro nos asegura que esté perfectamente purgado. Proceder de este modo no solo implica no saber si el piezómetro está correctamente purgado, sino que implica tener pérdidas no solo económicas sino también de tiempo y de información hidrológica del emplazamiento piezométrico.

Para el correcto procedimiento de la purga hay que hacer un seguimiento de todos los parámetros posibles o al menos de los parámetros que tengan más importancia en nuestro caso en particular (mínimo dos de ellos, los más recomendables para hacer la purga son; pH y conductancia específica [12]). Los parámetros más importantes que se suelen medir para asegurar una correcta purga son:

- pH
- Oxígeno Disuelto

- Temperatura
- Conductancia específica
- Potencial de Oxidación Reducción
- Turbidez

Todos estos parámetros hay que medirlos al momento en el lugar donde se realiza la purga. También es obligatorio calibrar todos los instrumentos antes de empezar la purga, para ahorrar tiempo se pueden calibrar todos a primera hora de la mañana, pero siempre hay que calibrarlos el mismo día de la purga. Un listado básico del material con el que debería contar el técnico encargado de la purga es:

- Bomba de purga i accesorios¹⁰
- Generador de la bomba
- Sonda de nivel
- Herramientas¹² de muestreo
- Termómetro
- Conductímetro
- pH-metro con soluciones tampón¹¹
- Medidor de oxígeno disuelto
- Medidor del potencial Redox
- Turbidímetro
- Recipientes para desechar las muestras medidas
- Equipo¹³ de limpieza

El seguimiento de estos parámetros se hará a través de una hoja de seguimiento que incluirá la fecha, el nombre de la empresa que se encarga del servicio, el nombre del técnico que se encarga de la purga, el número del piezómetro purgado, el tipo de bomba con la que se ejecuta la purga, las condiciones climatológicas, los tiempos (periódicos) en los que se saca la muestra, el volumen de agua bombeado y las medidas de todos los parámetros a analizar.

[12] Se considerará que los parámetros se han estabilizado cuando sus variaciones en un periodo mínimo de 15 minutos sean:

pH	± 0.2 – 0.3 unidades
Temperatura	± 0.2°C o variación de ± 3%

¹⁰ Tubos, cableado, toma de corriente.

¹¹ Soluciones d pH 4, 7, 10 para la calibración.

¹² Envases, etiquetas, filtros, nevera para la conservación de muestras, conservantes para las muestras, caudalímetro y acumulador si fuera necesario.

¹³ Detergentes para la limpieza del material de purga, agua destilada y papel para secar los equipos.

Conductancia específica	± 5% para valores ≤100 μS/cm y ± 3% para valores >100 μS/cm
Oxígeno Disuelto	Variaciones ± 10%
Potencial de Oxidación Reducción	Variaciones ± 10 mV
Turbidez	± 10% para valores entre 1 – 100 NTU

Tabla 2: Intervalos de variación para los parámetros (en negrita) para la finalización de la purga

6.4.5 Almacenaje, etiquetado y transporte

[17] Las condiciones de almacenaje y transporte son unos de los parámetros más importantes a tener en cuenta para asegurar unos resultados representativos del muestreo.

Para el almacenamiento de muestras con COV's, más concretamente, BTEX, se recomienda la utilización de un recipiente de vidrio de 40 ml con tapón esmerilado o de teflón con un conservante que en este caso es ácido sulfúrico (H₂SO₄). El envase tiene que llenarse por completo y llenar el tapón de muestra, para evitar la aireación de la muestra y al cerrar el envase no pueden quedar burbujas de oxígeno en el interior. Es muy importante que en el proceso de llenado del recipiente no se vierta ninguna gota de agua de su interior ya que con el agua vertida se pierde, también, el ácido sulfúrico y, consecuentemente, su acción conservante. Cuando se trabaja con muestras contaminadas con COV's es preferible que la manipulación se haga lo más rápida posible y preferiblemente en la sombra, para que la luz del sol no toque los viales de muestra.

Una vez recogidas las muestras hay que ponerlas en neveras que garanticen que el agua del interior va a estar a una temperatura por debajo de los 4°C para asegurar que las muestras lleguen al laboratorio en condiciones óptimas incluso en épocas de altas temperaturas.

Todas las muestras deben de estar etiquetadas para facilitar la identificación inequívoca.

El tiempo de transporte de las muestras desde el punto de muestreo al laboratorio de análisis debe de ser lo más rápido posible, procurando que éste no exceda de 24 horas.

7. Planta TAR

Una vez que se inicia la puesta en marcha de la barrera hidráulica el agua bombeada va directamente a la planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

La planta TAR es la planta donde se tratan las aguas residuales de 3 plantas de producción química. La planta TAR tiene 3 procesos bien diferenciados:

- Oxidación húmeda
- Tratamiento biológico
- Regeneración de fangos

La oxidación húmeda es una unidad de la planta denominada WAO (Wet Air Oxidation).

El tratamiento biológico se denomina PACT® (Powered Activated Carbon Treatment) y WAR (Wet Air Regeneration system) es el tratamiento de regeneración de fangos.

7.1 WAO (Wet Air Oxidation)

La oxidación húmeda (WAO) es un proceso que consiste en una reacción de oxidación donde el medio de reacción es agua en estado líquido. El objetivo de utilizar un proceso WAO es que las aguas residuales que llegan a la planta TAR contienen una serie de moléculas largas (polioles y poliglicoles) que no pueden ser eliminadas mediante un tratamiento biológico. Las reacciones de oxidación en la WAO no se producen en fase gas, por este motivo se requiere una elevada presión para poder mantener el agua en estado líquido. Al mantener el agua en fase acuosa, la oxidación requiere mucha menos energía para la operación auto térmica.

Al mantener la reacción en fase líquida no se liberan ni gases de óxidos de nitrógeno (NO_x) ni óxidos de azufre (SO_x), manteniéndose en agua en forma de nitratos y sulfatos, medioambientalmente aceptables.

Los hidrocarburos son transformados en CO_2 y agua.

Las condiciones de reacción son:

Temperatura	280-310°C
Presión	90-100 bar
Tiempo de reacción	1:30h

Tabla 3: Condiciones de reacción WAO

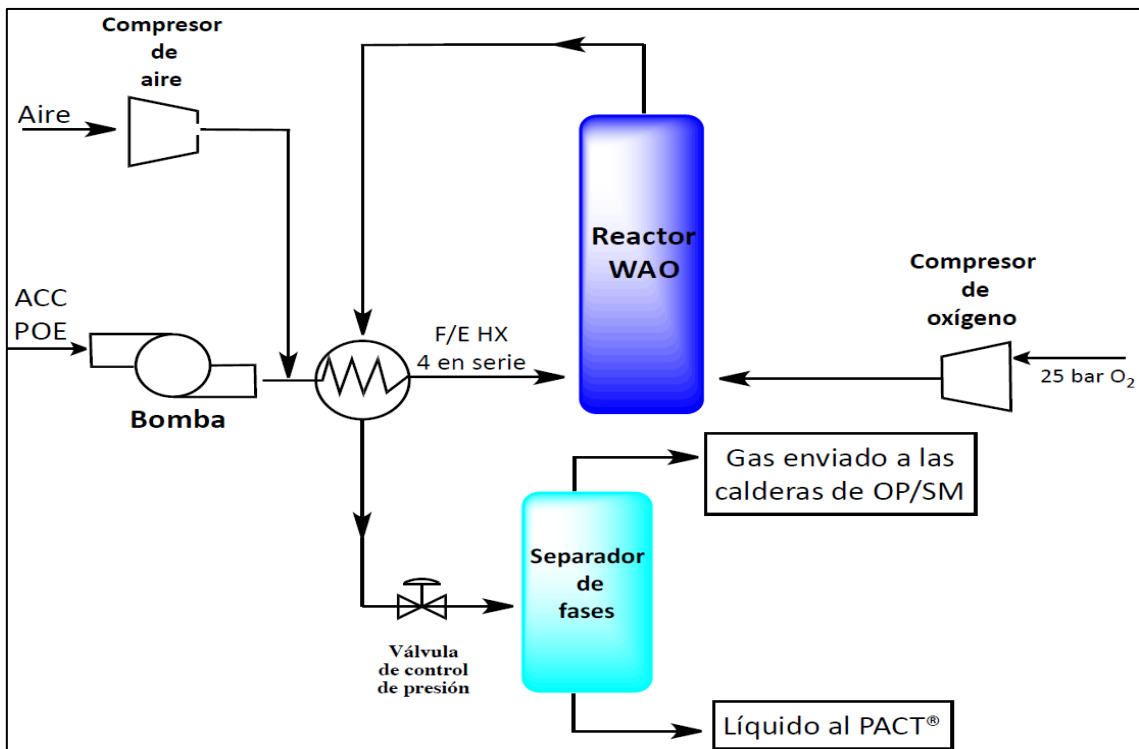


Figura 20: Diagrama del proceso WAO

Las aguas residuales de OP/SM (ACC) y de polioles y glicoles (POE) son bombeadas con una bomba de alta presión junto con una pequeña cantidad de aire comprimido por un compresor de aire. Solamente se necesita una pequeña cantidad de aire para prevenir el ensuciamiento de los 4 intercambiadores de calor (F/E HX) instalados en serie. Una vez la mezcla aire-agua ha sido calentada, entra en el fondo del reactor, por otra línea entra en el reactor oxígeno puro a 25 bares de presión a través de un compresor de oxígeno. Se utiliza oxígeno en lugar de aire para minimizar costes en el compresor ya que se necesitaría un compresor de aire 5 veces más grande que el compresor de oxígeno utilizado.

La reacción de oxidación que se produce en el reactor desprende calor haciendo que la temperatura en el reactor aumente 15°C, pasando de 280°C iniciales a la temperatura óptima de reacción.

Los parámetros del reactor del WAO son:

Dimensiones del reactor cilíndrico	Altura: 30m	Diámetro: 2m
Presión de operación	95 bar	
Temperatura del influente	280°C	

Temperatura del efluente	290-310°C
Tiempo de retención nominal	1:30h
Reducción de la DQO nominal	61%

Tabla 4: Características del reactor WAO

El efluente del reactor vuelve a atravesar los intercambiadores de calor para ser enfriado. El efluente enfriado es posteriormente despresurizado mediante una válvula de control de presión, seguidamente pasa a un separador gas/líquido para separar los gases no condensables del líquido condensado. El gas desprendido contiene, aproximadamente un 5-15% de oxígeno que es reconducido hasta las calderas de la planta OP/SM.

El líquido efluente contiene 20000-30000 mg/L de DQO y es trasladado al siguiente proceso de tratamiento, el PACT®.

El WAO elimina, aproximadamente, el 61% del DQO del corriente de alimentación proveniente de las plantas de OP/SM y de polioles y glicoles.

7.2 PACT® (Powered Activated Carbon Treatment)

El PACT® es un proceso de tratamiento biológico mejorado ya que permite mejorar el funcionamiento con unos tiempos de retención hidráulica menores que los que se suelen conseguir con los tratamientos convencionales o con los sistemas de tratamiento de lodos activados. Este tratamiento mejorado se consigue usando carbón activo pulverizado dentro del mismo sistema de tratamiento.

Existe un sinergismo con el proceso PACT® que no es posible obtener cuando la biomasa y el carbón activo están separados, ya que el carbón activo hace la doble función de acoger en su interior a la biomasa y de adsorber los compuestos orgánicos presentes en el PACT® con lo que conseguimos que los compuestos orgánicos estén sometidos a un doble tratamiento; el de adsorción y el biológico.

Al producirse ambos tratamientos en el sistema PACT® es necesario tratar el exceso de sólidos (carbón activo agotado y biomasa). Éste carbón activo agotado es recuperado mediante un proceso explicado más adelante llamado WAR (Wet Air Regeneration), y posteriormente se recircula al sistema PACT®.

El PACT® está formado por un tanque homogeneizador que se encarga de homogeneizar 2 corrientes; el efluente del WAO y la corriente BCC que corresponde al efluente de las balsas pluviales, 2 reactores biológicos, PACT-1 y el PACT-2, con sus decantadores respectivos situados a la salida de los reactores, D-1, D-2.

7.2.1 Tanque homogeneizador

El efluente del WAO junto a la corriente procedente de las balsas pluviales (BCC) llegan a un tanque homogeneizador cuya función es homogeneizar las aguas de los diferentes efluentes antes de ser enviadas al reactor biológico PACT-1.

7.2.2 PACT-1

Una de las particularidades del PACT-1 es que se trata del reactor biológico más grande de toda Europa, con una capacidad de 30.000 m³.

El PACT-1 tiene 2 influentes; una es el efluente del tanque homogeneizador y la otra es la corriente AP que corresponde a la corriente de la purga ácida de la planta OP/SM.

La particularidad del sistema PACT®, respecto a los sistemas de tratamiento biológico convencionales, es la adición de carbón activo pulverizado al reactor biológico, éste al tener una gran porosidad tiene la doble función de albergar en sus múltiples cavidades las bacterias aeróbicas encargadas de la eliminación de las sustancias que no pueden ser vertidas al emisario directamente y la función de adsorción de dichas sustancias, lo que facilita mucho la correcta ingestión por parte de las bacterias de las sustancias a eliminar. El carbón activo tiene una función característica en el reactor biológico; al tener un gran poder de adsorción de las moléculas orgánicas, éstas son adsorbidas (por el carbón activo), facilitando de esta forma su transformación a CO₂ y agua mediante la ingestión de estos compuestos orgánicos por los diferentes microorganismos que contiene el reactor biológico. Otra de las grandes ventajas de utilizar en el reactor biológico carbón activo es que las moléculas orgánicas, volátiles y no volátiles, causantes del mal olor sean eliminadas con una mayor eficiencia evitando que la planta TAR no desprenda olor provocado por la concentración de orgánicos en el agua.

Los microorganismos, que son aeróbicos, del reactor biológico necesitan unas condiciones específicas para poder alimentarse y vivir adecuadamente, por ese motivo en el reactor hay una adición constante de nutrientes; sulfato amónico y ácido fosfórico, y una adición de oxígeno, en forma de aire, constante para que los microorganismos puedan respirar y desarrollar su función. El sistema de aireación del PACT-1 opera para mantener un mínimo de

2 ppm de concentración de oxígeno disuelto. Del PACT-1 pasa a su correspondiente decantador (D-1).

El decantador del PACT-1 (D-1) tiene la función de separar la mezcla solidos/lodo del agua tratada.

Parte de los lodos procedentes del decantador se recirculan al PACT-1 y otra parte se purga a un espesador cuya función es la de generar un barro suficientemente concentrado en el fondo, alcanzando una concentración de sólidos de un 5%, que posteriormente, es enviado al sistema WAR para la regeneración del carbón activo, que es recirculado de nuevo hacia el PACT-1.

Éste agua tratada (efluente del D-1) pasa al segundo reactor biológico, el PACT-2.

El PACT-1 está diseñado para conseguir la eliminación del 87% de la DQO de las 3 corrientes de entrada: BCC, AP y WAO.

7.2.3 PACT-2

El PACT-2 es un tanque de aireación (o reactor biológico) de menor tamaño que el PACT-1 tiene capacidad para 6500 m³. En este reactor biológico se produce un tratamiento similar al del PACT-1. Del PACT-2 pasa al decantador D-2 y de allí se envía de nuevo al PACT-2 y al PACT-1.

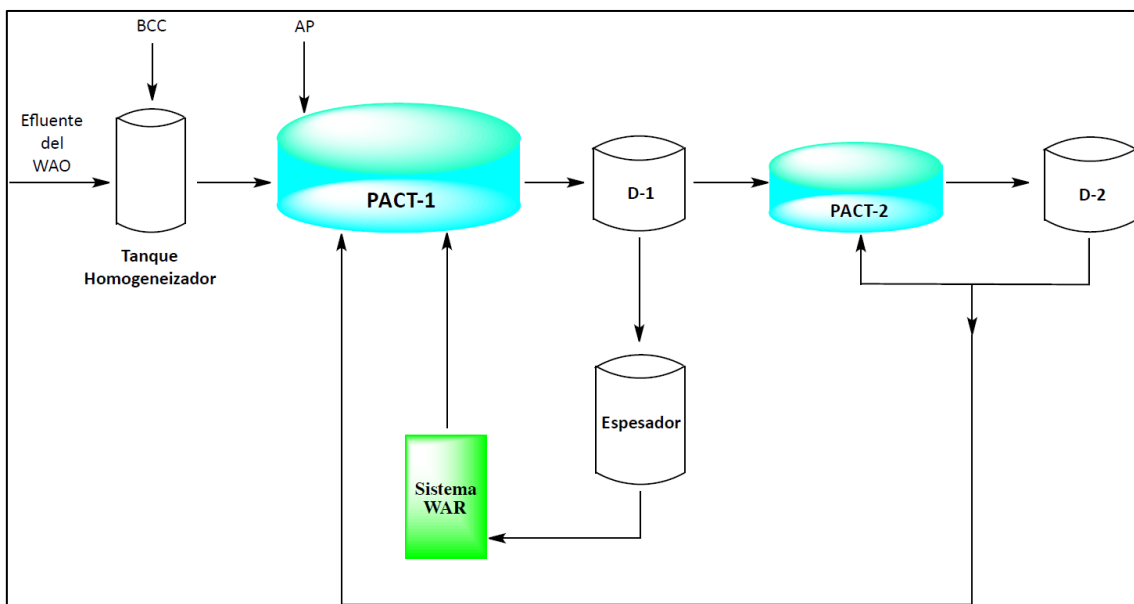


Figura 21: Diagrama del proceso PACT®

7.3 WAR (Wet Air Regeneration)

La unidad WAR tiene la función de regenerar el carbón activo gastado en la unidad PACT® y destruir, mediante oxidación, la biomasa y los orgánicos adsorbidos. La regeneración del carbón activo supone un ahorro económico importante de materia prima.

El lodo (carbón activo y biomasa) depositado en el espesador es enviado a un segundo espesador que concentra más los fangos. Una bomba centrífuga envía a una bomba de alta presión y esta envía al reactor de regeneración (reactor WAR). El reactor de regeneración oxida la biomasa con aire atmosférico a una temperatura entre 190-230°C. El efluente de este reactor son carbón y los gases formados en la reacción son despresurizados y enviados a la primera etapa de aireación. El gas del efluente es enviado a tratamiento térmico para su eliminación.

El reactor tiene en la parte inferior una válvula automática para realizar purgas del sistema. La válvula se abre cuando se acumula el carbón activo regenerado y se va extrayendo del sistema, las cenizas van a un tanque de almacenamiento que las envía al filtro de prensa para su posterior filtración y secado.

En esta unidad se pierde aproximadamente el 10% del carbón activo que recibe por lo que se compensa esta pérdida añadiendo carbón activo fresco al PACT-2 con el fin de mantener la concentración de sólidos al PACT-1.

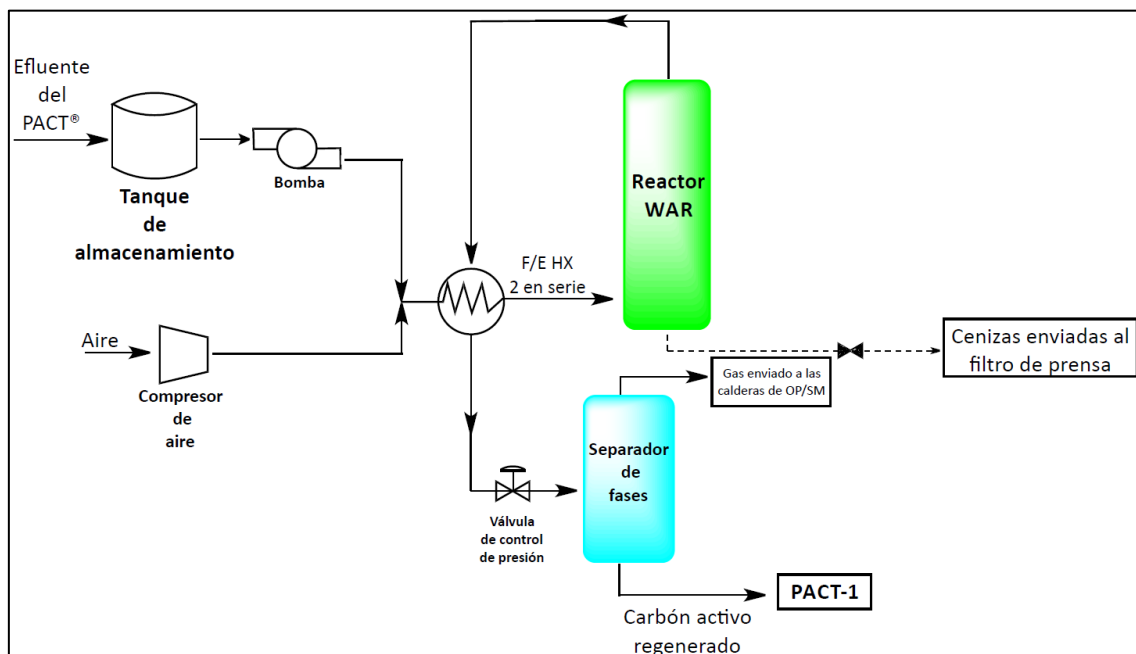


Figura 22: Diagrama del proceso WAR

7.4 Emisario

Una vez que el agua se ha tratado en el reactor biológico PACT-2, sale un efluente de éste hacia la balsa del emisario, que unos pequeños diques en su interior retienen los sólidos que puedan haber llegado del proceso de depuración. El agua ya tratada sale del emisario hacia el mar Mediterráneo.

8. Conclusiones

- a) Para la remediación de suelos y aguas subterráneas no existe ningún Sistema de Remediación que garantice una efectividad absoluta. La efectividad de los Sistemas de Remediación depende de las características del contaminante y las características hidrogeológicas de la zona por lo que la elección, ubicación e instalación de un Sistema de Remediación debe de ser estudiada particularmente para cada caso.
- b) La elaboración del corte litológico de la zona de estudio es esencial porque nos proporciona mucha información hidrogeológica que es imprescindible para entender las variaciones fisicoquímicas que aparecen durante la vida útil del piezómetro.
- c) El diseño de un procedimiento de muestreo comprende muchos factores, explicados en el proyecto, pero el factor más decisivo para garantizar la representatividad de las muestras es, sin duda, el factor humano. El muestreo de piezómetros es un procedimiento complejo, no solamente requiere gran concentración por parte del técnico de muestreo, si no que es importante que anote todos los datos requeridos en la hoja de seguimiento y, sobretodo, se redacten las incidencias y las anomalías que el técnico observe en cada uno de los puntos de muestreo. Esto facilitará la comprensión de factores alterados, en las analíticas, ajenos al estado del agua del piezómetro.
- d) La instalación de un sistema de Tratamiento de Aguas Residuales como el de IPT Química garantiza una optimización de los recursos destinados a el tratamiento de agua teniendo un proceso autónomo, eficiente y de una muy alta calidad. Todo esto se ve reflejado en la calidad de las aguas enviadas al emisario y de allí al mar Mediterráneo.

a) For the remediation of soil and groundwater there is no system to ensure absolute Remediation effectiveness. The effectiveness of remediation systems depends on the characteristics of the contaminant and hydrogeological characteristics of the area so the choice of the location and installation of a remediation system must be studied for each particular case.

b) Develop a lithologic cut of the study area is essential because it provides much hydrogeological information that is essential to understand the physical and chemical changes that occur during the life of the Monitoring Well.

c) The design of a sampling procedure involves many factors, explained in the project, but the more crucial factor to ensure the representativeness of the sample is undoubtedly the human factor. Monitoring Well sampling is a complex process that not only requires great concentration by the sampling technician, otherwise is important to enter all required data in the tracking sheet and report all the anomalies that technical note on each point of the sampling. This will facilitate the understanding of altered factors in the analyticals outside the piezometer water status.

d) The installation of a system of Wastewater Treatment such as IPT Química ensures the optimization of resources for the treatment of water having an autonomous, efficient and very high quality process. All this is reflected in the quality of water sent to the emissary and from there to the Mediterranean Sea.

9. Bibliografía

[1] Aguilar, M.I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., Ortuño, J.F. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales*; Universidad de Murcia; Murcia; 2002; p.89-103.

[2] Seonánez, M. *Manual de las aguas residuales industriales*; Mc Graw Hill; Madrid; 2012; p. 19-251.

[3] Fuetelsaz, F. Anguas, F.J., Hernández, E., Schidt G.; *La catástrofe de Aznalcóllar*; WWF/Adena; Madrid; 2008; p.6-37.

- [4] Thurman, E.M; *Organic geochemistry of natural waters*. Junk Publishers. Holanda. 1985; p.365-419.
- [5] Cohen, R., Mercer, J., Beljin, M. *Ground Water Issue: Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat Systems*; Technology Innovative Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA; Washington, DC. 1997.
- [6] Villón, M.; *Drenaje*; Editorial tecnológica de Costa Rica; Costa Rica; 2006; p.166-174.
- [7] Fernández,L., Fernández, J.A., López, J.A.; *Protección de las aguas subterráneas frente a vertidos directos e indirectos*; **2004**; instituto geológico y minero de España, ministerio de medio ambiente, gobierno de España; Granada; p.7-22.
- [8] Pedrerol, J., Ruiz, S., Maugans, C.B.; *US filter*; **2002**; The use of Wet oxidation and PACT® for the treatment of (PO/SM) Industrial Wastewaters at the Repsol PO/SM Plant in Tarragona; España.
- [9] Agència Catalana de l'aigua; **2005**; Protocol Mostreig d'aiguïes subterrànies; Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. España.
- [10] Wisconsin Department of Natural Resources; **1998**; Sampling procedures for monitoring and supply wells; www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/gw (03/12/2013)
- [11] How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers; **2012**; *OUST*; EPA 510-B-95-007.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1991a. Soil Vapor Extraction Technology: Reference Handbook. Cincinnati, OH: Office of Research and Development. EPA/540/2-91/003.
- [13] Yeskis, D., Zalava, B.; **2002**; Ground Water Sampling Guidelines for Superfund and RCRA Project Managers; Technology Innovative Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, Washington, DC.

- [14] U.S. Office of surface Mining Reclamation and Enforcement; **2012**; Well Purging Procedures for Obtaining Valid Water Samples from Domestic Monitoring Wells; U.S. Office of surface Mining Reclamation and Enforcement; EEUU.
- [15] Agència Catalana de l'aigua; **2009**; Guia d'instal·lació de piezòmetres; Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. España.
- [16] Agència Catalana de l'aigua; **2007**; Valors genèrics per a la restauració d'aigües subterrànies en emplaçaments contaminats per fonts d'origen puntual; Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. España.
- [17] Eurofins; **2012**; Protocolo de trabajo Eurofins analítico; Eurofins Analytico B.V.; Holanda.

10. Glosario

IPT: Industria Petroquímica Tarragona

TAR: Tratamiento de Aguas Residuales

iSOC®: in-situ Submerged Oxygen Curtain

O-socks: Oxigen socks

COV's: Compuestos Orgánicos Volátiles

SVE: Soil Vapor Extraction

BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y los tres isómeros del Xileno

PVC: Cloruro de polivinilo

PTFE: Politetrafluoroetileno

MW: Monitoring Well (piezómetro)

WAO: Wet Air Oxidation (Oxidación Húmeda)

PACT®: Powered Activated Carbon Treatment (Tratamiento Biológico con Carbón Activo)

WAR: Wet Air Regeneration (Regeneración Húmeda con Aire)

ACC: Aguas residuales de la planta OP/SM

POE: Aguas residuales de las plantas de glicoles y polioles

BCC: Efluente de las balsas pluviales

AP: Efluente de la purga ácida de la planta OP/SM

F/E HX: Intercambiadores de calor

DQO: Demanda Química de Oxígeno

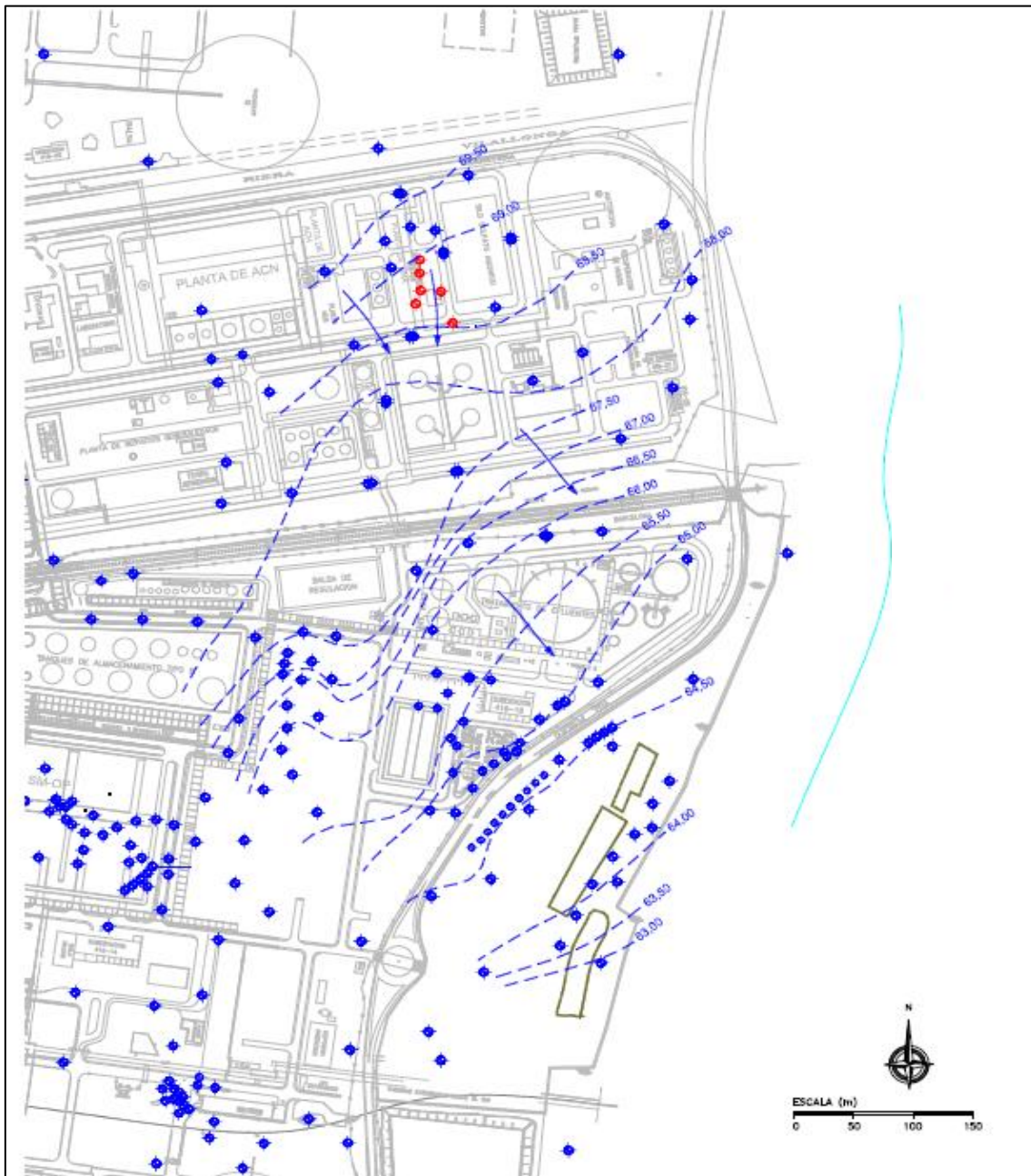
PACT-1: Reactor Biológico 1





PACT-2: Reactor Biológico 2

D-1: Decantador 1

D-2: Decantador 2

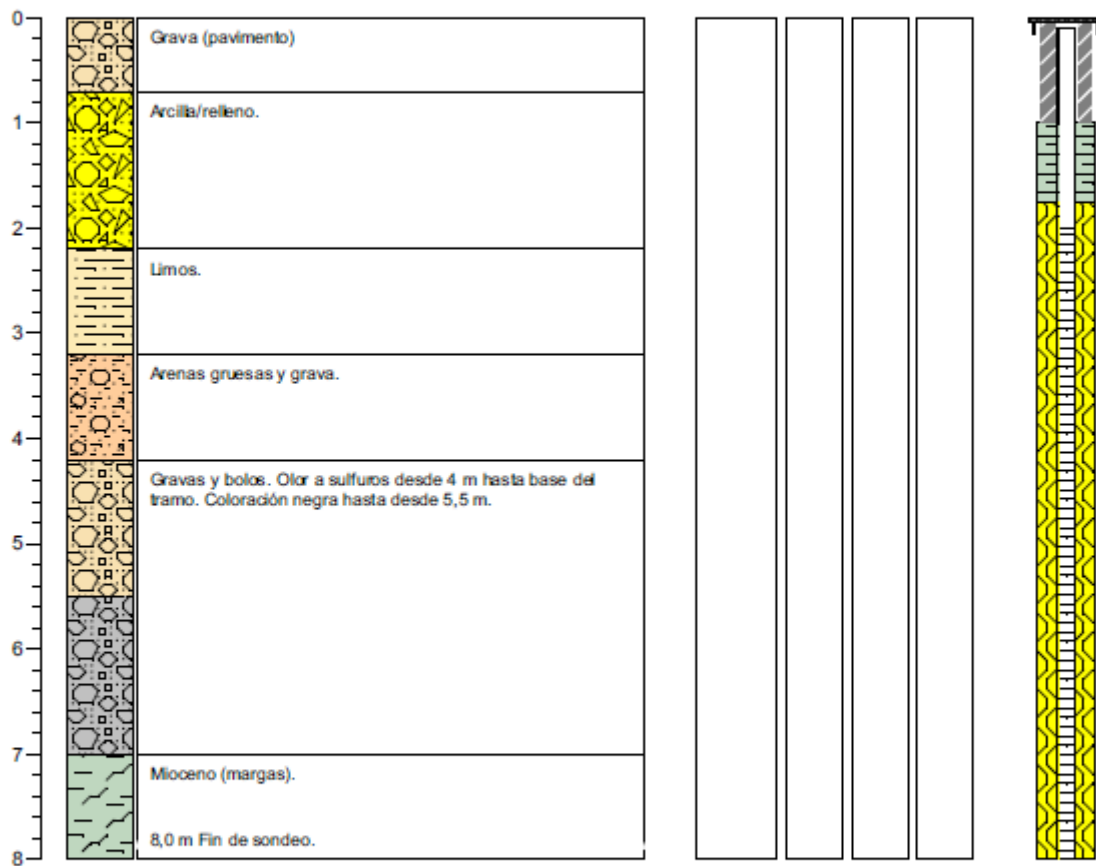
Anexo 1



LEYENDA	
	Piezómetros
	Pozos de bombeo (diciembre 2012)
 61.00	Isopieza (m)
	Dirección de flujo

Anexo 2

Profundidad (m)	Gráfico	Descripción Litológica	Muestra	PID (ppm)	Cobr	Olor	Nivel piezométrico	Construcción del pozo
-----------------	---------	------------------------	---------	-----------	------	------	--------------------	-----------------------



NOTAS:

Leyenda Color-olor

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte



Aguas subterráneas: piezómetros, sistemas de remediación y muestreo en una planta TAR by [Tiñena Torres, Eric Espallargas, Enedina](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License](#).

Puede hallar permisos más allá de los concedidos con esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>