



# TECMINSA, S. L.

TECNICAS MINERAS DE SANTA MARTA.

*Profesionales de la Tierra*

## ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO



**“ESTUDIO GEOLÓGICO, EDAFOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA DE UBICACIÓN DE UNA FUTURA Balsa de evaporación de aguas de bodega, a efectuar en la parcela 25 del polígono 31 del término municipal de Usagre (Badajoz)**

**PETICIONARIO: VITILOSA, S.L.**

**AUTOR: D. Francisco J. Fernández Amo**

# ÍNDICE

# PÁGINA

## 1.- INTRODUCCIÓN:

1.1.- Antecedentes.	1
1.2.- Descripción de la actividad	1
1.3.- Descripción de las instalaciones	1
1.4.- Metodología del estudio.	5
1.5.- Localización geográfica.	6

## 2.- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E HIDROLOGÍA:

2.1.- Geomorfología	8
2.2.- Hidrología.	8

## 3.- GEOLOGÍA:

3.1.- Introducción.	11
3.2.- Geología regional.	11
3.3.- Estratigrafía:	
3.3.1.- Introducción.	11
3.3.2.- Cámbrico inferior.	12
3.3.3.- Terciario.	13
3.3.4.- Cuaternario indiferenciado.	14
3.4.- Tectónica:	
3.4.1.- Precámbrica.	15
3.4.2.- Hercínica.	15
3.4.3.- Tardihercínica.	16
3.4.4.- Tectónica de fracturación.	16

# ÍNDICE

# PÁGINA

3.6.- Edafología.	17
4.- HIDROGEOLOGÍA.	
4.1.- Marco hidrogeológico:	
4.1.1.- Introducción.	18
4.1.2.- Estudio geofísico.	18
4.1.3.- Presencia de acuíferos en el entorno y Características geométricas y litológicas de los mismos.	24
4.1.4.- Tipología de los acuíferos.	27
4.1.5.- Características piezométricas, flujo subterráneo Y funcionamiento hidrogeológico.	27
4.2.- Hidrogeología local:	
4.2.1.- Inventario de pozos, sondeos y manantiales en el Entorno próximo.	30
4.2.2.- Características estructurales y análisis de la Fracturación en este tipo de acuíferos.	31
4.2.3.- Permeabilidad y otros parámetros hidrodinámicos.	32
4.2.4.- Caracterización geológica e hidrogeológica de La zona no saturada.	33
4.2.5.- Situación del nivel piezométrico local.	34
5.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:	
5.1.- Introducción	36
5.2.- Velocidad de avance del flujo.	36
5.3.- Ubicación de puntos de control.	37

# ÍNDICE

# PÁGINA

6.- ESTUDIO DE LA INTERCONECTIVIDAD:	
6.1.- Introducción.	42
6.2.- Estudio de la afección de la balsa sobre las aguas superficiales.	42
6.3.- Estudio de la afección de la balsa sobre las aguas subterráneas de la zona:	
6.3.1.- Introducción.	43
6.3.2.- El riesgo de contaminación de las aguas Subterráneas.	43
6.4.- Medidas preventivas para evitar la contaminación de Suelos y agua.	45
7.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS.	46
ANEXO I: MAPAS Y PLANOS	47
ANEXO II: DATOS GEOFÍSICOS	57
ANEXO III: DECLARACIÓN RESPONSABLE SOBRE HABILITACIÓN PROFESIONAL COMO TÉCNICO TITULADO COMPETENTE.	58

## **1.- INTRODUCCIÓN:**

### **1.1.- Antecedentes:**

El presente Estudio Hidrogeológico se presenta a petición de **VITILOSA S.L.**, con C.I.F. B-06252266 y domiciliada en C/ Guadiana, 26, de Los Santos de Maimona (Badajoz). El objetivo del presente estudio no es otro que determinar el carácter hidrogeológico de los materiales sobre los que se va a asentar una balsa de evaporación de aguas de bodega en la parcela 25 del polígono 31 del término municipal de Usagre, y la posible influencia hidrogeológica de esta sobre el suelo, hidrología e hidrogeología del entorno inmediato.

La necesidad de esta balsa es para subsanar el problema de gestión de residuos de aguas del proceso y limpieza de la BODEGAS en la red municipal, VITILOSA S.L. va a realizar una balsa de evaporación de aguas de proceso y limpieza de Bodega, lo que permitirá a la instalación poder verter sus residuos. Esta balsa dará servicio a su bodega de los Santos de Maimona.

### **1.2.- Descripción de la actividad:**

La actividad a desarrollar es el almacenamiento y la eliminación mediante evaporación natural en una balsa de las aguas de proceso y limpiezas de bodegas situadas en el término municipal de Usagre.

El agua de proceso y limpieza procedente de la bodega es trasladado mediante vehículos, bien cisternas o cubas a la balsa donde será vertida y almacenadas. Una vez allí, se dejará un tiempo haciendo que la evaporación reduzca su volumen quedando al final un producto mucho más denso y con diversas aplicaciones.

Para finalizar, este producto será retirado por un gestor autorizado que lo reutilizada o destruirá por el método legal que estime más adecuado dentro de los reseñados en punto anterior.

El periodo de retirada es máximo de un año, solíéndolo hacer en Septiembre. El sobredimensionamiento de la balsa por motivos de seguridad hace que este periodo pueda ser mucho más amplio pero al ser un residuo no peligroso el máximo son dos años.

### **1.3.- Descripción de las instalaciones:**

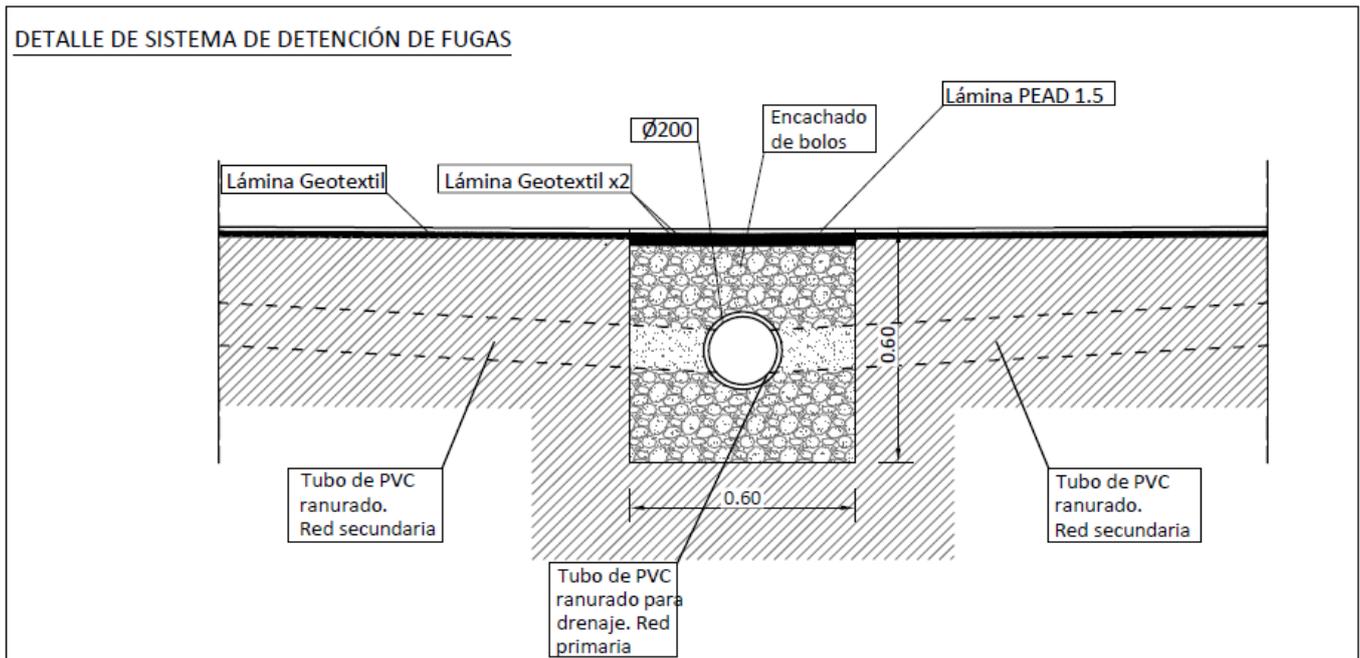
#### *1.3.1.- Relación y descripción de las instalaciones:*

Los datos de la balsa son los siguientes:

- Superficie de vaso planta inferior talud balsa: 3.844 m<sup>2</sup>
- Superficie total balsa: 4.489 m<sup>2</sup>
- Profundidad total balsa: 1,5 m
- Talud: 3:2
- Volumen total balsa 6.194 m<sup>3</sup>,
- Lámina de vertido: 90 cm
- Volumen máx. De vertido balsa: (90 cm de lámina) 3.716 m<sup>3</sup>

Para la realización de la balsa se deberá realizar las siguientes operaciones:

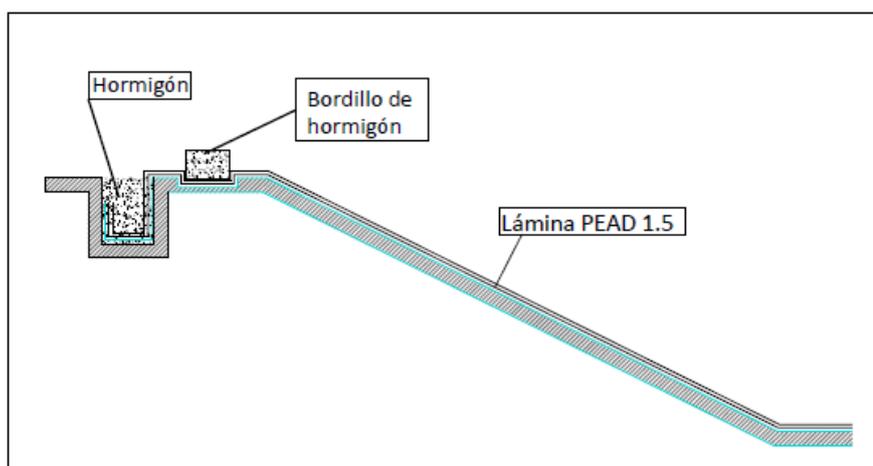
- Eliminación del cultivo existente en la zona de ocupación de la instalación.
- Movimiento de tierras bien mediante trailla o retroexcavadora aprovechando parte de la tierra extraída para hacer que la balsa esté elevada sobre el terreno 60 cm. Se dejara el terreno aplanado y compactado perfilado hacia las redes de detención de fuga.
- Ejecución de red de detección de fugas mediante realización de zanjas de 60 x 60, colocación de tubos de drenaje de PVC de 200 ranurado, relleno en zanja de grava alrededor de dicho tubo y finalización de geotextil en la zona superior de la zanja. La red de detención de fugas consistirá en una red de tuberías de drenaje de PVC ranurado compuesta por una red secundaria dispuestas en forma de espina de pez que desembocan en una red principal de tubería de PVC que recoge las posibles fugas y las conduce una arqueta de registro realizada de fábrica de ladrillo situada en el exterior de la balsa. Esta arqueta, cuya profundidad coinciden con la base de la tubería principal, está a cota más baja que la base de la balsa. Éste sistema nos hará detectar cualquier fallo de funcionamiento de la instalación (fugas y rotura de la lámina de impermeabilización) con respecto a las filtraciones.



-Instalación de dos piezómetros formados de tubos de PVC de 55 mm de tubería piezométrica provistos de arqueta y sellada con bentonita. Estos piezómetros estarán situados separados y en extremos opuestos.

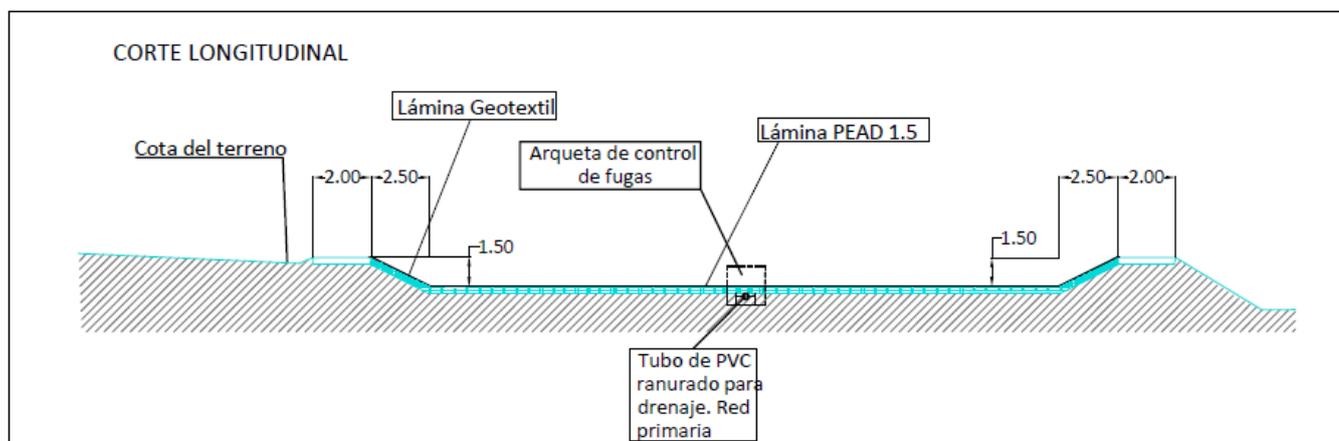
-Construcción de zona de entrada y maniobra de vehículos a la instalación y de la rampa de acceso para la limpieza de la balsa mediante una solera de hormigón armado de 15 cms de espesor, que le permitirá mejor maniobrabilidad a los vehículos y la protección de las láminas en la zona de vertido y tránsito para la limpieza de la balsa.

**DETALLE DE ZANJA**



-Instalación de lámina de Geotextil de protección y antipunzonamiento que se coloca sobre el terreno previamente explanado y compactado.

-Instalación sobre esta lámina de lámina continua electro soldada de polietileno de alta densidad (PAED) de 1,5 mm espesor que se extiende 2 m perimetralmente por el exterior del talud.



-Colocación de bordillo achaflanado como remate superior de esta lámina y a lo largo de que delimita y fija la lámina impermeabilizante.

-Fijado final mediante hormigón perimetral por toda la balsa.

-Cerramiento de la balsa perimetral a base de malla de simple torsión de trama 50/14-17 de 2 m. de altura y postes de tubo de acero galvanizado con una puerta de una hoja de 4,00 x 2,00 m, mediante bastidor de tubo de acero laminado en frío de 40 x 40 mm y malla S/T galvanizada en caliente. Esta puerta está provista de un candado para evitar entradas de personas ajenas a la instalación. La red de detención de fugas, la sobredimensión y la elevación sobre la cota cero de la balsa son sistemas de seguridad garantizan una detención de algún fallo en impermeabilización de la balsa o de problema de desbordamiento y que se derramen las aguas contaminadas por los alrededores. También evitara que las aguas de escorrentías se introduzcan en la balsa, y provoquen el rebosamiento de las balsas y arrastren las aguas contaminadas.

### 1.3.2.- Justificación del dimensionamiento:

Los residuos generados en estos procesos serán designados como “residuos de lavado, limpieza y reducción mecánica de materia prima con código LER 02 07 01.

Aparte de este volumen la balsa también debe almacenar el agua de lluvia que recoge dentro de la superficie de ocupa. Este volumen resultantes (aguas de limpieza y producción más aguas de lluvias recepcionadas) será disminuidas considerablemente por el efecto de la EVAPORACION, que reduce el contenido de agua almacenada a lodos para ser retirado por gestor autorizado.

Este dato es difícil de obtener ya que no está publicado pero se puede estimar considerando que es la ETP por 1.2.. Para la obtención de dichos datos se han utilizado la media de los últimos 5 años. La estación de toma de datos elegida ha sido la estación de Fuente de Cantos, (que es la más cercana a la ubicación de la balsa que dispone la página de la Junta de Extremadura REDAREX Red de Asesoramiento al regante de Extremadura. De esta Página Oficial Extremeña se han tomado los datos de Evaporización ETP de Penman-Monteith y Precipitación (mm).

Según estos datos, y considerando lo expuesto obtenemos los resultados en el siguiente cuadro.

MES	PRODUCCION AGUA m <sup>3</sup>	PRECIPI- TACION mm/m <sup>2</sup>	VOLUMEN LLUVIAS m <sup>3</sup>	ETP mm/m <sup>2</sup>	EVAPORACION TOTAL m <sup>3</sup>	BALANCE m <sup>3</sup>
AGOSTO	431,42	13,21	59,30	205,126	1.104,97	-614,25
SEP	862,84	25,736	115,53	140,816	758,55	219,83
OCT	862,84	74,494	334,40	91,97	495,42	701,82
NOVIEMBRE	862,84	41,05	184,27	52,336	281,92	765,19
DICIEMBRE	862,84	34,824	156,32	37,112	199,91	819,25
ENERO	431,42	42,216	189,51	40,492	218,12	402,81
FEBRERO	79,89	52,966	237,76	45,484	245,01	72,64
MARZO	79,89	57,934	260,07	79,648	429,05	-89,09
ABRIL	79,89	54,9	246,45	109,386	589,24	-262,90
MAYO	79,89	36,642	164,49	154,078	829,99	-585,61
JUNIO	79,89	11,27	50,59	195,346	1.052,29	-921,81
JULIO	79,89	10,908	48,97	227,954	1.227,94	-1.099,08
<b>Total</b>	<b>4.793,58</b>	<b>456,15</b>	<b>2.047,66</b>	<b>1.379,75</b>	<b>7.432,43</b>	<b>-591,19</b>

#### 1.4.- Metodología:

La metodología usada en el presente estudio es la más usada para el tipo de problemas que aquí se nos presenta y es la que sigue:

1ª Fase: La primera fase ha consistido en una exploración de campo donde se ha estudiado los distintos materiales aflorantes y la vulnerabilidad de posibles acuíferos de la zona de ubicación de las balsas y del entorno inmediato a las mismas, además se ha efectuado un estudio geofísico del subsuelo junto a las balsas, para estudiar en profundidad la posible existencia de aguas subterráneas y las características del acuífero. El objetivo que se ha perseguido en esta fase es el de estudiar que unidades hidrogeológicas son las receptoras de los posibles acuíferos, los cauces superficiales y suelos existentes en la zona y el estudio de su posible vulnerabilidad con la existencia de las balsas.

2ª Fase: Estudio hidrogeológico de los materiales existentes y su posible vulnerabilidad hidrogeológica.

3ª Fase: Estudio del riesgo de contaminación.

## 1.5.- Localización Geográfica:

La zona donde se asienta la actividad se enclava aproximadamente a unos 9.000 m. al oeste de Usagre, más en concreto se sitúa en la parcela 25 del Polígono 31 del término municipal de Usagre (Ver mapas y planos anexos), el paraje al que pertenece la parcela es el conocido como La Pelina.

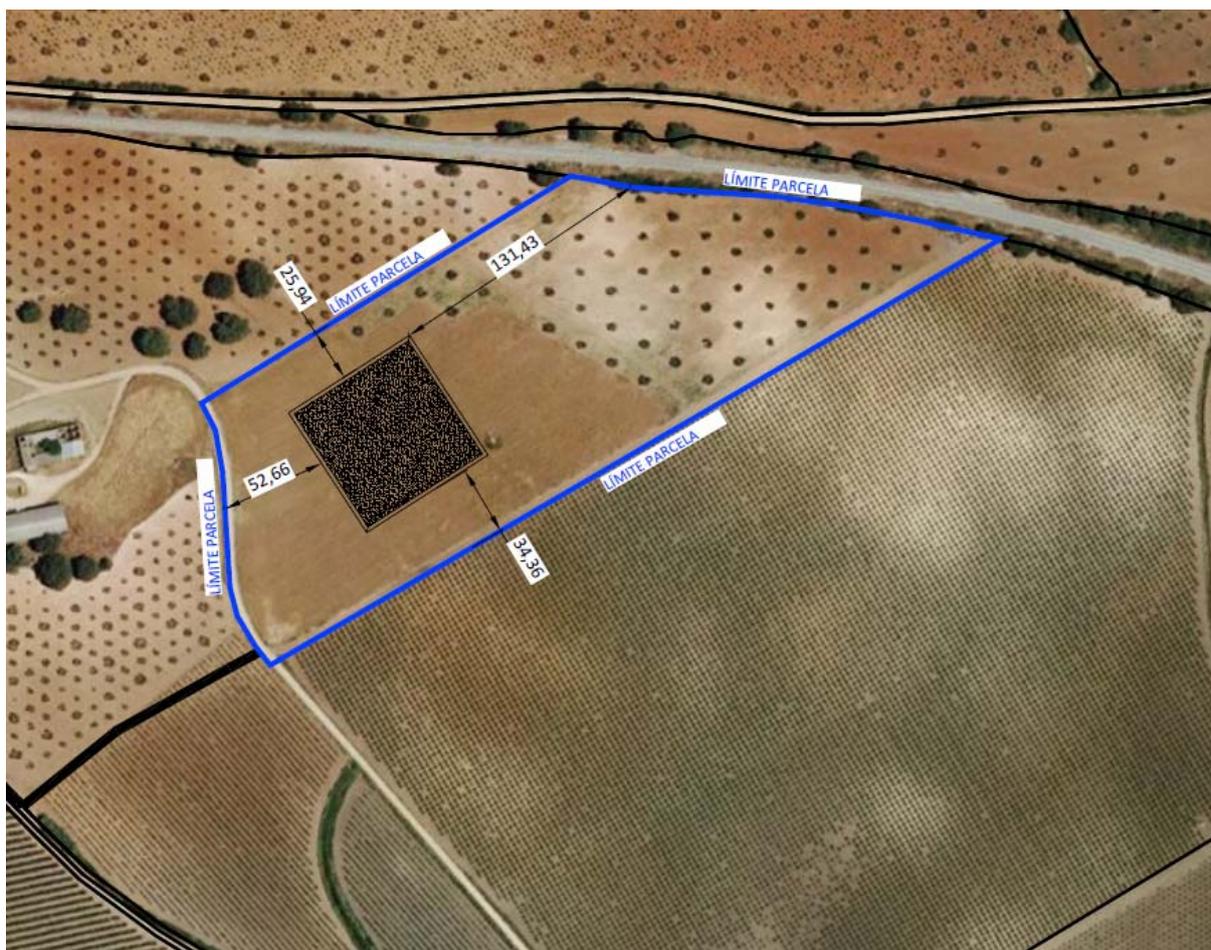
Las coordenadas UTM aproximadas que limitan la balsa son las siguientes:

X = 738033 Y = 4251117

X = 738092 Y = 4251155

X = 738131 Y = 4251096

X = 738071 Y = 4251057



El acceso principal a la instalación se realiza por el pk 86.200 de la Ex -432. Tras recorrer aproximadamente 850 m. (pasando por las vías del tren) a través de un camino en buen estado se llega a la instalación.

## 2.- ASPECTOS FISIOGRAFICOS E HIDROLOGÍA:

### 2.1.- Geomorfología:

La morfología general de la zona está condicionada por los distintos materiales que conforman el contexto geológico así como la tectónica regional, este junto con la acción de agentes exógenos, conforman una penillanura donde destacan algunos relieves residuales como alineaciones cámbricas.

La zona donde se ubicará la balsa presenta un relieve marcado por suaves ondulaciones constituyendo lo que se conoce como “paisaje de pendientes suaves”.

En el área estudiada se presenta un relieve marcado por suaves ondulaciones, caracterizada por la presencia de algunos afloramientos pizarrosos, es característico de este tipo de sustrato la aparición de afloramientos en las cumbres suaves resultado de un infructuoso proceso de edafización.

El área donde se ubicará la actividad, presenta un paisaje con una morfología semiplana donde los cauces fluviales ocupan pequeños valles con escasa diferencia de cota con respecto al resto de la topografía del lugar. Las cotas topográficas en la zona de ubicación de la balsa oscilan entre los 556 y los 560 m.

### 2.2.- Hidrología:

La hidrología de la zona estudiada está marcada por el escaso desarrollo de la red fluvial, se observa una cola del Arroyo Amargazón al sur de la parcela afectada, a una distancia de 120 metros. Esta cola del Arroyo Amargazón tiene un carácter estacional, su caudal es escaso y está sólo activo en épocas de lluvias. Pertenece a la cuenca del Río Bodión que presenta una morfología dendriforme.

Dentro de este apartado vamos a definir la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón en el entorno de la parcela 25 del polígono 31 de Usagre.

Definir la llanura de inundación es vital en un estudio como en el que nos encontramos, ya que si bien la distancia administrativa en la protección de un cauce fluvial es de 100 metros, y la balsa estaría fuera de la zona de policía, en la realidad esta distancia varía y puede ser desde 2 metros hasta 180 metros (Llanura de Inundación del Río Guadiana en algunos puntos de su cauce). Es por ello que definir la llanura de inundación se antoja como clave para saber la posible influencia de la actividad que nos ocupa sobre el cauce fluvial más cercano.

Las llanuras de inundación son las áreas adyacentes a los ríos, arroyos o riveras sujetas a inundaciones recurrentes, las mismas son variables y muy difíciles de determinar, sobre todo en zonas con topografía plana como la que tenemos.

El poder determinar el área que ocupa la llanura de inundación de un cauce fluvial es muy complicado, ya que la misma es variable, habría que estudiar las crecidas históricas, de las cuales no se tienen datos ya que no existe un registro histórico de inundaciones recurrentes, al menos no en cauces fluviales pequeños, como es nuestro caso.

La única manera de determinar la llanura de inundación en este tipo de cauces es por la cartografía geológica de los materiales detríticos aluviales que circundan el cauce fluvial. Estos materiales además de marcar el límite de las crecidas recurrentes, constituyen un acuífero de tipo libre, de los que se suelen aprovechar numerosos pozos artesianos situados en las márgenes de los arroyos. La línea que marca el límite de afección al cauce fluvial, o lo que es lo mismo que marca la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón, no es recta, varía en función de la morfología del cauce, siendo más estrecha la llanura de inundación en curvas de erosión fluvial, y más ancha en curvas de sedimentación.

En función de la exploración de campo efectuada se aporta la línea que marca el límite de la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón en las cercanías de la parcela 25 del polígono 31 del Término Municipal de Usagre.



Cola Arroyo Amargazón



Límite Llanura de Inundación

Como se puede ver en la figura, el área que marca la llanura de inundación, es muy estrecha, ya que no se observan sedimentos fluviales más allá del margen del cauce, y donde se observan se limitan a no más de un metro fuera de la margen del citado cauce fluvial.

En base a la distancia existente entre la ubicación de la futura balsa y el cauce fluvial, al dimensionamiento de la balsa y a que la balsa estará fuera del área que cubre la llanura de inundación, la afección de la futura balsa desde el punto de vista hidrológico será irrelevante.

### **3.- GEOLOGÍA:**

#### **3.1.- Introducción:**

Para el objetivo marcado por el presente estudio hidrogeológico se antoja como básico conocer el contexto geológico que rodea la zona de ubicación de la futura balsa de aguas de bodega. El presente capítulo pretende dar a conocer las diferentes formaciones geológicas sobre las que se localiza la ubicación de aquellas.

Estudiar las litologías y la tectónica de estas formaciones geológicas afectadas nos puede aportar datos precisos acerca de las diferentes unidades hidrogeológicas, el funcionamiento hidrogeológico de los distintos acuíferos que pudieran existir en la zona de estudio; y sobre todo este conocimiento nos puede indicar la posible incidencia que podría tener el uso de la balsa de aguas de bodega sobre las aguas subterráneas de la zona.

Durante el presente estudio se ha realizado una exploración de campo hidrogeológica que ha pretendido ayudar a alcanzar los objetivos mencionados anteriormente; así mismo se ha realizado un estudio geofísico de la parcela afectada para conocer el subsuelo en la misma.

#### **3.2.- Geología regional:**

En el contexto geológico, la zona estudiada, está incluida dentro de la zona de Ossa-Morena (Lotze, 1945), y abarca gran parte del Sinclinorio Zafra - Llerena. Dentro de este sinclinorio los materiales que aparecen en el área de estudio corresponden al dominio de Zafra - Monesterio.

Dentro de este dominio aparecen materiales de origen Precámbrico, Cámbrico, Devónico, Carbonífero, Terciario y Cuaternario, en la zona de estudio se pueden aislar una serie de afloramientos caracterizados por una estratigrafía específica de los materiales paleozoicos, a los cuales se les da el rango de Unidad. La Unidad diferenciada que dentro del dominio aparece en la zona de estudio es la:

- Unidad Usagre.

#### **3.3.- Estratigrafía:**

##### *3.3.1.- Introducción:*

Dentro de la Unidad Usagre, la formación que aparece subyacente en la zona de estudio es la formación del cámbrico inferior de pizarras y arenitas, no obstante para una mejor comprensión de la geología local se van a relacionar las formaciones pertenecientes a esta unidad y que aparecen por el entorno, para de este modo caracterizar en un contexto geológico la formación anteriormente mencionada.

### 3.3.2.- *Cámbrico Inferior:*

El Cámbrico de la Unidad Usagre se inicia con un conjunto de materiales detríticos, sobre los que se deposita una alternancia rítmica de bancos pelíticos, areníticos y calcáreos, frecuentemente laminados, con otros terrígenos de espesores decimétricos, que constituyen un paquete muy monótono.

#### 3.3.2.1.- Formación de pizarras y arenitas:

Aparece un afloramiento a unos 3 kilómetros al sudeste de la parcela afectada,; se trata de una sucesión detrítica formada por pizarras y areniscas finas de color pardo-grisáceo, que son fácilmente observables en los parajes de Miro y Bienvenida.

La sedimentación se inicia con unos depósitos de arena media con granoclasificación positiva; el resto de la sucesión son distintos niveles interestratificados de pizarras y limos de color violáceo con unas arenitas de grano fino.

La composición de las rocas está formada por cuarzo principalmente, además de plagioclasa, biotita, moscovita y otros secundarios.

#### 3.3.2.2.- Formación de calizas y sílex:

Constituye un conjunto terrígeno carbonatado caracterizado por bancos calcáreos que suelen presentar nódulos de sílex y tramos pelíticos, los tramos carbonatados presentan frecuentes estructuras estromatolíticas, y en ocasiones, niveles de calizas nodulosas. Dentro de esta formación se pueden diferenciar dos tramos cuyo límite no es muy neto:

El tramo inferior está constituido mayoritariamente por pizarras y areniscas de color amarillento y verdoso, entre las que intercalan calizas grises-azuladas o blancas dispuestas en lentejones.

Se trata de un potente conjunto de materiales areniscosos y areniscas de composición eminentemente silícea. La composición de las rocas pizarrosas que conforman esta formación está formada por cuarzo principalmente, además de plagioclasa y filosilicatos.

Las areniscas presentan una composición constituida básicamente por cuarzo. Las calizas son esparíticas.

El tramo superior contiene mayor contenido en carbonatos, los niveles carbonatados alcanzan espesores mayores del metro, existiendo todos los tramos intermedios entre carbonatos y terrígenos.

La edad de esta formación es Cámbrica Inferior probablemente Ovetiense.

### 3.3.3.- Terciario:

Los sedimentos terciarios afloran en la parcela 25 del polígono 31 de Usagre. La representación del terciario alcanza una muy considerable extensión a lo largo de todo el área recubriendo gran parte del mismo.

El origen de los sedimentos hay que situarlo en los tiempos pliocénicos y pliocuaternarios, en que vuelven a reactivarse los procesos erosivos que desmantelan casi por completo la penillanura postoligocénica, para dar como resultado al final del Terciario una superficie de erosión, situada por término medio a 100 metros por debajo de los restos de dicha llanura postoligocénica.

Los depósitos neógenos pliocénicos que nos encontramos son casi exclusivamente detríticos, litológicamente están compuestos por arenas finas y limosas, arcillas, limos arcillosos y costras calcáreas.

A lo largo de su deposición han alternado los periodos de sedimentación con los de fases erosivas, debido a lo cual las discordancias erosivas entre niveles diversos son frecuentes.

Los depósitos neógenos en esta zona a diferencia de lo que ocurre por la zona de las Vegas del Guadiana son bastante superficiales, por lo general los máximos espesores no llegan superar la veintena de metros.

A continuación se exponen las diferentes litologías que se observan en el área de investigación y que componen la formación pliocena que se observa en esta área.

Alcanza espesores de hasta 15 metros según sondeos realizados en entornos cercanos. Sobre esta formación se desarrollan suelos originados por un proceso de descarbonatación que origina un eluviado total de los carbonatos de la parte alta, depositándose los mismos a profundidades aproximadas de un metro. A continuación se da una argilización con el consiguiente desarrollo de un horizonte argílico, por último ocurre una rubefacción, que oxida y deshidrata los óxidos de hierro, dando al suelo un aspecto pardo-rojizo.

Litológicamente las arcillas y limos están constituidos por: cuarzo, feldespato potásico, algo de carbonato (calcita y dolomita), clorita, óxidos de hierro, illita, caolinita, micas y esmectita. El análisis que se ha efectuado es semicuantitativo y nos define los siguientes grupos porcentariales:

Mayoritarios: Cuarzo ( $\approx 50\%$ ) y minerales de arcilla ( $\approx 30\%$ ).

Intermedios: Fdk., óxidos de hierro y mica.

Minoritarios: Clorita y carbonatos.

Las costras calcáreas aparecen en afloramientos dispersos. Estudiándolas con fotografía aérea presentan un aspecto blanquecino que contrasta con el rojizo de las arcillas. Representan restos de una superficie de erosión al final del Terciario.

Litológicamente son carbonato cálcico con pequeñas cantidades magnésicas y un grado de cristalización muy bajo. Las costras poseen un espesor que rara vez supera los 50 cm. Y están dispuestas con un bandeo de unos 5 cm., tienen un color gris-verdosos y son bastante porosas lo que le aporta un escaso peso específico.

El ambiente de depósito es continental, en áreas alejadas de los bordes de la cuenca con medios lagunares no muy estables ni extensos.

#### *3.3.4.- Cuaternario Indiferenciado:*

En este grupo están representados los materiales aluviales, coluviales y detríticos de vertiente en general. Todos ellos del Holoceno.

En la zona se han diferenciado como aluviones los depósitos de fondo de valle de ríos y arroyos cuya corriente adquiere cierta importancia, pudiéndose separar éstos de los aportes laterales por gravedad. Sin embargo, en la mayor parte del perímetro de protección, con una topografía plana y una red de drenaje incipiente, esta diferenciación no ha sido posible, agrupándose como detríticos de vertiente al conjunto de aluviones, coluviones y a una delgada capa edafizada y homogeneizada por procesos de cultivo.

Por último, se han diferenciado como coluviones a los depósitos de cantos angulosos de cuarcita que circundan los relieves hercínicos de la Hoja y que constituyen verdaderos piedemontes.

#### **3.4.- Tectónica:**

En el presente apartado se pretende analizar los procesos tectónicos en el entorno de la parcela afectada, así como la relación de aquellos con la tectónica regional, ya que desde el punto de vista hidrogeológico se antoja básico una revisión de la tectónica para poder analizar posteriormente el comportamiento hidráulico de los acuíferos existentes en el entorno.

Dentro de la zona de estudio se han observado indicios de dos procesos orogénicos que afectan a la Unidad Geológica de Zafra perteneciente al Dominio de Zafra – Monesterio; para una mejor comprensión de la tectónica se van a relacionar las distintas orogenias por separado.

### *3.4.1.- Orogenia precámbrica:*

Es de edad finiprecámbrica. Esta sería la primera fase de deformación y se ha reconocido en la Formación Tentudía. A pesar de tener constancia de la existencia de esta orogenia no se reconocen con claridad estructuras relacionadas con este proceso tectónico ya que han sido borradas y/o solapadas por el rejuego que tuvo lugar en la orogenia hercínica y que después analizaremos.

No obstante si se observan algunos indicios de lo que pudo ser y provocar aquella orogenia y que desde luego nos permite dejar constancia de su existencia.

En la Formación Tentudía la deformación finiprecámbrica produce una esquistosidad sincinemática, con diferenciados granoblásticos de cuarzo y transposiciones.

### *3.4.2.- Orogenia hercínica:*

Esta orogenia presenta indicios claramente observables por todo el perímetro de protección. Se manifiesta en varias fases de plegamiento y una de cabalgamientos.

Son observables tres fases de plegamiento:

#### *a.- 1ª Fase de Deformación Hercínica:*

Durante la primera fase se originan micropliegues con esquistosidad espaciada, sin blástesis, así mismo se originan pliegues isoclinales de vergencia SW. Esta fase es la responsable de las estructuras cartográficas mayores.

Esta primera fase de deformación hercínica origina una esquistosidad de flujo claramente observable en los materiales paleozoicos.

#### *b.- 2ª Fase de Deformación Hercínica:*

En esta fase se produce micropliegues de esquistosidad muy espaciada sin blástesis. Es la fase responsable de las ondulaciones y curvaturas de las direcciones de los pliegues de fases previas.

#### *c.- 3ª Fase de Deformación Hercínica:*

Es la última fase, consiste en un plegamiento que dio lugar a pliegues de naturaleza cilíndrica de dirección N120°E de amplio radio y plano axial subvertical que es claramente visible al nordeste de los Santos de Maimona.

### 3.4.3.- *Procesos tectónicos tardihercínicos:*

Este tipo de procesos no constituyen una orogenia, no obstante sí que han dejado su impronta en la geología local e influyen claramente en la hidrogeología del entorno por lo tanto merece la pena analizar.

Esta tercera fase de deformación, es responsable de procesos de fracturación tardíos en los macizos granitos cercanos, y posiblemente también sea la responsable de diferentes rejuegos de los pliegues que son claramente observables en las diferentes formaciones existentes en el entorno del perímetro de protección.

### 3.4.4.- Tectónica de fracturación.

La tectónica de fracturación responde a un comportamiento frágil de los diferentes materiales afectados por las distintas orogenias.

Son observables hasta cuatro familias de fracturas que se pasan a relacionar:

#### a.- Primera Familia de Fracturas:

Son fracturas de dirección N 120°-150° E, observables por todo el entorno del perímetro de protección del balneario, es la Falla de Azuaga considerada como prolongación de la falla de Malcocinado que separa el Dominio de Sierra Albarrana del de Zafra – Monesterio.

Se trata de fallas que limitan las unidades estratigráficas definidas en apartados anteriores (Zafra y Usagre), aparecen pues al nordeste del perímetro de protección y se pueden ver en los alrededores del Coto de Don Cesáreo.

Se trata de fallas de desgarre con movimiento sinestroso, aunque también manifiestan una fuerte componente de falla normal sobre todo hacia el final de la orogenia hercínica.

#### b.- Segunda Familia de Fracturas:

Son las fracturas que originan el cabalgamiento de dirección N-S, observable al oeste de Zafra y que separa las unidades de Zafra y La Alconera.

Se trata de un accidente regional que ha acercado dos dominios diferentes. Los datos paleontológicos han destacado su importancia a nivel del Cámbrico.

#### c.- Tercera Familia de Fracturas:

Es un sistema de fracturas menos importante de la zona de estudio. Se trata de un sistema de fallas de dirección N30°-40°-50°E.

Son fallas que presentan una importante componente horizontal sinestrosa, posiblemente represente las líneas de máxima tensión dentro de la banda de cizalla definida por las grandes fracturas longitudinales.

d.- Cuarta Familia de Fracturas:

Son fracturas de dirección N80°-100° E, estas fracturas no son observables en la zona, no obstante sí que se han podido intuir su existencia en las cercanías de la localidad de Medina de las Torres donde se han podido tomar algunas direcciones de fracturación con esta dirección N90°E, en la zona de Los Mártires es donde se han observado.

Por lo observado parece ser que son las fracturas más recientes de las estudiadas, a diferencia de las anteriores tienen un carácter dextroso.

### **3.5.- Edafología:**

Al tener varias litologías en la zona surgen diferentes tipos de suelos, debido a la meteorización química y física que han sufrido las diferentes formaciones.

Casi todo el área de influencia de captación y del Balneario del raposo, y gran parte del perímetro de protección se encuentran recubierto por un seno de origen pliocénico y/o pleistocénico que conforma un suelo del Orden “Vertisol” y “Alfisol”, suborden “Xerents” y “Xeralf”, y por último pertenecientes al gran grupo de los Xerorthents y Xerorrepts el primero y Chromoxerents el segundo.

En general se trata de suelos pardo – rojizos en los que ha habido una descarbonatación intensa, afectando aproximadamente a un metro de espesor del suelo: profundidad a la que se suele formarse acumulaciones deleznable de carbonato cálcico.

Son suelos uniformemente arcillosos hasta la superficie sin que existan acusadas diferencias texturales a lo largo del perfil. El tipo de suelo es siempre profundo (con potencia superior a un metro).

## 4.- HIDROGEOLOGÍA:

### 4.1.- Marco hidrogeológico:

#### 4.1.1.- Introducción:

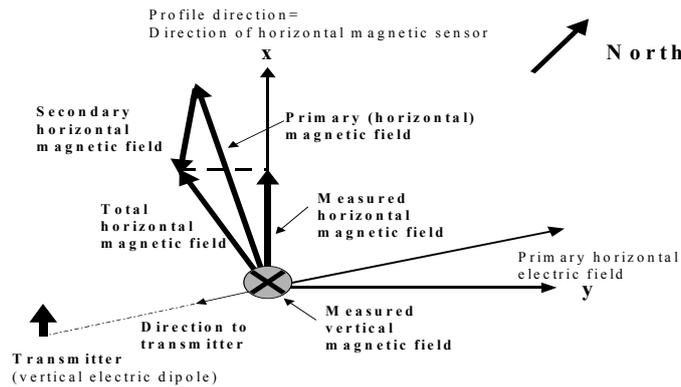
Como ya se ha mencionado en la geología conocemos que la zona de estudio está caracterizada por la existencia de dos litologías: arenas, limos y arcillas del cuaternario y terciario y por pizarras y areniscas del cámbrico inferior, estas últimas litologías tienen muy baja permeabilidad desde el punto de vista hidrogeológico si bien pueden existir fracturas resultado del tectonismo varisco y tardihercínico de fracturación que pueden albergar acuíferos fisurales; y una de las mejores maneras de localizar estas fracturas es mediante un método geofísico, en este caso el sistema WADI-VLF, que es uno de los mejores métodos para localizar fracturas, donde se podrían ubicar acuíferos de tipo tectónico.

#### 4.1.2.- Estudio geofísico:

##### 4.1.2.1.- Introducción:

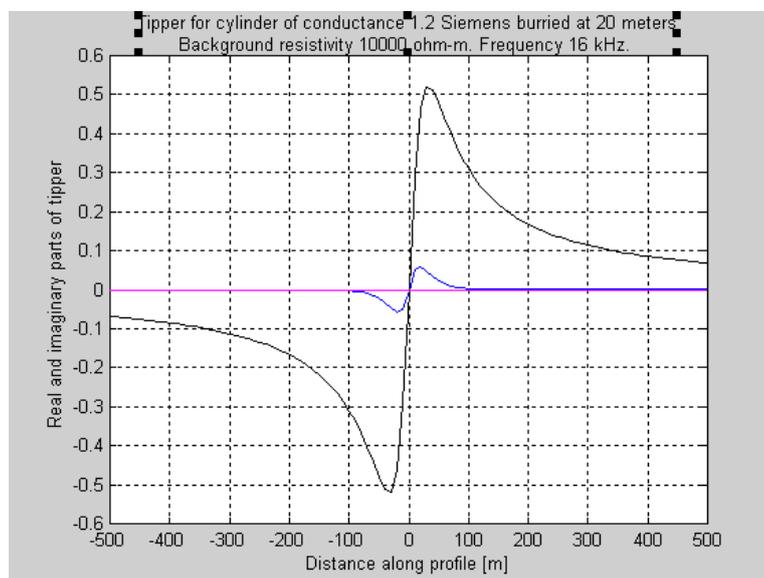
La geofísica efectuada en la finca afectada está basada en el método VLF. Mediante estas mediciones se puede determinar la situación en el subsuelo de diferentes estructuras y formaciones geológicas.

El sistema WADI VLF (Very Low Frequency) es un receptor de dos componentes magnéticas en un rango de frecuencias de 15-30 kHz. Las fuentes de estas frecuencias son potentes transmisores de radio usados para radio-comunicación submarina, distribuidas por todo el mundo. Cuando estas señales propagadas desde la posición de origen fuente hasta la posición de sitio de medida, interactúan de forma compleja entre dos conductores eléctricos: la tierra (abajo) y la ionosfera (arriba). Sin embargo, debido a su pequeña penetración (400 metros en granitos) comparado con la distancia entre las fuentes, podemos observar que las señales como ondas planas propagándose por debajo del suelo y el punto de recepción. La supuesta onda plana permite una interpretación sencilla y rápida de los datos usando un modelo 2D.



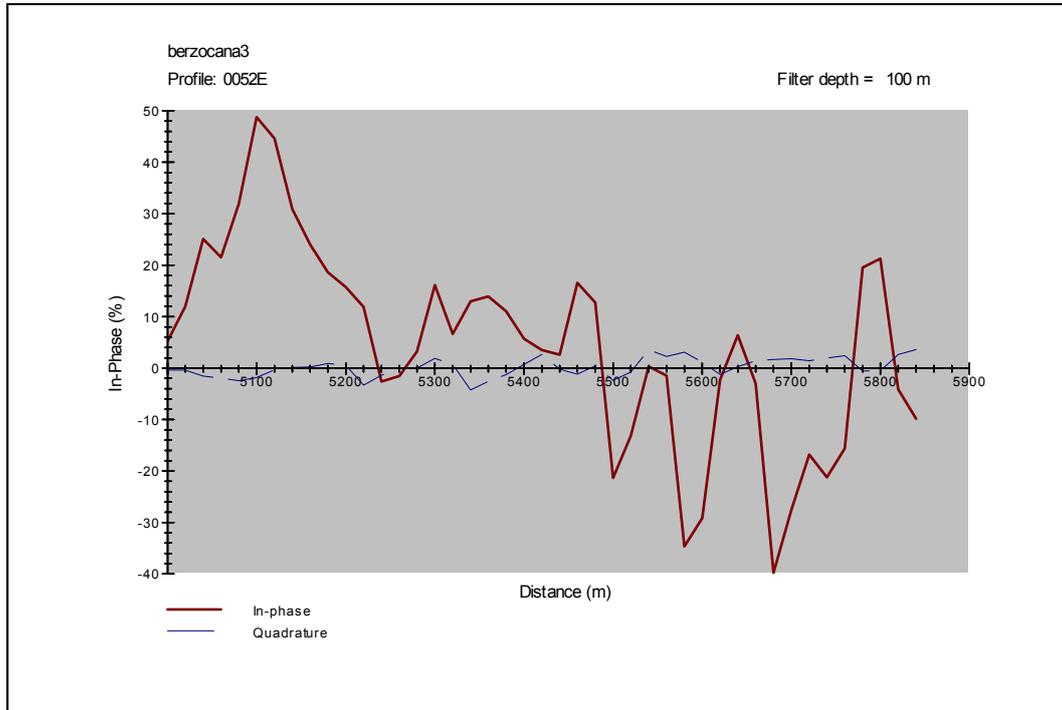
Dos componentes magnéticas ( $H_x, H_z$ ) son medidas, relacionadas por la fórmula  $H_z = AH_x$ , donde  $A$  es una compleja cantidad con una parte real y otra imaginaria, debido a que en una frecuencia dada, los campos horizontales y verticales tienen normalmente un desfase en tiempo causado por inducción electromagnética subyacente en el suelo.

La relación entre la parte real e imaginaria es muy compleja debido a que depende tanto del “background” (fondo) de conductividad eléctrica como de la conductividad y forma del conductor dominante en cuestión.



La interpretación de los datos obtenidos se han tratado con el programa RAMAG que nos genera gráficos de las curvas reales e imaginarias de los perfiles realizados, e interpretando las curvas a distintas profundidades.

Ejemplo de datos de campo tratados con software RAMAG y curva elaborada con hoja de cálculo Xcel (Microsoft)(Perfil VLF-2)



Como ya se ha mencionado en la geología conocemos que la zona de estudio está caracterizada por la existencia de dos litologías: arenas, limos y arcillas del cuaternario y terciario, y pizarras y areniscas del cámbrico inferior, en estas últimas pueden existir fracturas resultado del tectonismo tardihercínico de fracturación que pueden albergar acuíferos fisurales; y una de las maneras de localizar estas fracturas es mediante el método geofísico sistema WADI-VLF, que es uno de los mejores métodos para localizar fracturas, donde se podrían ubicar acuíferos de tipo fisural.

El objetivo de este estudio es por lo tanto estudiar la columna geofísica de la zona para hacer una interpretación de la columna estratigráfica de la zona, así mismo se pretende estudiar posibles zonas de macrofracturación tardihercínicas cuya resistividad en profundidad nos indicaría la presencia de agua, ya que cada material tiene su propia resistividad al igual que el propio material húmedo.

A la hora de hacer un estudio hidrogeológico para estudiar la hidrogeología del subsuelo se antojan como básicos dos aspectos diferentes: el primero de ellos es el conocer la geología de la zona ya que en algunos casos se puede plantear la duda de tener una misma resistividad que podría corresponder a diferentes materiales, pero que conociendo la litología que nos podemos encontrar dicho problema prácticamente se descarta. El segundo aspecto básico que entraña un estudio de estas características es el conocer obviamente las resistividades que aparecen en la zona ya que el conocimiento de las mismas es el que nos marca la posible existencia o no de aguas subterráneas.

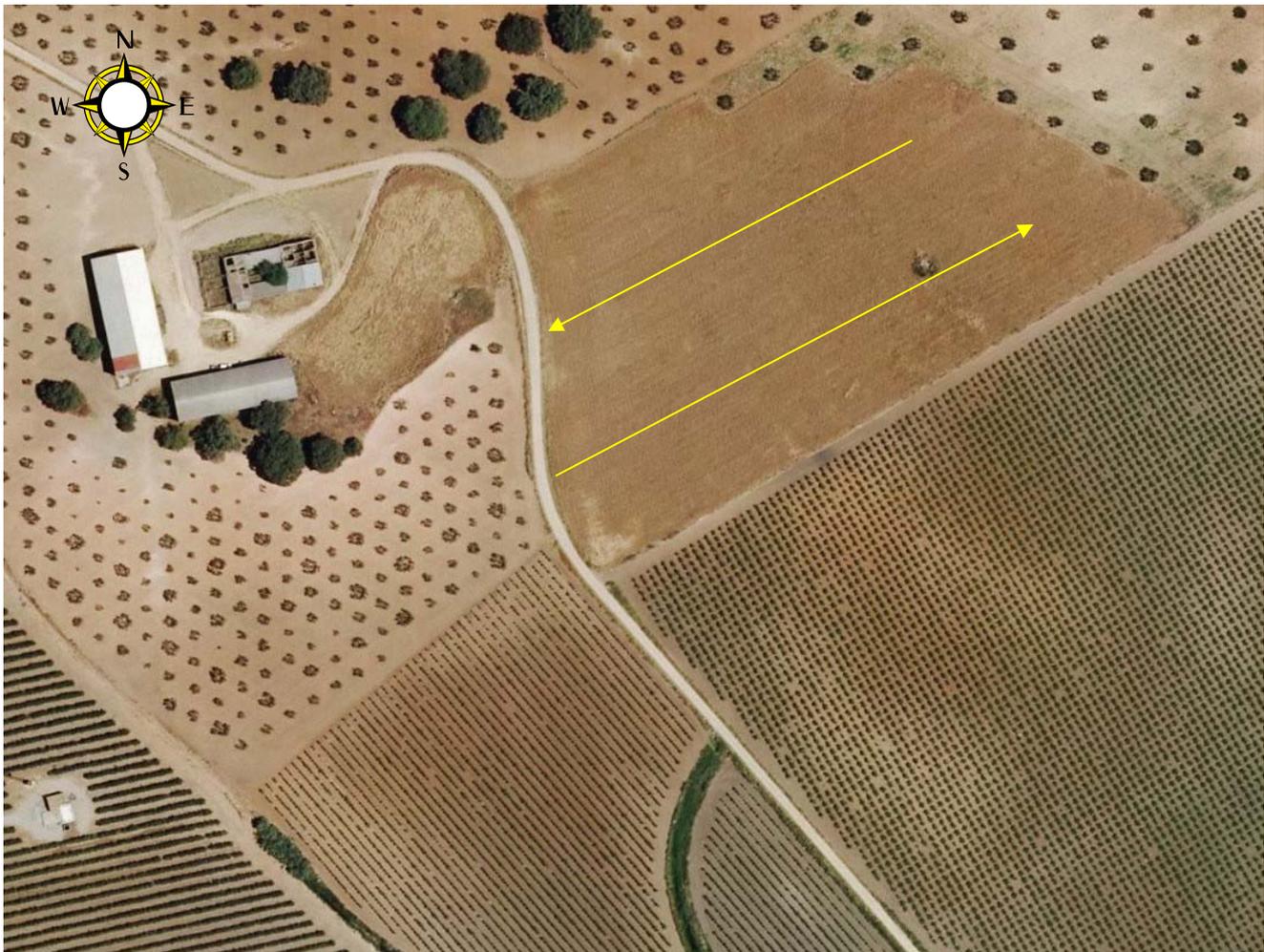
Se han efectuado un total de dos perfiles de distancias variables de 180 y 160 metros.

4.1.2.2.- Interpretación de los perfiles VLF efectuados:

4.1.2.2.1.-. Introducción:

Se han efectuado dos perfiles en la zona afectada con dirección N70° E, con esta dirección cubrimos las dos direcciones preferentes de fracturación de la zona, de modo que en el caso de existir algún acuífero fisural, lo detectaría la investigación geofísica, con ello se ha cubierto la totalidad de la superficie ocupada por la balsa en la parcela (ver planos). Este diseño de ejecución tiene su importancia hidrogeológica ya que en toda la zona se nos pueden dar tan solamente dos tipos de acuíferos: los asociados a niveles detríticos neógenos o bien los acuíferos relacionados con áreas de fracturación que afectan al cámbrico inferior, y ambos tipos de acuíferos lo detectaríamos con esta campaña de geofísica, caso de existir.

Todos los enclaves de investigación están marcados con GPS.



**4.1.2.2.2.- Perfil número 1:**

Es un perfil geoelectrico clásico de materiales detríticos y pizarrosos, las coordenadas en UTM de inicio y final de perfil son aproximadamente las siguientes:

Punto n°.: 1            Y: 4251035  
                                 X: 738014

Punto n°.: 10           Y: 4251115  
                                 X: 738157

Se toman puntos a cada 20 metros de distancia, la longitud del perfil es de unos 180 metros aproximadamente.

En la presente zona, la investigación geofísica se centra en determinar el espesor de la cobertera terciaria y cuaternaria, y en la localización de fracturas dentro del cámbrico inferior de Usagre que pudieran albergar agua subterránea.

Comentando lo que se observa en los datos extraídos del perfil efectuado podemos decir que nos encontramos con una columna estratigráfica sencilla a lo largo de todo el perfil.

Podemos decir que en todo el desarrollo del perfil aparece un depósito de materiales detríticos, que corresponden con la cobertera cuaternaria y terciaria y que tiene un espesor variable a lo largo del perfil de 2,00 a 4,00 metros de espesor.

A continuación aparecen materiales pizarrosos y estos mismos materiales se sigue observando hasta los 120 metros de profundidad.

No se localizan anomalías significativas en todo el perfil investigado que nos indique la existencia de algún acuífero bajo la parcela afectada, tampoco se han detectado fallas o fracturas significativas.

**4.1.2.2.3.- Perfil número 2:**

Es un perfil geoelectrico clásico de materiales detríticos y pizarrosos, las coordenadas en UTM de inicio y final de perfil son aproximadamente las siguientes:

Punto n°.: 1            Y: 4251143  
                                 X: 738136

Punto n°.: 10           Y: 4251066  
                                 X: 738070

Se toman puntos a cada 20 metros de distancia, la longitud del perfil es de unos 180 metros aproximadamente.

En la presente zona, la investigación geofísica se centra en determinar el espesor de la cobertera terciaria y cuaternaria, y en la localización de fracturas dentro del cámbrico inferior de Usagre que pudieran albergar agua subterránea.

Comentando lo que se observa en los datos extraídos del perfil efectuado podemos decir que nos encontramos con una columna estratigráfica sencilla a lo largo de todo el perfil.

Podemos decir que en todo el desarrollo del perfil aparece un depósito de materiales detríticos, que corresponden con la cobertera cuaternaria y terciaria y que tiene un espesor variable a lo largo del perfil de 2,00 a 4,00 metros de espesor.

A continuación aparecen materiales pizarrosos y estos mismos materiales se sigue observando hasta los 120 metros de profundidad.

No se localizan anomalías significativas en todo el perfil investigado que nos indique la existencia de algún acuífero bajo la parcela afectada, tampoco se han detectado fallas o fracturas significativas.



*PERFIL GEOFÍSICO VLF 2*

*4.1.3.- Presencia de acuíferos en el entorno y características geométricas y litológicas de los mismos:*

4.1.3.1.- Introducción:

Un acuífero es un depósito de agua subterránea, agua almacenada en la porosidad de las rocas almacén. Las características y potencialidad de los acuíferos dependen de sus dimensiones, de su forma, y de la permeabilidad de los materiales que los forman; por lo tanto los materiales y la tectónica de la zona nos marca el comportamiento hidráulico de las aguas subterráneas del entorno de la actividad objeto del presente proyecto.

Tras la geofísica efectuada no se localizan acuíferos bajo la parcela afectada. En cualquier caso, para un estudio del marco hidrogeológico del entorno donde se ubicará la actividad, se precisa de un análisis hidrogeológico de los materiales que encontramos en la columna litológica de la zona, para comprender mejor el marco hidrogeológico de la zona.

4.1.3.2.- Marco Hidrogeológico en el entorno de la zona afectada (características geométricas y litológicas de posibles acuíferos):

Un acuífero es un depósito de agua subterránea, agua almacenada en la porosidad de las rocas almacén. Las características y potencialidad de los acuíferos dependen de sus dimensiones, de su forma, y de la permeabilidad de los materiales que los forman; por lo tanto los materiales y la tectónica de la zona nos marca el comportamiento hidráulico de las aguas subterráneas del entorno de la actividad objeto del presente proyecto.

En este apartado lo que se pretende es aportar una serie de datos acerca del comportamiento hidrogeológico de los diferentes materiales a los que podría afectar la balsa de aguas de bodega.

4.1.3.2.1.- Marco hidrogeológico de la formación de pizarras y arenitas del cámbrico inferior:

4.1.3.2.1.1.- Introducción:

Este tramo está constituido mayoritariamente por pizarras y areniscas de color amarillento y verdoso. Desde el punto de vista hidrogeológico son materiales de baja permeabilidad que no suelen formar acuíferos, estos se presentan tan sólo en áreas de macrofracturación, que son entornos en los que se genera porosidad por fracturación. Sería por lo tanto un acuífero de los denominados “fisurales”, y este es el tipo de acuífero que se podía dar en esta zona.

Este tipo de acuíferos están asociados a las zonas de fractura donde se produce un aumento de la permeabilidad de las rocas, que da lugar a acuíferos locales.

Los acuíferos que encontramos en esta Formación son confinados, fisurales y discontinuos, estos presentan un difícil recarga y muy buena capacidad de almacenamiento. El acuífero es de tipo discontinuo, son los típicos que afectan a las rocas con un comportamiento ante la deformación frágil; y que generan porosidades secundarias constituidas por fracturación, trituración y alteración, se trata en definitiva de un acuífero fisural.

Este tipo de acuíferos tienen una recarga difícil por regla general; mencionar que tienen una alto coeficiente de almacenamiento; lo cual quiere decir que son pozos de larga vida.

#### 4.1.3.2.1.2.- Tipo de Acuífero:

El tipo de acuífero que puede albergar este tipo de materiales son fisurales, el agua se infiltra a través de la cobertera neógena y circula a través de microfisuras hasta llegar a zonas de macrofracturación donde se acumula el agua, los límites de este tipo acuíferos se desconocen, pero se supone un entorno muy local, limitado a escasos metros del entorno de la fractura, la limitación de anchura es de un metro a metro y medio, que es la potencia más común de las fracturas que albergan este tipo de acuíferos en la zona. En lo relativo a su extensión longitudinal no se espera una extensión superior a la centena de metros, y su dirección desarrollo generalmente es N160°E, aunque también es posible localizar una fractura de dirección N60°E.

Los límites de la profundidad del acuífero no vienen claramente condicionados, los límites de techo son de 80 metros, por sondeos realizados en áreas aledañas y la profundidad de muro es de 100 metros, aunque esporádicamente se han localizado acuíferos a 110 e incluso 130 metros de profundidad.

#### 4.1.3.2.1.3.- Geometría del “acuífero”:

La circulación del agua está claramente influenciada por las direcciones de fracturación del entorno aproximadamente NNO-SSE y NNE-SSO, estas direcciones son lógicas porque, como ya se ha mencionado, el flujo de aguas subterráneas tiene una clara influencia de la red de fracturación local, la cual se dispone según direcciones hercínicas, generalmente la más predominante es la N140-160°E o bien la N30-50°E, que son las fracturas que suelen albergar la mayoría de los acuíferos fisurales de la zona. La profundidad de la superficie piezométrica es en general de 70 a 90 metros.

#### 4.1.3.2.2.- Marco hidrogeológico de los materiales cuaternarios y terciarios:

El marco hidrogeológico relacionado con estos materiales se caracteriza por una circulación a través de un conjunto de materiales de baja permeabilidad constituidos por el nivel de alteración de las capas superficiales de la formación cámbrica inferior de pizarras y arenitas y un seno terciario y cuaternario poco potente.

Esta zona es un entorno hidrogeológicamente hablando pobre, ello es debido a que los materiales que nos encontramos en la zona presentan en su mayoría una permeabilidad baja, y los que presentan una permeabilidad media-alta como son los materiales detríticos neógenos superficiales tienen un espesor tan bajo que, a priori, no puede ser considerado como una Unidad Hidrogeológica importante; y ello a pesar de su alto porcentaje en fracción arena con respecto a la fracción arcilla o limo, superior a 1. Esto último facilita de sobremano la infiltración del agua de lluvia con posterior depósito en el contacto con el zócalo cámbrico que actúa como pantalla impermeable. De todos modos el escaso espesor del seno provoca que la componente evapo-transpiración adquiera una gran importancia, estimándose que la evapotranspiración real es de aproximadamente el 65 % de la pluviometría total, para una capacidad de retención de entre 50 y 100 mm, como consecuencia de ello gran parte del agua infiltrada termina evapo-transpirándose en un escaso periodo de tiempo.

El acuífero que se podría dar relacionado con estos materiales se nutre de la circulación de agua subterránea existente entre el nivel de alteración de la formación cámbrica y la cobertera terciaria y cuaternaria cuyo espesor máximo es de cuatro metros de espesor.

Los límites de la profundidad del acuífero vienen claramente condicionados por el espesor del seno de alteración cámbrica y la potencia del recubrimiento neógeno, según esto la potencia del acuífero puede estimarse en unos 4,00 metros, no obstante hay que mencionar que esporádicamente la profundidad ha llegado a 5,00 e incluso 6,00 metros en la zona.

El acuífero asociado a estas formaciones es de tipo libre, estos acuíferos son los típicos en los que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, nivel freático.

Está formado por un estrato permeable parcialmente saturado de agua, que es el perfil de alteración de la Formación Cámbrica Inferior “Sucesión de pizarras y arenitas” y la cobertera neógena, que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable, en este caso, la formación de pizarras y arenitas sin alterar que forma una barrera que provoca el almacenamiento, flujo de las aguas subterráneas e infiltración sólo por zonas de fracturas.

Este tipo de acuíferos tienen una buena recarga y alimentación, muy poca capacidad de almacenamiento ya que la componente evapotranspiración en este tipo de pozos es muy importante, entre el 60 y 75 % de la pluviometría total.

En lo que respecta a las formaciones cuaternarias y terciarias, se le asigna al conjunto del “acuífero” una transmisividad del orden de 8 a 10 m<sup>2</sup>/día, que para un espesor medio de 4,00 metros, significa una permeabilidad del orden de 4,63 x 10<sup>(-6)</sup> m/s. El gradiente hidráulico es del orden de 0,6 a 1 %, esta diferencia se puede comprobar en la zona en que se ubica el manantial El Raposo que tiene gradiente del 0,625 %, mientras que en la zona SE el gradiente es de un 1%.

Estas diferencias están claramente influenciadas por el espesor del seno neógeno y la permeabilidad del mismo, que depende del contenido en materiales arenosos en contra de arcillosos.

La circulación del agua tiene una dirección aproximada NE-SW, esta dirección es lógica porque, como ya se ha mencionado, el flujo de aguas subterráneas tiene una clara influencia de la red hidrográfica, la cual se dispone según esta dirección. La profundidad de la superficie libre del agua en el entorno es en general inferior a 4 metros, con algunas excepciones en las que se llega a observar el nivel freático a 5 u 6 metros de profundidad.

#### *4.1.4.- Tipología de los acuíferos asociados a este tipo de material:*

Los materiales que encontramos en la zona son desde el punto de vista hidrogeológico impermeables, tan sólo presentan acuíferos asociados a zonas de fracturación (fallas y/o diaclasas). Sería por lo tanto un acuífero de los denominados fisurales. En general las fracturas se amortiguan en profundidad y los coeficientes de almacenamiento no suelen ser muy altos.

En este tipo de materiales, por el tipo de hueco, y por la presión hidrostática (lineal), el tipo acuífero típico es el asociado a las zonas de fractura donde se produce un aumento de la permeabilidad de las rocas, que da lugar a acuíferos locales. Los acuíferos que encontramos asociados a las pizarras y areniscas son fisurales y discontinuos, estos presentan un difícil recarga y muy buena capacidad de almacenamiento.

En lo que respecta a las formaciones terciarias y cuaternarias es de tipo libre, estos acuíferos son los típicos en los que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, nivel freático

#### *4.1.5.- Características piezométricas, flujo subterráneo y funcionamiento hidrogeológico:*

El **nivel piezométrico** de esta formación en esta zona es variable, no existen sondeos en un perímetro de 100 metros en torno a la zona afectada.

Al tratarse de acuíferos de tipo fisural el nivel piezométrico es muy variable y depende de múltiples variables:

- Tipo de fractura (falla y/o diaclasa) a la que se asocia el acuífero.
- Profundidad a la que se localiza.
- Dimensiones de la cámara de almacenamiento.
- Números de recarga.

- Estación (verano o invierno)
- Etc.

No obstante se han tomado medidas de nivel en varios pozos de la zona y el nivel piezométrico oscila entre los 70 y 90 metros de profundidad.

En lo que respecta al flujo subterráneo, manifiesta en el tipo de acuífero que nos podríamos encontrar en la zona, una extrema variabilidad espacial en lo que a conductividad hidráulica y cantidad de flujo se refiere.

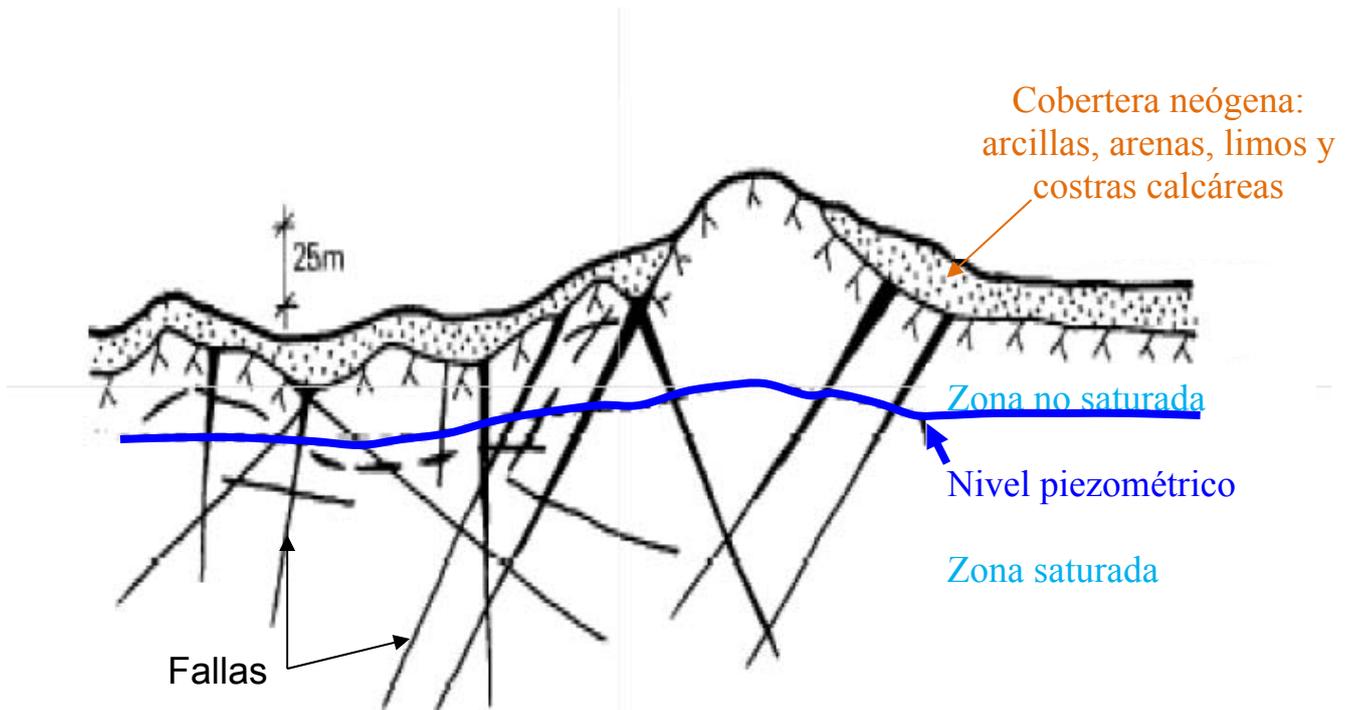
Las propiedades hidráulicas de los acuíferos fisurales son muy anisotrópicas y están definidas en conjunto con información espacial (direccional) de las fracturas existentes en la zona, en base a ello los acuíferos que se podrían dar en la zona presentan una circulación del agua (**dirección de flujo subterráneo**) lineal y está claramente marcada por la red de fracturación de las pizarras y areniscas del cámbrico inferior de Usagre, que tiene las siguientes direcciones principales:

- ❶ N140°-160°E
- ❷ N30°-50°E

Las velocidades del agua a través de fracturas individuales pueden ser extremadamente altas, pero las fracturas usualmente ocupan solo una parte del acuífero, en base a esto, el promedio del flujo volumétrico suele ser bajo en este tipo de acuíferos.

En lo que respecta al funcionamiento hidrogeológico, mencionar que este tipo de acuíferos se conforma de los siguientes componentes:

- a. Red de fracturas / discontinuidades
- b. Bloque de la matriz
- c. Relleno de las fracturas (si existe).
- d. Zona meteorizada (si existe)



Esta figura representa el tipo de acuíferos que se relaciona con los materiales del cámbrico inferior de Usagre, se trata de una red de fracturas (fallas y diaclasas) interconectadas entre sí, el bloque matriz es el macizo granítico ocupado por la red de fracturas.

En este tipo de acuíferos no hay relleno de fracturas, si bien en la mayoría de ellas, sobre todo en las fallas, suele haber una intensa arenización producida principalmente por la meteorización de las aguas. En lo que respecta a la zona superficial es la formación cuaternaria y terciaria compuesta por las arenas, arcillas y limos que componen los aproximadamente 2,00 a 4,00 metros de recubrimiento neógeno que tiene la parcela afectada.

El agua se infiltra a través de la cobertera neógena y llega a la formación cámbrica inferior de Usagre, en las áreas donde se encuentren fracturas (principalmente fallas), el agua penetra a través de esas fracturas y de pequeñas fisuras por capilaridad, rellenando de agua subterránea la red de fracturación por debajo del nivel piezométrico (zona saturada).

**4.2.- Hidrogeología local:***4.2.1.- Inventario de pozos, sondeos y manantiales en el entorno próximo:*

Se localiza un pozo artesiano seco en la parcela afectada.

El pozo tiene una profundidad de 3 metros, y un diámetro de unos 2 metros.





Como se puede apreciar en la foto, el pozo está completamente seco.

Se localiza otro pozo a unos 70 metros al norte de la zona de ubicación de la futura balsa, al igual que el anterior pozo también está seco, tiene una profundidad de 4 metros y diámetro de 2 metros.

No se localizan más sondeos, pozos o manantiales en un perímetro de 100 metros en torno al área de ubicación de la zona afectada, a parte de los mencionados anteriormente.

#### *4.2.2.- Características estructurales y análisis de la fracturación en acuíferos por fracturación:*

Las características estructurales de los posibles acuíferos tectónicos que generan este tipo de materiales en el entorno, está claramente relacionada con la red de fracturación local (fallas y diaclasas) (ver pp 28 y 29).

La fracturación que afecta a las pizarras y areniscas cámbricas tiene esencialmente dos direcciones de mayor desarrollo longitudinal que son la NNO-SSE y la NNE-SSO.

Estas direcciones tienen un buzamiento vertical a subvertical (65°-90°), las dos direcciones de fracturación se repiten por todo la zona.

La circulación del agua (**dirección de flujo subterráneo**) tiene una dirección aproximada NNW-SSE, aproximadamente N140°-160°E, coincidiendo con la dirección principal de fracturación que afecta al cámbrico inferior, si bien puede existir recarga en algún cruce de fracturas hercínicas conjugadas (N140-160°E y N30-50°) esta dirección es lógica porque, como ya se ha mencionado, el flujo de aguas subterráneas tiene una clara influencia de la red de fracturado hercínico local, la cual se dispone según estas direcciones.

#### 4.2.3.-Permeabilidad y otros parámetros hidrodinámicos:

La permeabilidad es la facilidad de movimiento que tiene el agua por los caminos que encuentra en poros y grietas que comunican entre sí su espacio en mayor o menor medida.

En las pizarras y areniscas del cámbrico inferior la permeabilidad está determinada por el tamaño de las fracturas, diaclasas, y por el tamaño de las aberturas a lo largo de los planos de estratificación y el tamaño de los huecos producto de la disolución, así mismo la conexión de la red de fracturación es un factor determinante en el grado de permeabilidad.

En base a esta premisa es muy difícil de calcular cual es la permeabilidad del bloque matriz en la zona, fundamentalmente porque no se ha detectado acuífero, en cualquier caso se aporta valores de permeabilidad para este tipo de materiales.

Según datos tomados en materiales similares tenemos una **permeabilidad** de:

$$0 \text{ a } 0,7 \text{ metros: } \kappa \text{ (cm}^2\text{)} = 1,12 \times 10^{-7}$$

$$3 \text{ a } 75 \text{ metros: } \kappa \text{ (cm}^2\text{)} = 2,11 \times 10^{-9}$$

$$75 \text{ a } 110 \text{ metros: } \kappa \text{ (cm}^2\text{)} = 2,18 \times 10^{-8}$$

$$\text{En zonas de fracturación: } \kappa \text{ (cm}^2\text{)} = 1,30 \times 10^{-5}$$

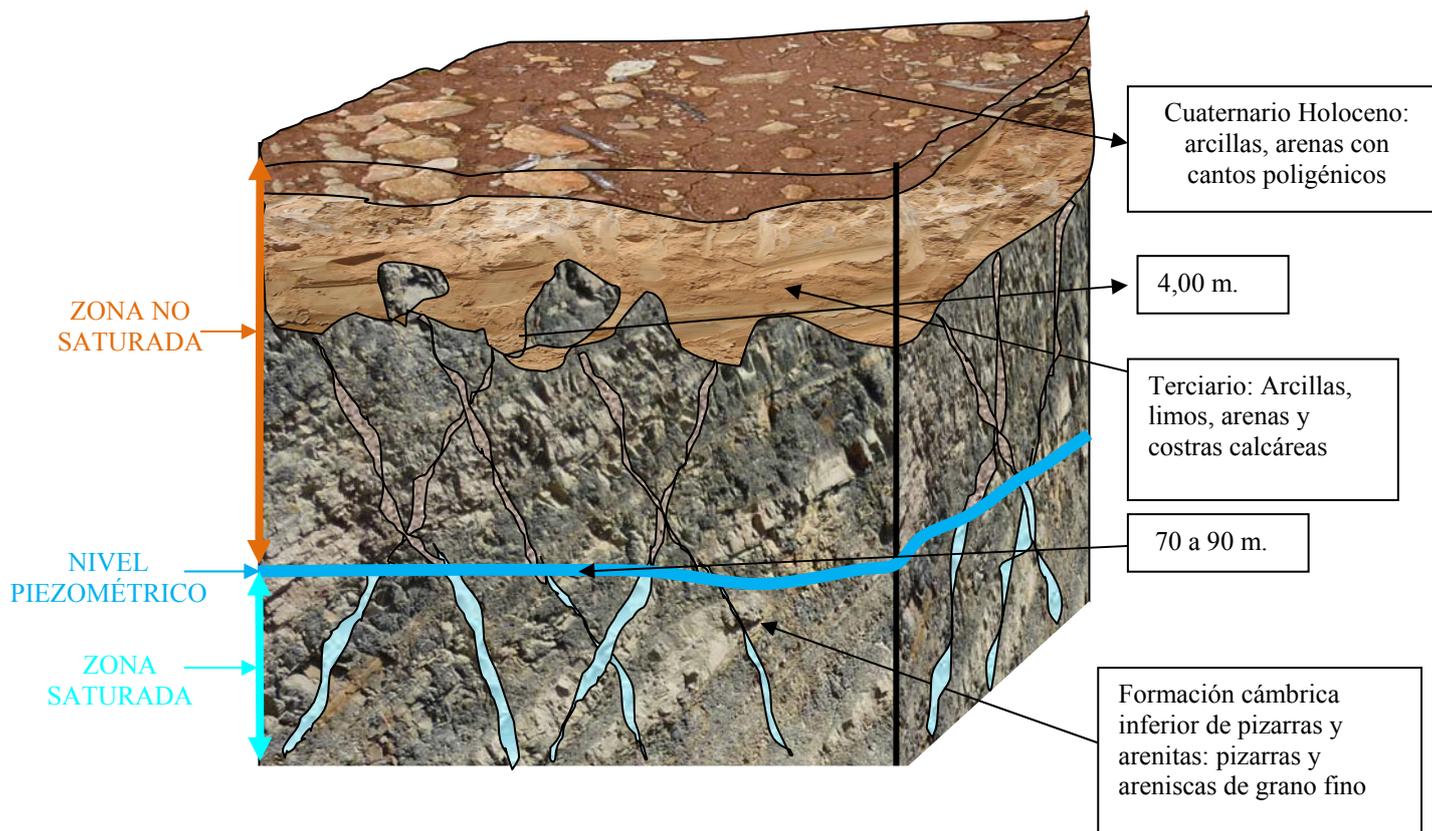
Como se puede apreciar tiene una permeabilidad baja, propia de materiales poco permeables, tan sólo en zonas de fracturación, donde existe porosidad secundaria se aprecia un aumento de la permeabilidad.

En lo que respecta a las formaciones cuaternarias y terciarias, se le asigna al conjunto del “acuífero” una transmisividad del orden de 8 a 10 m<sup>2</sup>/día, que para un espesor medio de 4,00 metros, significa una permeabilidad del orden de 4,63 x 10<sup>(-6)</sup> m/s. El gradiente hidráulico es del orden de 0,6 a 1 %, esta diferencia se puede comprobar en la zona en que se ubica el manantial El Raposo que tiene gradiente del 0,625 %, mientras que en la zona SE el gradiente es de un 1%. Estas diferencias están claramente influenciadas por el espesor del seno neógeno y la permeabilidad del mismo, que depende del contenido en materiales arenosos en contra de arcillosos.

#### 4.2.4.-Caracterización geológica e hidrogeológica de la zona no saturada:

A pesar de no existir acuífero bajo la parcela afectada, se analiza la caracterización geológica e hidrogeológica de la zona no saturada asociada a acuíferos de esta tipología.

La zona no saturada está compuesta por el tramo de arenas cuaternarias procedentes de la meteorización de los leucogranitos porfídicos existentes bajo la zona afectada por la futura planta de compostaje, que es un tramo de unos 0,00 a 0,50 metros de potencia y por el bloque matriz y su red de fracturación asociada. En el siguiente esquema se define la geología e hidrogeología de la zona no saturada.



Desde el punto de vista hidrogeológico en la zona no saturada lo que ocurre en este tipo de acuíferos es un proceso de infiltración de las aguas fundamentalmente pluviales, esta agua se infiltran a través de las fracturas hasta llegar a la zona saturada.

En el caso de existir espesores altos de arenas cuaternarias también se puede dar un proceso de aporte de flujo subhorizontal.

*4.2.5.- Situación del nivel piezométrico y freático local:*

Como ya se ha mencionado anteriormente no se ha detectado acuífero local bajo la futura balsa, ni existen sondeos en un perímetro de 100 metros de las mismas, por lo que se desconoce el nivel piezométrico en la parcela afectada.

No obstante se dispone datos de niveles piezométricos en captaciones del Raposo, , distantes a 2 y 3 kilómetros, y el nivel piezométrico es bastante variable, ya que depende de:

- Rumbo y buzamiento de las discontinuidades que conformen el acuífero.
- Longitud de la traza de las discontinuidades
- Número de fracturas por unidad de longitud
- Número de grupos de discontinuidades presentes en la red
- Distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes del mismo grupo
- Longitud acumulada de fracturas por unidad de área expuesta.
- Extensión del área fracturada y su forma.
- Intersección y terminación de las fracturas expuestas.
- Área acumulada de planos fracturados por unidad de volumen de roca.
- Número de fracturas por metro cubico de volumen de roca.
- Tamaño del bloque y forma resultante de la red de fracturas
- Distancia perpendicular entre las paredes adyacentes de la discontinuidad que genera el acuífero.
- Proyección de la pared de la roca a lo largo de la superficie de la discontinuidad.
- Material sólido que cubre o rellena las superficies de las discontinuidades.

Todas estas variables inciden directamente en los parámetros hidrodinámicos del acuífero, y por tanto inciden en el nivel piezométrico local. En base a los datos de que se disponen, se establece el nivel piezométrico, asociado a este tipo de acuíferos, se suele situar entre 70 y 90 metros de profundidad por la zona.

No se ha detectado nivel freático en la zona, ni en los pozos artesianos (secos) del entorno, ni en la geofísica, si bien, por captaciones cercanas en la zona del raposo, el freático de la zona se sitúa entre los 2 y 4 metros de profundidad.

## 5.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

### 5.1.- Introducción:

Un acuífero es un depósito de agua subterránea, agua almacenada en la porosidad de las rocas almacén. Las características y potencialidad de los acuíferos dependen de sus dimensiones, de su forma, y de la permeabilidad de los materiales que los forman; por lo tanto los materiales y la tectónica de la zona nos marca el comportamiento hidráulico de las aguas subterráneas del entorno de la actividad objeto del presente proyecto.

Una vez efectuado un exhaustivo análisis hidrogeológico de los materiales existente bajo la parcela afectada por la actividad que nos ocupa y tras realizar estudios geofísicos en la misma, no se ha detectado ningún acuífero bajo la parcela afectada, sí que se han detectado fracturas de pequeña entidad, pero no albergan acuíferos fisurales. Por lo que no se detecta nivel piezométrico en la zona.

Tampoco se ha detectado nivel freático en la zona, ni en los pozos artesianos (secos) del entorno, ni en la geofísica efectuada.

### 5.2.- Velocidad de avance del flujo:

En lo que respecta a las velocidades de avance del flujo subterráneo, manifiesta en el tipo de acuífero que nos podríamos encontrar en la zona, una extrema variabilidad espacial en lo que a conductividad hidráulica y cantidad de flujo se refiere.

En este sentido cabe decir que el flujo hidráulico que circula por la zona no saturada se rige por la Ley de Darcy que, en dirección vertical puede ser descrita en la siguiente forma:

$V_x = k(o)/\theta \times \delta h/\delta x$  , donde  $V_x$  es la velocidad del flujo,  $\theta$  el contenido de la humedad,  $\delta h/\delta x$  la gradiente hidráulica no saturada, y  $k(o)$  la conductividad hidráulica no saturada que es una función del contenido de la humedad.

El contenido de la humedad y la conductividad hidráulica vertical no saturada son funciones del potencial hídrico del suelo, que es consecuencia de la afinidad del agua para superficies sólidas y es controlado por la distribución del tamaño de los poros y/o fracturas.

Las velocidades del agua a través de fracturas individuales pueden ser extremadamente altas, pero las fracturas usualmente ocupan solo una parte del acuífero, en base a esto, el promedio del flujo volumétrico suele ser bajo en este tipo de acuíferos.

Teniendo en cuenta esto último y aplicándolo a nuestro caso en concreto, en lo que respecta a las pizarras y areniscas del cámbrico inferior con una red de fracturación no muy elevada y con escaso material cuaternario de recubrimiento (< 5 m.), la velocidad de flujo natural en la zona no saturada es inferior a 0,1 mt/día a corto plazo, y menos aún promediadas a periodos más largos.

En lo que respecta a las formaciones cuaternarias y terciarias, se le asigna al conjunto del “acuífero” una transmisividad del orden de 8 a 10 m<sup>2</sup>/día, que para un espesor medio de 4,00 metros

### **5.3.- Ubicación de puntos de control:**

Para evitar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas, se van a tomar una serie de medidas en la construcción de la balsa que se pasan a detallar:

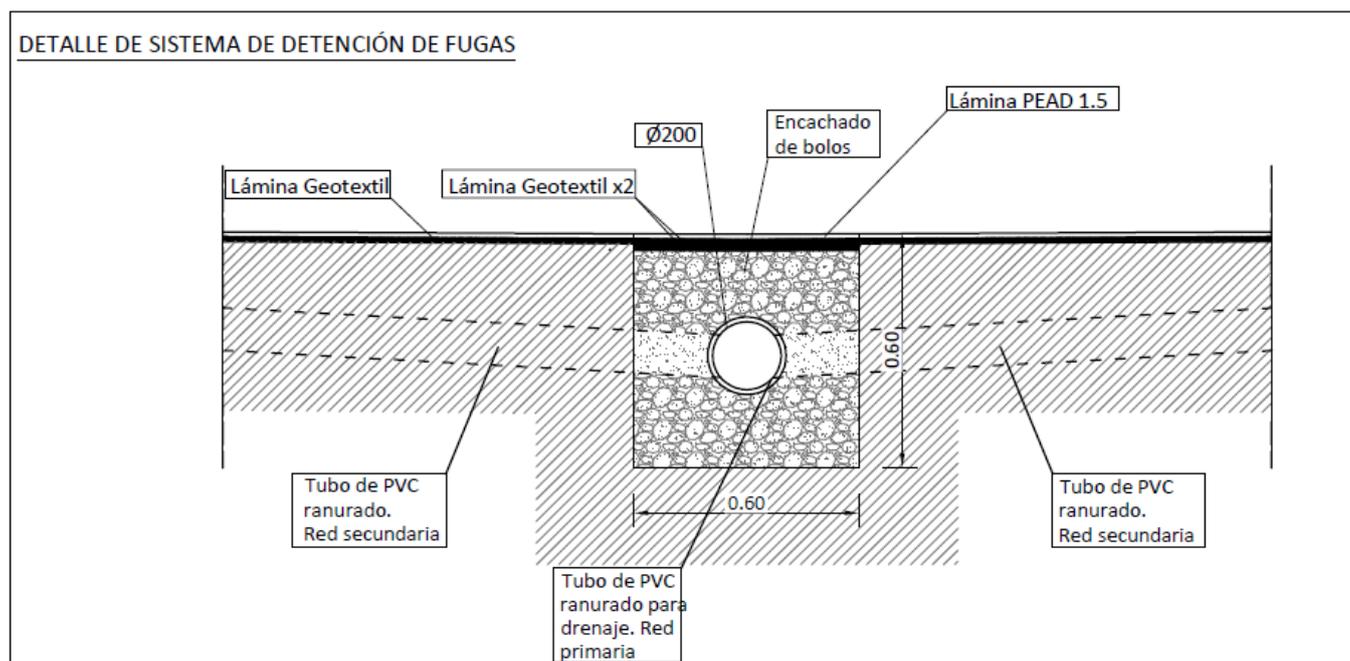
Los datos de la balsa son los siguientes:

- Superficie de vaso planta inferior talud balsa: 3.844 m<sup>2</sup>
- Superficie total balsa: 4.489 m<sup>2</sup>
- Profundidad total balsa: 1,5 m
- Talud: 3:2
- Volumen total balsa 6.194 m<sup>3</sup>,
- Lámina de vertido: 90 cm
- Volumen máx. De vertido balsa: (90 cm de lámina) 3.716 m<sup>3</sup>

Para la realización de la balsa se deberá realizar las siguientes operaciones:

- Eliminación del cultivo existente en la zona de ocupación de la instalación.
- Movimiento de tierras bien mediante trailla o retroexcavadora aprovechando parte de la tierra extraída para hacer que la balsa esté elevada sobre el terreno 60 cm. Se dejara el terreno aplanado y compactado perfilado hacia las redes de detención de fuga.
- Ejecución de red de detección de fugas mediante realización de zanjas de 60 x 60, colocación de tubos de drenaje de PVC de 200 ranurado, relleno en zanja de grava alrededor de dicho tubo y finalización de geotextil en la zona superior de la zanja.

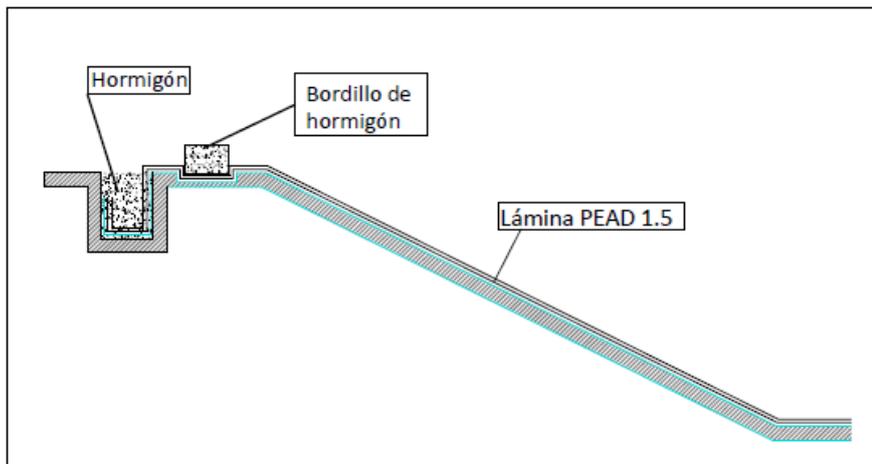
La red de detención de fugas consistirá en una red de tuberías de drenaje de PVC ranurado compuesta por una red secundaria dispuestas en forma de espina de pez que desembocan en una red principal de tubería de PVC que recoge las posibles fugas y las conduce una arqueta de registro realizada de fábrica de ladrillo situada en el exterior de la balsa. Esta arqueta, cuya profundidad coinciden con la base de la tubería principal, está a cota más baja que la base de la balsa. Éste sistema nos hará detectar cualquier fallo de funcionamiento de la instalación (fugas y rotura de la lámina de impermeabilización) con respecto a las filtraciones.



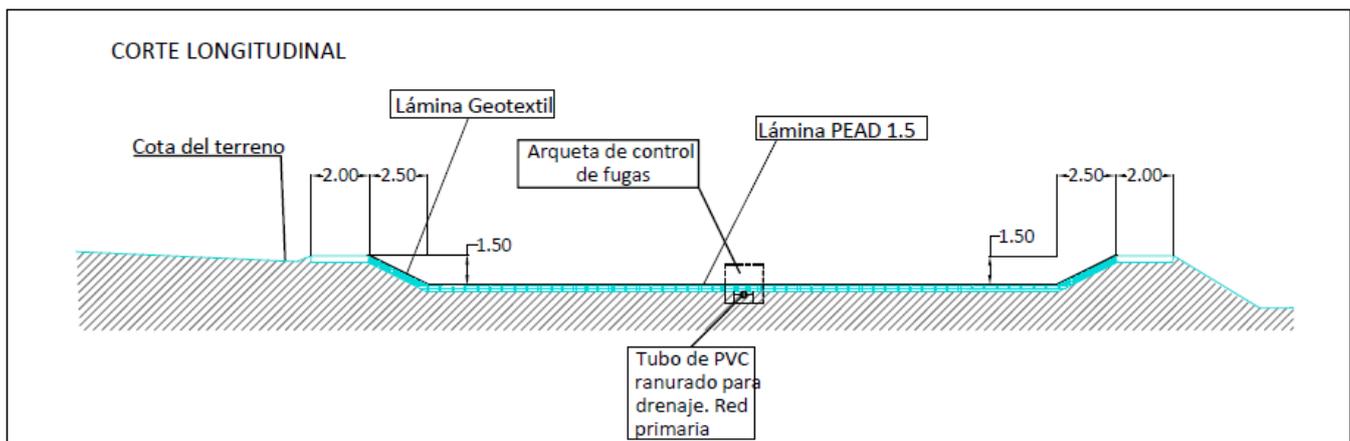
-Instalación de dos piezómetros formados de tubos de PVC de 55 mm de tubería piezométrica provistos de arqueta y sellada con bentonita. Estos piezómetros estarán situados separados y en extremos opuestos.

-Construcción de zona de entrada y maniobra de vehículos a la instalación y de la rampa de acceso para la limpieza de la balsa mediante una solera de hormigón armado de 15 cms de espesor, que le permitirá mejor maniobrabilidad a los vehículos y la protección de las láminas en la zona de vertido y tránsito para la limpieza de la balsa.

DETALLE DE ZANJA

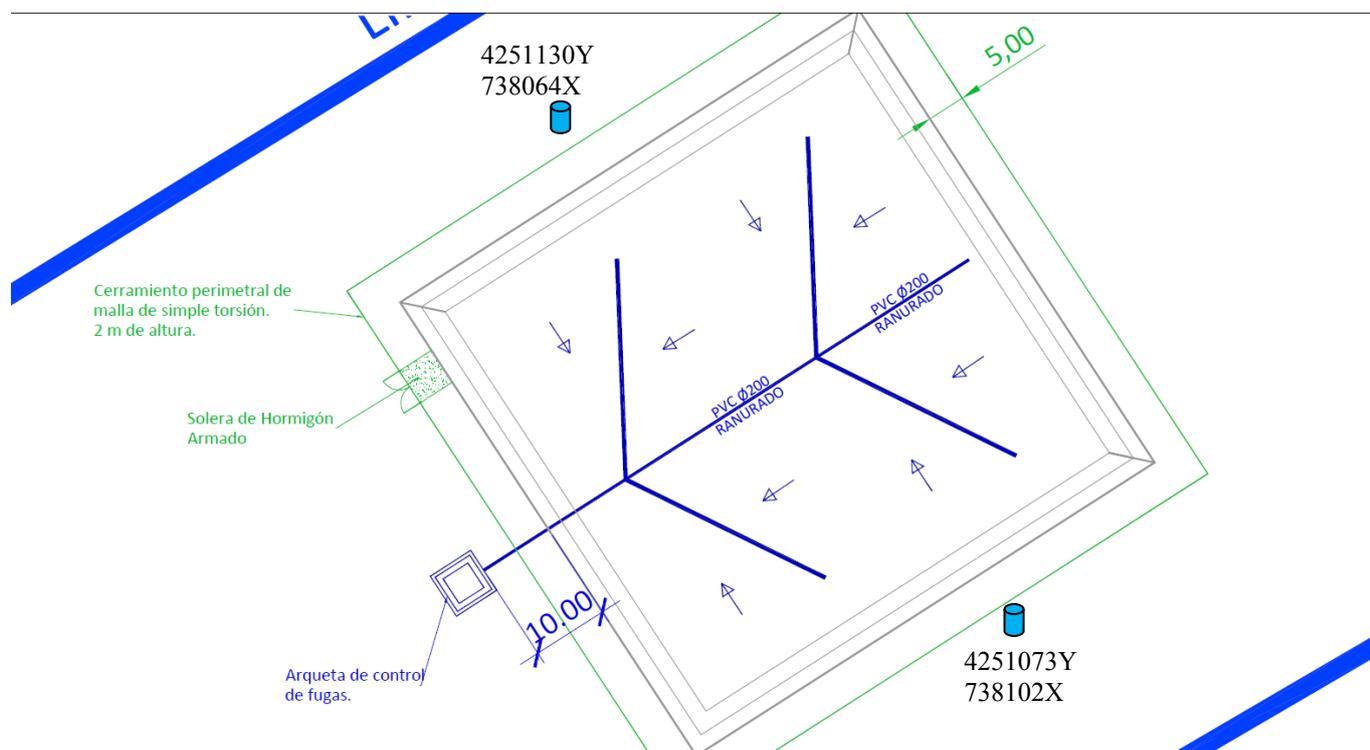


- Instalación de lámina de Geotextil de protección y antipunzonamiento que se coloca sobre el terreno previamente explanado y compactado.
- Instalación sobre esta lámina de lámina continua electro soldada de polietileno de alta densidad (PAED) de 1,5 mm espesor que se extiende 2 m perimetralmente por el exterior del talud.



- Colocación de bordillo achaflanado como remate superior de esta lámina y a lo largo de que delimita y fija la lámina impermeabilizante.
- Fijado final mediante hormigón perimetral por toda la balsa.
- Cerramiento de la balsa perimetral a base de malla de simple torsión de trama 50/14-17 de 2 m. de altura y postes de tubo de acero galvanizado con una puerta de una hoja de 4,00 x 2,00 m, mediante bastidor de tubo de acero laminado en frío de 40 x 40 mm y malla S/T galvanizada en caliente. Esta puerta está provista de un candado para evitar entradas de personas ajenas a la instalación.

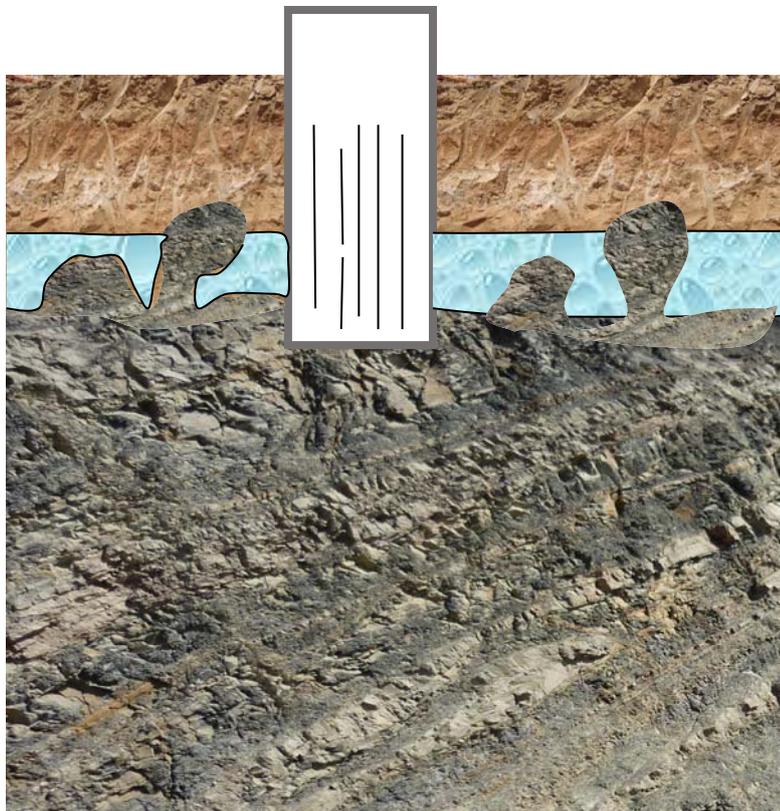
La red de detención de fugas, la sobredimensión y la elevación sobre la cota cero de la balsa son sistemas de seguridad garantizan una detención de algún fallo en impermeabilización de la balsa o de problema de desbordamiento y que se derramen las aguas contaminadas por los alrededores. También evita que las aguas de escorrentías se introduzcan en la balsa, y provoquen el rebosamiento de las balsas y arrastren las aguas contaminadas.



Tanto el diseño como la impermeabilización de la balsa, garantizan la estanqueidad de la actividad, si bien se diseña la colocación de piezómetros de control para una detección inmediata de cualquier filtración de efluentes en la zona, y poder así tener una rápida respuesta en la contención de la contaminación, en base a ello se diseña la red de piezómetros, expuestas en la figura anterior.

Los piezómetros tienen que tener una profundidad de al menos seis metros. Para el entubado del piezómetro, se colocará a todo lo largo del agujero realizado por máquina de sondeo, una tubería de presión con un diámetro de 180 mm., todo el material empleado debe ser de buena calidad, la tubería de revestimiento de los piezómetros será de PVC, con una presión de 6 atms, siendo perfectamente cilíndrica con el fin de facilitar la maniobra de entrada y salida de los aparatos para realizar analíticas de control, procediéndose a su rasurado o colocación de puentecillos coincidiendo con la totalidad del tramo de cuaternario atravesado; entre el tubo de P. V. C. y la pared del sondeo, se procederá al relleno de este con grava de río.

El eje de los sondeos es vertical en toda su profundidad, colocando la tubería de PVC lo más coincidente posible al eje de perforación, no llegando al fondo de la perforación, ya que debido a posibles derrumbes, podría existir el riesgo de que no bajara hasta quedar perfectamente enfrentados ranurado y zona de acuífero detrítico.



El control de analíticas debe ser semestral, para que el tiempo de respuesta en caso de encontrar contaminantes sea rápida.

## **6.- ESTUDIO DE LA INTERCONECTIVIDAD:**

### **6.1.- Introducción:**

Expuestas las características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas de la zona, pasamos a analizar la relación de la actividad industrial con la hidrogeología e hidrología de la zona. La actividad que nos ocupa puede afectar a la calidad de las aguas, para conocer el grado de afección de las balsas vamos a estudiar por separado la incidencia sobre la cantidad y sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la zona.

### **6.2.- Estudio de la afección de la balsa de aguas de bodega sobre las aguas superficiales:**

El presente Estudio Hidrogeológico se ha realizado con el objetivo de determinar la afección que pudiera tener la balsa de aguas de bodega sobre el entorno hidrológico e hidrogeológico de la parcela donde se ubican.

El estudio de las relaciones entre la actividad que aquí nos ocupa y la corriente superficial se ha basado en un estudio hidrológico de campo y de diferentes factores que pudieran influir de un modo decisivo en la afectividad entre él y la dinámica de cualquier cauce fluvial cercano.

Partimos de la base que la actividad para la que se redacta el presente estudio hidrogeológico no puede afectar a las aguas de corriente, a no ser que se viertan las aguas depuradas a cauces fluviales, el cual no es nuestro caso.

Si podría afectar a la dinámica fluvial si se produjesen colmataciones y/o filtraciones que llegasen a un cauce fluvial.

La hidrología de la zona estudiada está marcada por el escaso desarrollo de la red fluvial, se observa una cola del Arroyo Amargazón al sur de la parcela afectada, a una distancia de 120 metros. Esta cola del Arroyo Amargazón tiene un carácter estacional, su caudal es escaso y está sólo activo en épocas de lluvias. Pertenece a la cuenca del Río Bodión que presenta una morfología dendriforme.

Dentro de este apartado vamos a definir la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón en el entorno de la parcela 25 del polígono 31 de Usagre.

Definir la llanura de inundación es vital en un estudio como en el que nos encontramos, ya que si bien la distancia administrativa en la protección de un cauce fluvial es de 100 metros, y la balsa estaría fuera de la zona de policía, en la realidad esta distancia varía y puede ser desde 2 metros hasta 180 metros (Llanura de Inundación del Río Guadiana en algunos puntos de su cauce).

Es por ello que definir la llanura de inundación se antoja como clave para saber la posible influencia de la actividad que nos ocupa sobre el cauce fluvial más cercano.

Las llanuras de inundación son las áreas adyacentes a los ríos, arroyos o riveras sujetas a inundaciones recurrentes, las mismas son variables y muy difíciles de determinar, sobre todo en zonas con topografía plana como la que tenemos.

El poder determinar el área que ocupa la llanura de inundación de un cauce fluvial es muy complicado, ya que la misma es variable, habría que estudiar las crecidas históricas, de las cuales no se tienen datos ya que no existe un registro histórico de inundaciones recurrentes, al menos no en cauces fluviales pequeños, como es nuestro caso.

La única manera de determinar la llanura de inundación en este tipo de cauces es por la cartografía geológica de los materiales detríticos aluviales que circundan el cauce fluvial. Estos materiales además de marcar el límite de las crecidas recurrentes, constituyen un acuífero de tipo libre, de los que se suelen aprovechar numerosos pozos artesianos situados en las márgenes de los arroyos. La línea que marca el límite de afección al cauce fluvial, o lo que es lo mismo que marca la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón, no es recta, varía en función de la morfología del cauce, siendo más estrecha la llanura de inundación en curvas de erosión fluvial, y más ancha en curvas de sedimentación.

En función de la exploración de campo efectuada se aporta la línea que marca el límite de la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón en las cercanías de la parcela 25 del polígono 31 del Término Municipal de Usagre. El área que marca la llanura de inundación de la cola del Arroyo Amargazón, es muy estrecha, ya que no se observan sedimentos fluviales más allá del margen del cauce, y donde se observan se limitan a no más de un metro fuera de la margen del citado cauce fluvial.

En base a la distancia existente entre la ubicación de la futura balsa y el cauce fluvial, al dimensionamiento de la balsa y a que la balsa estará fuera del área que cubre la llanura de inundación, se ha comprobado que la posibilidad de afección de la actividad sobre la hidrología de la zona, es baja.

### **6.3.- Estudio de la afección de la actividad sobre las aguas subterráneas de la zona:**

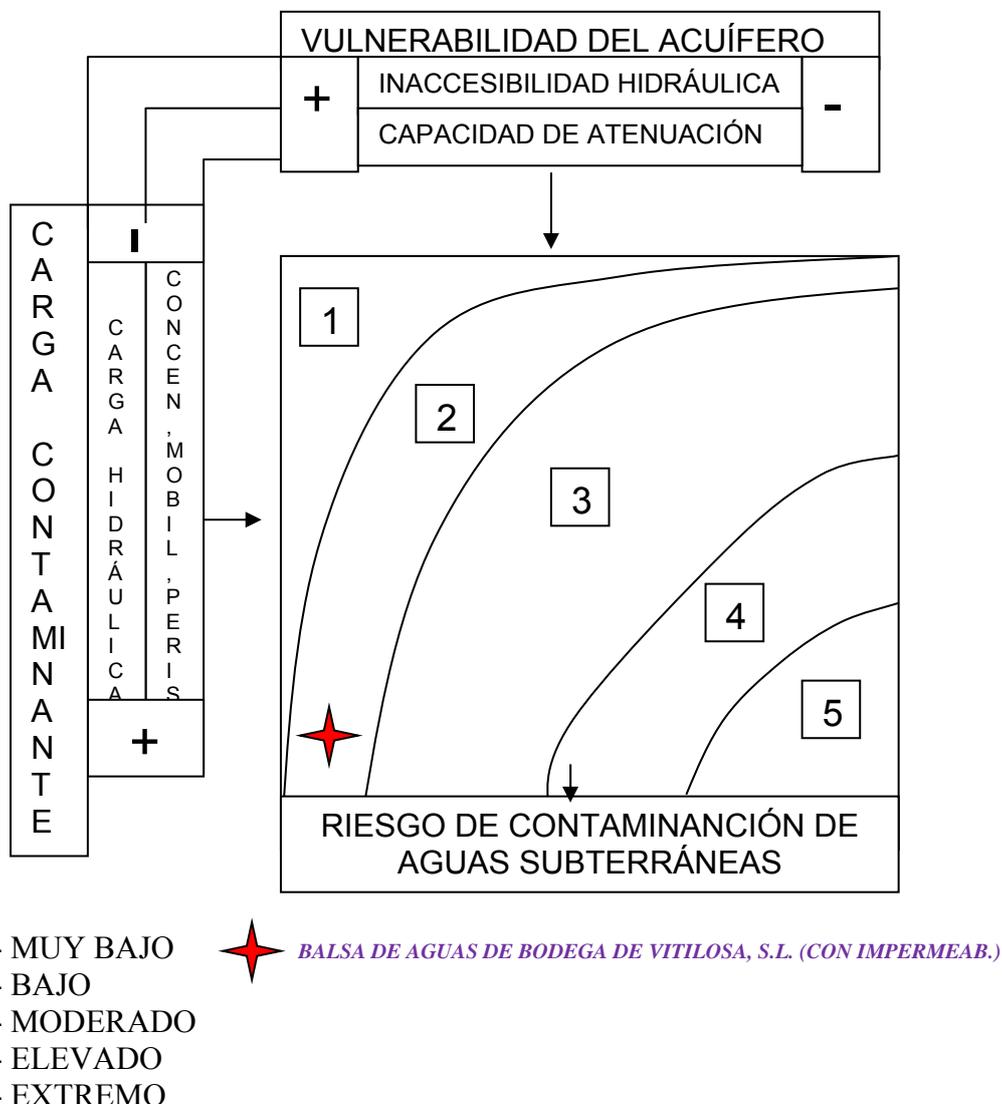
#### *6.3.1.- Introducción:*

Una vez visto las características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas de la zona, pasamos a intentar analizar la posible influencia que puede tener la actividad objeto del presente proyecto sobre la zona.

#### *6.3.2.- El Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas:*

La definición más lógica del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es concebida como la interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero.

La determinación entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero determina el riesgo de que la contaminación penetre al acuífero. Adoptando tal esquema podremos obtener una alta vulnerabilidad sin riesgo de contaminación, por la ausencia de una carga significativa de contaminantes y viceversa. Ambos son perfectamente lógicos en la práctica.



### Esquema conceptual del riesgo de contaminación de aguas subterráneas

Como se puede ver en la gráfica a pesar de que la carga contaminante es alta, ya que los residuos que aquí estamos tratando son contaminantes, sin embargo una efectiva impermeabilización, como la proyectada, hace que el riesgo de contaminación sea bajo.

El término vulnerabilidad del acuífero a la contaminación representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta.

En nuestro caso el potencial acuífero asociado a las pizarras y arenitas del cámbrico inferior, que pudiera existir en el área de ubicación de la parcela afectada sería muy poco vulnerable debido a las características hidrogeológicas de muy baja permeabilidad de las pizarras y areniscas.

En lo que respecta al potencial acuífero asociado a los materiales detríticos (arenas, arcillas y limos) del cuaternario y terciario, que pudiera existir en el área de ubicación de la parcela afectada sería poco vulnerable debido a las características hidrogeológicas de permeabilidad baja de estos materiales, en cualquier caso preciso realizar una efectiva impermeabilización, como la proyectada, así como la colocación de piezómetros de control, para el caso de fugas.

#### **6.4.- Medidas preventivas para evitar la contaminación de suelos y agua:**

La mejor medida para evitar la contaminación de suelos y agua es la impermeabilización de la balsa de aguas de bodega, descrita en apartados anteriores.

## **7.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS:**

El presente Estudio Hidrogeológico se ha realizado con el objetivo de determinar la posible afección de una balsa de evaporación de aguas de bodega, a construir en la parcela 25 del polígono 31 del Término Municipal de Usagre (Badajoz).

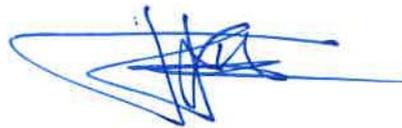
Este estudio de posible afectividad se ha basado en un estudio hidrogeológico, geológico, geofísico y edafológico de la zona afectada, del cual se ha deducido que por las características geofísicas, geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas observadas en la zona afectada, la amenaza de afección sobre la hidrología, hidrogeología y edafología de la zona es baja, basado en tres razones:

- a. Muy baja vulnerabilidad de las pizarras y arenitas subyacentes en la zona afectada.
- b. Baja vulnerabilidad de las arcillas, arenas y limos del cuaternario y terciario en la zona afectada.
- c.- El diseño de la construcción e impermeabilización de la balsa que limitan cualquier posibilidad de filtración o vertido de lixiviados al suelo.

En cualquier caso y teniendo en cuenta de la existencia de materiales detríticos, que a pesar de tener una permeabilidad baja (ver mapa de permeabilidades del IGME en anexos), se aconseja la ubicación de al menos dos piezómetros, y que tanto el diseño como la impermeabilización de la balsa, garantizan la estanqueidad de la actividad; se aconseja la colocación de piezómetros de control para una detección inmediata de cualquier filtración de efluentes en la zona, y poder así tener una rápida respuesta en la contención de la contaminación, así mismo se sugiere un control de analíticas semestral, para que el tiempo de respuesta en caso de encontrar contaminantes sea rápida .

### **Firma el presente estudio hidrogeológico**

En Santa Marta a 26 de septiembre de 2018



**Fdo. Francisco Javier Fernández Amo**  
**Geólogo Colegiado n.º: 3.214**