



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de soluciones para la mejora del sistema de abastecimiento de agua potable de Peñas de San Pedro y La Solana (Albacete). Estudio geológico - geotécnico y aspectos constructivos.

Trabajo final de grado

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2014/15

Autor: Germán Valero Garijo

Tutor: M^a Elvira Garrido De La Torre

Cotutor: Ignacio Andrés Doménech

Valencia, 12 de junio de 2015

Índice

1. MEMORIA

2. ANEJOS

ANEJO 1. ANTECEDENTES

ANEJO 2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

ANEJO 3. ESTUDIO DE SOLUCIONES

ANEJO 4. ESTUDIO HIDRÁULICO

ANEJO 5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

ANEJO 6. VALORACIÓN ECONÓMICA

3. PLANOS

4. BIBLIOGRAFÍA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA MEJORA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE PEÑAS DE SAN PEDRO Y LA SOLANA (ALBACETE)

MEMORIA

AUTORES: GERMÁN VALERO GARIJO
SANTIAGO MUÑOZ PINEL

12 de junio de 2015

Índice

1. ANTECEDENTES. OBJETO DEL PROYECTO.....	1
2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	1
2.1. POBLACIÓN ACTUAL Y EN EL AÑO HORIZONTE.....	1
2.2 POBLACIÓN EN VERANO.....	3
2.3 CAPACIDAD DE LOS DEPÓSITOS.....	4
3. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	4
3.1. DEPÓSITO DE PEÑAS DE SAN PEDRO.....	5
3.2. DEPÓSITO DE LA SOLANA.....	5
3.3. CONDUCCIÓN DE PEÑAS DE SAN PEDRO - LA SOLANA.....	5
4. ESTUDIO HIDRÁULICO.....	9
4.1. INTRODUCCIÓN.....	9
4.2. DATOS DE PARTIDA.....	9
4.3. CÁLCULO HIDRÁULICO.....	10
4.3.1. CAUDAL PICO DE DEMANDA Y TIEMPO DE LLENADO.....	11
4.3.1. RESTRICCIONES.....	12
4.3.2. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO.....	12
4.3.4. SOBREPRESIONES DEBIDAS AL GOLPE DE ARIETE.....	14
4.4. CÁLCULO MECÁNICO.....	15
4.5. ELEMENTOS DE LA CONDUCCIÓN.....	17
4.6. CONCLUSIÓN.....	17
5. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	17
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	17
5.2. MARCO GEOLÓGICO.....	17
5.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES.....	22
5.3 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO.....	23
5.4. CÁLCULOS.....	23
5.4.1. DEPÓSITO DE PEÑAS DE SAN PEDRO.....	23
5.4.1.1. COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO.....	23
5.4.1.2. COMPROBACIÓN DE ASIENTOS.....	23
5.4.1.3. COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD DE LA LADERA.....	24
5.4.1.4. EXCAVABILIDAD.....	25
5.4.2. DEPÓSITO DE LA SOLANA.....	27

5.4.2.1. COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO.....	27
5.4.2.2. COMPROBACIÓN DE ASIENTOS.....	28
5.4.2.3. COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD DE LADERA.....	28
5.4.2.4. EXCAVABILIDAD.....	29
5.4.3. CONDUCCIÓN ENTRE DEPÓSITOS.....	31
5.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
6. VALORACIÓN ECONÓMICA.....	34

Memoria

1. ANTECEDENTES. OBJETO DEL PROYECTO

El presente TFG tiene como objetivo mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable a los núcleos urbanos de Peñas de San Pedro y La Solana (Albacete).

El agua extraída a través de un sondeo se transporta hasta un depósito de rebombeo situado en Peñas de San Pedro. Este depósito a su vez transporta el agua hacia 2 depósitos, el de Peñas de San Pedro y el de la Fuensanta. El primero sirve para abastecer a los municipios de Peñas de San Pedro y de La Solana, mientras que el segundo se usa para el abastecimiento de La Fuensanta y El Royo. Nos encontramos por tanto ante un sistema interconectado.

El sistema Fuensanta - El Royo no presenta ningún defecto. La problemática radica por tanto en el sistema Peñas de San Pedro - La Solana. Esto es debido a la falta de capacidad que tiene el depósito de Peñas de San Pedro y a la extensa longitud de la conducción (4,5 km) para abastecer a La Solana, provocando dificultades de desinfección.

Por tanto, se plantea la construcción de dos nuevos depósitos, uno en Peñas de San Pedro y otro en un monte existente al oeste del núcleo de La Solana, único lugar disponible y con cota suficiente para abastecer al núcleo por gravedad. También se plantea la implantación de una nueva tubería que conecte dichos depósitos.

Para ello se ha recopilado información básica necesaria para determinar las necesidades y viabilidad inicial de los distintos núcleos de población objeto del trabajo.

- Información Geológica
- Información Climatológica.
- Información Cartográfica
- Censos de población y viviendas
- Prognosis de crecimiento para el año horizonte.

2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Para analizar las necesidades de las poblaciones de ambos municipios se necesita saber cual es la demanda a abastecer. Para ello es necesario estudiar cual es la población actual, las estacionalidades y los crecimientos poblacionales y urbanísticos que presentará en el futuro.

2.1. POBLACIÓN ACTUAL Y EN EL AÑO HORIZONTE

Según los datos de los censos de población del INE la evolución de la población de Peñas de San Pedro (Figura 1) y La Solana (Figura 2) hasta el año 2014 es:

Memoria

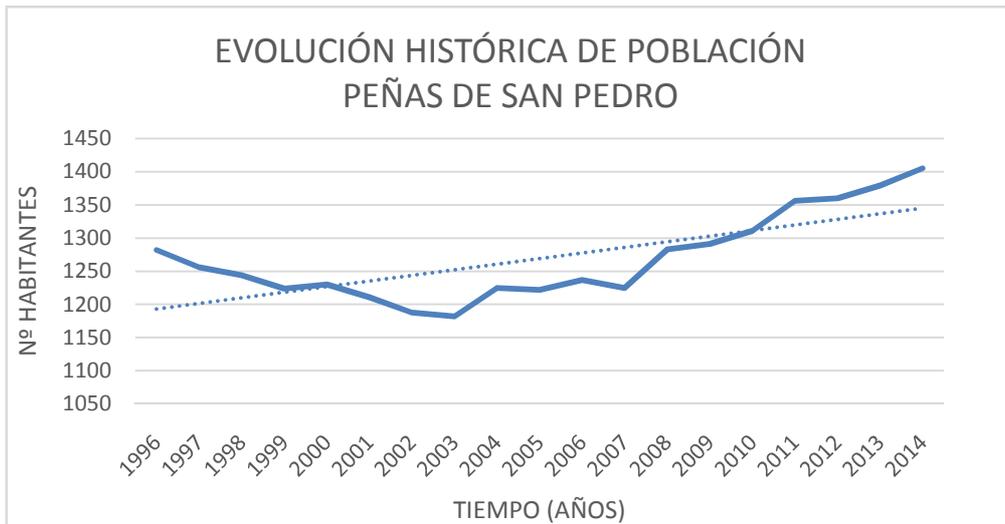


Figura 1. Censo de Población en Peñas de San Pedro. Período 1996-2014 (INE).

La Solana se trata de una pedanía de Peñas de San Pedro por lo que se han tenido muchas más dificultades para obtener el registro histórico de la población.

Por tanto, se ha podido recopilar información desde el año 2000 a través del "Nomenclátor: Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional", el cual se encarga de registrar las entidades de población (tanto singulares como colectivas) de núcleos y diseminados de cada uno de los municipios, y por lo tanto de pedanías tales como La Solana.

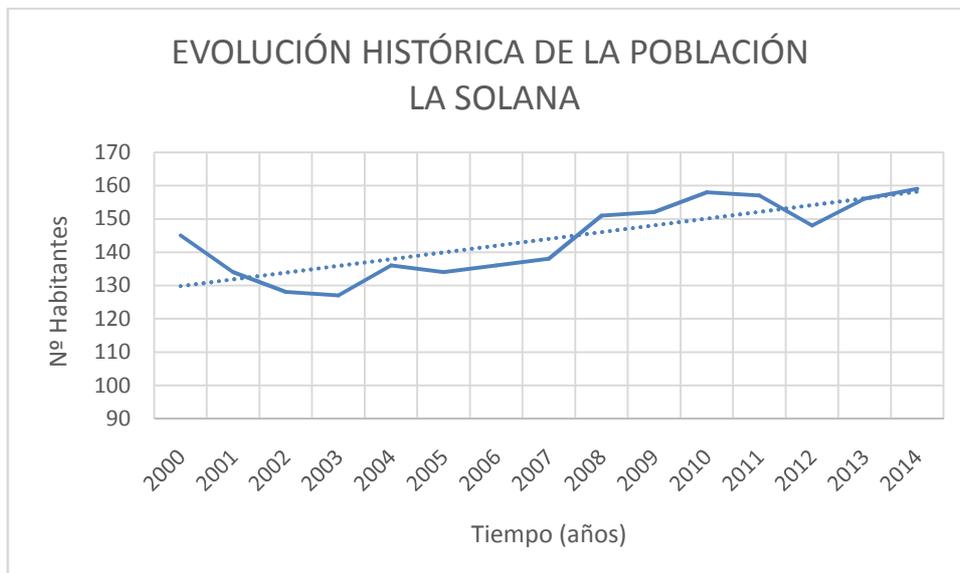


Figura 2. Población del Padrón Continuo por Unidad Poblacional en La Solana. Período 2000-2014. (Nomenclator. INE).

Sin embargo, no se han encontrado datos relativos a qué población tendrán ambos núcleos urbanos en el futuro.

Memoria

Con motivo de esta falta de datos, se opta por analizar cómo va a evolucionar la provincia de Albacete y trasladar esta misma situación a los dos municipios.

La evolución de la población de la provincia de Albacete desde el año 1996 hasta el año horizonte 2030 (siendo los datos comprendidos entre los años 2015 y 2030 una previsión en base a una prolongación de las tendencias y comportamientos demográficos recientes según el INE) es la siguiente:



Figura 3. Evolución poblacional de Albacete.

Debido a que las previsiones en Albacete es que su población decrezca, se supondrá que las poblaciones máximas en Peñas de San Pedro y La Solana serán las que tienen actualmente.

2.2 POBLACIÓN EN VERANO

En verano es cuando las poblaciones son máximas por lo que se deben diseñar los depósitos para la población en esta época del año.

Para ello se obtienen los datos referentes a las viviendas.

AÑO 2011			
Núcleo	Viviendas totales	Viviendas principales	Viviendas secundarias y vacías
Peñas de San Pedro	910	545	365
La Solana	313	101	212

Tabla 1. Viviendas principales, secundarias y vacías.

Memoria

Adoptando una población estacional en el que se ocupan todas las viviendas vacías y secundarias con una media de 3 personas para La Solana y de 3,5 para Peñas de San Pedro, la población total de cálculo para cada municipio será:

Núcleo	Población actual		Población total de cálculo
	Invierno	Adicional en verano	
Peñas de San Pedro	1405	$365 \cdot 3,5 = 1278$	2682
La Solana	159	$212 \cdot 3 = 636$	795

Tabla 2. Población total de cálculo.

En cuanto al desarrollo urbanístico, según Tedesa (empresa concesionaria del servicio) ambos municipios no tienen perspectivas de crecimiento en este sentido.

2.3 CAPACIDAD DE LOS DEPÓSITOS

Usando una dotación de 250 l/habitante/día según se manifiesta en la Ordenanza Municipal del Plan de Ordenación Municipal de Peñas de San Pedro (Albacete) y siguiendo las indicaciones de la Guía Técnica sobre Depósitos para el Abastecimiento de Agua Potable (CEDEX) en relación con los volúmenes de los depósitos se concluye lo siguiente:

El volumen del depósito de Peñas de San Pedro es de 1341 m³/día, el cual debe almacenar el agua para el propio abastecimiento de Peñas de San Pedro y abastecer y conducirlo hacia La Solana.

El volumen del depósito de Peñas de San Pedro es de 398 m³/día.

Los cálculos detallados se encuentran en el anejo Análisis de la demanda.

3. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Una vez justificados los volúmenes de cada depósito, se plantean tres estudios diferentes referidos a:

1. Depósito de Peñas de San Pedro: ubicación, tipología, materiales y construcción.
2. Depósito de La Solana: ubicación, tipología, materiales y construcción.
3. Conducción Peñas de San Pedro-La Solana: trazado, material y diámetro.

3.1. DEPÓSITO DE PEÑAS DE SAN PEDRO

Este depósito se decide situarlo al lado del depósito existente debido a que la parcela donde se construirá es propiedad del ayuntamiento, lo que evitará costes de expropiación. También es un sitio con más cota que el depósito de La Solana permitiendo el abastecimiento por gravedad y evitando de esta manera impulsiones innecesarias.

Existen cuatro tipologías distintas de depósitos: elevado, superficial, semienterrado y enterrado.

Tras el estudio de todas ellas, finalmente se decide realizar un depósito superficial. Los motivos por los que se decanta por esta tipología se detallan a continuación:

- Son más fáciles de vigilar y conservar permitiendo una salida de tuberías y desagües fácil y barata.
- El volumen de excavación se limita a la excavación siendo su ejecución más simple.
- Se dimensionan sólo a empuje de agua, permitiendo un mayor control y mantenimiento de las instalaciones.

En cuanto al material, los más usuales para depósitos de almacenamiento de agua potable son: polietileno, hormigón y acero.

Se decide construirlo de hormigón prefabricado con el único objetivo de reducir los tiempos de construcción lo que supondrá una disminución de los costes económicos de la propia obra.

3.2. DEPÓSITO DE LA SOLANA

Debido a que este depósito también se construirá sobre un material duro y siguiendo los mismos criterios que para el depósito de Peñas de San Pedro, se decide construir un depósito superficial y de hormigón prefabricado.

3.3. CONDUCCIÓN DE PEÑAS DE SAN PEDRO - LA SOLANA

Los materiales más usados para este tipo de conducciones son: Polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC), poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y fundición dúctil (FD), hormigón armado con camisa de chapa y acero.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de las características de todos los materiales.

Memoria

MATERIAL	PUESTA EN OBRA	DIÁMETRO	COSTE
PE	FÁCIL	PEQUEÑO-MEDIO	BAJO
PVC	FÁCIL	PEQUEÑO	BAJO
PRFV	FÁCIL	GRANDE	ALTO
FD	DIFÍCIL	PEQUEÑO-MEDIO	BAJO-MEDIO
ACERO	FÁCIL	GRANDE	ALTO
HACC	DIFÍCIL	GRANDE	MEDIO

Tabla 3. Resumen de las características de los materiales.

En este caso se opta por una conducción de PE debido a su buena flexibilidad que nos permite reducir el número de codos a utilizar, reduciendo las pérdidas localizadas.

Su instalación es muy sencilla y rápida ya que no se necesita maquinaria, al contrario que con otros materiales. De esta manera se consigue reducir los tiempos de ejecución.

La única desventaja de este material es su degradación por el Sol. Esto no supondrá ningún problema ya que toda la tubería irá enterrada. De esta manera la conducción no sufrirá ningún deterioro debido a las variaciones bruscas de la temperatura, ni se interrumpirá el pastoreo que pueda existir en la zona debido a la barrera física que supondría la conducción.

Respecto a la elección del trazado, esta viene determinada en función de los siguientes requisitos:

- La tubería no podrá alcanzar la cota piezométrica en ningún punto de su trazado.
- Se deberán de aprovechar, en la medida de lo posible, todos los caminos existentes para evitar expropiaciones.
- Se evitarán zonas con vegetación cuyo crecimiento sea lento y prolongado en el tiempo.
- Se intentará rehuir de terrenos cuya excavabilidad sea dificultosa así como de núcleos urbanos y carreteras.

A continuación se muestra en la Imagen 1 todos los posibles trazados estudiados.

Memoria



Imagen 1. Trazado en planta de todas las alternativas estudiadas.

LEYENDA	
Depósito de Peñas de San Pedro	1
Depósito de La Solana	2
Alternativa 1	
Alternativa 2	
Alternativa 3	
Alternativa 4	
Alternativa 5	
Trazado común	

Tabla 4. Leyenda de la Imagen 1.

Finalmente se decide que el trazado de la conducción Peñas de San Pedro - La Solana sea el de la alternativa 4 como así se representa en la Imagen 2.



Imagen 2. Trazado en planta de la alternativa 4.

Perfil longitudinal Alternativa 4

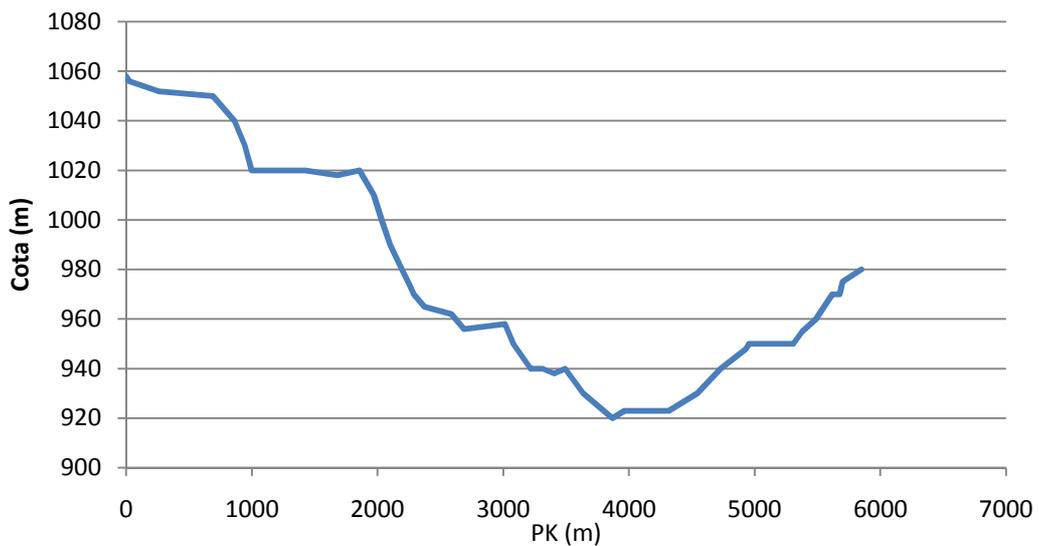


Figura 4. Trazado en alzado de la alternativa 4.

Memoria

Los motivos que nos llevan a su elección son las ventajas que presenta respecto a las demás alternativas: existencia de caminos que se pueden aprovechar para el acceso de la maquinaria, menores expropiaciones que las otras alternativas, espacio suficiente para no eliminar la vegetación con un período de crecimiento muy lento y una reposición de carretera poco transitada, lo que no provocaría muchos problemas al tráfico.

4. ESTUDIO HIDRÁULICO

4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del anejo hidráulico es determinar el diámetro de la conducción que conecta el depósito de Peñas de San Pedro con el de La Solana. Este se calcula, fundamentalmente en función de las sobrepresiones debidas al golpe de ariete y restricciones mecánicas.

El depósito de La Solana se abastecerá mediante dicha conducción, la cual procede del depósito de Peñas de San Pedro.

4.2. DATOS DE PARTIDA

Los datos de partida de los que se dispone son:

COTAS:

$$Z_{dep.cabecera (Peñas de San Pedro)} + H_{máx.lámina de agua} = 1058 + 3 \dots \dots \dots 1061m.$$

$$Z_{dep.a abastecer (La Solana)} + H_{máx.lámina de agua} = 980 + 3 \dots \dots \dots 983m.$$

$$Z_{punto más bajo de la conducción} \dots \dots \dots 920m.$$

$$\underline{\text{LONGITUD DE LA CONDUCCIÓN}} \dots \dots \dots 5850m.$$

$$\underline{\epsilon (RUGOSIDAD DEL MATERIAL DE LA CONDUCCIÓN, PE)} \dots \dots \dots 0,007mm.$$

VOLÚMENES:

$$V_{Peñas de San Pedro} = 1341 m^3$$

$$V_{La Solana} = 398 m^3$$

Memoria

Se adjunta un esquema del sistema y los datos de partida:

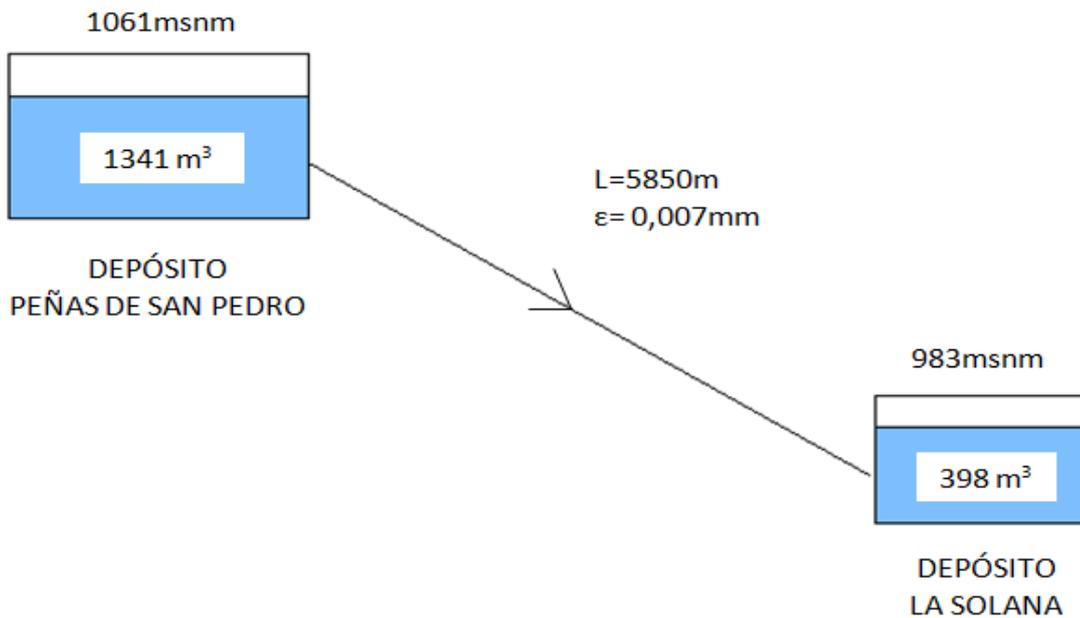


Figura 5. Representación gráfica de la situación.

4.3. CÁLCULO HIDRÁULICO

Primero que nada se calcula la carga máxima estática a la que va a estar sometida la conducción:

$$Z_{dep.cabecera} - Z_{punto\ más\ bajo} = 1061 - 920 = 141\ m.c.a.$$

Por lo tanto, la máxima carga estática que debe resistir la conducción es:

$$141\ m.c.a = 14,1\ bar = 1410\ kN/m^2$$

Por lo tanto, según la tabla de diámetros normalizados de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión, del CEDEX, el primer diámetro que cumple dicha condición es el PN16. Sin embargo, a continuación se realizarán los cálculos con el PN20, ya que es muy probable que cuando se calculen las sobrepresiones con el golpe de ariete, se sobrepasen los 16 bares. De todos modos, se comprobará (para asegurarse que no se sobredimensiona el diámetro de la conducción) que se sobrepasan los 16 bar y es necesario recurrir al PN20.

4.3.1. CAUDAL PICO DE DEMANDA Y TIEMPO DE LLENADO

Suponiendo una curva de caudales con 3 picos de demanda a lo largo de un día, siendo: la primera hora de la mañana (7-9 h), mediodía (13-15 h) y noche (21-23 h).

Memoria

Tomando como caudal pico la expresión:

$$Q_{pico} = K_{punta} \cdot Q_{medio}$$

$$Q_{medio} = 250 \frac{L}{hab \cdot día} \cdot 795 \text{ hab} = 198750 \text{ L/día} = 198,75 \text{ m}^3/\text{día} \approx 200 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Tomando la expresión que corresponde a la red de distribución:

$$K_{punta} = 1,4 + \frac{2,8}{\sqrt{2,315}} = 3,24$$

Al ser $3,24 > 3$, se adopta $K_{punta} = 3$.

Por lo tanto:

$$Q_{pico} = 3 \cdot 200 \text{ m}^3/\text{día} = 600 \text{ m}^3/\text{día}.$$

El consumo es continuo a lo largo de todo el día, por lo que entre dos picos consecutivos se agota la capacidad del depósito y por lo tanto se necesita trasvasar agua.

Por otro lado, el tiempo mínimo entre dos picos es de 4 horas (desde las 9 h hasta las 13 h) y se necesitará llenarlo en ese tiempo.

4.3.1. RESTRICCIONES

Por lo tanto, las restricciones a las que está sujeto el diámetro de la tubería son:

- Tiempo de llenado del depósito de La Solana, debido a motivos de índole:

Sanitaria: para garantizar una calidad sanitaria del agua..... $T_{ll} < 12$ horas

Demanda: para satisfacer los picos de demanda..... $T_{ll} < 4$ horas

- Número de Reynolds

$Re > 4000$ para cumplir la condición de flujo turbulento.

- Velocidad

Mínima: para impedir sedimentaciones..... $v_{mín} = 0,6$ m/s

Máxima: para no provocar cavitación ni erosión..... $v_{máx} = 2$ m/s

Memoria

4.3.2. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO

Con las restricciones comentadas, se tiene:

DN (mm)	e (mm)	Dinterior (mm)	Tllenado (h)	Re	v (m/s)
180	20,1	139,8	4,17	2415459,19	1,74
200	22,4	155,2	3,18	2851715,56	1,85
225	25,2	174,6	2,34	3438210,28	1,98
250	27,9	194,2	1,78	4070640,13	2,11

Tabla 5. Resumen de variables en función del diámetro.

Por lo tanto, se podría adoptar tanto el diámetro de 200 mm como el de 225 mm. Por cuestión económica, se decide adoptar un diámetro de 200 mm.

4.3.4. SOBREPRESIONES DEBIDAS AL GOLPE DE ARIETE

Se debe incluir la determinación del golpe de ariete (sobrepresiones y depresiones) causado por el cierre de la válvula de entrada al depósito de La Solana, en el cálculo de las presiones que pueden actuar en la tubería. El transitorio se analiza mediante el programa DYAGATS, llevando a cabo dos tipos de maniobra de cierre de válvula: suave y brusco.

La maniobra de cierre suave se realiza en 10 segundos, de forma que en el segundo 0, 5 y 10, los grados de apertura de la válvula son 100, 50 y 0%, respectivamente. En la Figura 6 se puede observar que la máxima presión alcanzada es 1095 m.c.a, no existiendo problemas de depresiones.

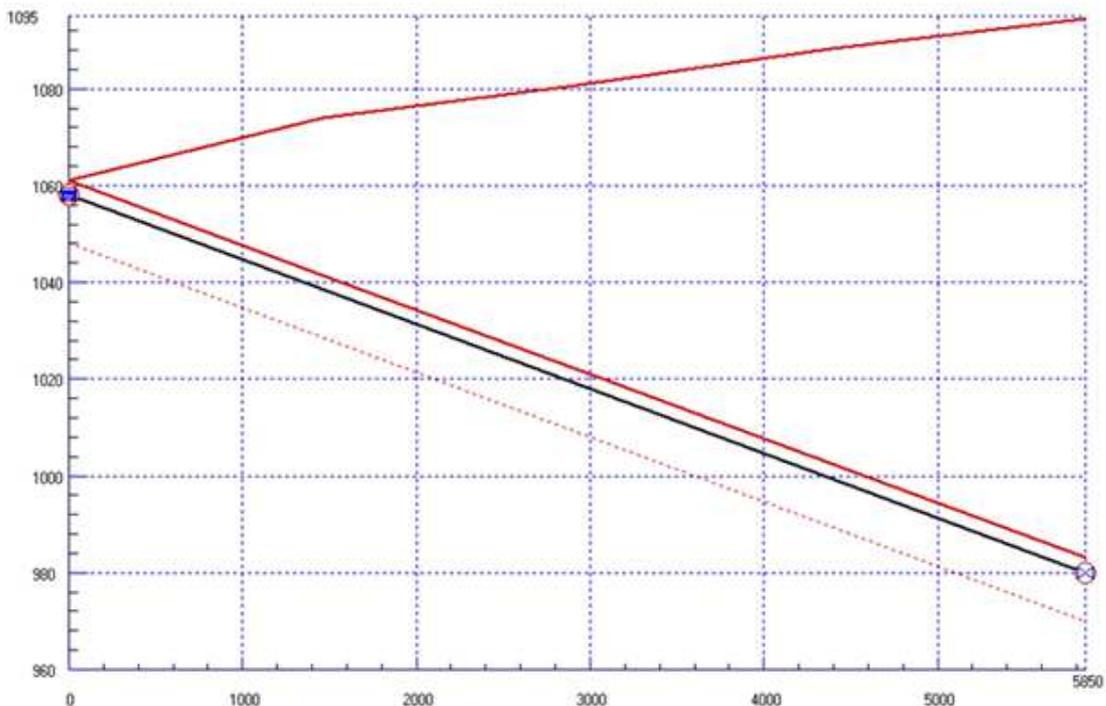


Figura 6. Esquema de las presiones máximas y mínimas.

Memoria

La maniobra de cierre brusco se realiza en 1 segundo, de forma que en el segundo 0 y 1, los grados de apertura de la válvula son 100 y 0%, respectivamente. En la Figura 7 se puede observar que la máxima presión alcanzada es también 1095 m.c.a., no existiendo problemas de depresiones. Esto es debido a que el material de la tubería aporta la suficiente elasticidad como para que, estando incluso en el caso de un cierre brusco de la válvula en 1 s, la tubería se comporte muy bien frente al golpe de ariete.

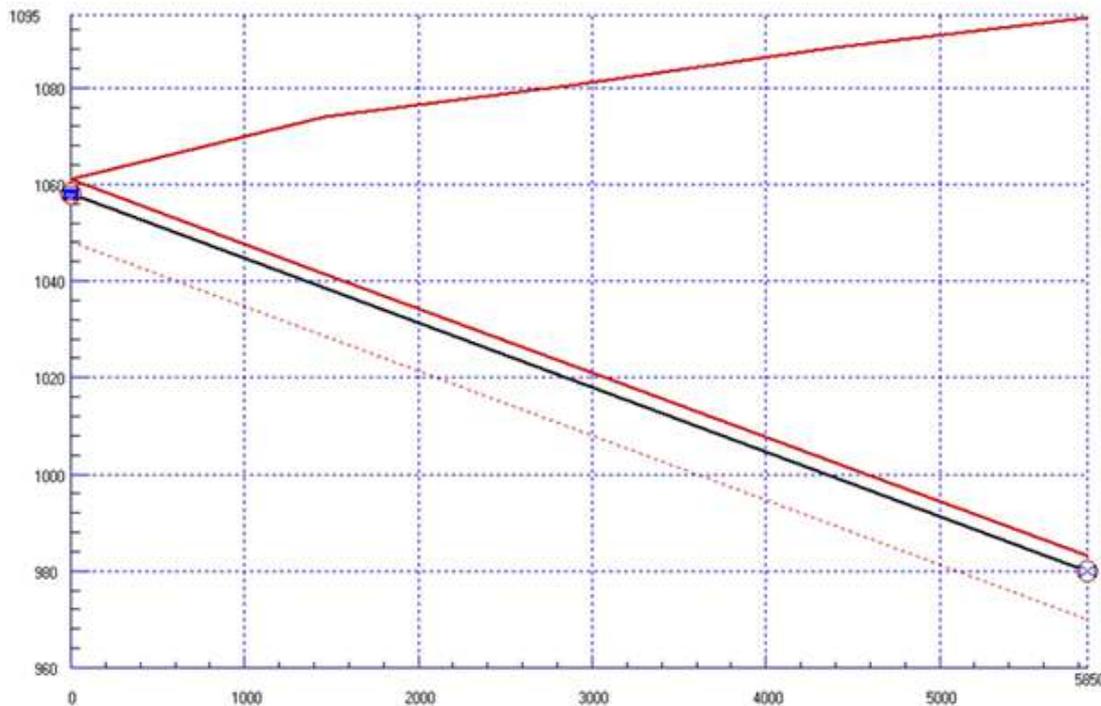


Figura 7. Esquema de las presiones máximas y mínimas.

Como conclusión, cabe destacar que la presión máxima se dará en el punto más bajo de la conducción (cuya cota es de 920 m). Dicho punto se sitúa en el PK03+869 y cuya máxima presión alcanzada es de 1084 m.c.a.

El valor de la presión máxima es:

$$P_{m\acute{a}x.} = 1084 - 920 = 164 \text{ m.c.a.} = 16,4 \text{ bares.}$$

Como se puede observar, la presión máxima sobrepasa los 16 bares, lo cual indica que es necesario optar por un PN20, confirmándose lo que se había supuesto en apartado de pre-dimensionamiento.

Una vez analizado el comportamiento hidráulico del sistema incluyendo las sobrepresiones debidas al golpe de ariete, se concluye en adoptar una tubería de DN 200 mm y presión nominal PN20.

Memoria

4.4. CÁLCULO MECÁNICO

En los tubos de PE, la hipótesis pésima de carga y la sollicitación condicionante, suelen corresponder a alguna de las combinaciones de acciones indicadas en la tabla 7.

	<i>Combinación de acciones</i>	<i>Sollicitación determinante</i>
Hipótesis I	Presión interna positiva	Estado tensional
Hipótesis II	Acciones externas y presión interna positiva	Estado tensional y deformaciones
Hipótesis III	Acciones externas	Estado tensional y deformaciones
Hipótesis IV	Acciones externas y presión interna negativa	Pandeo o colapsado

Tabla 6. Hipótesis pésima de carga y sollicitaciones condicionantes en tubos de PE enterrados. Fuente: Guía Técnica sobre tuberías para el transporte del agua a presión.

Hipótesis I

Se debe comprobar que la presión de diseño (DP) no excede el valor de la presión nominal (PN) del tubo. Para el caso de este TFG, PE100, PN20 y DN de 200 mm, se cumple esta hipótesis, ya que la máxima presión que debe soportar la tubería es 16,4 bar, es decir $1,6 \text{ N/mm}^2$, inferior a los 2 N/mm^2 que marcan el límite para esta tubería.

Hipótesis II

Debe comprobarse que, actuando conjuntamente ambas acciones, el coeficiente de seguridad C a largo plazo para los esfuerzos tangenciales a flexotracción en clave, riñones y base sea superior al valor admisible, conforme los valores indicados en el anejo hidráulico.

En el caso del presente TFG, PE100, PN 20 (SDR 9/S 4), se necesitarían 8 y 4 metros de altura de tierras, con 90° y 60° de ángulo de apoyo respectivamente, para que sea una hipótesis condicionante. Puesto que no va a existir tanta altura de tierra sobre la clave de la conducción, se estaría cumpliendo esta hipótesis.

Hipótesis III

Debe comprobarse que, actuando únicamente las acciones externas (terreno, sobrecargas móviles o fijas, y otras si existen) el coeficiente de seguridad C a largo plazo para los esfuerzos tangenciales a flexotracción en clave, riñones y base sea superior al admisible, conforme a los valores indicados en el anejo hidráulico y que la deformación producida sea inferior al 5% del DN.

La situación que más se acerca a dejar fuera de servicio el tubo del presente TFG sería un ángulo de apoyo de 90° y con relleno mal compactado, el cual queda representado en la Figura 9. Para un DN 200 mm, la altura de tierras que inhabilitaría la tubería de S 8 sería de 3,7 m, siendo mayor para una de S 4 (la del presente TFG). Puesto que no existe tanta altura de tierras sobre la clave, la hipótesis III también se cumple.

Memoria

Hipótesis IV

Se debe comprobar que ante la actuación conjunta de las cargas externas y de las posibles presiones internas negativas, el coeficiente de seguridad C frente al pandeo alcance al menos los valores indicados en la Tabla 8 del anejo hidráulico.

Puesto que las hipótesis que suelen ser más restrictivas son la I y la III, y estas se cumplen sobradamente, la hipótesis IV se admite como satisfecha.

Tras haber analizado todas las hipótesis pésimas de carga para la tubería de polietileno enterrada, se observa que con el tipo PE 100, el diámetro DN200, PN 20 (SDR 9/S 4) y una altura de tierras sobre la clave de la tubería menor a 4 metros se cumple mecánicamente.

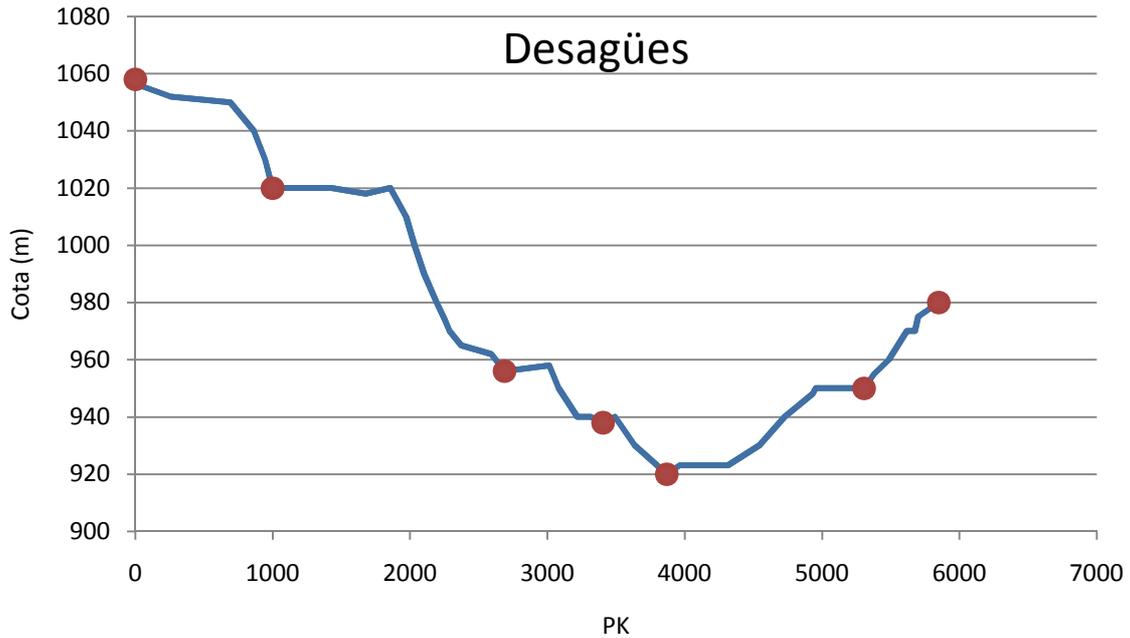
4.5. ELEMENTOS DE LA CONDUCCIÓN

Con el objetivo de asegurar un buen funcionamiento hidráulico en el sistema de abastecimiento de agua potable al municipio La Solana, se deben instalar: 2 válvulas (una tipo compuerta a la salida del depósito de Peñas de San Pedro, ya que su modo de funcionamiento será o todo o nada y otra tipo mariposa a la llegada al depósito de La Solana, ya que es idónea para regular y gestionar el llenado de este último depósito), 7 desagües y 4 ventosas.

DESAGÜES	
Pk	Cota
0	1058
999,08	1020
2688,86	956
3405,15	938
3869,07	920
5306,67	950
5850	980

Tabla 7. PK's y cotas de los desagües de la conducción.

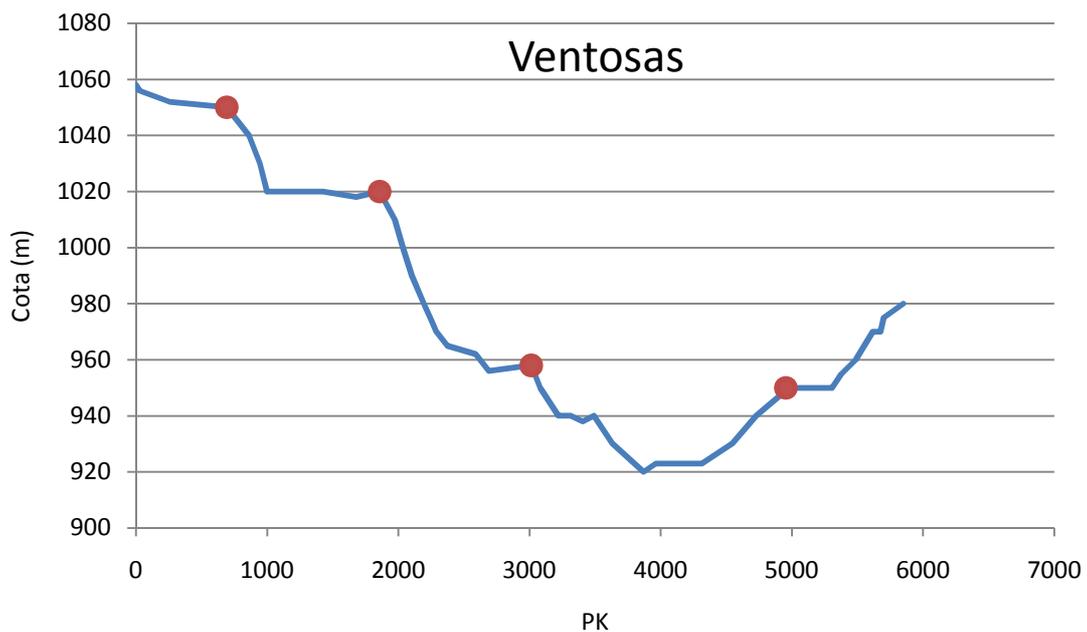
Memoria



Gráfica 1. Representación de los desagües instalados en la conducción.

VENTOSAS	
Pk	Cota
692,35	1050
1856,83	1020
3013,92	958
4953,60	950

Tabla 8. PK's y cotas de las ventosas de la conducción.



Gráfica 2. Representación de las ventosas instaladas en la conducción.

4.6. CONCLUSIÓN

Finalmente, se adopta una tubería PE 100, de DN 200, de PN 20 (SDR 9/ S 4) y de 5850 metros, dos válvulas (una de compuerta en el depósito de Peñas de San Pedro y una de mariposa en el de La Solana), siete desagües situados al inicio y final de la tubería y en los puntos bajos de la conducción y por último, cuatro ventosas en los puntos altos.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como solución a la problemática existente comentada anteriormente, se pretende construir en el municipio de Peñas de San Pedro un depósito superficial de hormigón prefabricado cuyas dimensiones son 18,3 x 18,3 con una altura de 4 metros. Estará dividido en 2 vasos mediante un muro de 0,3 m de espesor.

Por otro lado, el depósito de La Solana será igual que el de Peñas de San Pedro siendo sus dimensiones de 10 x 10 metros y 4 metros de altura.

Para la realización de este TFG y concretamente para este anejo se ha utilizado la siguiente información:

- Mapa geológico de España, escala 1:50000, hoja 816/24-32 Peñas de San Pedro.
- Mapa geotécnico general, escala 1:200000, hoja 62 Albacete.
- Bibliografía comúnmente aceptada en ingeniería geotécnica para la definición técnica de la cimentación.
- Visita a obra el día 7 de abril de 2015.

5.2. MARCO GEOLÓGICO

5.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES

Para el análisis geológico básico se ha utilizado el Mapa Geológico de España escala 1:50.000 hoja 816/24-32 denominada "Peñas de San Pedro".

Geológicamente la zona estudiada se encuentra en la confluencia de dos grandes dominios estructurales: La Meseta y el Prebético.

La Meseta está constituida, fundamentalmente, por sedimentos terciarios y cuaternarios, dispuestos discordantemente sobre los materiales de edad secundaria, que a su vez configuran el dominio Prebético.

Memoria

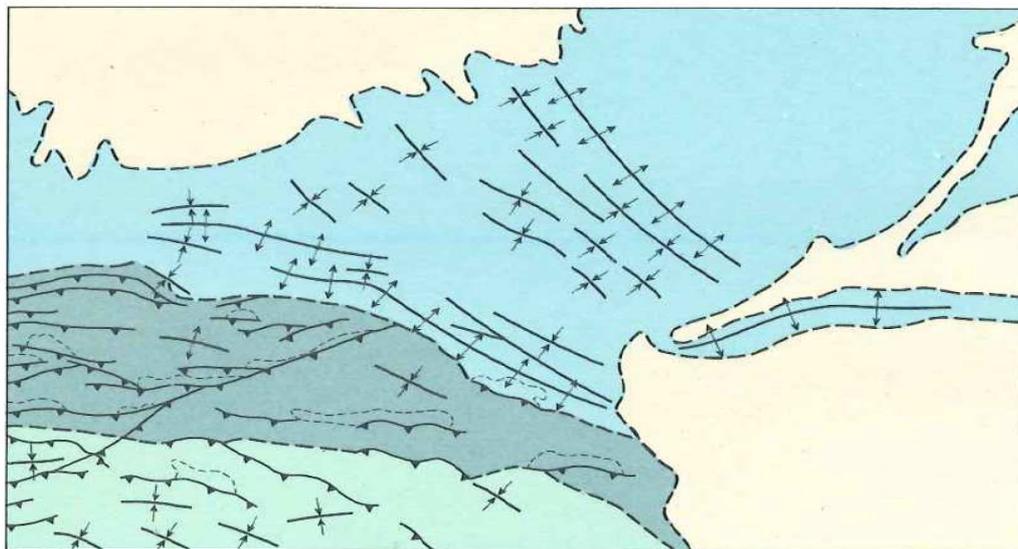
ESTRATIGRAFÍA

Los materiales más antiguos que aparecen en la región corresponden al Lías Inferior, mientras que los más modernos corresponden al Plioceno o más exactamente a una edad Mioceno Superior-Plioceno.

En cuanto a la tectónica, en la zona de plataforma existe una marcada influencia del zócalo, condicionando las estructuras y la sedimentación de la cobertera mesozoica.

Por otro lado, en la zona del Prebético externo la sedimentación de la cobertera adquiere progresivamente mayor espesor mientras que el prebético interno se caracteriza por una tectónica de plegamiento de directrices constantes con vergencia hacia la plataforma.

ESQUEMA TECTONICO



Escala 1 : 250.000



Figura 8. Esquema tectónico de Peñas de San Pedro.

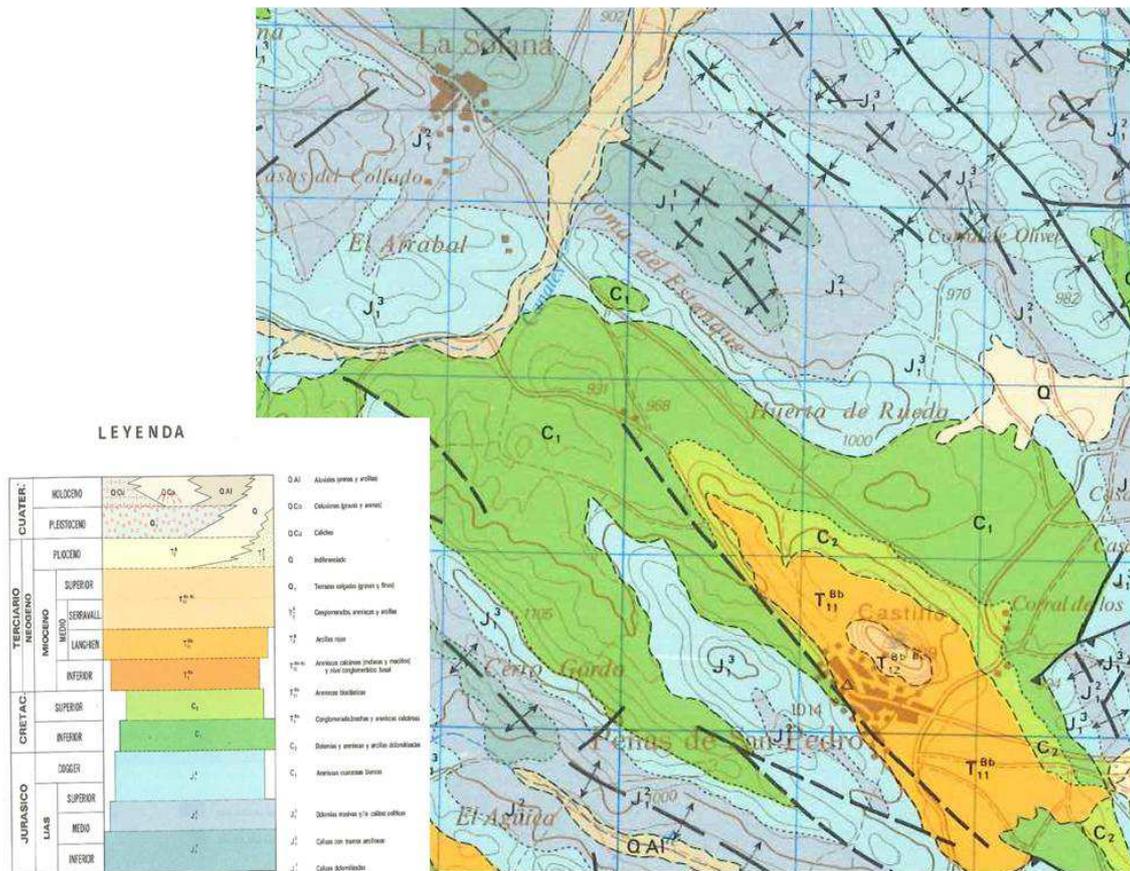


Figura 9. Geología de la zona de actuación. Hoja 816, Peñas de San Pedro. IGME.

PEÑAS DE SAN PEDRO

Se pueden diferenciar diferentes tipos de suelos

JURÁSICO

LÍAS MEDIO (J₁²)

Esta formación tiene un tramo inferior formado por arcillas verdes y un tramo superior formado por calizas oolíticas alternadas con arcillas verdes.

LÍAS SUPERIOR-DOGGER (J₁³)

Formadas por dolomías de grano fino de tonos grises, que localmente adquieren un bandeado de franjas claras y oscuras que dan un criterio claro con respecto a la estratificación de esta formación.

CRETÁCICO

CRETÁCICO INFERIOR (C₁)

Representada por un conjunto de areniscas con cantos de cuarcita subredondeados, las cuales van desapareciendo hacia el muro convirtiéndose en arcillas con cantos de cuarcitas. En el techo las areniscas cuarzosas sustituyen a los cantos.

CRETÁCICO SUPERIOR (C₂)

Se distinguen los tramos, de muro a techo:

- Primer tramo: alternancia de dolomías y areniscas dolomitizadas.
- Segundo tramo: alternancia de dolomías y arcillas blancas dolomitizadas.
- Tercer tramo: dolomítico de calizas y dolomías de grano medio.
- Cuarto tramo: calizas muy blancas con espesor de tramo de 27 m.
- Quinto tramo: calizas grises azuladas, localmente gris pardas.

TERCIARIO

TRAMO MEDIO (T₁₁)

Formación arenosa en la que se alternan las calizas ostreas gigantes con conglomerados de cantos de cuarcita y con areniscas blancas.

TRAMO SUPERIOR (T₁₂^{Bb-Bc})

Existe una formación homogénea de areniscas calcáreas de caliza, presentando microfauna.



Figura 10. Vista de la muela de Peñas de San Pedro desde el punto de ubicación del depósito objeto de este proyecto.

LA SOLANA

JURÁSICO

LIAS INFERIOR (J_1^1)

Conjunto de calizas dolomitizadas de tonos rojizos con cierta microestratificación, así como de tonos rosáceos con zonas alvaolares rellenas de arcilla blanca.

LÍAS MEDIO (J_1^2)

Comentado anteriormente para Peñas de San Pedro.

CUATERNARIO (Q AI)

Sedimentos de terrazas fluviales como coluviones y aluviones de las laderas de las montañas y de las depresiones intermontañas.

Memoria

5.3 DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

Los resultados de las muestras analizadas en laboratorio son:

PEÑAS DE SAN PEDRO			
MATERIAL	γ (KN/m ³)	UCS (KPa)	Cu (KPa)
Caliza	26,05	20750	-
Arcilla	21	-	90

Tabla 9. Características caliza y arcilla

LA SOLANA		
MATERIAL	γ (KN/m ³)	UCS (KPa)
Marga	23,25	16900

Tabla 10. Características marga.

Tipo	Granular
% Pasa 5 mm UNE	49,4
% Pasa 0,08 mm UNE	11,5
L.L.	22,6
I.P.	11,4
Dens. Aparente (Kp/cm ²)	17,22
Hum. Natural (%)	7,32
Ángulo de rozamiento (°)	33
c' (Kp/cm ²)	0
Gs (g/cm ³)	2,66
CLASIFICACIÓN: GM	

Tabla 11. Características material granular.

Se concluye en que las el terreno de la zona donde se van a construir los depósitos presenta una capacidad de carga alta y sin ningún riesgo de que se produzcan asentamientos. Habrá que tener cuidado en la excavación ya que existe el riesgo de que se produzcan roturas o caída de bloques cuando se corte la roca al hilo de sus planos de estratificación.

Memoria

El material granular de la conducción nos obliga a adoptar un talud de la zanja 1H:1V permitiendo no usar tablestacado debido a que la profundidad de la zanja es menor a 1, 5 metros.

5.4. CÁLCULOS

5.4.1. DEPÓSITO DE PEÑAS DE SAN PEDRO

5.4.1.1. COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO

Para el cálculo de la carga de hundimiento en roca y según la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, se utiliza la siguiente fórmula:

$$p_{v adm} = p_0 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \sqrt{(q_u / p_0)}$$

Una vez realizados los cálculos correspondientes se obtiene que:

$$p_{v adm} = 1,7112101 \text{ MPa.}$$

CARGA TRANSMITIDA EN ZAPATAS EXTERIORES

Para el cálculo de la carga en la zapata exterior se considera todo el peso que origina el agua y el hormigón de la mitad del vaso del depósito más próxima a dicha zapata.

Una vez obtenidos los pesos de agua y hormigón se calcula la carga transmitida como:

$$q_{tz1} = (W_{w1} + W_{c1}) / A_{z1} = (2013,018 + 2320,5125) / 27,75 / 1000 = 0,1561 \text{ MPa}$$

CARGA TRANSMITIDA EN ZAPATA CENTRAL

Para el cálculo de la carga transmitida en la zapata central se tiene que tener en cuenta el peso que origina el agua y el hormigón en las mitades de los 2 vasos del depósito más próximas a dicha zapata central.

Con los pesos calculados de agua y hormigón la carga transmitida es:

$$q_{tz2} = (W_{w2} + W_{c2}) / A_{z2} = ((4026,038 + 2483,625) / 27,75) / 1000 = 0,234582 \text{ MPa}$$

En ninguno de los casos anteriores hay riesgo de hundimiento ya que las cargas transmitidas son muy inferiores a la presión admisible que puede soportar el terreno.

5.4.1.2. COMPROBACIÓN DE ASIENTOS

Según la Guía de Cimentaciones de Carreteras, ya que se ha realizado la comprobación frente al hundimiento, al menos a través del método 4.5.3. de la Guía (Cimentaciones superficiales sobre roca) y no existen suelos con menor capacidad portante a una

Memoria

distancia de $1,5 B^*$ bajo el plano de cimentación, siendo B^* la anchura equivalente de la cimentación, no será necesario realizar el cálculo específico del asiento.

5.4.1.3. COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD DE LA LADERA

Para el cálculo del comportamiento de la ladera se llevan a cabo dos comprobaciones. Por un lado sin ninguna carga y por otro con la carga que supone el depósito lleno de agua.

Tras el estudio de las características de los materiales donde se van a construir los depósitos y una vez realizados los cálculos del anejo " Estudio geotécnico" se obtiene que:

$$q_t = 39,24 \text{ KN/m}^2.$$

A continuación se representa cómo son las roturas de la ladera sin carga (Figura 11) y con carga(Figura 12) así como sus coeficientes de seguridad.

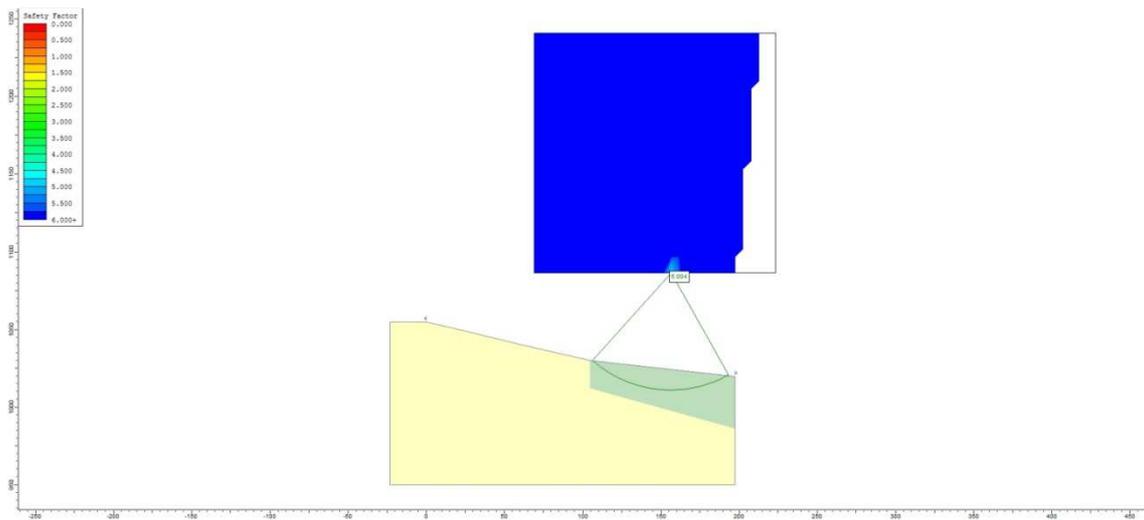


Figura 11. Representación de la rotura de la ladera sin depósito (Peñas de San Pedro)

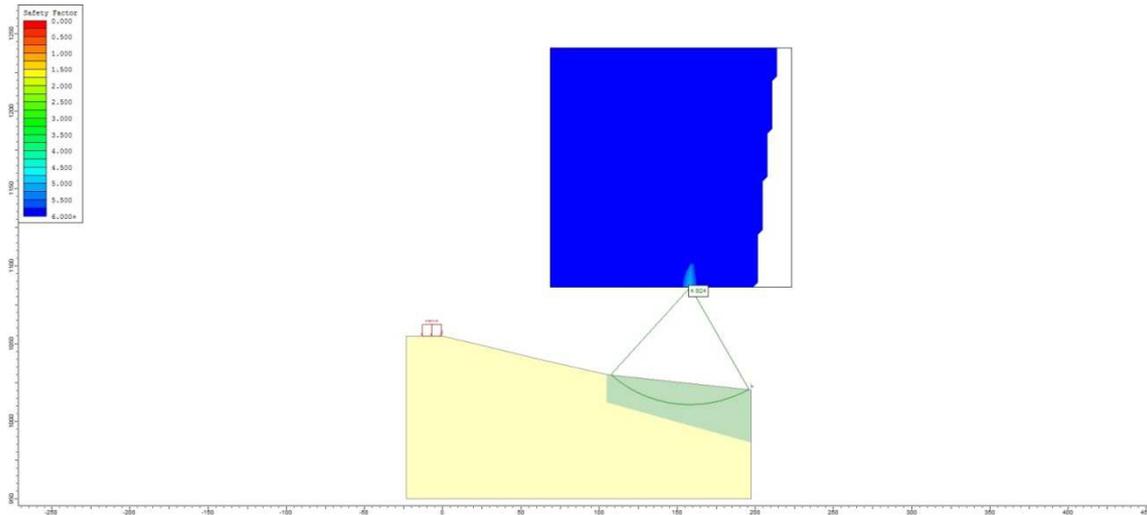


Figura 12. Representación de la rotura de la ladera con depósito (Peñas de San Pedro)

Se concluye que no hay ningún riesgo de desprendimiento de ladera ya que los coeficientes de seguridad obtenidos son muy altos.

5.4.1.4. EXCAVABILIDAD

Para determinar la manera en la que se realizará la excavación, se usa el método de Franklin (Figura 13) y el método de Romana (Figura 14), eligiendo finalmente el más restrictivo.

Para ello se usan los datos relativos al índice de carga puntual (obtenido en laboratorio) y el espaciado de discontinuidad (obtenido en campo).

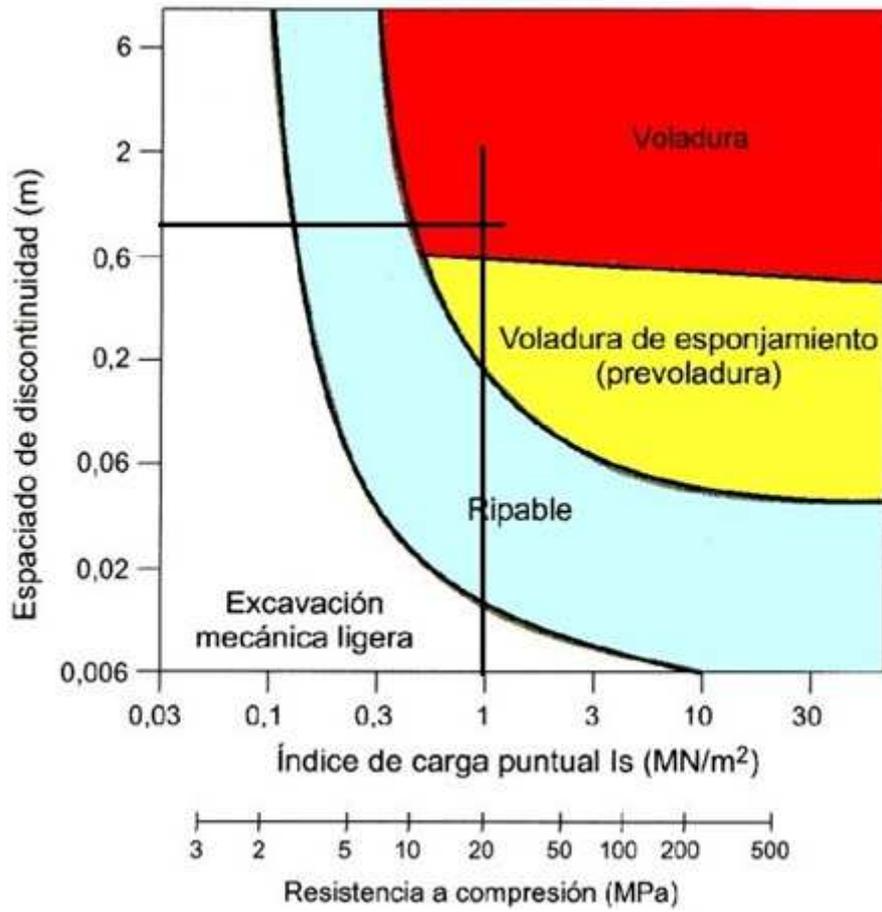
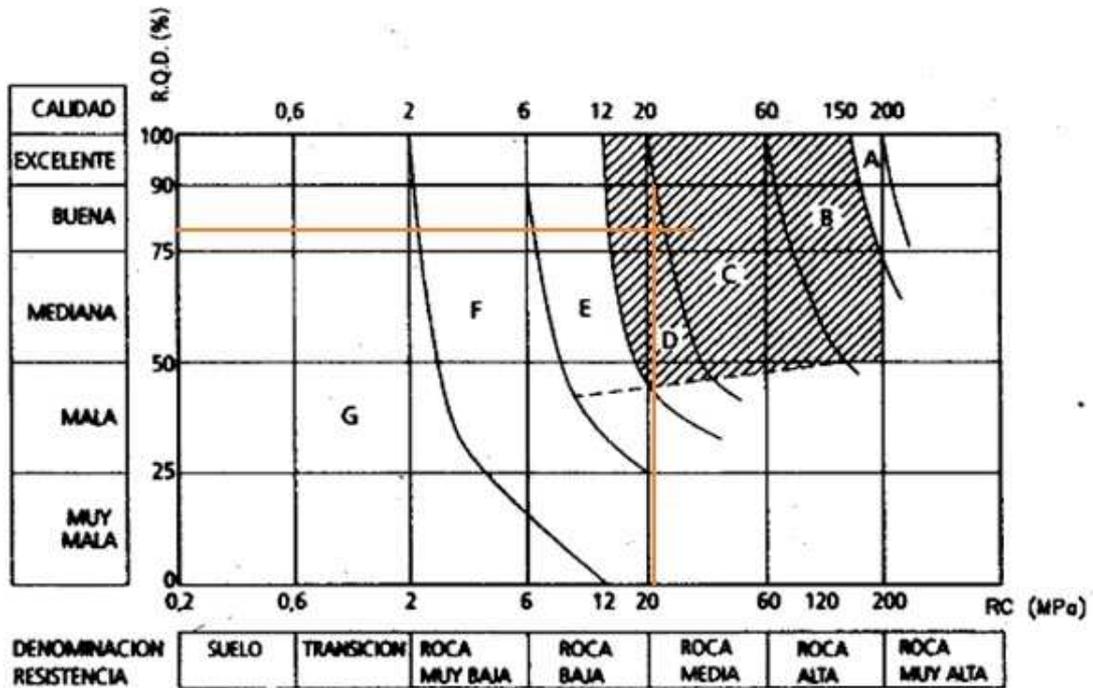


Figura 13. Determinación del método de excavabilidad según Franklin.

Método Romana (1993)



ZONA	TOPO		ROZADORA			MARTILLO	PALA
	> 25 t	< 25 t	> 80 t	50 - 80 t	< 50 t		
A	Posible ?						
B	Adecuado	Posible ?	Posible ?				
C	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado			
D	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible ?	*
E	Posible	Posible	Posible	Adecuado	Adecuado	Posible	Posible ?
F				Posible	Adecuado	Adecuado	Posible
G					Posible	Posible ?	Adecuado

Figura 14. Determinación del método de excavabilidad según Romana.

Se concluye en realizar la excavación a través de voladura.

5.4.2. DEPÓSITO DE LA SOLANA

5.4.2.1. COMPROBACIÓN DE HUNDIMIENTO

Siguiendo la misma metodología que para el depósito de Peñas de San Pedro, la presión admisible en la zona donde se va a construir el depósito de La Solana es:

$$p_{v adm} = 0,3676955 \text{ MPa.}$$

Memoria

CARGA TRANSMITIDA EN ZAPATAS EXTERIORES

Para el cálculo de la carga en la zapata exterior se considera todo el peso que origina el agua y el hormigón de la mitad del vaso del depósito más próxima a dicha zapata.

Obtenidos los pesos de agua y hormigón en el anejo "Estudio geotécnico" se procede a calcular la carga transmitida como:

$$q_{tz3} = (W_{w3} + W_{c3}) / A_{z3} = ((500,094 + 896,025) / 15) / 1000 = 0,09307 \text{ MPa}$$

Comparando esta carga con la presión admisible del terreno ($p_{v \text{ adm}} = 0,3667$), vemos que no hay riesgo ya que se cumple la condición $p_{v \text{ adm}} > q_{tz3}$

CARGA TRANSMITIDA EN ZAPATA CENTRAL

Para el cálculo de la carga transmitida en la zapata central se tiene que tener en cuenta el peso que origina el agua y el hormigón en las mitades de los 2 vasos del depósito más próximas a dicha zapata central.

Con los pesos calculados de agua y hormigón la carga transmitida es:

$$q_{tz4} = (W_{w4} + W_{c4}) / A_{z4} = ((1000,188 + 1332,3) / 15) / 1000 = 0,15549 \text{ MPa}$$

5.4.2.2. COMPROBACIÓN DE ASIENTOS

Como se ha comentado anteriormente para el depósito de Peñas de San Pedro, según la Guía de Cimentaciones de Carreteras, debido a que se ha realizado la comprobación frente al hundimiento, al menos a través del método 4.5.3. de la Guía (Cimentaciones superficiales sobre roca) y no existen suelos con menor capacidad portante a una distancia de $1,5 B^*$ bajo el plano de cimentación, siendo B^* la anchura equivalente de la cimentación, no será necesario realizar el cálculo específico del asiento.

5.4.2.3. COMPROBACIÓN DE ESTABILIDAD DE LADERA

En este caso el depósito de La Solana se encuentra en medio de la ladera por lo que habría que realizar una excavación del talud.

Obtenidas las características del material donde se va a construir dicho depósito (Anejo Estudio Geotécnico), se obtiene la presión admisible que puede soportar.

$$q_t = 3904,38 \text{ KN} / 99,5 \text{ m}^2 = 39,24 \text{ KN/m}^2.$$

El tipo de rotura sin carga se representa en la Figura 15 y con carga en la Figura 16.

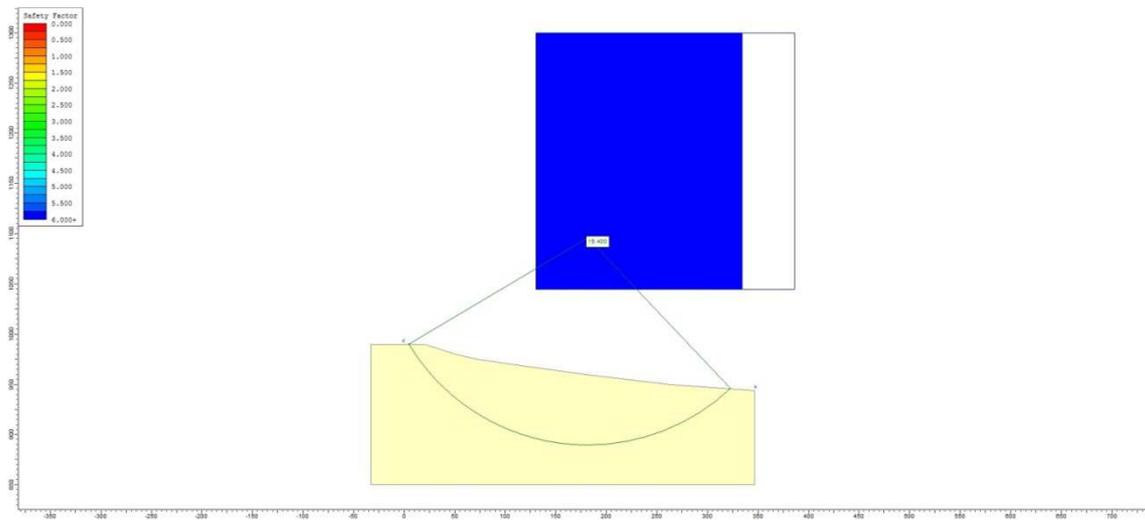


Figura 15. Representación de la rotura de la ladera sin depósito (La Solana)

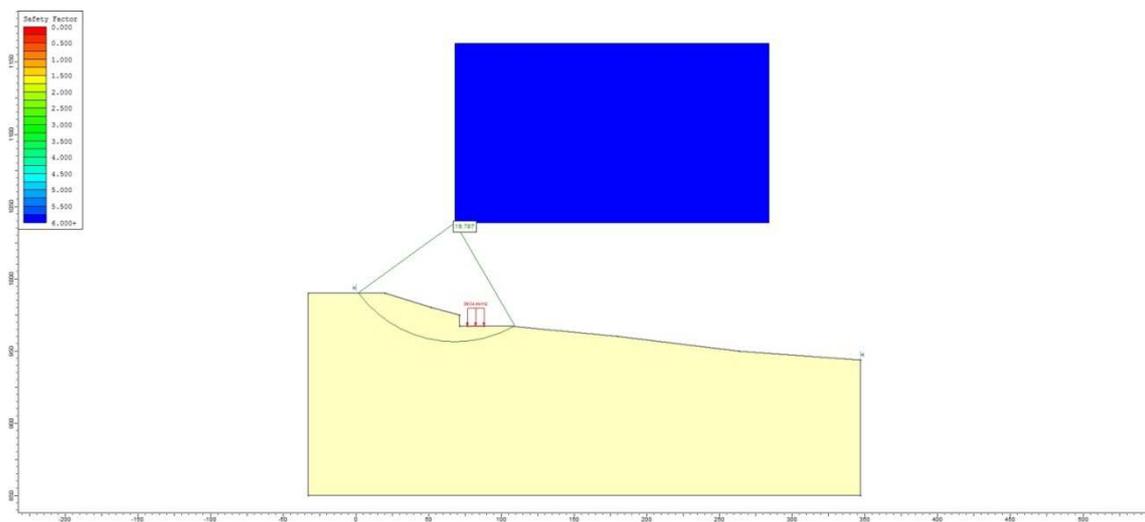


Figura 16. Representación de la rotura de la ladera con depósito (La Solana)

5.4.2.4. EXCAVABILIDAD

Al igual que se ha explicado en el apartado de Peñas de San Pedro, la forma de excavación para el depósito de La Solana viene determinada por el método más restrictivo entre Franklin (Figura 17) y Romana (Figura 18).

Método Romana (1993)

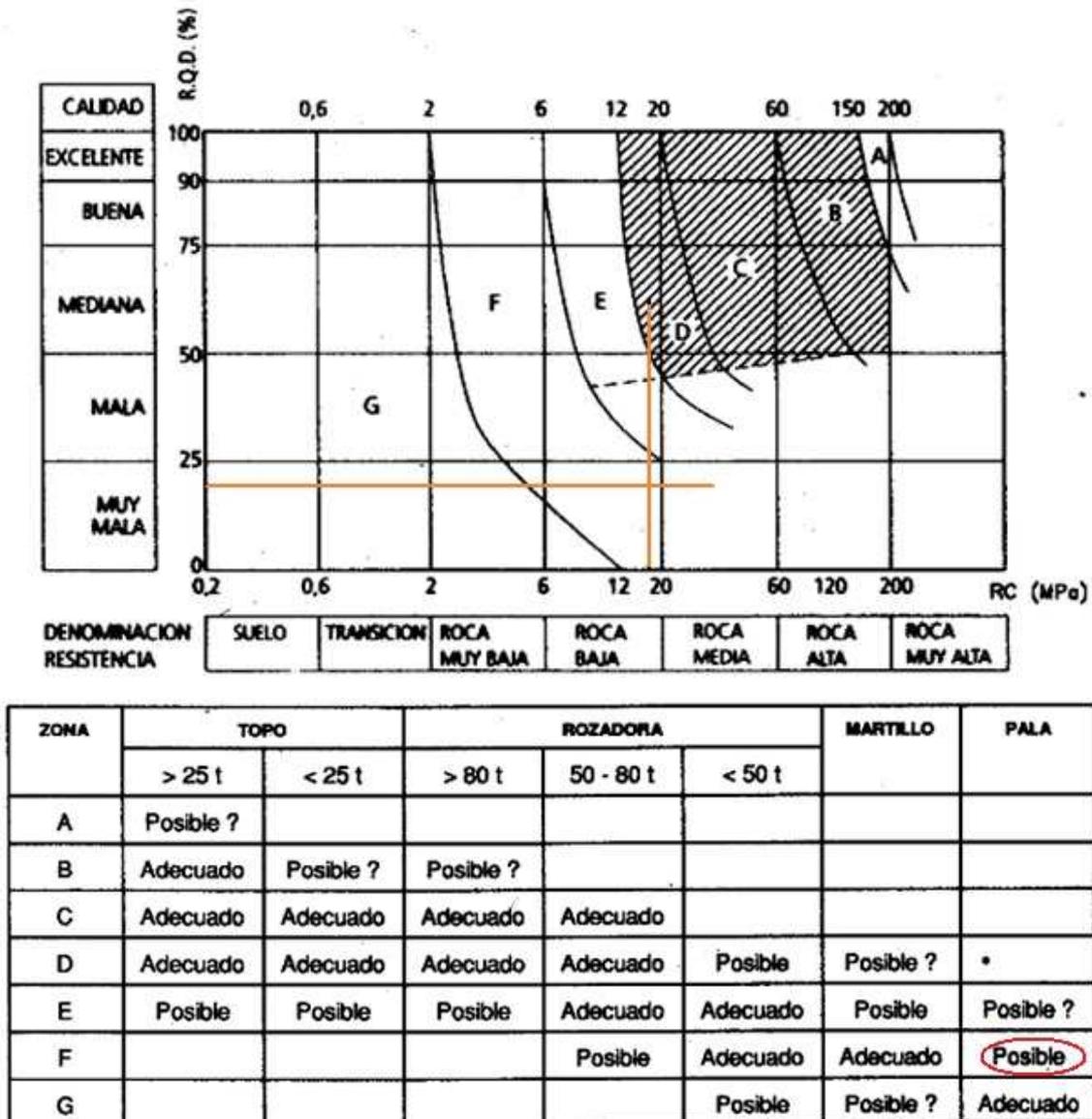


Figura 18. Determinación del método de excavabilidad según Romana.

El método más restrictivo es el de Franklin, por lo que la excavación se realizará con ripper.

5.4.3. CONDUCCIÓN ENTRE DEPÓSITOS

El talud de la zanja en material granular será 1H:1V.

Los PK en los que la conducción discurre por roca, la excavación se realizará con voladura si se trata de caliza y con ripper si se trata de margas. Los taludes de la sección de la zanja a excavar en estos dos materiales será con talud vertical.

Memoria

Se usará el mismo tipo de zanja para la zona donde la zanja cruza la carretera, debido a que la buena compactación del material en esa zona.

Por otro lado, en aquellos tramos por donde la conducción discurre a través de caminos la sección será con talud 1H:1V, realizando la excavación mediante métodos convencionales.

MATERIAL	PK	MÉTODO DE EXCAVACIÓN
Caliza	0 - 999	Voladura
	2033 - 3634,29	
Marga	4315,56 - 4930,77	Ripper
	5306,55 - 5850,23	
Material granular	999 - 2033	Convencional
	3634,29 - 4315,56	
	4930,77 - 5306,66	

Tabla 12. Métodos de excavación según el tipo de material existente.

5.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Depósito de Peñas de San Pedro:
 - El terreno de cimentación del depósito de Peñas de San Pedro será roca caliza.
 - La cota de cimentación se ha previsto a 1055 m.s.n.m.
 - La estructura más adecuada para resolver la cimentación serán zapatas corridas de dimensiones 1,5 x 0,5 x 18,3 m.
 - Realizadas la comprobaciones de hundimiento y asiento se ha comprobado que con las dimensiones anteriormente mencionadas , la solución es técnicamente correcta.
 - Se ha comprobado que la construcción del nuevo depósito no altera la estabilidad de la ladera sobre la que se ubicará.
- Depósito de La Solana:
 - El terreno de cimentación del depósito de Peñas de San Pedro será roca caliza.
 - La cota de cimentación se ha previsto a 977 m.s.n.m.
 - La estructura más adecuada para resolver la cimentación serán zapatas corridas de dimensiones 1,5 x 0,5 x 10 m.

Memoria

- Realizadas las comprobaciones de hundimiento y asiento se ha comprobado que con las dimensiones anteriormente mencionadas, la solución es técnicamente correcta.
 - Se ha comprobado que la construcción del nuevo depósito no altera la estabilidad de la ladera sobre la que se ubicará.
- Conducción entre depósitos:

No se prevén riesgos importantes desde el punto de vista geotécnico, si bien se debe mencionar que en la decisión del trazado a seguir por la misma se ha tenido en cuenta de una manera importante el criterio de excavabilidad. De este modo se prevén tres tipos de materiales a excavar:

- Roca entre los PK 0-999, 2033-3634,29, 4315,56-4930,77, 5306,66-5850,03 donde se recomienda utilizar voladura en el municipio de Peñas de San Pedro y ripper en el caso de La Solana.
- Suelo granular entre los PK 999-2033, 3634,29-4315,56, 4930,77-5306,66 donde se prevé excavar mediante métodos convencionales. Se trata de la zona de los caminos y el material granular será el que se utilizó en su día para conformar la explanación de estos caminos más una parte de suelo residual sobre el fondo rocoso.

Paquete de firme entre los PK 3869,06-3874,56. Se deberá cortar el firme con radial y posteriormente se procederá a la excavación mediante métodos convencionales cuando se atraviese la carretera.

Como recomendaciones generales se tomarán las siguientes precauciones:

- Se construirán ambos depósitos superficiales ya que el terreno sobre el que se van a cimentar es roca. Con esta tipología de depósito se reducirían los volúmenes de excavación lo que supondrá una reducción del coste total de la obra.
- Se realizará únicamente una excavación de desbroce, saneo del terreno y explanación.
- La excavación se mantendrá abierta el menor tiempo posible, y se procederá al hormigonado del cimientado para evitar la alteración de la capa de apoyo.

Memoria

- Cuando se alcance la cota de cimentación y antes de proceder al hormigonado se limpiará y saneará en lo posible el fondo de excavación.
- La excavabilidad en roca se realizará a través de pequeñas voladuras o martillo hidráulico, mientras que en terrenos más blandos propios del cuaternario y cretácico se usará retroexcavadora o zanjadora.
- Se recomienda la inspección visual detallada del terreno durante la ejecución de las obras.

6. VALORACIÓN ECONÓMICA

Teniendo como objetivo valorar económicamente los trabajos a realizar para mejorar el abastecimiento de agua potable a las poblaciones de Peñas de San Pedro y La Solana (Albacete), se consideran las unidades de obra siguientes:

- Limpieza y desbroce de terreno, con medios mecánicos.
- Excavación apertura de caja, roca media.
- Transporte tierras a vertedero.
- Zanja alojamiento tubería talud vertical.
- Zanja alojamiento tubería talud 1H:1V.
- Arena colocada en cama de asiento.
- Relleno de zanja con material de excavación.
- Relleno de zanja artificial en zanja.
- Hormigón HA-30/p/20/IV+Qb en cimentación, para las zapatas.
- Hormigón HA-30/b/20/IV+Qb para muros, solera y techo.
- Tubería polietileno alta densidad $\varnothing 200$.
- Válvula compuerta brida 200 mm.
- Válvula mariposa 200 mm.
- Ventosa triple efecto d=150 mm.
- Unión T fundición dúctil $\varnothing 200/200$ mm.
- Arqueta de registro.
- Reposición de calzada.

Para la valoración de los depósitos prefabricados en sí, se asumirá la cuantía como el hormigón armado *in situ* más su 20% por aspectos de fabricación, puesta en obra y uso de moldes para cada parte prefabricada.

Los importes económicos relativos a:

Depósito de Peñas de San Pedro.....**425.437,80 €**

Depósito de La Solana.....**9.959,55 €**

Memoria

Tubería Peñas de San Pedro-La Solana.....**165.669,31 €**

TOTAL.....601.066,66 €

Fecha: 12 de Junio de 2015

Fdo: Germán Valero Garijo

Santiago Muñoz Pinel

Bibliografía

EHE-08: Instrucción de hormigón estructural. España Comisión Permanente del Hormigón; España, Ministerio de Fomento. Madrid: Ministerio de Fomento, 2009. 2ª Edición.

Firmes y pavimentos: pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. PG-3.

Guía de cimentaciones en obras de carreteras. España, Dirección General de Carreteras; Ministerio de Fomento, 2011, 3ª Edición.

Guía técnica sobre depósitos para el abastecimiento de agua potable. Centro de Estudios Hidrográficos; Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas: CEDEX, D.L.2010.

Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión. CEDEX, Madrid: CEDEX, D.L.2009.

Mapa geológico de España a escala 1:50.000 > Hoja 816/24 - 32 Peñas de San Pedro.

Mapa geotécnico general a escala 1:200.000 > Hoja 62 - Albacete.

Norma española UNE-EN 14617-1. Piedra aparente. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la densidad aparente y la absorción de agua.

Norma española UNE-EN ISO 14689-1. Investigación y ensayos geotécnicos. Identificación y clasificación de rocas. Parte 1. Identificación y descripción.

Norma española UNE-EN 932-3. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 3: Procedimiento y terminología para la descripción petrográfica simplificada.

Norma española UNE 22950-5. Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 5: Resistencia a carga puntual.

Normas para redes de abastecimiento de Canal de Isabel II.

Norma 6.1 IC. Secciones de Firme, de la Instrucción de Carreteras. Ministerio de Fomento. (BOE de 12 de diciembre de 2003).

Plan de Ordenación Municipal de Peñas de San Pedro (Albacete).

Proyecto de ampliación del sistema de regulación para el abastecimiento de agua potable al municipio de Félix (Almería). Gázquez García, María Luisa | Andrés Doménech, Ignacio; Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.