



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE
MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

**PLANIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y
PERFORACIÓN DE SONDEOS PARA LA EXTRACCIÓN DE
SALMUERA**

**INFRASTRUCTURE PLANNING AND BOREHOLE DRILLING
FOR BRINE EXTRACTION**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Autor: Alberto Ciercoles Ramirez

Directora: Noemi Barral Ramon

Convocatoria: Septiembre 2020



Agradecimientos:

A mis padres y sobre todo a mi hermana por apoyarme siempre, en lo bueno y en lo malo

A José Luis Gil Payno-Director Facultativo Cantera y Sondeos-Solvay, y a todo el departamento de Sondeos

Índice:

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE PLANOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1-INTRODUCCIÓN	11
1.1. OBJETIVOS	11
1.2. ALCANCE	11
1.3. ANTECEDENTES	11
1.4. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO	12
1.5. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	19
1.6. FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS CAVIDADES	21
2- ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	26
2.1. IMPLANTACIÓN DE LOS SONDEOS	26
2.2. VALORACIÓN DE SONDEOS VERTICALES O DESVIADOS	27
3- OBRA CIVIL DEL EMPLAZAMIENTO	33
3.1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	33
3.2. BASE DE PERFORACIÓN Y ANTE-POZO	39
3.2.1. Movimiento de tierras	39
3.2.2. Antepozo - Tubo conductor	40
3.2.3. Losa de perforación y drenajes	44
3.3. FOSO DE RECOGIDA DE EFLUENTES	47
3.4. INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍA DE EXPLOTACIÓN	49
3.4.1 Tuberías de acometida al emplazamiento	49
3.4.2 Tuberías de acometida a la cabeza del sondeo	55
3.5. INSTALACIÓN ALIMENTACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA	56
3.5.1 Elección del tipo de conductor	56
3.5.2 Tendido del cable	59
3.5.3 Cuadro de Distribución	61
3.5.4 Instalación línea de comunicación	61
4- DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN	
INICIALES-	63
5- ESTRUCTURA DE LA PERFORACIÓN	66
5.1 PERFORACIÓN TELESCÓPICA	66
5.2 COLUMNA CEMENTADA DE EXPLOTACIÓN	67



5.3	DIÁMETROS DE LA PERFORACIÓN TELESCÓPICA.....	69
5.4	ELECCIÓN DE LOS CASING DE LAS COLUMNAS CEMENTADAS.....	72
6-	EQUIPOS DE PERFORACIÓN - COMPAÑÍAS DE SERVICIOS	76
7-	FASES DE PERFORACIÓN	82
7.1	PERFORACIÓN A Ø 20”	82
7.2.	ENTUBADO COLUMNA DE Ø 16” Y CEMENTACION.....	85
7.3	PERFORACIÓN A Ø 14 ¾”	93
7.4.	PERFORACIÓN A Ø 12 1/4”	94
7.5.	ENTUBADO COLUMNA DE Ø 10 ¾” Y CEMENTACIÓN	95
8-	EQUIPAMIENTO COLUMNAS DE EXPLOTACIÓN	100
9-	INFORMES DIARIOS –DOCUMENTACIÓN	101
10-	PLAN DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTAL	106
10.1.	PLAN DE SEGURIDAD CONSTRUCCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS	106
10.2.	PLAN DE SEGURIDAD FASE DE PERFORACIÓN	109
11-	PRESUPUESTO.....	114
12-	CONCLUSIÓN.....	120
13-	BIBLIOGRAFÍA.....	123
14-	BIBLIOGRAFÍA COMERCIAL.....	123
15-	PLANOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1: Mapa Geológico, Zona Polanco
- Figura 1.2: Mapa Geológico Detallado, Zona Polanco
- Figura 1.3: Columna Litológica
- Figura 1.4: Curva de la Sal
- Figura 1.5: Esquema disolución
- Figura 1.6: Esquema Cámaras-Pilares
- Figura 1.7: Esquema distribución cavidades
- Figura 1.8: Esquema sondeos verticales
- Figura 2.1: Plano situación
- Figura 2.2: Esquema Motor fondo+MWD
- Figura 2.3: Dibujo disposición sondeos desviados
- Figura 3.1: Perfil Vertical Teórico
- Figura 3.2: Imagen de la Situación
- Figura 3.3: Base para 6 sondeos explotación SGW
- Figura 3.4: Movimiento tierras
- Figura 3.5: Croquis antepozo
- Figura 3.6 : Cabeza de Sondeo y antepozo
- Figura 3.7: Construcción antepozos
- Figura 3.8: Imagen 3D, placa hormigón
- Figura 3.9: Tubo acero y Pe
- Figura 3.10: Esquema tipo distribución energía eléctrica
- Figura 3.11: Caseta Prefabricada Prephor
- Figura 4.1: Diagrama General Distribución
- Figura 5.1: BOP
- Figura 5.2: Esquema Entubación telescópica
- Figura 5.3: Llaves de Apriete
- Figura 5.4: Casing String Size
- Figura 5.5: Estructura Sondeo
- Figura 6.1: Rig perforadora tipo
- Figura 7.1: Casing shoe [19]

Figura 7.2: Float Collar [19]

Figura 7.3: Non-weld centralizers - Stop collars [18]

Figura 7.4: Tabla de aprietes casing [17]

Figura 7.5: Tapones y cabeza de cementación “Robust”

Figura 7.6: Acoplamiento stringer

Figura 7.7: Grupo cementación

Figura 7.8: Caliper 4 brazos

Figura 7.9: Welded centralizers- Stop collars [18]

Figura 7.10: Tabla de aprietes casing [17]

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Puntos Perfil

Tabla 3.2: Coordenadas

Tabla 3.3: Armadura Antepozo

Tabla 3.4: Armadura Foso Efluentes

Tabla 3.5: Características cables

Tabla 5.1: Parámetros Casing 10^{3/4}

Tabla 5.2: Parámetros Casing 16"

Tabla 11.1: Presupuesto

ÍNDICE DE PLANOS

- 1.1. Cortes, movimiento de tierras
- 1.2. Situación plaza, tuberías y zanja
- 2.1. Dimensionado Plaza
- 2.2. Armadura longitudinal inferior, refuerzo inferior
- 2.3. Armadura transversal inferior, refuerzo inferior
- 3.1. Dimensionado Antepozo
- 3.2. Armadura del pozo
- 4.1. Arqueta, desagüe
- 4.2. Decantador, dimensionado y armadura
- 5. Tuberías de salmuera débil, saturada y agua
- 6.1. Canalización de electricidad y comunicaciones a cabeza de Sondeo
- 6.2. Protecciones-Cuadro eléctrico
- 7. Torre de perforación -Disposición de Equipos-
- 8.1. Perfil Sondeo A
- 8.2. Perfil Sondeo B
- 8.3. Perfil Sondeo C
- 9. Informe tipo, corte general Sondeo
- 10.1. Brida cabeza pozo (Casing Head Housing)
- 10.2. Cabeza Sondeos tipo

RESUMEN

La explotación del yacimiento de Polanco de Sal gema en forma de salmuera, se realiza mediante sondeos, por el sistema de cámaras y pilares, la cámara se forma por la disolución generada por una inyección de agua y la extracción de salmuera en los mismos.

El punto de partida para este tipo de explotación es la perforación del sondeo. En este trabajo de fin de grado se planifica tanto la infraestructura como las etapas para la perforación de tres sondeos dentro de una malla de distribución prefijada en el campo de perforación.

Inicialmente se realiza un análisis para determinar el tipo de sondeos más favorable a perforar (sondeos verticales o sondeos desviados), en este caso desviados.

Seleccionado el tipo de sondeo, y desde un único emplazamiento, se determina su ubicación y se traza la estructura desviada de los pozos, que debe de cumplir una serie de premisas, la desviación máxima permitida, la verticalidad del pozo en la zona de explotación, el techo previsto de la sal, etc.

Una vez ubicado el emplazamiento se planifica toda la infraestructura previa a la perforación, los accesos, la construcción de la base de perforación y antepozos, así como todas las acometidas de la red de agua y salmuera, alimentación de energía eléctrica y comunicaciones, enfocadas estas últimas a su uso en la futura explotación de los sondeos.

En la segunda parte de este trabajo se diseña la configuración telescópica del pozo, detallando el diámetro de perforación, la profundidad, el tipo y características de las columnas a instalar, entubados, cementaciones etc.

Incorporando también el plan de labores auxiliares que se realiza durante una perforación de estas características.

Así mismo se realizará una evaluación presupuestaria del coste de todas las etapas, desde la fase de construcción del emplazamiento hasta llegar a la restauración parcial del espacio natural al finalizar las perforaciones.

ABSTRACT

The exploitation of the mineral salt deposit in the form of brine in Polanco is carried out by soundings, by the system of chambers and pillars. The chamber is formed by the solution generated by an injection of water and the extraction of brine in them.

The starting point for this type of exploitation is the borehole drilling. In this end-of-degree project, are planned both the infrastructure and the stages for the drilling of three boreholes, which are within a predetermined distribution mesh in the field of drilling.

Initially, an analysis is carried out to determine the type of soundings most favorable to drill (vertical boreholes or deviated boreholes), in this case deviated.

Once the type of sounding has been selected, and from a single location, its location and the deviated structure of the wells is drawn, which must meet a series of premises: the maximum allowed deviation, the verticality of the well in the exploitation, the planned ceiling of the salt, etc.

Once the site is located, all the infrastructure is planned prior to the drilling: accesses, construction of the drilling base and cellars, all connections to the water and brine network, and electrical and communications power supplies. The latter are focused on their use in the future exploitation of soundings.

In the second part of this work, the telescopic configuration of the well is designed, detailing the drilling diameter, depth, type and characteristics of the columns to be installed, tubing, cementation, etc., also incorporating the plan of the auxiliary tasks that are carried out during a drilling of these characteristics.

Likewise, a budget evaluation of the cost of all stages will be carried out, from the construction phase of the site to partial restoration of the natural space at the end of the drilling.

1-INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El presente proyecto pretende marcar la directrices generales desde la elección del emplazamiento, pasando por la construcción de la plataforma de perforación y equipamiento necesario, así como el diseño de la estructura del pozo y de las distintas fases o etapas de las perforación de los sondeos para su seguimiento y control, para la consecución del objetivo marcado, que no puede ser otro, que la obtención de un documento-guía o proyecto que permita llevar a buen término la perforación y posterior explotación de los sondeos para la obtención de la sal gema, fin último para el que se realizan los sondeos.

1.2. ALCANCE

Este trabajo fin de grado tiene como alcance:

- * Determinar la implantación y tipos de sondeos a perforar en base al sistema de explotación existente en el yacimiento
- * Definir el equipamiento y obra civil necesarias para la realización de los sondeos para la explotación de sal gema.
- * Diseño de la estructura del pozo
- * Realizar un programa de perforación de acorde al tipo de yacimiento y la finalidad de este.
- * Realizar un presupuesto general de la obra tanto de la infraestructura necesario como de la perforación y el equipamiento final para la explotación del sondeo.
- * Establecimiento de los planes de seguridad y controles medioambientales durante todas las fases.

1.3. ANTECEDENTES

Desde 1904 la empresa Solvay explota el diapiro Triásico de Polanco, Cantabria, para la obtención de sal gema en forma de salmuera saturada, como materia prima fundamental para su proceso de fabricación de carbonato sódico por el método Solvay.

Las concesiones mineras abarcan 350 hectáreas, estando la mayor parte de estas en terrenos propios.

Para la obtención de esta materia prima, se hace necesario la perforación de sondeos, cuya planificación, diseño y seguimiento de las distintas etapas es objeto de este trabajo fin de grado.

Si bien, la filosofía de la extracción no ha cambiado desde su inicio (extracción de sal gema en forma de disolución), si han ido evolucionado las técnicas a lo largo de los años:

- Con bomba en fondo del pozo.
- Sin/con protección del nivel del techo con aire comprimido, y con hidrocarburos.
- Con control de las cavidades por ultrasonidos etc....
- Diseño y simulación de la evolución de la cavidad.

También han evolucionado los sistemas de implantación de los sondeos y los sistemas de perforación:

- Variación de la distribución geométrica de los sondeos
- Perforación a trepano
- Perforación con sistema Rotary
- Perforación direccional
- Tipos de entubación
- Tipos de cementaciones

1.4. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El yacimiento de sal de Polanco puede clasificarse dentro de los diapiros en forma de pliegues de núcleo plástico perforante.

La estructura geológica del área de Polanco, corresponde a un anticlinal de aproximadamente 4 km de longitud, por 0,75 Km de anchura, con una orientación NE-SO vergente al NO.

Ocupa afloramientos del Trías (Keuper), Jurásico y Cretácico, su flanco Norte tiene un buzamiento subvertical mientras que el meridional presenta un buzamiento suave hacia el sur, estando afectada por una falla normal que hunde el bloque SE

Los niveles salinos se encuentran ubicados en el KEUPER, cuya mayor acumulación está en un entorno muy próximo al anticlinal de Polanco.

Las fracturas más importantes que afectan al anticlinal de Polanco son dos fallas longitudinales, paralelas a la estructura:

- * La falla de Puente Arce, inversa de gran buzamiento al norte
- * La falla de Rumoroso, normal y al sur

La zona de explotación más antigua se encuentra situada sobre el afloramiento del Keuper, mientras que la zona de los futuros emplazamientos proyectados se ubica sobre la formación Vega de Pas, al sur de la falla de Rumoroso.

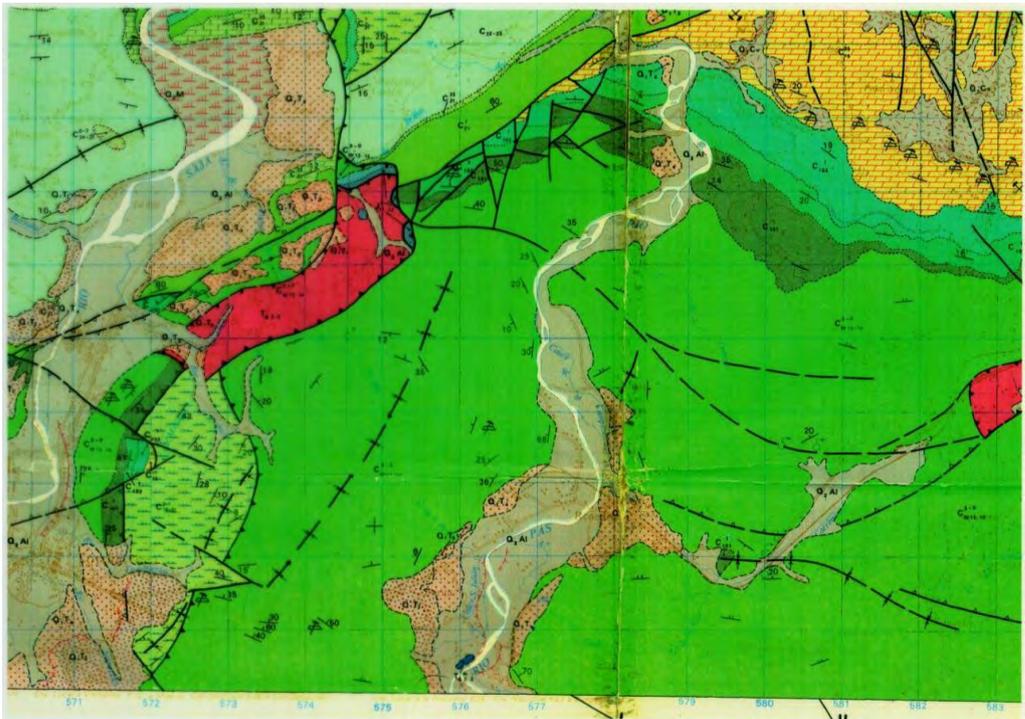


Figura 1.1: Mapa Geológico, Zona Polanco, Fuente: Instituto Geológico y Minero, Estudio para Solvay

Con la finalidad de conocer con más profundidad el diapiro de Polanco, a lo largo de los años se han llevado a cabo distintos estudios y pruebas geofísicas, muchas de las cuales fueron iniciativa de la empresa Solvay, entre los que podemos señalar por disponer de constancia documentada:

- * Estudio de M Bodart, (ingeniero de minas belga) entre los años 1912-1916, en el que incluía un levantamiento geológico muy completo.

- * Obra de Mengaud "Recherche geologiques dans la Region cantabrique" de 1920.

- * Estudios de Renier, jefe del Servicio Geológico de Bélgica, llevado a cabo entre 1923-1926, en el que estudia básicamente este yacimiento de sal.

- * Gravimetría de la Compañía General Geología del año 1978

- * Sondeo de Investigación con testigo SI-1 año 1980

- * Gravimetría de la Compañía General de Sondeos del año 1983

- * SEV (Sondeos verticales eléctricos) por la Compañía General de Sondeos 1984/85.

- * Gravimetría del Geoconsult del año 1986

Con estos datos, el Instituto Geológico y Minero de España, en el año 1995 realizó un estudio completo del anticlinal de Polanco, para definir los límites aflorantes del diapiro, con el objetivo de establecer las reservas del yacimiento, para garantizar el futuro de la producción de la fábrica Solvay.

En este estudio se propuso la realización de un sondeo de investigación, en un extremo de la concesión, realizándose el mismo en el año 1996-97, mediante la técnica de extracción de testigo continuo, hasta una profundidad de casi 1600 metros, con la finalidad de complementar y verificar este estudio.

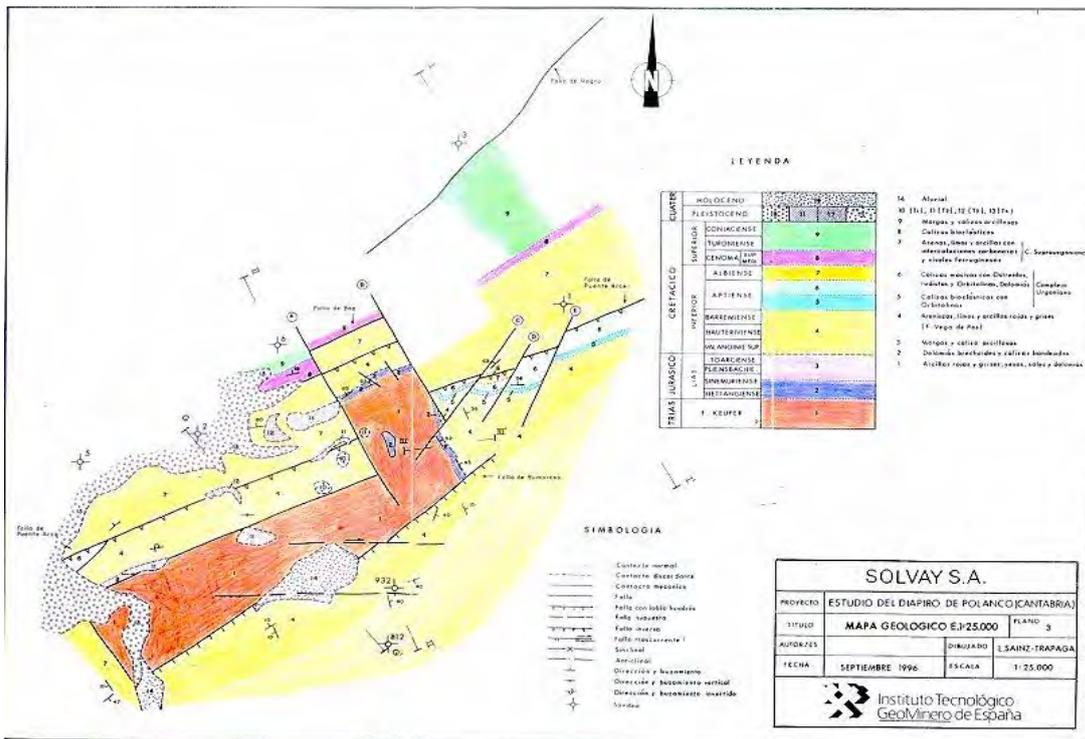


Figura 1.2: Mapa Geológico Detallado, Zona Polanco, Fuente: Instituto Geológico y Minero

El instituto geológico estableció que la sucesión estratigráfica del entorno de Polanco está compuesta, de los más antiguos a los más modernos:

-Triásico

En el área de Polanco únicamente afloran los términos más altos del Triásico correspondientes a la facies Keuper, de edad del Triásico Superior.

La facies Keuper es la unidad estratigráfica donde se ubican los niveles salinos. Está compuesta por los niveles de halita, incluyendo arcillas rojas, niveles de yeso cristalino de colores gris y blanco, tramos de anhidrita y bancos de dolomías negras fétidas de grano fino y textura micrítica.

No se observa una organización clara secuencial de esta litofacies, siendo su distribución estratigráfica muy irregular, no pudiendo correlacionarse los tramos litológicos ni siquiera en sondeos próximos, posiblemente por una deformación interna, debido al comportamiento plástico de estos materiales frente a los esfuerzos tectónicos.

El techo queda algo más definido litológicamente, estando compuesto por intercalaciones de arcilla roja con venas de sal, yeso y dolomías con potencia muy variable, con una media de 50 metros.

- Jurásico

Los términos estratigráficos pertenecientes al Jurásico, que afloran en el área de Polanco corresponden únicamente a su piso inferior: Liásico

Los materiales que lo constituyen son predominantemente carbonatados: calizas, dolomías y margas.

Distinguiéndose tres principales conjuntos

* Dolomías. Lias inferior (Hettangiense)

Esta unidad, que constituye la base del Jurásico está compuesta fundamentalmente por dolomías y yeso

* Calizas grises: Lias inferior (Sinemuriense)

Esta unidad está compuesta por calizas micríticas homogéneas, bien estratificadas con una potencia máxima de hasta 80 metros.

* Margocalizas y Margas

Esta unidad aflora localmente en un pequeño sector (zona de Rinconeda)

- Cretácico inferior

Estos materiales se disponen de forma discordante sobre los depósitos jurásico y se distinguen cuatro conjuntos litológicos:

* Formación Vega de Pas

Esta formación está compuesta casi mayoritariamente por arcillas rojas grises y varioladas, que se asemejan a las del Keuper, incluyendo también arenisca de colores claros (grises y blancos).

La potencia de esta formación esta próxima a los 500 metros.

Se pueden discernir estos materiales de lo del Keuper en la presencia de areniscas.

* Complejo Urganiano

Este conjunto sedimentario se diferencia del anterior por su carácter carbonatado, con contenido fósil. Se distinguen dos unidades:

Constituido en la base por calizas bioclástica, arenosas, estratificadas con potencia del orden de 15 metros.

Y un conjunto de calizas blancas pudiendo encontrarse dolimitizadas. Puede tener un espesor de 300 metros.

* Complejo Supraurgoniano

Compuesta por arcillas grises, areniscas de grano fino blancas y amarillentas y niveles delgados de calizas arenosas. Tiene una potencia de 200 metros.

* Calizas bioclásticas

Compuesta por calizas bioclásticas arenosas de color gris claro a beige, con una estratificación regular en bancos planos paralelos y su espesor es de 50 metros.

El conocimiento de esta estratigrafía será útil a la hora de planificar la perforación por el mayor conocimiento de los terrenos a atravesar para la adaptación de técnicas y elementos perforación: tipo de tricono, uso del Top driver, uso de martillo, etc....

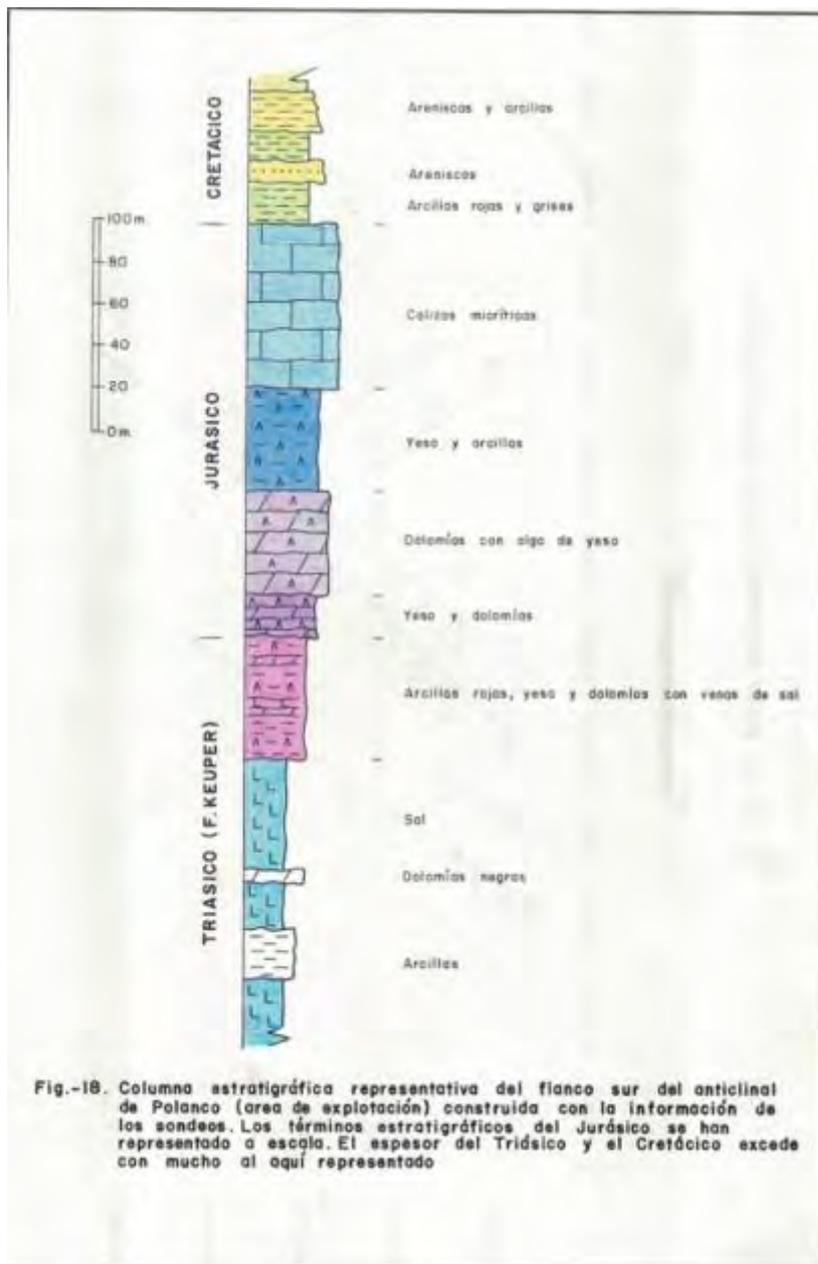


Figura 1.3: Columna Litológica, Fuente: Estudio Instituto Geológico y Minero para Solvay

Todos estos estudios se complementan con la existencia de un plano de curvas del techo de la sal del yacimiento, obtenido con la recopilación de los techos de la sal de todos y cada uno de los sondeos perforados, incluyendo los sondeos de investigación perforados en los extremos del campo de explotación.

Este plano nos permite estimar la profundidad a la que se encontrará el techo de la sal, dato muy importante a conocer, pues esto condicionará como veremos más adelante algunos parámetros de la perforación (tipo de lodos a emplear, grado de inclinación del sondeo etc.).

Estas curvas de nivel de la sal no hay que considerarlas como una foto fija en el tiempo, sino que se trata de un plano dinámico, pues cada vez que se perforan más sondeos, se añaden estos datos al mismo y se rediseñan las curvas, facilitando una información más exacta del techo de la sal para futuras perforaciones.

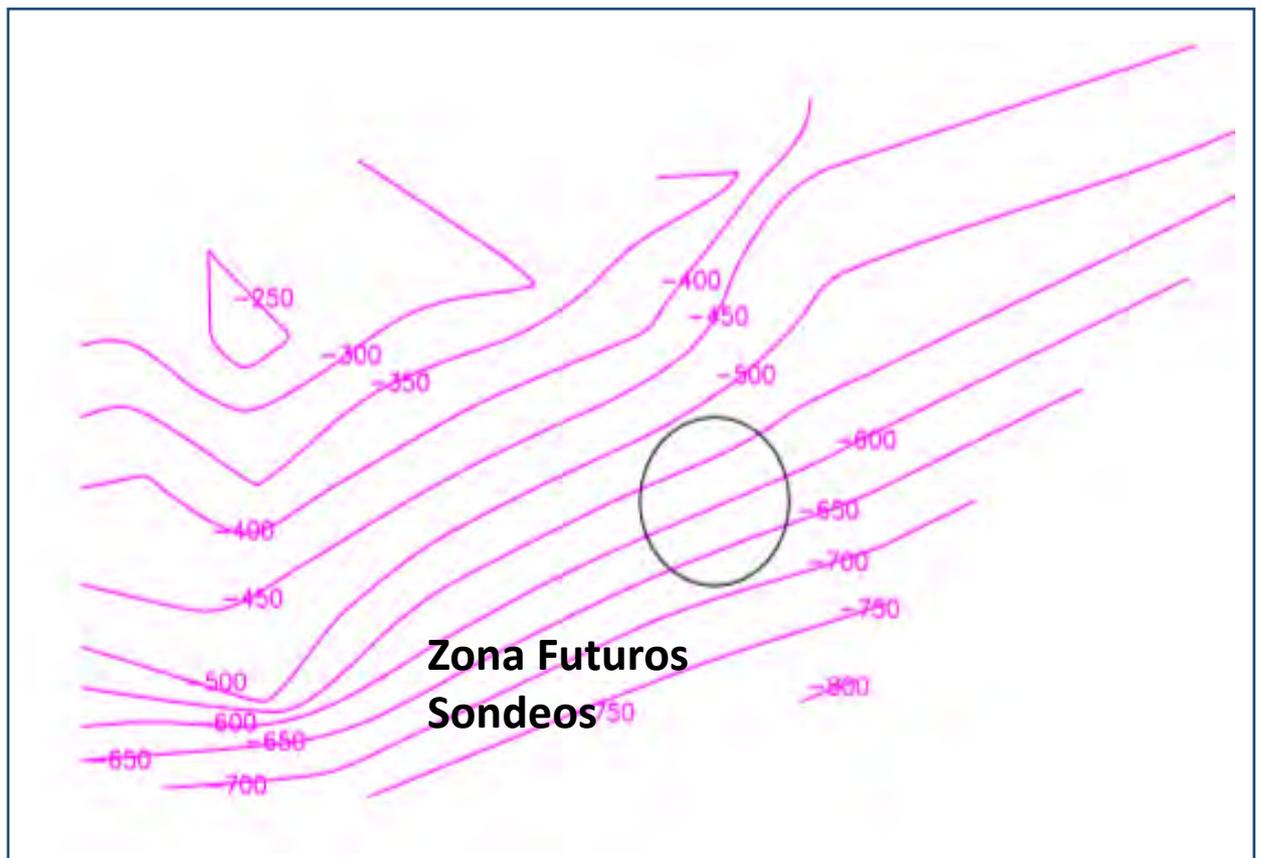


Figura 1.4: Curva de la Sal – Autor Solvay-

1.5. SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El sistema de explotación del yacimiento se realiza por el método de cámaras y pilares.

Este sistema consiste básicamente, en la perforación de un sondeo vertical, que penetra a lo largo del diapiro. En el caso de Polanco, y dependiendo de donde se realice la perforación dentro del campo, podemos encontrar el techo de la sal a una profundidad de apenas 60 metros (zona en la que se perforaron los sondeos más antiguos), o encontrarnos el mismo entre los 500-700 metros, en la zona más al Este del campo del yacimiento (zona actual de la explotación), y con el muro de la sal comprendido entre 900 y 1400 metros, si bien este punto es muy difuso, pues no está definido de una forma clara.

Una vez se da por terminada la perforación propiamente dicha del sondeo, se le procede a entubar y cementar la denominada columna cementada de explotación, desde la superficie hasta prácticamente el techo de la sal, dejando en forma de agujero desnudo el resto del pozo, con esta entubación se intenta minimizar el riesgo de colapso o cierre del mismo en la mayor longitud posible, pues el resto de la zona perforada que permanece en agujero desnudo, es la zona donde se va a desarrollar la explotación vía disolución.

Para iniciar la puesta en marcha del sondeo, tan solo resta equiparlo con las columnas de explotación y el blanket:

* Instalación de dos columnas adicionales concéntricas, hasta el punto donde se ha dado por finalizada la perforación (esta se habrá dado por finalizada al llegar al muro de la sal, o cuando el porcentaje de sal no haga factible la explotación de esta). Hay que indicar que la columna central se coloca unos metros por debajo de la columna anular (esta distancia entra dentro Know how de la empresa).

* Inyección del blanket: la función de este fluido (hidrocarburo) por su menor densidad con respecto al agua, es controlar o bloquear la disolución al techo de la cavidad, forzando a que la disolución se lleve a cabo hacia las paredes de la cavidad, y evitando en la medida de lo posible las disoluciones al techo de esta. El objetivo no es otro que conseguir un control de la disolución al techo de la cavidad.

Una vez finalizada estas operaciones de equipamiento del sondeo, ya se puede iniciar la explotación, con la inyección de agua a presión por la columna central (inyección directa) y la extracción por la columna anular de salmuera (hay que señalar que el tipo de inyección directa o indirecta varía a lo largo del periodo de explotación del sondeo dependiendo de la fase de explotación de este).

Esta inyección de agua por el efecto de la disolución dará lugar con el tiempo a la formación de una cavidad en la parte inferior del sondeo, cuando esta cavidad alcance los radios previsto en la zona, se dará por concluido este tramo de explotación, siendo necesario elevar unos metros las columnas para continuar con el desarrollo de la cavidad y así sucesivamente hasta alcanzar el techo final previsto en la cavidad teórica diseñada.

La explotación de la cavidad se inicia en la parte inferior del sondeo y se da por finalizada la explotación, cuando la cavidad alcanza el techo final previsto (en forma de cúpula), de la cavidad teórica prevista.

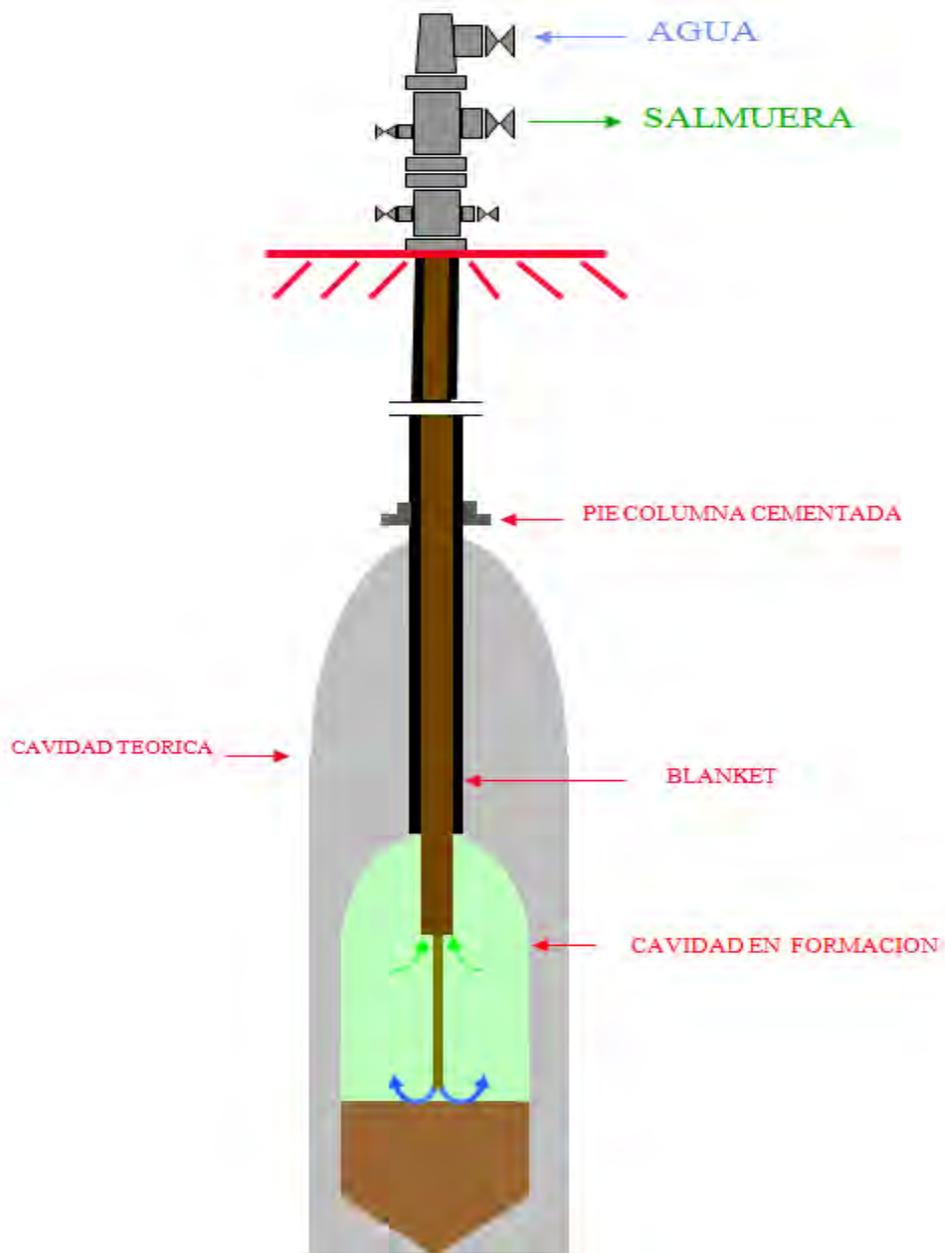


Figura 1.5: Esquema disolución, Fuente: Propia

El periodo de explotación, dependiendo del banco total de sal a explotar (techo de la sal/muro de la sal), puede ser de más de 30 años. Además, la cavidad final obtenida será inferior a cavidad teórica diseñada debido a la recolocación de los estériles atravesados durante la disolución juntamente con su esponjamiento.

Así la cavidad final se asemejará a un cilindro vertical, que estará rodeado de otros cilindros, correspondientes a otras cavidades de otros sondeos colindantes, siendo los macizos sin disolver entre las cavidades los pilares de la explotación (sistema de cámaras y pilares).

1.6. FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS CAVIDADES

En la explotación del yacimiento por el método expuesto anteriormente, es fundamental para la estabilidad de las cavidades, la forma y distribución tanto de las cámaras como los pilares, para lo cual habrá que tener en cuenta los siguientes requisitos:

*Obtención de unas cavidades cilíndricas verticales, lo cual implica un control de la perforación (eje de la cavidad) que se ajuste al diseño inicial evitando las desviaciones durante la fase de perforación.

Una desviación considerable podría dar lugar al debilitamiento del pilar, con la consiguiente inestabilidad de la explotación, y llevada esta desviación al extremo podría dar lugar incluso a la unión de dos cavidades contiguas, efecto totalmente indeseado.

* Mantenimiento de un espesor mínimo de los pilares entre cámaras.

* La necesidad de dejar un espesor de sal suficiente al techo de la cavidad sin explotar, que haga las funciones de viga que soporte la explotación.

El cumplimiento de estas premisas, juntamente con la necesidad de conseguir el mejor aprovechamiento del yacimiento, ha llevado a la elección con carácter general, de una distribución de las cavidades en forma de retícula hexagonal, siempre que no haya limitaciones de tipos geológicas o topográficas.

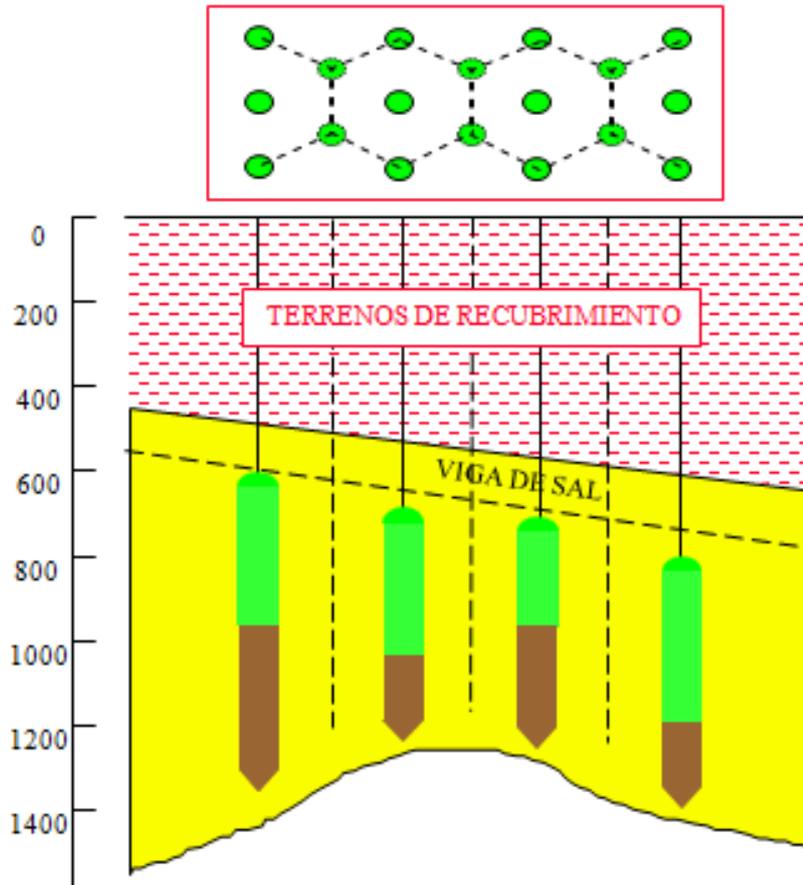


Figura 1.6: Esquema Cámaras-Pilares ,Fuente: propio

En una ordenación hexagonal el 90,69 % de la superficie delimitada por el mismo, queda cubierta por cámaras y pilares, por el contrario, con una disposición cuadrangular el valor obtenido es 78,54 %.

Considerando la distancia entre sondeos S , que deberá ser como mínimo la suma de los espesores de los pilares B , diámetro de la cavidad d y la desviación a en la base del sondeo.

$$S = B + d + a$$

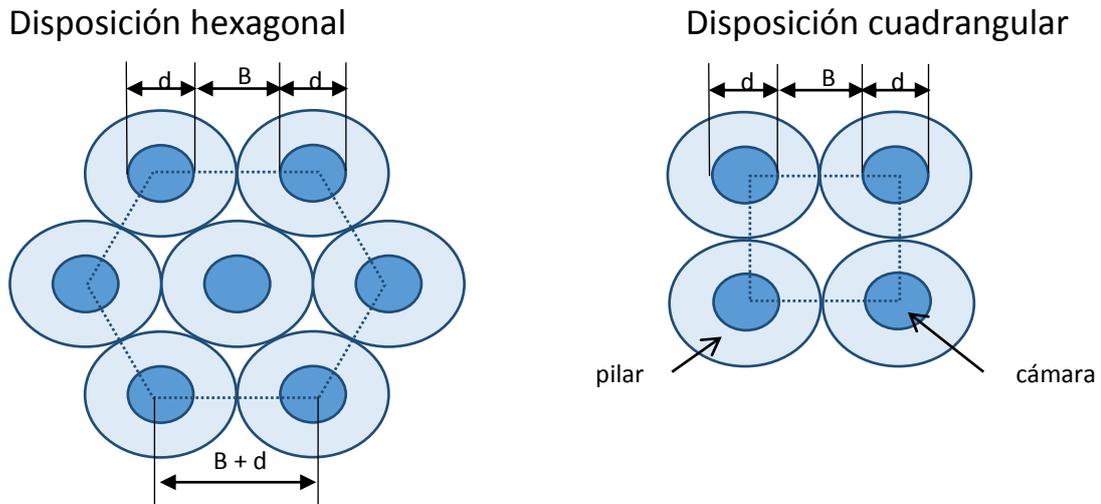


Figura 1.7: Esquema distribución cavidades, Fuente: propio

Sondeos que ocupa el hexágono

$$6 \times 1/3 + 1 = 3$$

Llamando S a la superficie que ocupa los pilares y cámaras dentro del hexágono tendremos:

$$S = 3\pi(B + d)^2/4$$

La superficie del hexágono es:

$$Shex = 6 \cdot \frac{1}{2}(B + d) \cdot (B + d) \cdot \text{sen}60$$

La relación entre ambas secciones será:

$$S/Shex = \pi/2\sqrt{3} = 0,9069$$

Por el contrario, con una disposición cuadrangular el valor obtenido es 78,54 %:

Sondeos que ocupa el cuadrado

$$1/4 \times 4 = 1$$

Llamando S' a la superficie que ocupa los pilares y cámaras dentro del cuadrado tendremos:

$$S' = \pi(B + d)^2/4$$

Superficie del cuadrado

$$Scuad = (B + d)^2$$

La relación entre ambas secciones será:

$$S'/Scuad = \pi/4 = 0,7854$$

Otro aspecto que considerar será si el diámetro de las cámaras tiene influencia en el aprovechamiento del yacimiento.

Si partimos de la base de una desviación del sondeo igual a cero ($a=0$)

La distancia entre ejes vendrá dada por

$$A = B + d$$

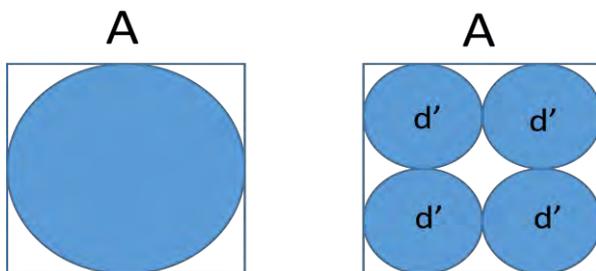
En una distribución uniforme de cavidades debe admitirse que:

$$\frac{B}{d} = cte.$$

Así pues, de las dos ecuaciones anteriores obtenemos que:

$$d = A/(1 + cte)$$

En el caso de colocar una cámara dentro de un cuadrado de lado A tendremos:



$$Scam = \frac{\pi}{4} (d)^2 = \frac{\pi}{4} (A)^2/(1 + cte)^2$$

$$Scuad = (A)^2$$

Por lo que la relación:

$$Scam/Scuad = \frac{\pi}{4} \frac{1}{(1 + cte)^2}$$

Llamando ahora a $d' = d/n$ al diámetro de las nuevas cámaras que podemos inscribir en el cuadrado de lado A tendremos:

$$d' = \frac{1}{n} A/(1 + cte)$$

Como n^2 será el número de cámaras que entran en ese cuadrado tendremos:

$$Scam = \frac{\pi}{4} (d')^2 (n)^2 = \frac{\pi}{4} (A)^2 / (1 + cte)^2$$

$$Scuad = (A)^2$$

Por lo que la relación será:

$$Scam/Scuad = \frac{\pi}{4} \frac{1}{(1 + cte)^2}$$

Así puede decirse que el aprovechamiento del yacimiento es independiente del diámetro de las cavidades.

Tanto el espesor de la viga de sal, como el de los pilares han sido calculados para este yacimiento por la Escuela de Minas de Paris (especialista en este tipo de explotaciones salinas), apoyándose para el cálculo en los ensayos de resistencia de probetas extraídas de los testigos continuos obtenidos de una perforación del año 1997.

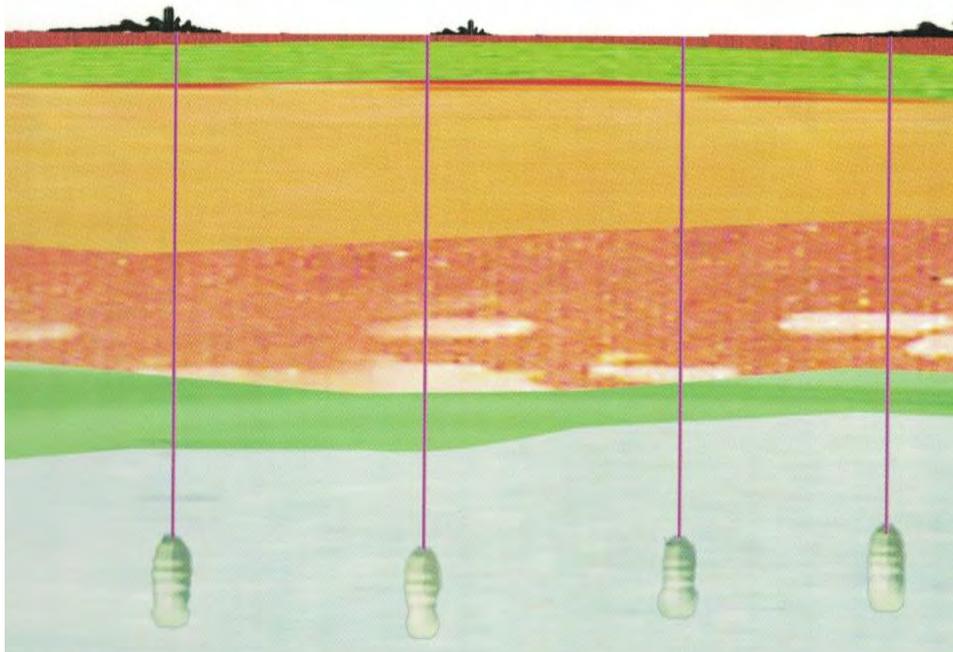


Figura 1.8: Esquema sondesos verticales, Fuente: Folleto SGW -Alemania

2- ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

2.1. IMPLANTACIÓN DE LOS SONDEOS

Ya se ha expuesto que, en el campo de explotación de Polanco, a lo largo de los años, se han modificado la geometría de distribución de los sondeos, adaptándose a los estudios y ensayos disponibles en cada época.

En la actualidad, se ha determinado que el mejor aprovechamiento del yacimiento es en base a una distribución de los sondeos en una retícula hexagonal, con una separación entre cavidades de 150 metros, y con un diseño de la cavidad en forma cilíndrica con cúpula final de cierre y con necesidad de conservar sin explotar una franja de sal al techo de la misma, de un espesor establecido para cada sondeo en particular, de acuerdo a un estudio de su estratigrafía, atendiendo a las conclusiones del estudio de la Escuela de Minas de Paris, como ya se ha enunciado en el apartado anterior.

En la zona de extensión del campo de explotación, se ha establecido una pequeña malla ficticia, en la que cada nudo representa un futuro sondeo a perforar.

La propuesta para el desarrollo de este trabajo de fin de grado es la perforación de tres sondeos, continuando así con el avance del campo de explotación, cuyas coordenadas UTM -ED50- de acuerdo con la malla anteriormente mencionada son:

* Sondeo A coordenadas

x: 419 523. 806
y: 4 803 354. 656

* Sondeo B coordenadas

x: 419 596. 518
y: 4 803 484 .139

* Sondeo C coordenadas

x: 419 667 .780
y: 4 803 312. 567



Figura 2.1: Plano situación, Fuente: Propia

2.2. VALORACIÓN DE SONDEOS VERTICALES O DESVIADOS

Una vez determinada la ubicación de estos nuevos sondeos, hay que proyectar las infraestructuras necesarias para cada uno de ellos:

- Construcción de viales de acceso.
- Construcción de una plataforma para la torre de perforación aproximadamente con una superficie necesaria de 3000 m² (para un único sondeo), con una base hormigonada firme para la propia torre de perforación.
- Acometida y cuadros eléctricos para la explotación de los sondeos. Hay que señalar que esta acometida tan solo será de uso para la futura explotación, como se detallará más adelante, ya que la alimentación eléctrica de todo el equipo de perforación se realiza por medio de grupos generadores, debido a la gran cantidad de potencia requerida por los mismos.
- Acometida de una red de telecomunicaciones para una posible automatización de la instalación.

- Conexionado a la red general de agua a presión y salmuera del campo de explotación para la futura explotación.
- Construcción de otras infraestructuras auxiliares.

Es importante indicar, que, en este trabajo, se van a tener en cuenta no solo las necesidades propias de la fase de perforación, sino también las necesidades que van ligadas a la explotación del sondeo, no hay que olvidar que la perforación tan solo es un inicio de una vida de más de 30 años.

Otro punto que considerar en esta planificación será la probabilidad de no poderse llevar a cabo estas infraestructuras, tanto en este caso en particular como en otras perforaciones futuras, por:

- Condicionantes geográficos: un río, una carretera etc.
- Condicionantes orográficos: pendiente muy abruptas etc.
- Condicionantes legales: terrenos no propios etc.

Estos aspectos podrían dar lugar a que alguno de los sondeos proyectados o no pueda llevarse a acabo, o represente un coste económico muy elevado o inadmisibile.

Una solución podría ser, modificar el punto de ubicación del sondeo en cuestión, pero según hemos expuesto esto no es factible, porque cada sondeo está sujeto a un punto dentro de una malla de distribución, y el movimiento de uno de estos futuros sondeos implicaría mover todos los de su entorno, además ocasionaría una pérdida de reservas de sal, al desechar una zona.

Como se ha expuesto en un apartado anterior, una de las premisas fundamentales para la explotación de los sondeos, por el sistema de cámaras y pilares, es la verticalidad de este, con el objetivo que, en la fase de la explotación, la cavidad formada no se aproxime a las cavidades contiguas, respetando las dimensiones de los pilares, de cara a la estabilidad de la explotación.

Podemos contemplar una solución que puede salvar los condicionantes antes expuestas respetando la verticalidad del sondeo.

La solución es la perforación de estos mediante la realización de perforaciones desviadas y/o dirigidas, con la exigencia de que el sondeo recobre la verticalidad en el punto de coordenadas asignado de la malla de distribución, que coincidirá a su vez con la profundidad donde se encuentre el techo de la sal.

Manteniendo la verticalidad hasta el final del reconocimiento, lo que permitirá que la explotación de las cavidades se desarrolle como si se tratase de sondeos verticales convencionales, sin ninguna repercusión para la estabilidad de la explotación.

Esta técnica de perforación, si bien no es novedosa, se ha extendido y ha ido haciéndose más asequible en la última década, tanto en la disponibilidad de equipos, como económicamente. Hace unos años sería impensable utilizar esta técnica de perforación para este tipo de minerales, por el poco valor añadido de los mismos, frente a explotaciones con mucho más valor añadido como pueden ser perforaciones para la obtención de petróleo o de gas.

La perforación direccional básicamente consiste en la utilización del pack compuesto por la utilización de una turbina o motor de fondo próximo al útil de perforación (sea un tricono o un PDC), conjuntamente con un sistema complejo anexo a él, denominado MWD, que permite la adquisición de datos como la inclinación del agujero, azimut, orientación de la herramienta etc., valores que se transmiten a la superficie durante la perforación en tiempo real, por pulso de presión a través del lodo de perforación, dentro de la sarta de perforación (también estos datos pueden ser almacenados en una memoria interna del equipo por si el sistema de transmisión de datos falla).

Con los datos que este sistema va facilitando a la superficie, se puede ir orientando el útil en la dirección deseada, apoyándonos en una combinación de la perforación mediante el uso aislado del motor de fondo o añadiendo la mesa de rotación exterior (o Top-Driver) para la consecución de la trayectoria fijada, manteniendo el target impuesto.

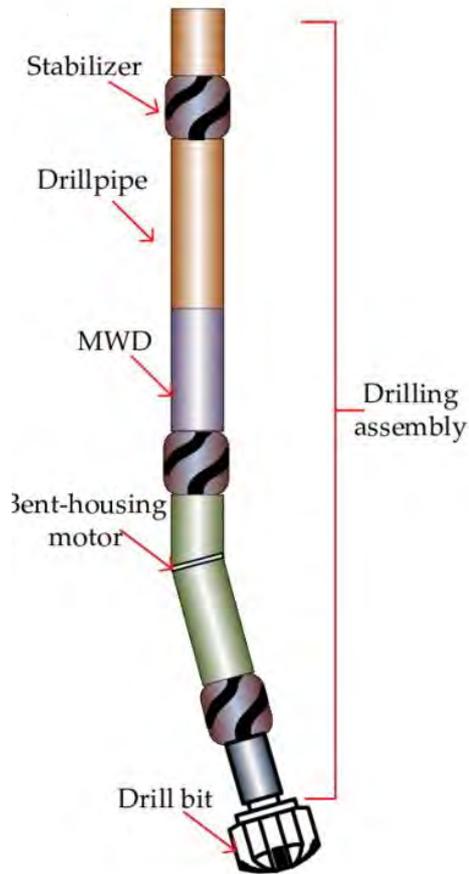


Figura 2.2: Esquema Motor fondo+MWD, Fuente: www.researchgate.net/figure/a-Drilling-assembly-for-directional-drilling-with-an-MWD-unit-consisting-of-FGMs-and

Salvados técnicamente estos problemas, se puede plantear la ejecución de los sondeos con dos opciones, ponderando las ventajas e inconvenientes de cada una:

- Opción A: Sondeos verticales de forma individual, con la opción de que, si alguno de ellos tuviese alguno de los impedimentos de los expuestos, tendría que ser descartado y reemplazado por otro punto de la malla, con la consiguiente pérdida de aprovechamiento del yacimiento.
 - Necesario desarrollar tres infraestructuras individualizadas para cada uno de los sondeos: Plataforma de perforación, acometida eléctrica y de telecomunicaciones, conexas con la red general de agua y salmuera de la explotación, viales de acceso etc.
 - En los sondeos a perforar en forma vertical, se podría prescindir a priori de la contratación del equipo direccional (hay que indicar que este servicio es un complemento añadido a la perforación básica y puede suponer un incremento del costo entorno al 20%), pero por otro lado se tendría que garantizar la verticalidad de la perforación.

En este caso el control de la desviación (verticalidad) no se puede hacer de forma continua, al carecer de MWD, sino que se realiza, por un método de logging efectuado cada 50 metros aproximadamente, con la consiguiente pérdida de tiempo al tener que detener la misma durante la perforación.

Además, en caso de detectarse una desviación indeseada durante la misma, el único sistema disponible para recuperar la verticalidad sería el cambio en la composición de la sarta de perforación (por ejemplo, el paso de una sarta empacada a una sarta pendular etc.) y los parámetros de perforación, lo que implica nuevamente una pérdida de tiempo y un coste económico. Además, este sistema de corrección de la verticalidad no es muy fiable, por otro lado, y al no poder contar con el motor de fondo, la velocidad de rotación del tricono disminuiría y por consiguiente habría una disminución del avance en la perforación, pues no tiene sentido utilizar un motor de fondo solo si la adición del equipo MWD.

- Implicaría dos desplazamientos adicionales internos de la totalidad del equipo de perforación, y tomando en consideración que cada uno de ellos tendría una duración aproximadamente 10-12 días con la participación de camiones grúas etc., tendría un coste muy importante.

- Opción B: Sondeos desviados para la totalidad de los sondeos a perforar, pero realizados desde un único emplazamiento, las cabezas de los sondeos estarían separadas la distancia mínima necesaria para el emplazamiento de la torre de perforación, teniendo también en cuenta si hubiera algún condicionante de distancias impuesto para el futuro emplazamiento del equipo Workover de mantenimiento de sondeos.

-En esta opción la infraestructura necesaria sería reducida a único emplazamiento, con tres antepozos (de dimensiones un tanto mayor que si se tratase de un único sondeo), y con una única acometida tanto de tuberías, como eléctrica, de telecomunicaciones o vial, lo que representa un ahorro de costes.

- El desplazamiento de todo el equipo de perforación a cada cabeza de pozo implicaría tan solo el traslado de básicamente la torre propiamente dicha, todos los elementos adicionales: tanques de lodos, bombas de lodos, grupos generadores, tanques de gasoil, casetas de personal y servicios etc. se ubicarían en el emplazamiento en una posición estática para la consecución de los tres sondeos, así el traslado de la torre entre pozos se podría llevar a cabo en aproximadamente tres días.

- Medioambientalmente esta solución implica una menor destrucción del entorno natural, pues, aunque el emplazamiento tendrá que ser mayor al abarcar tres cabezas de sondeos, en conjunto es mucho menor que considerando los tres sondeos de forma individual.

Las dos opciones son a priori factibles técnicamente, por lo que la elección de un sistema u otro se puede realizar evaluando los costes económicos de cada una de las ellas.

Ya se ha expuesto que el incremento de costes por el servicio direccional este entorno al 20% del coste total de la perforación de un sondeo, pero, aunque es un coste elevado, la suma de todos conceptos añadidos a las perforaciones individuales, aumento de infraestructuras, desplazamientos de equipos, etc., es bastante superior, de lo que quedará constancia cuando se analicen a grandes rasgos las partidas económicas del presupuesto total de la preparación de la infraestructuras y la perforación.

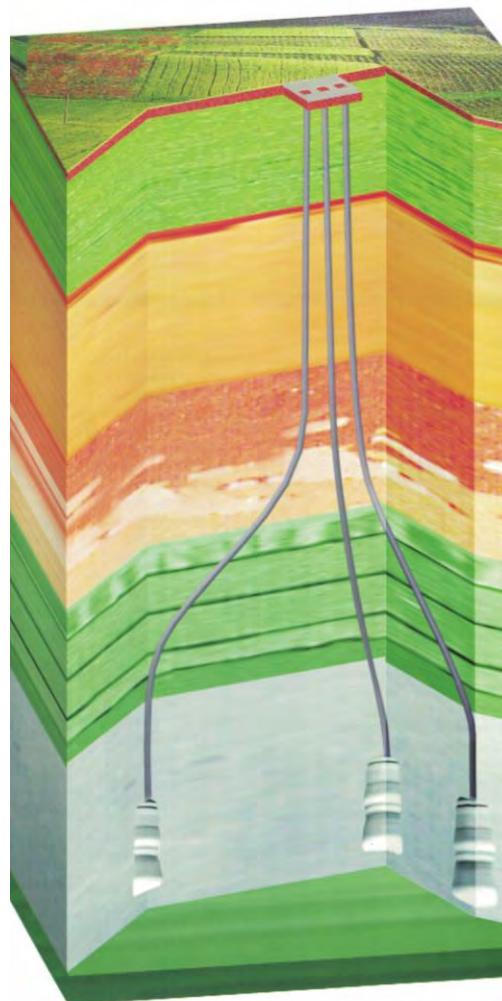


Figura 2.3: Dibujo disposición sondeos desviados, Fuente: Folleto SGW -Alemania-

3- OBRA CIVIL DEL EMPLAZAMIENTO

3.1. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Una vez seleccionado el tipo de perforación dirigida desde un único emplazamiento y con las coordenadas impuestas en la malla de distribución de cavidades antes indicadas, tan solo es necesario analizar el entorno de los tres pares de coordenadas, para encontrar la ubicación idónea donde desarrollar la plataforma de perforación.

En primer lugar, se deben conocer las necesidades de la empresa perforadora, en cuanto al dimensionado de la futura plaza, si hay un desconocimiento de esta se puede partir del dimensionado de una plaza anterior o realizar una consulta con los posibles candidatos a ejecutar la misma. A título informativo se puede señalar que por regla general la contratación de una empresa para la ejecución de estos trabajos se suele realizar con una antelación de en torno a 1-2 años, tiempo suficiente para desarrollar la misma de acuerdo a la necesidades del contratista, por otro lado el número de empresas existentes hoy día en Europa y que pueden realizar este tipo de perforaciones, es muy reducido, contando prácticamente todas con equipos muy similares (equipos dispuestos para perforaciones en torno a 1500-3000 metros) por lo que las variaciones en cuanto a sus exigencias de unas respecto a otras podrían ser mínimas.

Tomando como base anteriores emplazamiento, los requisitos para el desarrollo de la plaza para tres sondeos son:

- Dimensiones de 80 x 60 metros aproximadamente
- Separación entre sondeos > 8 metros. Se ha tomado una separación entre las cabezas de sondeos de 10 metros, por facilitar la labor del Workover de mantenimiento de sondeos en el futuro.

Teniendo en cuentas estos parámetros y observando la posible zona para la implantación de la plaza, se ha seleccionado a priori la zona anexa a las coordenadas (posible ubicación aproximada de la cabeza del sondeo intermedio).

X 419 601.74
Y 4 803 419.75
Z..... aprox. 74 msnm

Esta se ha seleccionado por el hecho de encontrarse en una zona intermedia entre los tres sondeos, no interferir en ningún camino comunal y además se aprovecha una pequeña plataforma existente de una antigua explotación ganadera, lo que podría aliviar en parte el desmonte de tierras, además la posibilidad de conectarse en las proximidades de esta ubicación, a la red de agua-salmuera y de energía eléctrica de la explotación.

Antes de considerar de forma definitiva esta ubicación para la plataforma de perforación, se debe de calcular la trayectoria desviada para cada uno de los sondeos, verificando que la misma se puede llevar a cabo cumpliendo unos requisitos, impuestos en parte por la técnica de perforación y en parte por los requisitos de la explotación futura:

- La máxima inclinación permitida no podrá sobrepasar de 25°, por recomendaciones del equipo de logging empleados en la explotación: sondas de control de cavidades, equipos de cortes de columnas, etc. No se debe de olvidar que el objetivo final de la perforación es la consecución de un sondeo adecuado para la explotación.
- La desviación máxima será 1° / 10 metros en la curvatura superior (Buil up rate). Es la desviación máxima recomendada por la consultora GeoStock para un pozo de estas características para la columna cementada intermedia.
- La desviación máxima será 2° / 10 metros en la curvatura inferior (Drop off rate). Es la desviación máxima recomendada por la consultora GeoStock para un pozo de estas características para la columna cementada de producción.
- La verticalidad en la zona de desarrollo de la cavidad será menor a 1°.
- Las desviaciones serán inferiores a 2° en medidas consecutivas espaciadas de 10 metros entre la zona comprendida entre curva y contracurva.
- El punto final de perforación tendrá una desviación máxima admitida de 10 metros con respecto al punto final previsto.

Recomendaciones realizadas por un estudio de la Empresa GeoStock, especialista en este tipo de perforaciones, estas premisas deberán ser además testada y verificadas por la empresa encargada de realizar la desviación del sondeo.

Los valores que intervienen en el cálculo de la trayectoria y que hay que fijar son:

- Techo de la sal previsto para cada uno de los sondeos, obtenidos por extrapolación de las curvas de nivel del techo de la sal (en los apartados anteriores se han indicado como se han obtenido estas curvas de nivel, tomando como referencia el nivel del mar).
- Altitud de la plataforma de perforación.

- Amplitud de la viga de sal: se ha considerado un valor de 50 metros para el cálculo (por encima del mínimo exigido por el estudio de la Escuela de Paris, pues la misma está en relación con la pureza de sal inicial y esta se desconoce hasta que no se lleve a cabo la perforación).
- Zona vertical inicial (previa al inicio de la desviación, sin control direccional) mínima de 30 metros, condición impuesta por la empresa de control direccional para que la sarta de perforación pueda incluir todo el equipamiento necesario: tricono, sub, motor de fondo, MWD, sonda antimagnéticas etc.
- Distancia horizontal entre la cada cabeza de pozo y el eje de la perforación inferior o de las cavidades.

Con esto valores ya definidos y aplicando las ecuaciones

$$i = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{Z_F - Z_K}{R_1 + R_2 - D} \right] - \cos^{-1} \left[\frac{R_1 + R_2}{Z_F - Z_K} * \sin * \operatorname{tg}^{-1} * \frac{Z_F - Z_K}{R_1 + R_2 - D} \right]$$

$$Z_D = Z_F - R_2 * \sin i$$

$$D_D = R_1 * (1 - \cos i) + (Z_D - Z_K - R_1 * \sin i) * \operatorname{tg} i$$

$$Z_E = Z_K + R_1 * \sin i$$

$$D_E = R_1 * (1 - \cos i)$$

PERFIL VERTICAL TEÓRICO - POZO EN S -

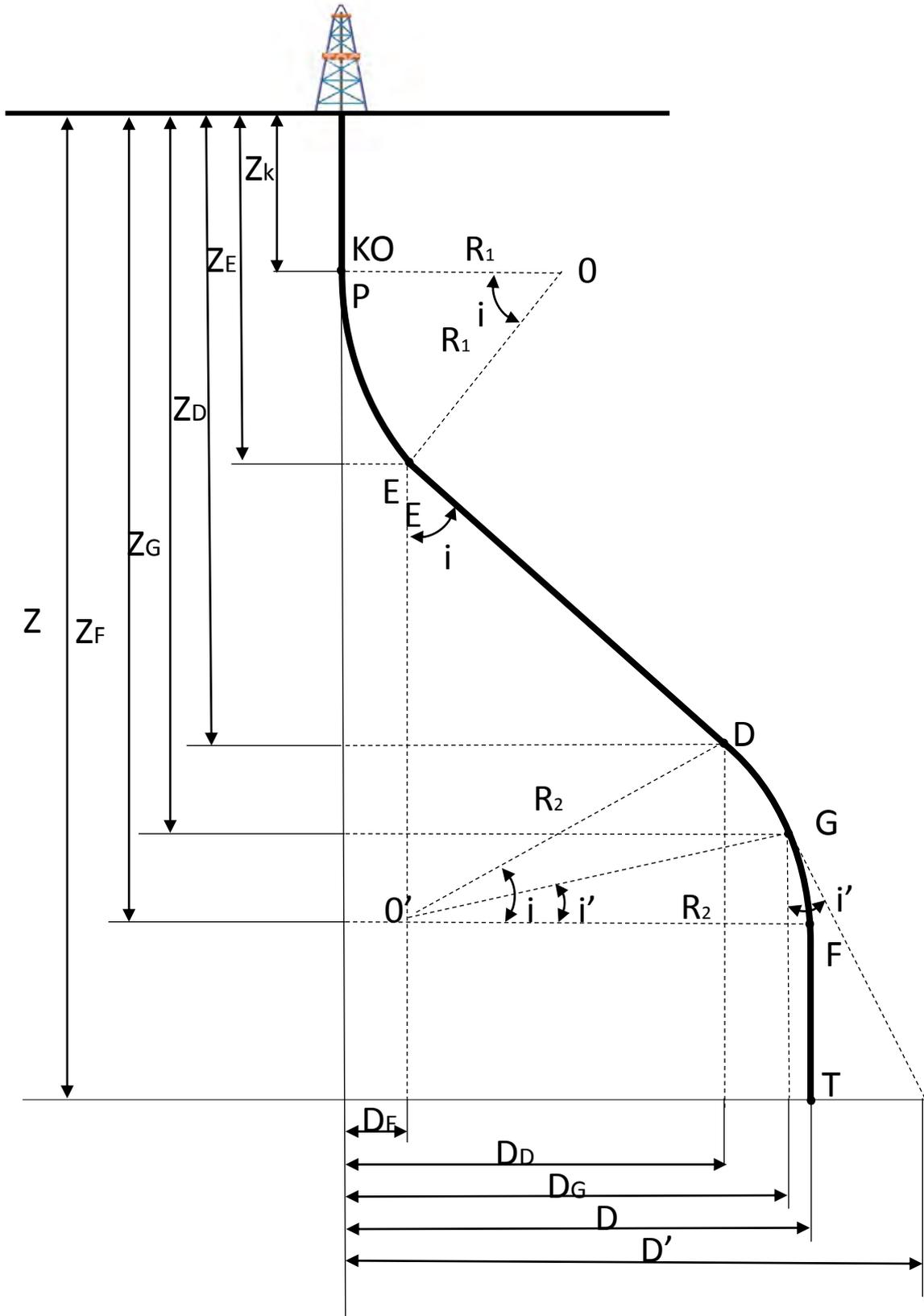


Figura 3.1. Perfil Vertical Teórico, Fuente : Formulaire de Foreur –Institut Francais de Petrole

Se obtendrán los valores de la tabla siguiente:

**CÁLCULO DE LOS PUNTOS CARACTERÍSTICOS
DEL PERFIL VERTICAL TEÓRICO EN S**

COORDENADAS DEL POZO	A	B	C
X	419523,806	419596,588	419667,780
Y	4803354,657	4803484,139	4803312,57
Techo de la Sal previsto -a-	600	515	684
Altitud Plataforma Emplazamiento -b-	74	74	74
Espesor viga de sal -c-	50	50	50
(Z _F) Profundidad punto inicio verticalidad a+b+c	724	639	808
(Z _K) Profundidad inicio desviación	30	30	30

Radios Curvatura

Valores de los radios de curvatura
para diferentes ángulos

gd (°/10m)	R
0,75	764,0
1	573,0
2	286,5
3	191,0
4	143,3

COORDENADAS DE LA CABEZA DE POZO	A	B	C
X	419593,13	419601,748	419610,37
Y	4803414,67	4803419,753	4803424,84
DESVIACIÓN PERFIL EN S			
Distancia horizontal	91,69	64,59	126,10
Build up rate	1°/10 m	1°/10 m	1°/10 m
Radio curvatura superior	573	573	573
Drop off rate	2°/10 m	2°/10 m	2°/10 m
Radio curvatura inferior	286,5	286,5	286,5
-i- Máxima inclinación -	8,25	6,58	10,19
-Z _E - Profundidad final 1ª curvatura	112,26	95,7	131,39
-D _E - Distancia horizontal final 1ª curvatura	5,93	3,77	9,04
-Z _D - Profundidad inicial 2ª curvatura	682,93	606,2	757,39
-D _D - Distancia horizontal inicial 2ª curvatura	88,72	62,7	121,58

Tabla 3.1: Puntos Perfil

Donde se observa que la inclinación obtenida para cada uno de los sondeos está dentro de los márgenes máximo-indicados anteriormente, por lo que se puede considerar la implantación como plataforma definitiva.



Figura 3.2: Imagen de la Situación, Fuente Google Earth

La planificación del emplazamiento también podría llevarse a cabo para un número mayor de sondeos en una misma base (4-5-6 ...) siempre respetando las distancias e inclinaciones antes expuestas.



Figura 3.3: Base para 6 sondeos explotación SGW –Fuente: Google Earth Alemania-

3.2. BASE DE PERFORACIÓN Y ANTE-POZO

3.2.1. Movimiento de tierras

Se han comparado los emplazamientos base requeridos para la implantación del equipo de perforación para un único sondeo entre diversas compañías (Deutag – Cofor- UGS- Weatherford), constatándose las similitudes entre ellas en cuanto a dimensiones demandadas.

Partiendo de estos requisitos, lo que se ha hecho es realizar una extrapolación de esta plataforma para la ejecución de tres sondeos.

Así el emplazamiento donde se ubicarán los tres sondeos consiste básicamente en una explanación de aproximadamente 4800 m² (60 x 80 m), dentro de la cual se integrará una base hormigonada de aproximadamente 31 x 22 metros sobre la que descansará el grueso de la torre de perforación.

Como ya se ha indicado la elección del emplazamiento coincide parcialmente con una antigua explotación ganadera (desmantelada) que minimizará el movimiento de tierras.

Una vez realizado el replanteo topográfico, inicialmente se procederá a retirar toda la capa vegetal del terreno afectado, acopiando el mismo si es posible en algún terreno colindante. Pues parte o la totalidad de la misma será reutilizado para la restauración del entorno natural, una vez se finalice la perforación de los sondeos, ya que la plaza necesaria para la explotación del sondeo (workover) es inferior a la requerida por los trabajos de perforación.

Se ha previsto que la cota final del emplazamiento sea 74 metros (adaptándolo al nivel medio del terreno natural existente) y considerando que la totalidad de la plaza (excepto la zona hormigonada) tendrá un recubrimiento de 50 cm de todo uno con incocidos procedentes de la fábrica de Solvay, de la fabricación de cal, la cota general para el desarrollo del movimiento de tierra será 73,5 m.

Debido al relieve donde se ubicará la plaza parte de la misma será en desmonte y el resto en terraplen. No será necesario realizar escolleras de sustentación ya que se utilizarán taludes 3/2 a priori suficientes para garantizar la estabilidad del terreno. El terreno procedente del desmonte se utilizará en la zona de terraplen extendiendo por capas en espesor no mayor de 15 cm que serán vibrados y compactados.

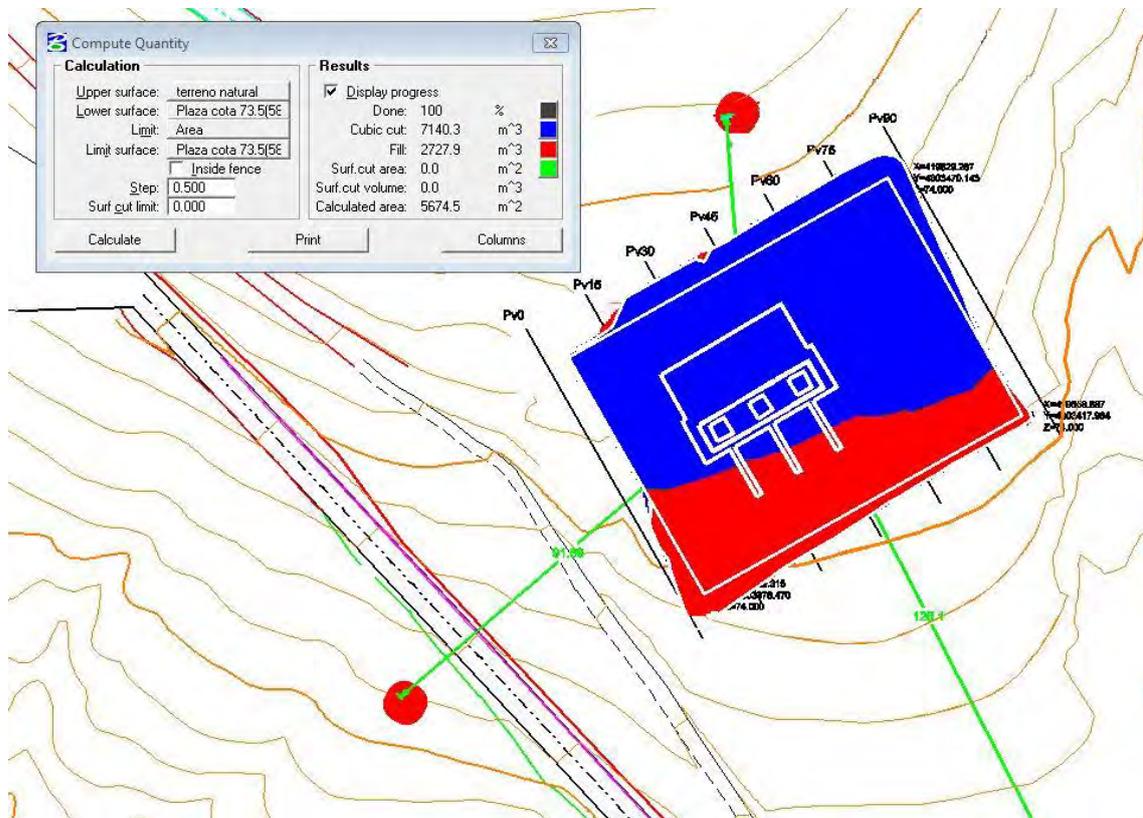


Figura 3.4: Movimiento tierras Fuente: Propia

3.2.2. Antepozo - Tubo conductor

La siguiente fase será proceder a la instalación del tubo de antepozo (también llamado en el argot petrolero tubo conductor) para cada uno de los sondeos de acuerdo a las coordenadas:

COORDENADAS DE LA CABEZA DE POZO -UTM ED50-	A	B	C
X	419593,13	419601,748	419610,37
Y	4803414,67	4803419,753	4803424,84

Tabla 3.2: Coordenadas

Como la primera fase de la perforación se desarrollará a un diametro de 20", se ha previsto como tubo conductor un tubo de acero de Ø 26" (660 mm) API 5 L STD (espesor de pared de 9,52 mm) con una longitud aproximada de 10-11 metros. La profundidad mínima requerida a insertar en el terreno será de 7-8 metros, dependiendo de la dureza del terreno encontrado.

Para proceder a la inserción del mismo en el terreno, se necesita previamente realizar un agujero de aproximadamente la misma longitud, este se podría hacer por medio de una bivalba que pueda alcanzar dicha profundidad, pero dado que la misma es bastante considerable y además desconociendo la dureza del terreno a excavar, lo más factible será realizar una trinchera longitudinal, con eje en los sondeos con una profundidad de aproximadamente 3 metros y una anchura en su base de aproximadamente 5 metros, con taludes aproximados de 1/1 con rampa de acceso para conseguir una plataforma de trabajo inferior, desde la cual una retroexcavadora ya podría alcanzar la profundidad deseada.

Una vez realizado el agujero, se procederá a introducir el tubo, al cual en su parte inferior y en un tramo de aproximado de 1,5 metros, se le habrán instalado de forma radial unas pequeñas pletinas soldadas de forma aleatoria (para que la adherencia posterior del hormigón impidan el giro del mismo) , procediendo posteriormente a su alineado y nivelado.

Es muy importante la verticalidad del mismo, ya que este es el inicio de la perforación, una mala nivelación podría dar lugar durante la perforación a que los útiles de la sarta chocaran constantemente con las paredes del tubo.

Otro punto a indicar a la empresa encargada de la ejecución de la obra es la necesidad de que el tubo en todo el proceso de instalación y posteriores trabajos, este tapado en su parte superior para evitar caer elementos extraños (sobretudo metálicos), pues podría dar lugar a un deterioro de los útiles de perforación a la hora de iniciar la misma o incluso tener la necesidad de bajar a recuperar dicha pieza al iniciarse la perforación.

Después de alinear el tubo se procederá a hormigonar exteriormente (la corona entre el terreno natural y el tubo) hasta una altura aproximada de 2 metros, con un hormigón convencional HA-25, y posteriormente se continuará con el relleno de este espacio con grijo e incocidos de la planta de Solvay, hasta el nivel del inicio de la solera del cubeto hormigonado del antepozo.

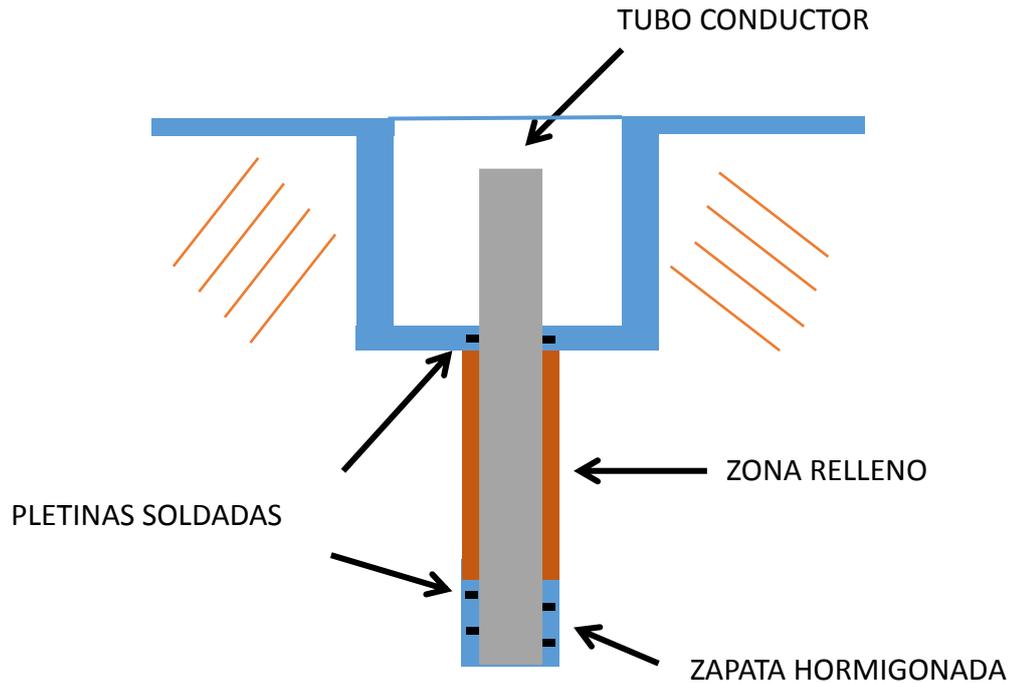


Figura 3.5: Croquis antepozo, Fuente: propia

Este foso cumplirá la finalidad de acoger durante la perforación el BOP o preventer, y durante la explotación alojar parte de la cabeza del sondeo



Figura 3.6 : Cabeza de Sondeo y antepozo ,Fuente : Etude et test de la tete de puits –Francia-

Como ya se ha expuesto algunas empresas perforadoras facilitan los requisitos y características tanto del foso del tubo conductor, como de la losa de apoyo del equipo, en dimensiones y las condiciones técnicas (tipo de cemento, espesor, armadura etc...), ya que disponen de una planta tipo o en algunos casos tan solo facilitan las zona de carga de los equipos.

Estos requisitos serán superiores a los requeridos por el Workcover de mantenimiento de la explotación, por la comparación entre equipos, por lo que se adoptará los requisitos para el emplazamiento del equipo de perforación.

Como separación entre cabezas de sondeos se ha tomado 10 metros, valor admitido los equipos de perforación y suficiente, para facilitar la labor del equipo propio de Workcover.

El foso del antepozo será de hormigón armado (se ha tomado como base la facilitada por una empresa perforadora), y tendrá unas dimensiones interiores de 3,75 x 3,80 metros con muros de 0,35 y 0,7 metros y una altura de 3,15 metros tal y como se detalla en los planos adjuntos.

El relleno lateral del mismo, se realizará igualmente con guijo mezclado con incocidos, hasta alcanzar el nivel inferior de la losa, que se rematará con los muros de hormigón del antepozo. Al nivel de la solera de hormigón del foso, se soldarán igualmente unas pletinas al tubo conductor para su unión con el hormigón de la base.

A continuación se exponen la tabla de la armadura correspondiente a cada parte del foso:

Pantalla Foso -Longitud interior 2,35 m -

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal	
		Interior	exterior	Interior	exterior
Losa	35	Ø12c/30 cm	Ø16c/30 cm	Ø8c/10 cm	Ø10c/10 cm

Armadura transversal		
Diámetro	Sep. Vertical	Sep. Horiz.
Ø8	20	30

Pantalla Foso -Longitud interior 3,10 m -

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal	
		Interior	exterior	Interior	exterior
Losa	70	Ø20c/20 cm	Ø20c/20 cm	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm

Armadura transversal		
Diámetro	Sep. Vertical	Sep. Horiz.
-	-	-

Solera Foso 4,50 x 4,45 m

Planta	Espesor (cm)	Armadura inferior	Armadura superior
		Losa	50

Con separadores de malla de 25 cm

Tabla 3.3: Armadura Antepozo

El tipo de hormigón a emplear será idéntico al de la losa, que se detallará en el apartado siguiente.

En la fotografía adjunta se observa la construcción de unos antepozo de carácter similar.



Figura 3.7: Construcción antepozos ,Fuente:Phototheque Semhach –Francia-

3.2.3. Losa de perforación y drenajes

La losa superior se cimentará sobre un saneo previo de aprox de 50 cm, rellenándose y compactándose con piedra de voladura.

Esta estará constituida por una placa de hormigón con una superficie aproximada de 735 m² y un espesor de de 30 cm con el armado para soportar la solitud de cargas de la torre de perforación siguiendo las directrices de la empresa perforadora seleccionada.

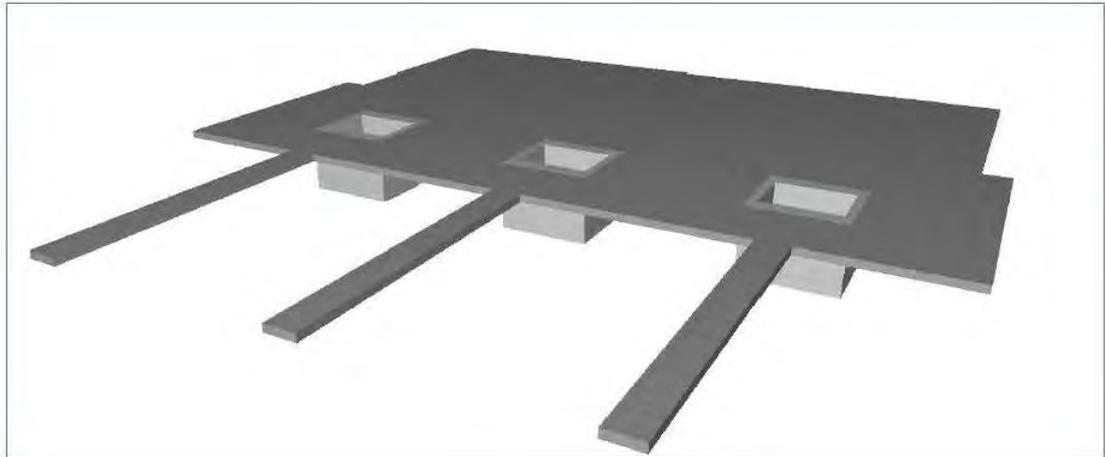


Figura 3.8: imagen 3D,placa hormigón ,Fuente: propia

Hormigón a utilizar

Resistencia característica a los 28 días.....	30 N/mm ²
Tipo de cemento	CEM I/32.5 N
Cantidad máxima de cemento	400/300 Kp/m ³
Tamaño máximo del arido	40 mm
Tipo de ambiente (agresividad).....	III a + Q b (ambiente salino)
Consistencia del hormigón.....	Plástica
Sistema de compactación.....	Vibrado

Acero en barras

Designación	B-500-S
Límite elástico	500 N/cm ²

El armado de la losa estará constituido por una armadura superior e inferior, consistente en doble parrilla de redondos B500 S de diámetro 12 mm cada 30 cm, con calzos de apoyo al terreno de aproximadamente 5 cm y con separadores de malla de 15 cm, cada 1 m, con un espesor del cemento de aproximadamente 5 cm del nivel superior de la losa a la armadura superior.

Adicional a esta malla principal, se dispondrá de un conjunto de refuerzos longitudinales y transversales, tanto inferiores como superiores de acuerdo al estudio de cargas a soportar por la instalación de la torre de perforación, la distribución de los mismo y el tipo de armadura adicional se detallan en los planos 2.2 y 2.3 (Armadura longitudinal inferior y refuerzo inferior, y Armadura transversal inferior y refuerzo inferior)

En forma perimetral al conjunto de los tres antepozos, se ha dispuesto la inserción en la losa de hormigón de un canal prefabricado monolítico, de hormigón polímero con rejilla incorporada, en un cuerpo único, para cargas medias o altas, especialmente diseñado para tránsito intenso de vehículos pesados, de 15 cm de ancho útil y 22 cm altura, para la recogida de efluentes ya sea durante la fase de perforación como durante la explotación del sondeo.

Esta canal será del tipo antivandalico en su totalidad, salvo en las cuatro esquinas, que se dispondrá de un tramo con rejilla de acero fundido desmontable, que permita la limpieza de la canal si fuese necesario.

Así mismo se ha dispuesto a lo largo de este canal perimetral, la instalación de 5 arquetas de 50 x 50 cm, con marco de acero inoxidable (aisi-316) y tapa-rejilla articulada, construida en llanta de 40 x 4 mm con separación entre llantas de 20 mm también en acero inox (aisi 316).

Estas arquetas a su vez estarán interconexionadas (ver plano 4.1-Arqueta,desagüe-) por una tubería de PVC, tipo saneamiento de Ø 250, y desde la arqueta final situada en un extremo, partira una tubería de idénticas característica de Ø 300 mm hasta el punto de construcción del foso de recogida de efluentes que se detallará a en el apartado siguiente.

También se dispondrá de una conexión entre cada uno de los antepozos a su arqueta más cercana, con un tubo rectangular de 200 x 100 que hara la veces de rebose del foso.

La pendiente de estas canalizaciones será del 2%, mínima pendiente exigida por CTE DB-HS5 para tuberías hormigonadas enterradas.

La zona contigua a ambos lados del canal de recogida en todo su perímetro y con una anchura a ambos lados de 2 mts , tendra una pendiente de un 1,5 % con inclinación hacia la propia canal, para garantizar la recogida de cualquier efluente.

Previamente al emparrillado y/o hormigonado de la plaza, se instalarán las acometidas de tuberías (agua-salmuera) y las canalizaciones eléctricas o de señales de control a cada una de los antepozos.

Estas infraestructuras no tendrán uso durante la fase de perforación, pero su instalación será necesaria para la futura explotación del sondeo, por lo que se hace necesario preveer las mismas a la hora de diseñar el conjunto de la base del emplazamiento.

El desarrollo y disposición de esta acometidas se detalla en los apartados siguientes de instalación de tubería e instalación de líneas eléctricas.

3.3. FOSO DE RECOGIDA DE EFLUENTES

Se ha previsto la instalación de un foso de recogida de efluentes, en un extremo de la plaza, en una ubicación que no interfiera en la disposición del equipamiento de la perforación, tomando la consideración que el mismo quede dentro de la plaza final de sondeo, pues según se ha mencionado la plaza de perforación sufre un recorte en cuanto a dimensiones para ajustarla a las menores necesidades de la explotación.

El objetivo de este es doble, retener cualquier vertido indeseado que se produzca en el trascurso de la perforación, así como a lo largo de la explotación del sondeo: salmueras, lodo de perforación, carburante, aceites etc.

Las dimensiones exteriores del mismo serán de 4,5 x 3,5 x 2,5 metros con un tabique intermedio abierto por abajo (aproximadamente 30 cm) que hará las funciones de separador de grasas.

A este se reconducirán el colector de recogida de efluentes de la arqueta extrema del canal perimetral de la plaza, según se ha mencionado en el apartado anterior.

El volumen de recogida útil será aproximadamente 25 m³ suficiente para recoger el agua de lluvia de la plaza para una pluviometría de aproximadamente 30 l/h.

El tipo de hormigón será del mismo tipo que el de la plaza del sondeo HA-30 III + Qb (ambiente salino) y la disposición de la armadura según la tabla:

Pantalla Foso -Longitud interior 4 m

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal	
		Interior	exterior	Interior	exterior
Losa	25	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm

Pantalla Foso -Longitud interior 3 m

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal	
		Interior	exterior	Interior	exterior
Losa	25	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm	Ø12c/20 cm

Solera Foso 4 x 3 m

Planta	Espesor (cm)	Armadura inferior	Armadura superior
		Losa	25

Con separadores de malla de 14 cm

Pantalla Separador Foso -Longitud interior 3 m -

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal	
		Interior	exterior	Interior	exterior
Losa	20	Ø10c/20 cm	Ø10c/20 cm	Ø10c/20 cm	Ø12c/20 cm

Tabla 3.4: Armadura Foso Efluentes

En la parte superior del foso se dispondrá de un marco de angular de acero inox AISI 316, de 50 x 50 x 5 mm solidario con el hormigón, sobre el que se asentarán una vez concluido la ejecución del foso, un conjunto de cuatro rejillas de 4 x 1 metros, contruidas con marco de llanta de acero al carbono de 40 x 4 mm, e interior con redondo de Ø 20 x 50 mm en forma longitudinal, con un refuerzo trasversal del mismo material cada 1 metro. En una de las rejillas y en una esquina se practicará una ventana abisagrada del mismo material de 400 x 400 mm.

El nivel superior del foso esta aproximadamente 10 cm por encima del nivel final de cota del conjunto de la plaza para evitar la entrada de elementos del suelo: gravilla.etc.

3.4. INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍA DE EXPLOTACIÓN.

El emplazamiento ha de ser equipado con servicios, tanto para su utilización durante la perforación, como para el desarrollo de la explotación.

Un servicio básico será equipar al sondeo de una red de agua y salmuera.

3.4.1 Tuberías de acometida al emplazamiento

En todo el campo de explotación existen básicamente tres tipos de redes de tuberías:

- Red de tuberías para agua industrial, trabajando a una presión de red máxima de 42 Kg/cm². Red de inyección de agua a los sondeos durante la explotación de estos.
- Red de tubería de salmuera saturada, con una presión de trabajo desde 0-3 kg Kg/cm². Red salida de la salmuera saturada de los sondeos en explotación con salida libre a la reserva de alimentación de la fábrica de Solvay.
- Red de tuberías de salmuera débil (salmuera con un grado de concentración inferior a 310 gr/l), con una presión de trabajo desde 0-3 kg/cm². Red de salida de la salmuera de los sondeos denominados en formación, que son aquellos que por su pequeña cavidad y por tanto por la poca permanencia del agua inyectada dentro de la cavidad, no llegan a dar en la salida salmuera saturada (aproximadamente 310-318 gr/l). Hay que indicar que esta salmuera se reconduce a unos depósitos para reinyectarla en otros sondeos para la obtención final de salmuera saturada.

La disposición actual de esta red de tubería está basada en una distribución radial, tomado como punto central la sala de bombas de Sondeos, estos brazos radiales a su vez están interconectados, con el fin de garantizar el mantenimiento de la producción ante cualquier incidencia de un punto de la red, pues mediante juegos de válvulas se puede aislar una pequeña parte de la distribución afectada por una incidencia y reconducir la producción por otro ramal para minimizar el incidente y mantener la producción.

Por lo que los colectores generales (exceptuando los pequeños ramales de fin de línea o fondo de saco) se diseñan contemplando la posibilidad que el caudal máximo previsto pueda circular por este colector, con independencia que en un régimen normal esté trabajando por debajo de su capacidad nominal.

Inicialmente se debe estudiar los posibles puntos de conexión existentes más próximos, para tomarlos como partida o prolongación de la línea.

Realizando un análisis de la zona, lo más factible es realizar una prolongación de los colectores existentes junto al emplazamiento 2003, (que actualmente son fin de línea), pues la distancia es aproximadamente de tan solo 150 metros.

Análisis de los tres tipos de tuberías a instalar:

- Red agua a presión: La tubería existente en el punto previsto de conexión, es una tubería de acero Ø 14 “(355,6 mm) API 5L Estándar (espesor de pared 9,52 mm) calidad A-53 recubierta de polietileno s/DIN 30670 con un espesor final del recubrimiento mínimo de 2,2 mm.



Figura 3.9: Tubo acero y Pe. Fuente: Internet alibaba.com

Se procederá a verificar que la tubería existente es idónea para el tipo de fluido y presión de red.

Tipo de fluido: agua industrial aprox. 5-25° C

El espesor teórico requerido viene determinado por:

$$e_o = (D \times P) / (200 \times (K/S))$$

Donde:

D= Diámetro exterior del tubo -mm- en nuestro caso 355,6 mm

P= Presión máxima interna -Kg/cm²- Ídem anterior 42 Kg/cm²

K = Límite de fluencia o elástico (kg/mm²), Ídem anterior 209 kg/mm²

S = Coeficiente de seguridad, tomando 1,5

Obteniendo un espesor mínimo requerido de:

$$e_o = 6,07$$

Y considerando un suplemento de compensación adicional de 1 mm por tolerancias y 1 mm por corrosión y desgaste, el espesor obtenido es:

$$e = 8,07 \text{ mm}$$

Este espesor requerido por la instalación es inferior a la tubería existente.

Por otro lado, hemos de considerar el aspecto del dimensionado de la tubería, la existente posee un diámetro interior de 336,56 mm, y tomando en consideración que el caudal máximo previsto, como ya se ha expuesto podría llegar a ser en casos puntuales, la totalidad de la producción prevista máxima de 800 m³/h.

Dando una circulación de 222,22 l/seg y considerando que la tubería tiene una capacidad de 88,96 l/m por lo que la velocidad será de:

$$2,49 \text{ m/ seg}$$

Velocidad que entra dentro del rango de 2-3 m/ seg que se considerará como régimen idóneo de funcionamiento.

Como la tubería existente cumple con la especificaciones técnicas requeridas, la prolongación de esta tubería hasta el nuevo emplazamiento, se realizará con una tubería de características idénticas, además se ha considerado que este emplazamiento por su disposición no va a ser un ramal de fondo de saco, lo que podría haber permitido una disminución del diámetro de la tubería, sino que va a ser a constituir una prolongación del ramal de distribución, con opciones futuras de alimentación a nuevos emplazamientos, conforme avance el campo de explotación.

El tendido de la nueva tubería a instalar discurrirá de forma subterránea, al igual que la tubería existente, hasta prácticamente llegar al nuevo emplazamiento, donde pasará a un tendido en superficie sobre caballetes, con el fin de realizar en este tramo final aéreo (aproximadamente 25 m) las derivaciones de salida para cada uno de los sondeos proyectados, y permitir instalar en superficie toda la valvulería individual para cada uno de los sondeos: válvulas de entrada al sondeo, los medidores de caudal, válvula de retención etc..

Condiciones del montaje de la tubería:

- Las uniones de los tubos se realizarán con soldadura a TIG con método de soldadura homologado para este tipo de tuberías.
- Todas las soldaduras serán radiografiadas para garantizar la calidad de estas.
- Todas las soldaduras serán encintadas con banda de polietileno para garantizar su aislamiento siguiendo las recomendaciones del fabricante.

- Durante el montaje se pondrá especial atención en no dañar el recubrimiento de polietileno.

El montaje de este tipo de tubería de acero recubierto de polietileno se debe a la necesidad de proteger la tubería frente a la corrosión. Toda la red enterrada existente dispone de un sistema de protección catódica, con fuentes de corriente, que necesitan para su buen funcionamiento un buen aislamiento eléctrico de la tubería a proteger. Esta prolongación de la red implicará en un futuro estudiar la necesidad de ampliar o no las fuentes de corriente, pero no es objeto de este trabajo fin de grado.

➤ Red de Salmuera saturada

La tubería existente y sobre la que se va a realizar la conexión para este tipo de fluido es una tubería de DN- 400 de PE-100 de un PN-6 ($\text{Ø}_{\text{int}}= 369,4 \text{ mm}$). Igualmente, enterrada.

La presión de trabajo de la tubería según se ha expuesto es aprox. como máximo de 3 Kg/cm^2 , la presión en este caso viene determinada por la presión de salida de la salmuera del sondeo y el punto de llegada del colector a la reserva de salmuera que alimenta fábrica, manteniéndose aprox. constante en estos valores.

En cuanto al dimensionado de la tubería (Ø) se puede tomar en consideración lo expuesto en el apartado anterior para la tubería de agua.

Obteniendo una velocidad de circulación para la misma de 2,1 m/seg igualmente aceptable.

La elección de este tipo de tubería frente a una de acero se debe en base a los siguientes aspectos:

- Presión de trabajo pequeña (las tuberías de PE para presiones de más de 25 kg/cm^2 son inexistentes).
- Durabilidad
- Ausencia de corrosión
- Menor pérdida de carga
- Facilidad y rapidez de montaje (aproximadamente 1/5 parte con respecto a una tubería convencional de acero soldada).
- Más económica frente al acero

Por lo que la solución adoptada es de continuidad con lo existente.

Este tipo de tuberías tiene por el contrario un inconveniente, es que no permite su utilización en superficie, por lo que en este caso al ser el trazado idéntico al de la red de agua, antes de emerger la tubería a la superficie, en su parte final, se tendrá que realizar un cambio a tubería de acero recubierta de polietileno (idéntica a la expuesta para la red de agua).

El montaje de esta tubería se llevará a cabo por soldadura a tope de fusión, exceptuando el punto de conexionado con el colector existente que se realizará con manguito termosoldable para facilitar y simplificar esta operación.

➤ Red de salmuera débil

La tubería existente y sobre la que se va a realizar la conexión para este tipo de fluido, es una tubería de DN-250 de PE-100 de un PN-6 ($\varnothing_{int} = 230,8$ mm). Igualmente, enterrada.

La presión de trabajo de la tubería al igual que en caso anterior es aprox. como máximo de 3 Kg/cm^2 , la presión en este caso viene determinada por la presión de salida de la salmuera del sondeo y el punto de llegada del colector a la reserva de salmuera de reinyección, manteniéndose aprox. constante en estos valores.

En cuanto al dimensionado de la tubería (\varnothing), se considera que el caudal máximo a circular por esta es de $320 \text{ m}^3/\text{h}$, por lo que la velocidad será:

En este caso de $2,12 \text{ m/sg}$

Valor que se ajusta también al régimen idóneo de funcionamiento ($2-3 \text{ m/seg}$).

Por tanto, se optará por utilizar el mismo tipo de tubería que la existente.

En cuanto a las condiciones del tendido y del montaje de este colector, serán de aplicación los mismos puntos indicados que en la red de salmuera saturada, (tubería de PE) expuestos en el punto anterior.

El trazado de estos tres tipos de tuberías se realizará sobre una zanja de 2 m en su base inferior y de $2,60 \text{ m}$ en la superficie, con una profundidad de $1,30 \text{ m}$. Si se detectara una inestabilidad de la zanja en alguna zona será necesario incrementar el talud de esta. Considerando que el montaje de la tubería de PE se realiza en su totalidad (exceptuando el punto de acometida a la antigua tubería) en superficie, y el montaje de la tubería de acero también se puede realizar parcialmente en superficie, en tramos de aproximadamente $45-50$ metros, siendo el número de soldadura a realizar en zanja mínimo, la necesidad de ampliar la zanja por inestabilidad parece poco probable.

Sobre el fondo de la zanja y para facilitar el asentamiento de las tuberías se dispondrá de un lecho de arena de aproximadamente 10-15 cm, que servirá de protección frente a daños que pueda causar piedras o elementos cortantes tanto en la tubería de PE, como en el recubrimiento de polietileno de la tubería de acero.

Las tuberías irán distribuidas en la zanja manteniendo una separación entre ellas de aproximadamente 30 cm y 20 cm con respecto al talud de la zanja las de los extremos.

El conjunto de tuberías irá recubierta a su vez por un manto de arena hasta una altura aproximada de 20 cm por encima de la tubería de mayor diámetro. Se pondrá especial atención en la compactación de los “riñones” de la misma.

El resto de la zanja podrá rellenarse con terreno de la propia zanja si bien se eliminarán todos aquellos elementos que se puedan considerar cortantes, tipo piedras de grandes dimensiones etc.

Previamente al tapado de las tuberías se tomará topográficamente todo el trazado y para cada una de las tuberías, de cara a futuras intervenciones en ellas.

El trazado de estas tuberías como ya se ha indicado partirá de las tuberías fin de línea existente junto al emplazamiento 2003, atravesará el camino denominado “Pérez del Molino” hasta llegar a la plaza proyectada donde saldrá a la superficie en su tramo final de aprox. 25 m. Una vez atravesado el camino mencionado anteriormente el trazado discurrirá paralelo al camino de acceso a la nueva plaza.

Las tuberías de salmuera, tanto la débil como saturada, de PE, antes de aflorar a la superficie se efectuará un cambio a tuberías de acero recubiertas de polietileno, mediante la instalación de unas bridas de conexión entre ambos tipos de tuberías.

La tubería de salmuera saturada pasará a ser de tubería de acero Ø 14 “(355,6 mm) API 5L estándar, idéntica a la de agua, y la tubería de salmuera débil pasará a ser tubería de acero Ø 10 “(273,05 mm) API 5L estándar.

Ya en superficie las tuberías irán soportadas por unos caballetes situados aprox. cada 6 metros, contruidos de perfil en doble T de 100 mm con una anchura útil de 1 m, hormigonados al terreno, con el perfil sobre el que van a apoyar las tuberías a una altura sobre el nivel de la plaza de 40 cm.

Esta altura permitirá que todas las derivaciones que se tengan que efectuar para los 3 sondeos, considerando la adicción de válvulas, medidores de caudal, etc. necesarios para la explotación futura de los sondeos, queden a un nivel ergonómico de trabajo, para así poder realizar en las mismas cualquier maniobra o visualización de parámetros etc.

También se ha previsto realizar un injerto a la tubería de Pe de salmuera de bajo grado, a la altura de la plaza. Esta derivación se efectuará mediante la instalación de una T de pe reducida, termo soldable de Ø 250-100 mm, con un tramo de tubería de Ø 100 de tubería de pe, hasta el foso de recogida de afluentes construido, con tope-bridado como final de esta derivación.

El objetivo de este apéndice no será otro que facilitar la evacuación de las aguas que fluyan hasta el foso, para su posterior reinyección en los sondeos de la explotación.

3.4.2 Tuberías de acometida a la cabeza del sondeo

Como ya se ha mencionado previamente al hormigonado de la losa, se instalarán las dos tuberías individualizadas de entrada (tubería de agua) y salida (tubería de salmuera) para cada una de las futuras cabezas de sondeo, desde el ante pozo hasta el colector general aéreo expuesto en el apartado anterior.

Las mismas, serán tuberías de acero Ø 5 “(141,3 mm) API 5L Estándar (espesor de pared 6,55 mm) calidad A-53 recubierta de polietileno s/DIN 30670 con un espesor final del recubrimiento mínimo de 2,2 mm. La elección de este tipo de tubería se realiza en base a la continuidad del diámetro del casing de explotación de los sondeos proyectados (col. central de Ø 5 “y col. anular de Ø 7 5/8”).

Estas irán embebidas en el hormigón de la plataforma, a la profundidad mínima que permita salvar por debajo el canal prefabricado perimetral previsto en la losa (aproximadamente 22 cm), y separadas entre ejes 50 cm, continuando de forma subterránea en la plaza en dirección a insertar al colector general diseñado.

La conexión de estas tuberías con el colector general se hará en superficie, por lo que estas deberán aflorar previamente a la intersección con el colector general, con la distancia suficiente que permita la instalación en este tramo aéreo de las válvulas de regulación de caudal, válvulas de bypass (salmuera débil/salmuera saturada), válvulas de retención, medidor de caudal, medidor de densidad etc.

Este conjunto de equipamientos, no se instalará en esta fase, sino una vez finalizada la perforación de estos, entrando a formar parte del equipamiento y puestas en marcha de los sondeos, que no es objeto de este trabajo.

El motivo por el que este equipamiento no se ha previsto instalar en la fase de construcción del emplazamiento, está en base a que las dimensiones de estos elementos restringiría la zona de plaza, restando espacio disponible para la disposición de la torre de perforación, lo que obligaría a realizar una plaza mucho más amplia, con el consiguiente costo económico, hay que señalar como ejemplo que los medidores de caudal requieren unas condiciones técnicas de instalación, de tubería recta agua arriba y agua abajo que puede implicar una longitud necesaria de más de 3 metros .

En el plano 5-Tuberías de salmuera débil, saturada y agua- se detalla el trazado y detalles más significativos del tendido de las nuevas tuberías.

3.5. INSTALACIÓN ALIMENTACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA

3.5.1 Elección del tipo de conductor

Para el diseño de la alimentación de energía eléctrica del emplazamiento, tan solo se van a considerar las impuestas por las necesidades futuras de la explotación, pues diseñar la acometida eléctrica con los requisitos para alimentar los equipos de perforación son inasumibles por la potencia requerida.

Los equipos de perforación, por su despliegue habitualmente en el campo, están concebidos o preparados para una alimentación eléctrica en base al uso de grandes grupos generadores, disponiendo de los mismos de forma duplicada o incluso triplicada. Pues una falta de energía eléctrica puede ocasionar la parada de la perforación con el riesgo de quedar atrapada la sarta de perforación y la consiguiente pérdida del sondeo, con el coste que esto implicaría.

La distribución actual de energía eléctrica se basa en una red aérea de alta tensión (A.T.) (12000 V), con inicio en la subestación situada en la sala de bombas de sondeos, que atraviesa toda la explotación, a lo largo de esta línea se disponen de varios centros de transformación aéreos, desde los que se ramifican las alimentaciones ya en baja tensión (380 V III + neutro) a los diversos sondeos colindantes, así cada transformador aéreo da servicio a un área de aproximadamente 350 m de radio alrededor del mismo, conforme avanza la explotación se va prolongando la línea aérea de A.T.

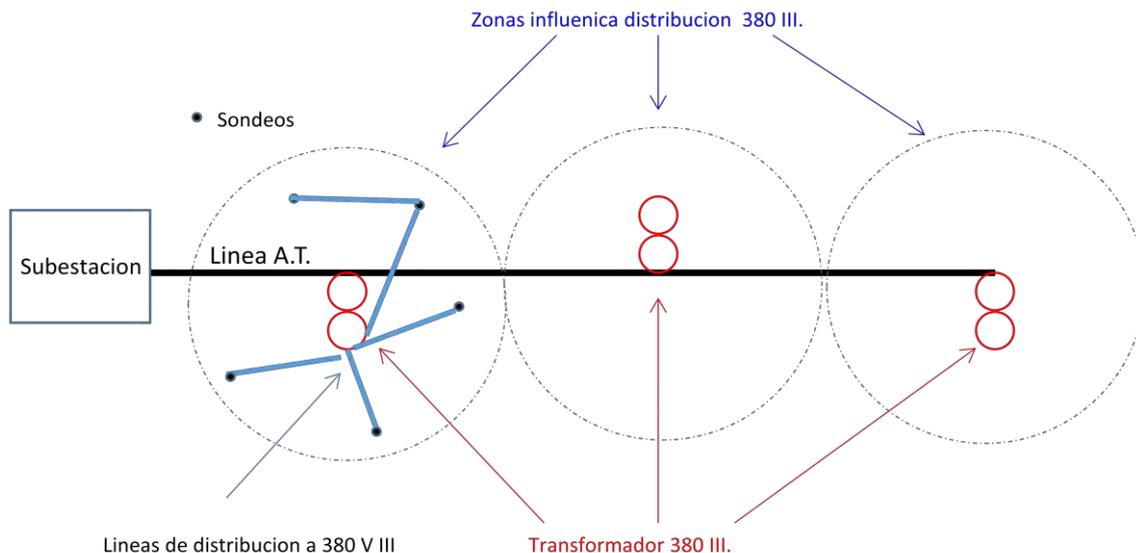


Figura 3.10: Esquema tipo distribución energía eléctrica, Fuente: Propia

En primer lugar, para diseñar esta acometida eléctrica se debe de fijar el consumo máximo estimado durante la explotación de los sondeos, se considerarán todos los elementos que podrían conectarse simultáneamente para establecer la potencia máxima de cálculo (caso más extremo y por otro lado improbable):

- Equipo camión Logging 1: 14 KVA
- Equipo camión Logging 2: 14 KVA
- Bomba móvil: 12 KVA
- Otros usos: 8 KVA

En total se puede considerar un consumo máximo de 48 KVA.

Para la selección del cable a instalar se considera básicamente dos conceptos, la intensidad permisible para el cable y la caída de tensión ocasionada por el tendido.

Por lo que la intensidad máxima para la selección del cable será:

$$P = \sqrt{3} * 380 * I$$
$$I = \frac{48000}{\sqrt{3} * 380} = 73 \text{ Amperios}$$

Esta sección es soportada por cualquier cable con una sección superior o igual a 16 mm².

Por otro lado, hay que cumplir que la caída de tensión de la línea de acometida proyectada cumpla con la ITC-BT-19, en el punto 2.2.2 “Sección de los conductores Caídas de Tensión”, que establece que para instalaciones industriales que se alimenten directamente de alta tensión mediante un transformador de distribución propio, se considera que la instalación interior de baja tensión tiene su origen en el transformador. En este caso las caídas de tensión máximas admisibles serán del 4,5% para alumbrado y del 6,5% para los demás usos.

Así el valor máximo admisible de caída de tensión para dicha instalación aplicando el 6,5% será de 24,7 V.

Como punto de partida de esta nueva alimentación se ha seleccionado un cuadro de distribución próximo al sondeo 2003 (contiguo a las tuberías fin de línea sobre las que se ha proyectado también la prolongación a esta nueva plaza).

La distancia desde el transformador hasta este cuadro de distribución es de 160 metros, con un tendido existente de cable trifásico RV-K 0,6/1 KV de 4 x 95 mm², más toma a tierra (T.T.), a lo que habrá que sumar la longitud de la línea proyectada que es de 150 metros.

Además, se va a tener en cuenta para la elección del cable, la posibilidad de una futura extensión de la línea en baja tensión (B.T.) en otros 150 metros para la prolongación del campo de explotación con nuevos sondeos.

La caída de tensión vendrá determinada por:

$$\Delta V = I * D * \Delta V_c$$

Donde:

I= Intensidad -A-

D= Distancia -Km-

ΔV_c = Caída de Tensión del tipo de conductor en V/A por Km

Se contempla la posible instalación de varios tipos de secciones de cables cuyas características son:

TIPO CABLE	CAIDA TENSIÓN (V/A.KM)	INTENSIDAD ADMISIBLE -A-
4 x 35	1,73	122
4 x 50	0,86	144
4 x 70	0,603	178
4 x 95	0,457	211

Tabla 3.5: Características cables

La caída de tensión en el tramo existente es invariable, fijada por el tipo de cable ya instalado, la intensidad considerada y la distancia al punto de partida (al transformador de línea). Hay que indicar que no se ha tenido en cuenta el consumo adicional en este tramo inicial, pues se ha considerado todo el consumo en la parte final del tendido proyectado, que es el caso más desfavorable).

$$\Delta V = 73 * 0,160 * 0,457 = 5,33 V$$

La caída de tensión para el tramo proyectado, más la previsión para una futura prolongación del campo (150 metros adicionales), proporciona una caída de tensión según el tipo de cable:

Cable de 4 x 35 mm²

$$\Delta V = 73 * 0,300 * 1,73 = 37,88 V$$

Siendo la caída de tensión total para este tipo de cable de $\Delta V_T = 43,21 V$

Cable de 4 x 50 mm²

$$\Delta V = 73 * 0,300 * 0,86 = 18,83 V$$

Siendo la caída de tensión total para este tipo de cable de $\Delta V_T = 24,16 V$

Cable de 4 x 70 mm²

$$\Delta V = 73 * 0,300 * 0,457 = 10 V$$

Siendo la caída de tensión total para este tipo de cable de

$$\Delta V_T = 15,33 V$$

Como puede observarse, la instalación de un cable RV-K 0,6/1 KV de 4x50 mm², más toma a tierra, daría una caída de tensión de 24,16 V que cumpliría con la máxima permitida.

Si se tuviese constancia, de la posibilidad futura de un número mayor de proyectos de ampliación del campo de sondeos, en la zona adyacente, se tendría que recalcular este parámetro contemplando el aumento de longitud de la línea y por tanto de la caída de tensión, para así evitar la necesidad al menos de momento de prolongar la línea de A.T. que vertebra el campo de sondeos.

3.5.2 Tendido del cable

El inicio del tendido eléctrico se realizará desde un cuadro de distribución existente, situado en las inmediaciones del S-2003, en el que se instalará un interruptor magnetotérmico de 100 A, con protección diferencial regulable, con el objetivo de proteger e independizar el nuevo trazado.

El tendido del cable se realizará de forma subterránea, aprovechando la zanja abierta para la instalación de las tuberías de acometida a la plaza, y a un costado de la misma, bajo la protección de un tubo corrugado de PVC Ø 150 mm, a una profundidad de aproximada 50 cm, con una envoltura de arena para evitar dañar el tubo, instalándose cada 40-50 metros una arqueta de control (de 50 x 50 x 50 de hormigón, con tapa tipo “telefónica”) para facilitar el tendido del mismo. Aproximadamente a 20 cm por encima del tubo de PVC se instalará una banda o cinta de señalización de al menos 20 cm de ancho con la inscripción “Atención línea eléctrica” o similar.

Al final del trazado se ha dispuesto la instalación de una caseta prefabricada de hormigón de 2600 x 2400 mm marca “Prephor” o similar, juntamente con dos arquetas una en lado de la puerta de acceso y otra en el lado trasero (de 100x500x 500 mm, con tapa de hormigo tipo “telefónica”), coincidiendo con las aperturas previstas en este módulo prefabricado para la entrada de los cables.

La idea de instalación de esta caseta no es otra que la centralización, de todos los armarios y equipamientos, tanto eléctricos como de mando y control necesarios para la futura explotación de los sondeos:

- Armario para la protección catódica de los sondeos y/o red de tuberías.
- Cuadros de distribución y protección en B.T.
- Autómata para el control de la instalación,
- Cuadro de distribución de la red de fibra óptica.
- Etc.



Figura 3.11: Caseta Prefabricada Prephor, Fuente: Propia

La caseta prefabricada se instalará próxima al punto donde emergen las tuberías en la plaza proyectada, donde será encajada en el terreno, siguiendo las instrucciones de montaje de la empresa fabricante.

Las arquetas adicionales además de ayudar al tendido de los cables serán el punto de partida para las canalizaciones que se van a proyectar para la futura automatización o servicios necesarios para la explotación.

Con el fin de separar el tendido propiamente eléctrico (alimentación, motores/válvulas, etc.) del tendido de señales, de la cabeza del sondeo (medida de presión, etc.), se ha dispuesto dos canalizaciones independientes, de acometida a la zona de válvulas y a la cabeza de sondeos, para evitar interferencias entre los cables, a pesar de que en los cables de señal se utilicen cables apantallados. (Ver plano 6.1-Canalización de electricidad y comunicaciones a cabeza pozos-)

3.5.3 Cuadro de Distribución

Se ha previsto la instalación de un cuadro básico de distribución en el interior de la caseta, cuyo fin será disponer de proteger a las tomas de corriente exteriores tanto en 380 (III) como en 220 (II). Dichas tomas, tendrán un uso residual durante la perforación, estando más enfocadas a uso posterior en la explotación.

Se dispondrán de tres tomas de corriente de 380 V - III de 32 A, IP6, y de dos tomas exteriores de 220 V bipolares.

Dentro del armario se instalarán tres magnetotérmicos de 32 A con diferencial, dos de los cuales no darán servicio a las tomas de corriente anteriormente citadas, y la otra restante quedará en reserva (a la espera de un futuro uso durante la explotación). Además, se han dispuesto de tres magnetotérmicos con diferencial bipolar de 220 de 16 A, uno de los cuales será para utilizado para una toma exterior bifásica, además de otros dos de reserva para otros usos.

Con vistas a un aumento de las necesidades futuras, el armario de distribución se dimensionará de tal modo que disponga de varios elementos vacíos, que permitan en un futuro disponer de más salidas, para otros usos distintos a los ya previstos, además de los de reserva ya considerados.

3.5.4 Instalación línea de comunicación

Al igual que en el tendido de línea de corriente eléctrica, descrito en el apartado 3.5.2, se ha previsto la instalación una tubería corruga de PVC de Ø 80 mm (más pequeño que el contemplado en el tendido eléctrico, debido a la menor sección del cable de comunicación, fibra óptica, etc.). Este se situará en el costado contrario de la zanja al dispuesto para la línea eléctrica.



La protección de la canalización seguirá las mismas pautas que lo dispuesto para la línea eléctrica, salvo la cinta de señalización de esta, que indicará la existencia línea de comunicaciones.

Debido a la menor sección del cable, la disposición de las arquetas de tendido y control se realizarán aproximadamente una de otra a unos 60-70 metros.

Ambas líneas, la de corriente eléctrica y la de comunicaciones, parten del mismo punto (cuadro de distribución contiguo al sondeo 2003) y finalizan en la caseta prefabrica proyectada, en la cual se instalarán en el futuro todos los elementos tanto eléctricos como de control, necesarios para la explotación de los sondeos.

4- DISPOSICIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN -CONTROLES INICIALES-

El diseño de la plaza en cuanto a dimensiones, disposición de los antepozos, estructura de la losa de hormigón, etc., se realizarán en base a las necesidades del equipo que va a ejecutar la perforación.

Como ya se ha indicado, las características de las torres de perforación existentes en el mercado, para la ejecución de este tipo de sondeos con los parámetros de profundidad (aproximadamente 1500 metros), diámetro de perforación ($\text{Ø } 20''$ a $\text{Ø } 12 \frac{1}{4}''$) y con trayectoria desviada en forma de S, son equipos de características muy similares, suelen tener una capacidad de perforación hasta una profundidad aproximada de 2500 metros, con un diámetro de perforación aproximadamente hasta $\text{Ø } 30''$, por lo que la disposición del mismo prevista en este trabajo fin de grado, se ha realizado para a un equipo que se podría considerar estándar.

Básicamente la implantación del equipo se realiza siguiendo una norma básica, instalar todos los elementos de la perforación de tal manera, que según se avance en la consecución de estos y se tenga que cambiar de pozo, se mueva la menor cantidad de maquinaria y elementos posibles, lo que con lleva a un ahorro de tiempo con el consiguiente ahorro económico.

Por lo tanto, se dispone que los elementos como balsa de lodos, vibro tamices, tanques de combustible, grupos generadores, bombas, etc., se sitúen al final de la plaza, de forma contigua al último sondeo a perforar. Además, la caseta del geólogo y la del lodista, se situarán cerca de las balsas de lodos y detritus para así facilitar y agilizar en la medida de lo posible su trabajo.

Otros elementos tales como los silos de cemento, caseta del equipo direccional, suelen ir próximos a la estructura de la torre y acompañan a la misma en sus desplazamientos entre sondeos, en la figura 23, se puede observar un diagrama general de bloques de la distribución aproximada o tipo de todo el conjunto.

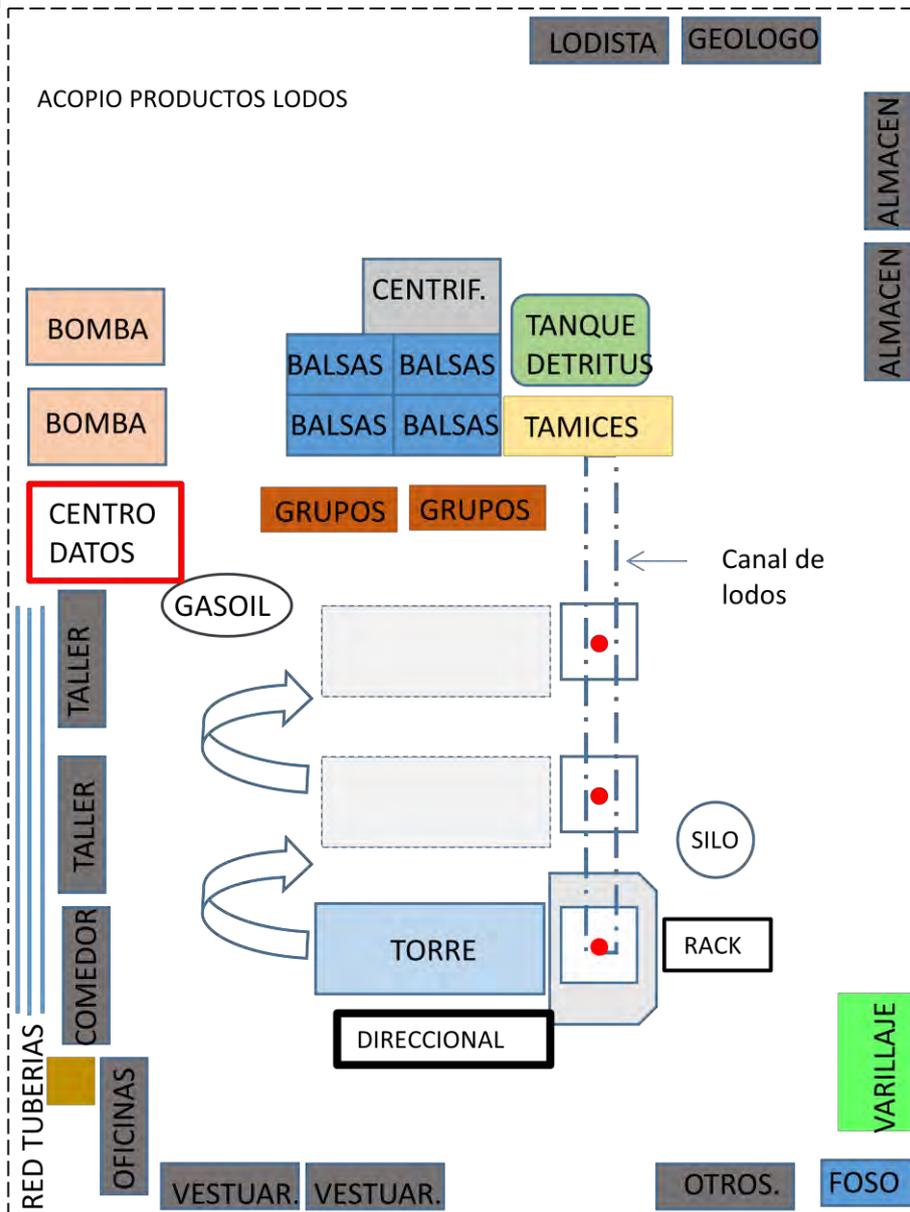


Figura 4.1: Diagrama General Distribución-,Fuente: Propio

Se prestará especial atención a la hora de instalar el equipo, en aplomar perfectamente el eje de la estructura de la torre, con el eje del tubo del antepozo, una mala alineación entre ambos dará lugar a que durante las futuras maniobras de la sarta de la perforación la misma golpe constantemente contra las paredes del tubo del antepozo.

Una vez dispuesto todo el equipamiento, y previamente al inicio de los trabajos propios de la perforación, por parte de la empresa perforadora como responsable del conjunto de las instalaciones, y tras un análisis y revisión de las mismas, extenderá un certificado de conformidad de las instalaciones.

Las compañías perforadoras disponen de un check-list para la ejecución de este tipo de operaciones. Así por ejemplo analizan:

- Conexiones de tierras.
- Ensamblado de bulones.
- Conexiones hidráulicas
- Protección caídas a otro nivel
- Línea de seguridad de mangueras hidráulicas.
- Protecciones de cuadros eléctricos y manguera eléctricas
- Control de certificados de inspecciones al día de elementos anexos contratados ,etc.

5- ESTRUCTURA DE LA PERFORACIÓN

5.1 PERFORACIÓN TELESCÓPICA

La perforación del sondeo se va a realizar de forma telescópica con la siguiente configuración

* Tubo conductor (ya instalado en la fase de construcción de la infraestructura de la plaza). Tubo de 660 mm de diámetro.

* Casing intermedio: cuyo objetivo es proteger el agujero en su fase inicial (terrenos menos consolidados, posible existencia de fugas, etc.) que a su vez será la base para la instalación del BOP (válvula de seguridad situada en el extremo superior del pozo, que permite cerrar el mismo, incluso con la sarta de perforación dentro del sondeo) durante la perforación. La profundidad de esta columna se determina en base a un equilibrio entre la necesidad de colocar el BOP lo antes posible para disponer de una válvula de seguridad del cierre del pozo, o profundizar más en la instalación de la columna para que el zapato de ésta soporte más presión ante el accionamiento o cierre del BOP. En nuestro caso se ha considerado una profundidad de instalación de 250 metros.

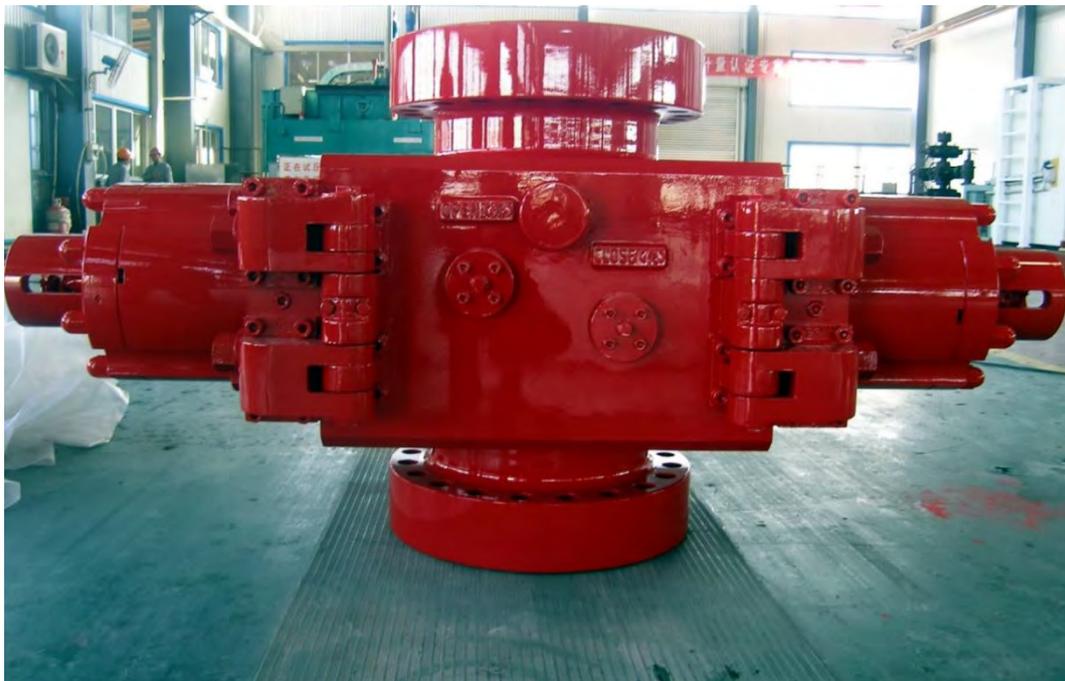


Figura 5.1: BOP-Fuente: sjpec.es

* Casing de explotación: que tiene por finalidad proteger todo el agujero, excepto la zona en la que se va a desarrollar la explotación (banco de sal), la profundidad de su instalación, dependerá de la previsión del techo de la sal en la zona a perforar, como se ha indicado, este se sitúa unos metros por debajo del techo de la sal localizada, para garantizar una zona por encima de él sin explotar, que haga las veces de viga de la cavidad inferior, que se formará a lo largo de la explotación.

5.2 COLUMNA CEMENTADA DE EXPLOTACIÓN

En primer lugar, vamos a verificar que la profundidad elegida para el zapato de la columna cementada de explotación va a soportar la presión de trabajo del sondeo (es muy importante garantizar que la presión no va a romper los terrenos en este punto, que es el más débil)

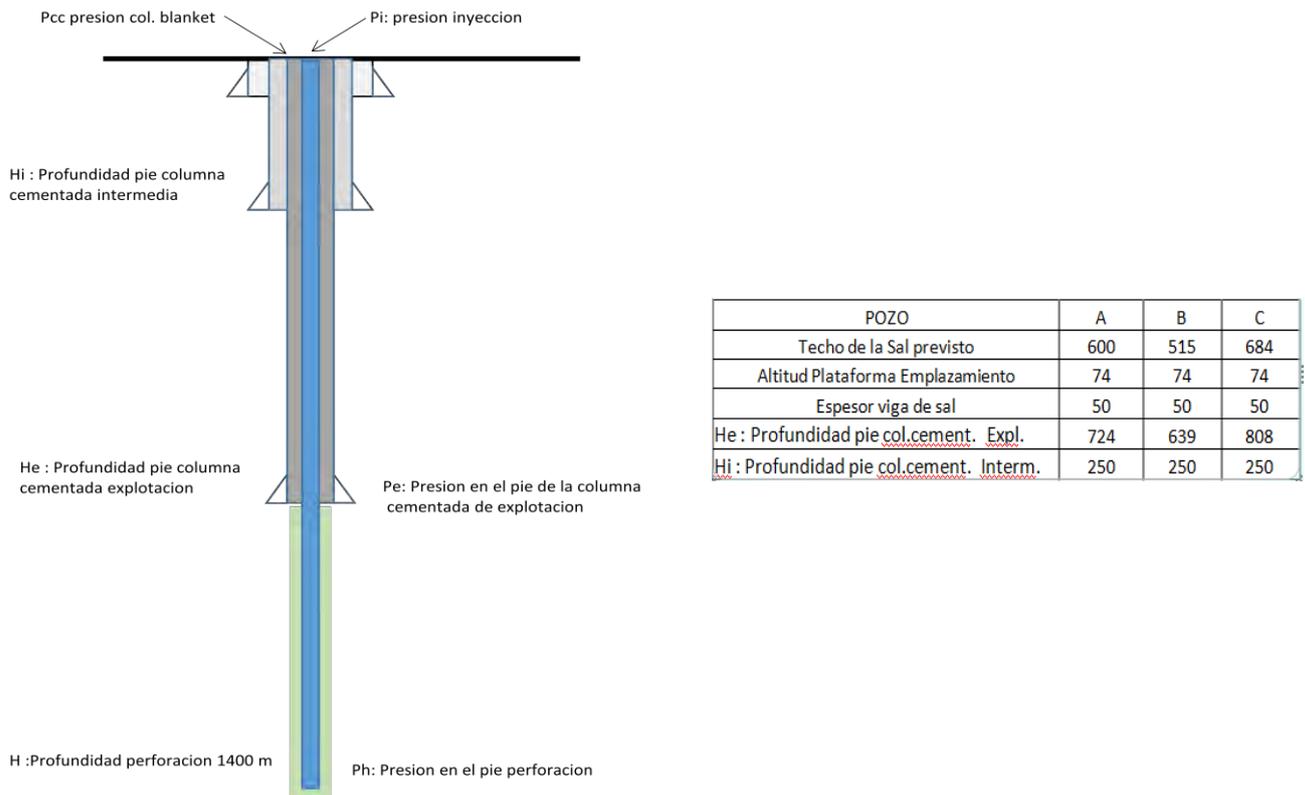


Figura 5.2: Esquema Entubación telescópica, Fuente: Propia

La presión en el punto más profundo del sondeo durante la explotación vendrá dada por la presión ejercida por la columna de agua en ese punto más la presión de cabeza de la inyección de agua ($P = H \times \text{densidad} \times g$)

$$p_H = (1400 \times 1000 \times 9,81) = 13,73 \text{ MPa}$$

$$P_i = \text{Presión de cabeza (presión de inyección)} = 4,118 \text{ MPa (42 kg/cm}^2\text{)}$$

$$P_T = \text{Presión en pie de la perforación} = 17,848 \text{ MPa}$$

Esta presión tendrá que ser compensada por la presión de la columna de blanket (gasóleo, densidad 0,85 kg/dm³) + la presión de cabeza de esta columna.

Así, la presión de la columna del blanket será

$$P_{cc} = 17,848 - (1400 \times 850 \times 9,81) = 6,17 \text{ MPa}$$

La presión en el zapato de la col. cementada de explotación para cada uno de los sondeos vendrá dada por la presión ejercida en este punto por la columna del blanket más la presión de cabeza de esta columna antes calculada.

Para el sondeo A con He (profundidad col. cementada explotación) de 724 m tendremos

$$P_e = 6,17 + (724 \times 850 \times 9,81) = 12,2 \text{ MPa}$$

Presión que tendrá que ser inferior a la presión geostática del terreno considerada de 0,023 Mpa por metro

$$P_{\text{geostática}} = 0,023 \times 724 = 16,6 \text{ MPa} \quad \text{lo que da un coeficiente de seguridad de 1,31}$$

Para el sondeo B con He (profundidad columna cementada explotación) de 639 m se obtiene:

$$P_e = 6,17 + (639 \times 850 \times 9,81) = 11,49 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{geostática}} = 0,023 \times 639 = 14,69 \text{ MPa} \quad \text{lo que da un coeficiente de seguridad de 1,27}$$

Para el sondeo C con He (profundidad columna cementada explotación) de 808 m se obtiene:

$$P_e = 6,17 + (808 \times 850 \times 9,81) = 12,9 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{geostática}} = 0,023 \times 808 = 18,58 \text{ MPa} \quad \text{lo que da un coeficiente de seguridad de 1,44}$$

A la vista de los resultados, en cualquiera de los tres sondeos la presión de trabajo al pie de la columna cementada, en la fase inicial de la explotación, que es cuando este valor es más elevado, es inferior a la presión geostática ejercida por los terrenos, considerando un coeficiente de seguridad de 20%.

Los cálculos se han realizado en base a las previsiones del techo de la sal y la profundidad final estimada, si estos parámetros variasen, habría que recalculas las profundidades de las columnas cementadas de explotación, verificado siempre al menos un coeficiente de seguridad del 10%. En el caso improbable que no se alcanzase este objetivo también se tendría la opción, para cumplir con esta condición la de profundizar más la columna de cementación y/o disminuir la profundidad final de explotación y/ o la de regular la presión máxima de cabeza de la inyección de agua.

5.3 DIÁMETROS DE LA PERFORACIÓN TELESCÓPICA

Una vez se verifica que la elección de las distintas profundidades de las columnas cementadas de explotación, cumplen con los requisitos de presión frente a la rotura de los terrenos, condición que es independiente de la elección de los diámetros de perforación y casing, se puede diseñar la estructura de los sondeos.

El diseño de un sondeo en forma telescópica se realiza de forma inversa al desarrollo de la perforación, es decir el punto de partida es siempre el diámetro requerido de la perforación en su parte inferior, que a su vez viene condicionado por el tipo de casing a emplear durante la explotación de estos.

El casing empleado en la actualidad en la explotación es:

- Casing central tipo Ø 5" API STC 5CT 13 lf/ft k55 (diámetro exterior con el mangón 5,563")
- Casing anular tipo Ø 7 5/8" API STC 5CT 26 lb/ft k55 (diámetro exterior con el mangón 8 1/2")

Cualquier cambio del diámetro de estos, supondría un coste económico extra para la empresa explotadora, en este caso Solvay, debido a que implicaría a su vez un cambio en el tipo de elevadores utilizados en las maniobras, de las llaves de apriete tanto manuales como las automáticas, de los slip de la mesa descensora de tubos, etc. ,salvo que este cambio implicase algunas contraprestaciones considerables (al aumentar el diámetro conseguir una disminución de las pérdidas de carga durante la explotación etc.).



Figura 5.3: Llaves de Apriete-Fuente: http://www.bigtoiltools.com/cavins_web.pdf

A esto habría que sumar que requeriría una duplicidad de almacenamiento de los tipos de casing (sondeos existentes y futuras perforaciones), estos durante la explotación se consideran un consumible, por la necesidad de reponer los que se deterioran en el desarrollo de la disolución, roturas, pérdida de tubos en la cavidad etc.

Por tanto, tomando en cuenta los puntos anteriores, el diámetro de la perforación en su parte inferior tendrá que ser suficiente para alojar al tubo de $\text{Ø } 7 \frac{5}{8}''$ ($\text{Ø } 8 \frac{1}{2}''$ incluyendo el mangón).

Haciendo uso del prontuario adjunto, le correspondería ejecutar la perforación para estar dentro de las recomendaciones, a un Ø de $10 \frac{5}{8}''$, pero para estos tipos de sondeos se debe de tener en cuenta que entre el agujero perforado, y el casing de explotación ha de existir un espacio suficiente que garantice a lo largo de la vida del sondeo, el paso sin problemas de blanket de explotación (según se expuso en el apartado 1.3) por lo que el diámetro de la perforación seleccionado es un nivel superior, es decir $\text{Ø } 12 \frac{1}{4}''$ para amortiguar cualquier reducción del espacio anular, hinchado de las arcillas etc.

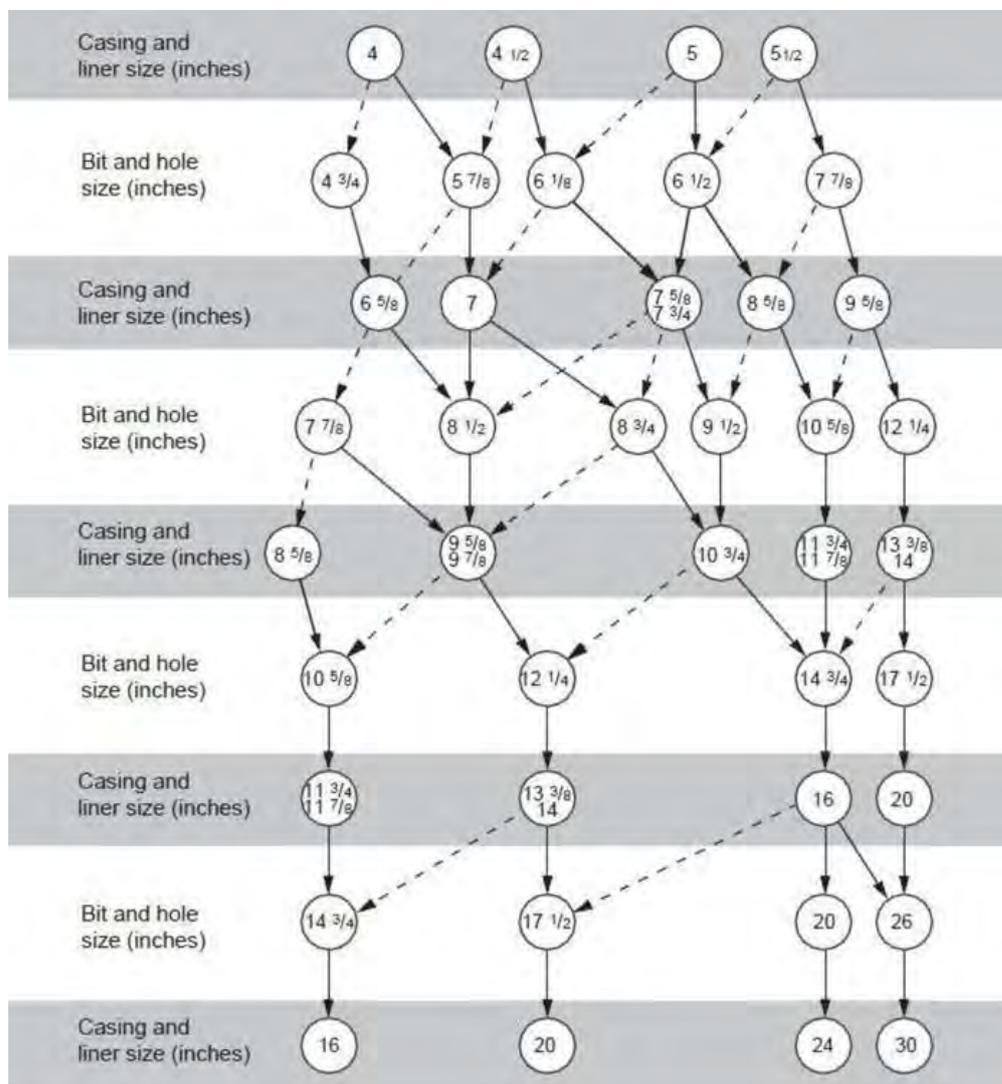


Figura 5.4: Casing String Size, Fuente: <https://www.netwasgroup.us/engineering-2/questions.html>

La siguiente fase de perforación será la instalación de la denominada columna cementada de explotación, para definir el diámetro de esta columna hemos de considerar,

- El diámetro interior de la columna seleccionada ha de ser superior al diámetro exterior del casing de explotación ($\text{Ø } 7 \frac{5}{8}$ " pero hay que considerar $\text{Ø } 8 \frac{1}{2}$ " por el efecto del mangón).
- Ha de existir un espacio anular entre ambos casing que permita el paso del blanket de explotación.

Con estas premisas a priori se podría seleccionar un casing de $9 \frac{5}{8}$ " en su gama más baja de espesor (32,3 lb/ft) con un Ø_{int} de 9" pero el espacio anular sería ínfimo y además es desaconsejado por el prontuario, por lo que se ha seleccionado el casing recomendado de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " que puede dar un diámetro interior dependiendo del espesor entre 10,19" y 9,56".

Esta elección del casing de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " implica una perforación a $\text{Ø } 14 \frac{3}{4}$ ", siguiendo las indicaciones del cuadro, en esta segunda fase.

La fase final por definir será la correspondiente a la perforación para la instalación del casing intermedio, considerando que el mismo prontuario recomienda la elección de una columna de $\text{Ø } 16$ " con una perforación a $\text{Ø } 20$ ".

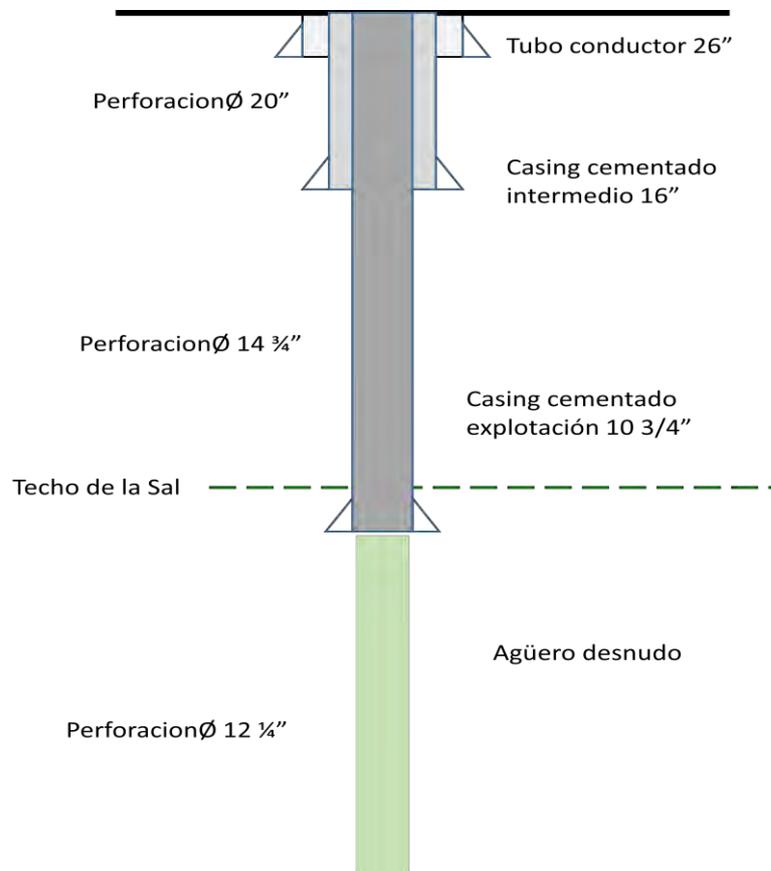


Figura 5.5: Estructura Sondeo, Fuente: Propia

5.4 ELECCIÓN DE LOS CASING DE LAS COLUMNAS CEMENTADAS

Una vez definidos tanto los diámetros de las perforaciones, como el \emptyset de los casing a utilizar en las diversas entubaciones, se debe de seleccionar el tipo de casing a emplear en cada una de ellas, en base a los esfuerzos o tensiones a las que van a estar sometidos.

Los aspectos a considerar serán los esfuerzos de aplastamiento y explosión del tubo, así como la tensión de corte de estos.

El casing más usado y extendido en este tipo de explotaciones (muy similares a las explotaciones petroleras) es del tipo API con rosca STC, por ser el más estandarizado. Existen otros tipos de conexiones, Buttres BTC, VAM, etc. pero son tipos de roscas con prestaciones más exigentes (mayor estanqueidad frente a gases, etc.) y por tanto con un coste más elevado, que se utilizan en sondeos de gran valor añadido.

Dentro del casing seleccionado existe una gran variedad de tipos, atendiendo al espesor de este (una denominación estándar es identificarlos por el peso en inglés, por ejemplo 26,4 lb/ft.) y por el grado y calidad del acero (J55, C75, L80 etc.). Estas características determinarán las propiedades mecánicas para cada tipo de casing.

* Elección del casing cementado de explotación

A continuación, se expone una pequeña tabla, con los parámetros más importantes para distintas combinaciones posible para la elección del casing cementado de explotación de 10 3/4" (hay que señalar que existe una variedad mucho más amplia, lo que da lugar a una cantidad de posibilidades, jugando con el espesor del tubo y el grado del acero que la expuesta):

\emptyset Nominal -in-	10 3/4		
Peso Nominal -lb/ft-	32,75	40,5	45,5
Espesor-in-	0,279	0,35	0,4
Sección del acero -in2-	9,18	11,44	13,01

Grado	k55	k55	k55
Aplastamiento -Mpa-	6	10,9	14,4
Explosión -Mpa-	17,2	21,6	24,7
Tensión corte -1000 daN-	225	280	31,8

Grado	C75	C75	C75
Aplastamiento -Mpa-	6	11,9	16,7
Explosión -Mpa-	23,5	29,5	33,7
Tensión corte -1000 dan-	306	382	434

Grado	L80	L80	L80
Aplastamiento -Mpa-	6	11,9	17,1
Explosión -Mpa-	25,1	31,4	35,9
Tensión corte -1000 daN-	327	407	463

Tabla 5.1: Parámetros Casing 10^{3/4}

Para determinar el tipo de casing se tomarán las condiciones más extremas de trabajo y su respuesta frente al aplastamiento, la explosión y a la tracción.

Dado que los tres sondeos disponen de características en cuanto a disposición de la columna cementada muy similares, se van a realizar los cálculos tan solo para el caso más desfavorable, pues la elección de diversos tipos de casing para cada sondeo, daría lugar a un mayor coste (duplicidad de las compras) frente a un pequeño ahorro individual.

- Calculo de explosión del casing

La presión Interna máxima en el zapato del casing (punto más desfavorable) sin considerar la presión externa cero vendrá dada:

$$P_{im} = \text{Profundidad columna cementada.} \times \text{densidad salmuera} \times g$$

$$P_{im} = 808 \times 1200 \times 9,81 = 9,51 \text{ Mpa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 (coeficiente recomendado por Schlumberger) se obtendrá que el casing ha de soportar 10,46 MPa.

-Cálculo de aplastamiento del casing

La presión geostática externa en el zapato (punto más desfavorable) considerando la cavidad o el sondeo a la presión atmosféricas y si la existencia de ningún fluido será: (se ha tomado como presión geostática 0,023 MPa/m)

$$P_{ge} = \text{Profundidad columna cementada} \times \text{presión geostática}$$

$$P_{ge} = 808 \times 0,023 = 18,58 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 obtendremos que el casing ha de soportar 20,43 MPa.

Pero si se considera la existencia de una presión interna (contrapresión) por la acción de la columna de salmuera con el valor antes calculado tendremos:

$$18,58 - 9,51 = 9,07 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 obtendremos un valor de 9,97 MPa

También ha de tenerse en cuenta el comportamiento del casing en la cementación. Considerando la densidad de la lechada de cemento 2000 kg/m³, se obtendrá una presión externa en el zapato, pero a su vez hay que considerar la presión interna (o contrapresión) de la columna de salmuera

$$P_{ce} = 808 \times (2000 - 1200) \times 9,81 = 6,34 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 se obtendrá que el casing ha de soportar 6,97 MPa en la cementación.

Por tanto, se ha seleccionado el casing de 10 3/4” de 40,5 lb/ft K55. Ya que cumple con todos los supuestos de aplastamiento y explosión.

Una vez seleccionado, se comprobará que además cumple en su comportamiento a la tracción.

Peso de la columna ((59,1 daN/m) será

$$59,1 \times 808 = 47.752 \text{ daN}$$

Pese a no considerar el empuje por el efecto Arquímedes es valor es muy inferior a la tensión de rotura del casing seleccionado (280.000 daN)

* Elección del casing cementado intermedio

Al igual que se hecho con el casing de explotación a continuación se expone una pequeña tabla, con los parámetros más importantes para distintas combinaciones posible para la elección del casing cementado intermedio de 16” con sus características mecánicas

Ø Nominal -in-	16"		
Peso Nominal -lb/ft-	65	75	84
Espesor-in-	0,375	0,438	0,495
Sección del acero -in2-	18,4	21,42	21,11

Grado	k55	k55	k55
Aplastamiento -Mpa-	4,4	7	9,7
Explosión -Mpa-	15,5	18,2	20,5
Tensión corte -1000 daN-	450	524	590

Grado	C75	C75	C75
Aplastamiento -Mpa-	4,4	7	10,2
Explosión -Mpa-	21,2	24,8	28
Tensión corte -1000 daN-	614	715	804

Grado	L80	L80	L80
Aplastamiento -Mpa-	4,4	7	10,2
Explosión -Mpa-	22,6	26,4	29,9
Tensión corte -1000 daN-	656	762	858

Tabla 5.2: Parámetros Casing 16”

-Cálculo de explosión del casing cementado intermedio

La presión Interna máxima en el zapato del casing intermedio (punto más desfavorable) sin considerar la presión externa vendrá dada:

$$P_{in} = \text{Profundidad columna cementada} \times \text{densidad cemento} \times g$$

$$P_{in} = 250 \times 2000 \times 9,81 = 4,9 \text{ Mpa}$$

Considerando un factor de seguridad 1, 1 obtendremos que el casing ha de soportar 5,39 MPa.

-Cálculo de aplastamiento del casing cementado intermedio

La presión geostática externa en el zapato (punto más desfavorable) considerando la cavidad o el sondeo a la presión atmosféricas será: (se ha tomado como presión geostática 0,023 MPa/m)

$$P_{ge} = \text{Profundidad columna cementada} \times \text{presión geostática}$$

$$P_{ge} = 250 \times 0,023 = 5,75 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 se obtendrá que el casing ha de soportar 6,32 MPa.

Pero si se considera la existencia de una presión interna (contrapresión) por la acción de la columna de salmuera

$$5,75 - (250 \times 1200 \times 9,81) = 2,82 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 se obtendrá un valor de 3,1MPa

También se debe de tener en cuenta el comportamiento del casing en la cementación. Considerando la densidad de la lechada de cemento 2000 kg/m³ tendremos una presión externa en el zapato, pero a su vez hay que considerar la presión interna (o contrapresión) de la columna de salmuera.

$$P_{ce} = 250 \times (2000-1200) \times 9,81 = 1,96 \text{ MPa}$$

Considerando un factor de seguridad 1,1 se obtendrá que el casing ha de soportar 2,158 MPa en la cementación.

En cuanto a su comportamiento a la tracción:

Peso de la columna (109,5 daN/m) será

$$109,5 \times 250 = 27.375 \text{ daN}$$

Pese a no considerar el empuje por el efecto Arquímedes el valor es muy inferior a la tensión de rotura del casing seleccionado (450.000 daN)

Por tanto, se ha seleccionado el casing de 16" de 75 lb/ft K55. Ya que cumple con todos los supuestos de aplastamiento y explosión.

6- EQUIPOS DE PERFORACIÓN - COMPAÑÍAS DE SERVICIOS

La perforación de estos sondeos, con características técnicas muy similares a los que se realizan para las prospecciones de hidrocarburos o gas, hace que se oriente la elección del equipo de perforación hacia este tipo equipamientos.

Una característica muy singular y extendida en estas perforaciones es la contribución de un gran número de compañías de servicios, muy especializadas, a las cuales se les asigna parte de la ejecución de la obra, estando todas ellas pilotadas por la compañía que realiza la perforación y que aporta la torre de perforación (Rig).

La torre de perforación juntamente con el equipamiento anexo deberá tener la capacidad de ejecución de los sondeos proyectados, de acuerdo con el programa de perforación ya definido, atendiendo a los diámetros y profundidades previstos de perforación:

- Ø 20" hasta aproximadamente 250 metros
- Ø 16" hasta aproximadamente 808 metros
- Ø 14 ¾" hasta aproximadamente 1400-1500 metros

Además, se deberá tener en consideración para la elección del equipo la tracción y el torque adicional al tratarse de sondeos desviados y dirigidos en S.

Ya se ha indicado que, para la ejecución de este tipo de sondeos, los equipos disponibles estandarizados existentes en Europa son de características muy similar, tratándose de Rig con una capacidad máxima de ejecución de pozos de hasta Ø 27" y una profundidad máxima en torno a 2500 metros.

El despliegue de estos equipos se concentra básicamente en Alemania, Holanda, y algunos países del centro Europa, ya que las perforaciones en el sur de Europa de estas características son más bien escasas.

Se procede a enumerar a grandes rasgos las características técnicas de estos equipos, (Se ha tomado un Rig tipo, dentro de los diversos equipos existentes en la actualidad en el mercado)

Torre de Perforación (Rig Drilling)

- a- Mástil
 - Tipo telescópico con una altura aproximada de 37-40 m (capacidad de extraer dobles o triples).
 - Capacidad de carga del gancho (Hook) 200 T
 - Capacidad del peine del piso del enganchador (racking board): 3000 metros en varillaje de 5".

b- Subestructura.

- Altura aproximada 7 metros.
- Capacidad de carga 370 Tm
- Carga máxima sobre la mesa de Rotación 200 Tm
- Carro neumático para piso BOP

c- Cabrestante (Drawworks)

- Tipo mecánico
- Potencia 2 x 1000 HP (doble equipamiento)
- Cable Ø 1 ¼"
- Carga máxima de la mesa de Rotación 200 Tm

d- Cabeza de inyección (Swivel)

- Capacidad de carga 200 Tm
- Presión de trabajo 350 bar

e- Mesa Rotación

- Apertura de 27 ½"
- Velocidad máxima 200 rpm
- Potencia 475 HP
- Capacidad de carga 450 Tm

f- Top Driver

- Potencia 450 Hp
- Capacidad de carga estática 225 Tm
- Capacidad de carga en dinámico 150 Tm
- Velocidad máxima: 150 rpm
- Torque 28.470 Nm (2900 kgf.m)



1 crown block	14 weight indicator	27 degasser
2 mast	15 driller's console	28 reserve pit
3 monkey board	16 doghouse	29 mud pits
4 traveling block	17 rotary hose	30 desander
5 hook	18 accumulator unit	31 desilter
6 swivel	19 catwalk	32 mud pumps
7 elevators	20 pipe ramp	33 mud discharge lines
8 kelly	21 pipe rack	34 bulk mud components storage
9 kelly bushing	22 substructure	35 mud house
10 master bushing	23 mud return line	36 water tank
11 mousehole	24 shale shaker	37 fuel storage
12 rathole	25 choke manifold	38 engines and generators
13 drawworks	26 mud gas separator	39 drilling line

Figura 6.1: Rig perforadora tipo, Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Drilling-rig-components-26_fig4_275522815

Bombas y Tanques de Lodos

a- Bombas de Lodos (Mud Pumps)

- Tipo de pistones Triple. Por duplicado
- Potencia 750 KW
- Máxima presión de descarga 250 bar (dependiendo de la equitación de los pistones)
- Máximo caudal 2500 l/min (dependiendo de la equitación de los pistones)

- b- Tubería de inyección de lodos (Standpipe)
 - Diámetro nominal 4”.
 - Presión máxima de trabajo 350 bar
- c- Manguera de inyección de lodos (Rotary Hose)
 - Diámetro nominal 76,2 mm
 - Presión máxima de trabajo 350 bar
- d- Taller de lodos
 - Tanque de decantación de arenas con capacidad aproximada de 5 m³.
 - Tanques de agitación dos unidades con capacidad total aproximada de 55 m³ con dos agitadores con una potencia de 4 kw (cada uno).
 - Tanque de succión dos unidades con capacidad total aprox. 45 m³ con dos agitadores con una potencia de 4 KW.
 - Tanque de fabricación de 20 m³ equipado con tolva de fabricación. Agitadores con una potencia de 4 KW (dos unidades).
 - Vibro tamices con un área de cribado de aprox. 2 m² con una potencia de 2 x 1,5 KW.
 - Desarenador de partículas gruesas (Desander): con 2 conos de Ø 10”, caudal de 4000 l/m, con bomba centrífuga de impulsión de 37 KW.
 - Desarenador de partículas finas (Desilder): con 16 conos de Ø 4”, caudal de 3500 l/m, con bomba centrífuga de impulsión de 37 KW.
 - Tanques de reserva para (lodos) de 35 m³ de capacidad cada uno, equipado con 4 agitadores de 3, 6 KW.
 - Tanques de reserva para agua industrial de 35 m³ de capacidad.

Otros equipamientos

- a- Equipamiento eléctrico - neumático
 - Dos generadores de 350-400 KVA (podría incluir un 3º de reserva)
 - Dos compresores con un caudal de aproximadamente 1,5 m³/min con una presión máxima de 10 bar.
- b- Equipamientos de utillaje de maniobras y otros equipamientos
 - BOP –Anular: dimensiones de Ø cierre 21 ¼”, con manifold (juego de válvulas) y Mud cross (T con derivación para la conducción de lodos)
 - Barra hexagonal para acoplamiento de la mesa de trabajo (Kelly hexagonal) de 5 ½” de 12,5 metros.

- Barras de perforación (Drill Pipe): de Ø 5" longitud total aproximada de 1500 metros, peso nominal 34,9 kg/m, conexión 4 1/2 IF y NC 50.
- Barra de perforación pesadas (Heavy weight drill pipe): 10 unidades de 5" de 73,4 kg/m
- Lastra barrenas (drill collar): 15 de Ø 9 ½ y 10 de Ø 8".
- Conjunto de acoplamientos para cambios de tipo de roscas (crossover sub)
- Conjunto de elevadores de diversos diámetros para los distintos programas de perforación.
- Panel de control de la perforación: que visualiza el peso sobre el gancho, los rpm de la mesa, el torque sobre la mesa, la presión de las bombas, el caudal el avance por minuto de la perforación etc., incluyendo un sistema de grabación de todos los parámetros.
- Conjunto de casetas: para el jefe de campo (Toolpusher), Sala comedor-cocina vestuarios, almacenes etc.

Una vez definidos las características generales del equipo principal se enumeran las diversas compañías de servicios que van a intervenir en el desarrollo de la perforación. Podría darse el caso que algunos de estos servicios pudieran ser facilitados por otra división de la propia empresa encargada de la ejecución de la perforación.

* Compañía para el tratamiento de los lodos (Miswaco, Emcas etc...)

Esta dispondrá del equipamiento auxiliar necesario para el tratamiento de los lodos de perforación:

- Centrifugadora de lodos.
- Contenedor de mezclas.
- Laboratorio de análisis.

- Suministro de los productos para la fabricación de lodos: Bentonitas, carbonatos, polímeros, correctores de pH, aglutinantes, así como todos los productos que se consideren necesarios para contener posibles fugas de lodos durante la perforación.

* Compañía para el control direccional de la perforación (Weatherford, Drilltec...).

* Compañía para el control geológico (Geodata etc...). Estas empresas suelen facilitar la monitorización de los parámetros propios de la perforación: avances, pesos, torque, profundidad, niveles de balsas de lodos, velocidad ascensional de los detritus etc., y a su vez realizan un análisis de los detritus obtenidos durante la perforación para confeccionar un corte estratigráfico del sondeo.



- * Compañía para la cementación de los casing (Weatherford, Schlumberger, Halliburton...).

- * Compañía para el roscado del casing (Weatherford, Odfjell Well Services...)

- * Compañía para la realización de logging, tanto open hole, como cased hole (Weatherford, Schlumberger...)

7- FASES DE PERFORACIÓN

7.1 PERFORACIÓN A Ø 20"

Una vez se haya dado por finalizada la instalación de todo el equipamiento de la torre de perforación y se haya dado el visto bueno de la misma se iniciará la perforación de la primera fase de esta a Ø 20".

Durante toda la perforación (en todas las fases) se tomarán muestras de los detritus, para su posterior análisis. En los primeros 500 metros las tomas se realizarán cada 5 metros y a partir de esa profundidad cada 2 metros (para una mejor determinación del porcentaje de sal del yacimiento), todas las muestras se tomarán por duplicado, una para efectuar el análisis insitu y otra para su almacenamiento, y poder realizar futuras comprobaciones (todas las muestras serán debidamente embolsadas y etiquetadas).

Previamente al inicio de la perforación se habrán fabricado los lodos de perforación, tipo bentónicos dulces (base de agua), pues que estos requieren un tiempo de homogenización por la hidratación de las arcillas (bentonita).

La elección del tipo de tricono por parte de la empresa contratista para esta primera fase, se realizará en base a un análisis de los tipos de tricono utilizados en las perforaciones similares efectuadas en el campo de explotación y el rendimiento obtenido, conjuntamente a la experiencia propia.

Una buena elección de un tricono puede condicionar el avance de la perforación.

Como ya se ha expuesto, los primeros 30-35 metros de perforación se van a desarrollar sin el equipamiento del motor de fondo y del control direccional (MWD), pues la longitud de estos componentes lo hace inviable dada la poca profundidad del tubo conductor (o ante pozo) de 7-8 metros.

La composición tipo de este pequeño tramo es:

- * Tricono Ø 20"
- * XO Ø 9 1/2" (Crossover) -pieza de conexión entre dos tipos de roscas-
- * Estabilizador Ø 17 1/2"
- * Shock SUB Ø 9 5/8" -pieza amortiguación de vibraciones-
- * DC Ø 9 5/8" (Dricolares o barras de carga)
- * XO Ø 9 1/2"
- * HWDP Ø 5" (Barras de perforación reforzadas)

Los parámetros de perforación en estos metros iniciales serán definidos por la empresa contratista, revoluciones, peso sobre el útil, presión de bombeo de lodos, caudal etc., e irán encaminadas a evitar una desviación inicial indeseada (ya que no se dispone de control direccional).

Una vez alcanzada una profundidad superior a 30-35 metros se procederá a sacar la maniobra para dotar a la misma del motor de fondo y del equipo direccional, iniciándose la perforación dirigida del sondeo.

A partir de este punto deberá existir una coordinación y puesta en común de los parámetros de perforación entre la empresa perforadora encargada del proyecto y la empresa responsable de la desviación del sondeo. Pudiéndose alternar la perforación con la intervención conjunta del motor de fondo y el Topdrive, o tan solo con la acción del motor de fondo para la consecución de la desviación requerida.

Una composición tipo para esta etapa podría ser:

- * Tricono Ø 20"
- * Motor Ø 9 5/8" (se indicará el ángulo de desviación de este)
- * Bearing stab Ø 19 3/4" (estabilizador incluido en el pack motor)
- * String Stab Ø 17 7/16" (estabilizador de la sarta)
- * Shock SUB Ø 9 1/2" -pieza amortiguación de vibraciones-
- * XO Ø 9 1/2" (Crossover)
- * MWD (equipo direccional)
- * DC Ø 9 5/8" y/o Ø 8 1/2" (Dricolares o barras de carga)
- * XO Ø 8 1/2" (Crossover)
- * Jar Ø 8" (martillo)
- * XO Ø 8" (Crossover)
- * DC Ø 8 1/2"
- * XO Ø 8" (Crossover)
- * HWDP Ø 5" (Barras de perforación reforzadas)
- * DP Ø 5" (Barras de perforación convencionales)

La perforación se desarrollará hasta alcanzar una profundidad por debajo de 250 metros, que vendrá fijada por la composición de la columna de Ø 16" (casing de rango 3 - longitud comprendida entre 11,58 y 13,72 metros-), hay que tener en consideración que los tubos son indivisibles, además habrá que contabilizar la longitud de los zapatos de cementación a intercalar y la altura del suelo a la plataforma de trabajo. La suma de todos estos elementos nos determinará la profundidad necesaria a perforar, para alojar la columna de Ø 16".

A esta profundidad requerida se le añadirán aproximadamente 3 metros de seguridad, para que en este desahogo se puedan depositar los posibles restos de detritus que descendan al fondo del pozo.

Otro aspecto a considerar será que a partir del inicio de la perforación desviada en el sondeo habrá dos tipos de profundidades:

- TVD - True Vertical Deep- que será la profundidad vertical del pozo
- MD -Measured Deep- que será la profundidad en longitud del pozo.

Uno de los principales problemas que se pueden dar en la ejecución en esta fase de perforación puede ser la aparición de fugas del lodo de perforación, ya sean parciales o totales:

- Las fugas parciales en este tipo de yacimientos suelen ser habituales, pero de carácter débil, como consecuencia de la existencia de pequeñas fisuras en el terreno atravesado. Las mismas suelen remitir conforme el lodo va colmatando las mismas, sin la necesidad de proceder a la adicción de ningún tipo de colmatante o aditivo a los lodos.

El servicio de lodos en todas las fases de perforación controla el nivel de las balsas, cuya variación irá ligada al avance de la perforación (más profundidad implica más volumen de lodos con el consiguiente descenso del nivel de las balsas de perforación). Por otro lado, un incremento del nivel lodos como consecuencia de aportaciones de la formación no se considera probable basándose en la experiencia de perforación en este yacimiento. El servicio de lodos registrará en cualquier momento la fuga detectada, el valor de esta y la profundidad a la que se ha detectado.

- Las fugas parciales mantenidas en el tiempo y/o superiores 4-5 m³/h requerirán la adicción de colmatantes (tapones viscosos, gelatificantes etc.) que taponen las mismas juntamente con la variación de los parámetros de perforación que considere la empresa encargada de la perforación: disminución de la presión de inyección del lodo, velocidad de rotación, peso sobre el útil, pausa temporal de la perforación (esta pausa no afecta a la rotación de la sarta que ha de mantenerse) etc.

Hay que indicar que los colmatantes añadidos no podrán sobrepasar los requisitos de filtrado o granulometría impuesto por el servicio de la direccional pues podrían dañar el motor de fondo (indicar que en la sarta de perforación se introduce de forma sistemática un filtro a modo de protección del motor).

En caso de que los colmatantes a emplear no reúnan estos requisitos, se tendría que sacar la maniobra de perforación y retirar de la misma el conjunto motor y el equipo de la direccional y continuar unos metros la perforación sin estos equipos de forma idéntica a la perforación desarrollada en la fase inicial de 30 metros, hasta conseguir la eliminación de las pérdidas.

- Las fugas totales, excepto si son puntuales y de escaso valor (existencia de una pequeña cavidad en la formación que se ha colmatado) requerirán inicialmente el mismo tratamiento que las fugas parciales para intentar contenerlas.

Si estos métodos, no diesen los resultados deseados, se tendrá que continuar varios metros con la perforación a inyección perdida (para intentar avanzar o descubrir toda la zona fisurada).

Posteriormente se procederá a extraer la sarta de perforación y se bajará tan solo con barras de perforación con composición al fondo del pozo y se iniciará el bombeo de una lechada de hormigón con una densidad aproximada de 1,6- 1,7 Kg/cm³, el volumen de la lechada inyectada se calculará en base al volumen de la zona de pozo a cementar (desde el fondo, hasta el punto en el que previamente se había detectado la fuga), más un volumen equivalente a 8-10 metros adicionales para compensar las pérdidas por las fugas. Una vez inyectado la lechada se extraerá rápidamente la sarta por encima de la zona a cementar y se lavará la misma (para evitar el fraguado del cemento dentro del varillaje) completando posteriormente su extracción.

Tras un fraguado aproximado de 24 horas se procederá a bajar la sarta de perforación sin motor a posar en el cemento, este punto dará información sobre el taponamiento de las fugas. Una vez reperforado el mismo y una vez verificado la inexistencia de fugas se podría reanudar la perforación ya con el uso del equipo direccional.

7.2. ENTUBADO COLUMNA DE Ø 16" Y CEMENTACION

Una vez alcanza la profundidad requerida se procederá a la extracción de la sarta de perforación y se iniciará el proceso de entubo del sondeo con los siguientes pasos:

- * Calibración a pie de torre del interior de cada uno de los tubos de la composición (desechando el tubo si el calibre tiene alguna dificultad de paso).
- * Roscado del zapato de cementación (casing shoe) en el primer tubo y soldado puntual del mismo (para garantizar que no se desenrosque durante la perforación posterior del tapón de hormigón residente en el mismo). Este primer tubo hace de separación entre este zapato de cementación y la segunda válvula de seguridad (Float collar)



Figura 7.1: Casing shoe; Fuente: Catálogo Weatherford Flot & Stage Equipment [19]

* Roscado de la válvula de seguridad de cementación (float collar) y soldado adicional idéntico al del casing shoe.



Figura 7.2: Float Collar; Fuente: Catálogo Weatherford Flot & Stage Equipment [19]

* Instalación de los centralizadores de $\text{Ø}_{\text{ext.}} 20''$ para casing de $16''$, formados por el conjunto de “non-weld centralizers” y “stop collars”, distribuidos en dos unidades en el primer y segundo tubo, y un centralizador en los siguientes tubos de forma alterna.



Figura 7.3: Non-weld centralizers - Stop collars; Fuente: Catálogo Weatherford Cementing Products [18]

Como se ha indicado la ejecución del roscado será realizada por una empresa especialista en este tipo de trabajos (por ejemplo, Weatherford, Odfjell Well Services etc.), la cual dispondrá de los elementos necesarios para la correcta ejecución de estos, llaves automáticas con control informático de apriete, elevadores indicados para el tipo de casing, mesa descendora de tubos etc.

Para este tipo de casing ($\text{Ø } 16'' - 75 \text{ lb/pie}$) el par de apriete óptimo será de 7520 lb/pie .

DIÁMETRO	PESO	GRADO	TORQUE ÓPTIMO (lb.pie)			
			STC	LC	XC	
pulg	lb/pie		lb.pie	lb.pie	lb.pie	
11 3/4	60.00	P-110	12420			
		Q-125	13950			
13 3/8	48.00	H-40	3220			
		J-55	5140			
	54.50	K-55	5470			
		J-55	5950			
	61.00	K-55	6330			
		J-55	6750			
	68.00	K-55		7180		
			N-80	9630		
		L-80	9520			
		C-90	10570			
C-95		11140				
P-110		12970				
72.00	N-80		10400			
		L-80	10290			
	C-90	11420				
	C-95	12040				
	P-110	14010				
	Q-125	15760				
16	65.00	H-40	4390			
		J-55	7100			
	75.00	K-55	7520			
		J-55	8170			
84.00	K-55	8650				
18 5/8	87.50	H-40	5590			
		J-55	7540			
		K-55	7940			
20	94.00	H-40	5810			
		J-55	7830	9070		
		K-55	8230	9550		
	106.50	J-55	9130	10560		
		K-55	9590	11130		
	133.00	J-55	11920	13790		
K-55		12520	14530			

Notas referentes a las Tablas de Torque

- Todos los valores de torque dados corresponden al Torque Óptimo y son indicativos.
 Conexiones API: Torque Mínimo = -25% del Torque Óptimo
 Torque Máximo = +25% del Torque Óptimo
- Apretado de conexiones API de acuerdo a recomendaciones de API 5C1, "Recommended Practice for Care and Use of Casing and Tubing".
- Los valores de torque indicados son para Thread Compound según API Bulletin 5A3 (Factor de Torque, F.T.=1). Para otros tipos de Thread Compounds, multiplique los torques por el factor de Torque (también llamado Factor de Corrección) correspondiente.
- Debido a que existen muchos factores que tienen influencia en el torque, recomendamos en todos los casos, consultar con el Servicio Técnico de Tenaris.

Figura 7.4: Tabla de aprietes casing, Fuente: Catálogo Tenaris [17]

Durante el descenso del casing y aproximadamente cada 2-3 tubos será necesario proceder al llenado de estos con lodos (hay que recordar que las dos válvulas instaladas evitan que se llene del lodo residente en el pozo) pues en caso contrario los mismos flotarían.

La compañía del servicio del roscado facilitará un informe detallado del par de apriete dado para cada uno de los tubos.

Al finalizar el descenso del casing, se acoplará una cabeza al tubo superior y se realizará una prueba de circulación de lodos.

Desde este momento ya se estaría en disposición del inicio de la etapa de cementación, la cual se puede ejecutar con técnicas distintas (hay que señalar que las cementaciones se realizan siempre de abajo hacia arriba):

* Cementación con tapones y cabeza de cementación: Este tipo de cementación, requiere un cálculo preciso del volumen del espacio anular entre el terreno y el casing para determinar la cantidad de lechada necesaria para la correcta y total cementación del casing.

Este sistema básicamente consiste en el roscado de una cabeza de cementación en el último tubo de la composición de la columna a cementar, en el que aloja dos tapones labiados uno deformable y otro indeformable, el proceso se inicia con la inyección de un cierto volumen (aproximadamente 5 m³) de agua que recorrer el interior del tubo a cementar, posteriormente se libera de la cabeza de cementación el primer tapón (deformable) y se inicia la inyección por detrás del mismo de la lechada de hormigón (esta arrastra al tapón), el efecto es doble, por una parte el tapón arrastra al agua para limpiar el interior del casing y por otro hace de barrera separadora entre los dos fluido. Cuando el tapón alcanza el float collar se producirá un incremento puntual de la presión de inyección, al bloquearse la circulación, pero la misma será suficiente para romper el mismo y dejar paso a través de él de la lechada de hormigón.

La inyección de la lechada se detendrá cuando se haya alcanzado el volumen calculado (más un cierto porcentaje de seguridad), posteriormente se soltará el segundo tapón indeformable y se inyectará detrás de él lodo de perforación, siendo la función de este tapón, limpiar de cemento del interior del casing, cuando este tapón llegue al nivel del primer tapón semidestruido, dará lugar a una obstrucción que ocasionará un nuevo incremento de la presión de inyección, sin llegar a romper el mismo como en el caso anterior debido a su consistencia, en este momento se detendrá la inyección de lodo y se da por terminado el proceso de cementación.

Si el cálculo de la cementación ha sido correcto, una cierta cantidad de cemento habrá llegado a la superficie a través de la corona anular y nos indicará la correcta cementación de este.



Figura 7.5: Tapones y cabeza de cementación "Robust", Fuente: alibaba.com

* Cementación con Stringer: Este tipo de cementación consisten en descender el varillaje de perforación por dentro del casing a cementar ya instalado, portando en su extremo el stringer, que no es más que una conexión ligeramente cónica con unas juntas torticas escalonadas, cuya función es acoplarse al orificio de conexión del floar collar.

Una vez se ha verificado que se ha producido un acoplamiento perfecto entre ambos, se inicia la inyección de una cierta cantidad de agua (que hará de limpieza y barrera entre el lodo existente en el pozo y la lechada a inyectar) y a continuación, se comienza la inyección de la lechada de cemento por el varillaje, continuando con la misma hasta que llega a la superficie el cemento, una vez hay rellenado el espacio anular, en ese momento se detiene la inyección y se inyecta un volumen de lodo equivalente al volumen interior de la maniobra que hemos utilizado para la inyección (un exceso de volumen podría lavar el pie de cementación, y un defecto podría dejar parte del varillaje utilizado cementado en su interior). Como punto final tan solo resta verificar abriendo a la atmosfera el varillaje y verificar que no hay retorno lo que indicará que las válvulas de pie cementación han funcionado y por tanto se podría desacoplar el stringer y sacar la maniobra.

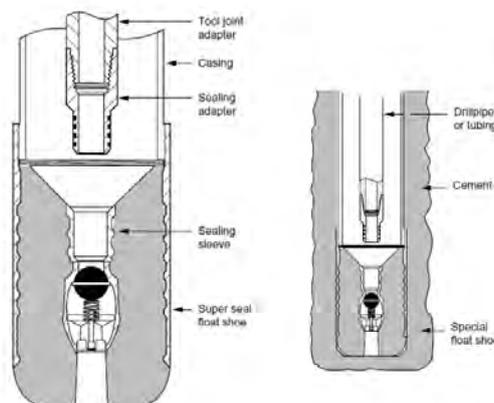


Figura 7.6: Acoplamiento stringer; Fuente: Drillingcourse.com

El sistema seleccionado en el desarrollo de nuestras perforaciones es el método con Stringer, por su mayor fiabilidad, de cara a la consecución de una correcta y completa cementación, ya que se garantiza la llegada del cemento de retorno a la superficie y el cemento a desechar es insignificante, pues será solamente el desalojado por la sarta de perforación.

Antes de iniciar la cementación se realizará un cálculo del volumen teórico a cementar (corona entre el terreno Ø 20" y el casing de Ø 16") con una ponderación entorno al 10% por el incremento del agujero, en nuestro caso considerando una profundidad de 250 metros:

$$V_{\text{antepozo}} = 8 \text{ m} \times 273,91/\text{m} = 2,191 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{pozo}} = 242 \text{ m} \times 202,68 \text{ l/m} = 49,048 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{pozo ponderado}} = 49,048 \times 1,10 = 53,952 \text{ m}^3$$

A este volumen habrá que añadir los 7 metros de altura del tubo fontana (tubo de salida de lodos desde el ante pozo a la canal de lodos) menos el desalojo del tubo de 16".

$$V_{\text{fontana}} = 7 \times 116 \text{ l/m} = 0,812 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Total}} = 56,955 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interior sarta perforación}} = (250 + 7) \times 9,27 \text{ l/m} = 2,382 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{desalojo casing 16}} = 250 \times 129,72 \text{ l/m} = 32,43 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cemento}} = 26,92 \text{ m}^3$$

En todas las cementaciones es recomendable que la zona del zapato de cementación, comprendiendo aproximadamente 50-70 metros tenga un densidad superior a 1,7 kg/l con el fin de garantizar el sello de la misma, en este caso la se ha tomado una densidad de 1,75 kg/l y para resto de la cementación se aplicará una densidad de 1,6 kg/l (podría aplicarse la misma densidad pero esta cementación no es tan importante como podrá ser la cementación de la columna de explotación). La elección de estas densidades viene fijada por recomendaciones de las empresas especialista de la cementación, en base a sus cálculos y estudios realizados.

Así en este caso utilizaremos 7 m³ de lechada de 1,75 kg/l y 20 m³ de lechada de 1,6 kg/cm².

La cantidad de cemento a utilizar será (según el prontuario de cálculo de lechadas del manual del perforador):

- Para 1 m³ de lechada de 1,6 kg/l se necesitan: 880 kg de cemento y 720 l de agua.
- Para 1 m³ de lechada de 1,75 kg/l se necesitan: 1100 kg de cemento y 650 l de agua.

La cantidad total requerida será:

25,3 Tm de cemento

19,440 m³ de agua fresca.

El tipo de cemento a emplear será del tipo CEM I 52,5 R. (cemento Portland de alta resistencia y con una resistencia inicial elevada, indicado para obras publicas especiales, como estructuras, puentes etc.). Para la elección del tipo idóneo de cemento se tomarán de todos modos en consideración las recomendaciones de la empresa de cementación.

En previsión de la aparición de posibles fugas durante la perforación al aumentar la presión hidrostática a la que se va a someter las paredes del pozo (paso de una presión hidrostática de una columna de lodo de densidad 1,10 kg/l a una densidad 1,6 kg/l) se dispondrá de un volumen de cemento a pie del pozo de un 50% adicional por si su uso fuese necesario.



Figura 7.7: Grupo cementación; Fuente: Schlumberger.com

Una vez definidos todos estos parámetros ya se estará en disposición de inicio de la cementación de la columna, para lo cual la empresa especializada dispondrá de un tanque de mezclas en continuo con bombas de alta presión, tipo pistones y un control de la densidad constante. El proceso se desarrollará siguiendo los siguientes pasos:

- * Inyectar el tapón de agua (denominado Spacer) aproximadamente 5 m³
- * Inyectar los 20 m³ de lechada de densidad 1,6 kg/l (se tomarán muestras de la lechada).
- * Inyectar los 7 m³ de lechada de densidad 1,75 kg/l (se tomarán muestras de la lechada).
- * Verificación que la lechada de hormigón ha retornado a superficie por el espacio anular (en caso contrario se continuará con la inyección de lechada a la misma densidad).

- * Si la lechada ha llegado a la superficie, se inyectará un tapón de lodo de igual volumen al de la sarta de perforación y las conducciones de conexión de esta hasta el tanque de mezclas, la idea es limpiar la sarta, evitando lavar el pie de la cementación (control exhaustivo del volumen necesario e inyectado).
- * Verificar el no retorno al abrir la sarta a presión atmosférica (funcionamiento correcto de las válvulas de pie). En caso contrario dar unas emboladas más a la bomba por resituarse las válvulas de pie que habían fallado.
- * Proceder a desconectar la sarta de perforación del Float collar y lavar unos minutos la sarta con lodo para limpiar la misma de posibles restos de lechada.
- * Extraer la sarta de perforación.

Durante el proceso de cementación se registrarán de modo informático las curvas de presión de la inyección, el caudal, el volumen total inyectado, la densidad realmente obtenida etc.

Finalizada la cementación será necesario esperar un tiempo de fraguado de 48 h antes de proceder al corte del casing de $\varnothing 16''$, aproximadamente a 50 cm sobre el fondo del cubeto del ante pozo para proceder al soldado de la brida de cabeza de pozo (ver plano 10.1. Brida cabeza pozo (Casing Head Housing)).

Esta brida será de $16 \frac{3}{4}''$ API 5000 Psi para casing de $\varnothing 16''$ con dos tomas laterales de $\varnothing 3 \frac{1}{8}''$, (tipo Hartman etc.....) equipada con casquillo protector extraíble interior (para proteger la zona de asiento de los elementos de estanqueidad final de la brida durante la perforación) y dotada de cuñas sujeción para casing de $\varnothing 10 \frac{3}{4}''$ y anillos de estanqueidad (estos dos últimos elementos se instalarán una vez se finalice la cementación de la columna de $\varnothing 10 \frac{3}{4}''$)

La soldadura de esta brida al tubo de $\varnothing 16''$ se realizará por soldadura TIG y con un procedimiento homologado, además se realizarán radiografías y control por ultrasonidos, para determinar la calidad de la soldadura.

Esta brida tiene una doble función, inicialmente soportar el BOP durante la siguiente fase de perforación y una vez concluida la misma acuar y cerrar la columna de explotación de $\varnothing 10 \frac{3}{4}''$ posteriormente a su cementación, sobre la que se instalará la cabeza de explotación final del sondeo.

Finalizada la instalación de la brida se procederá a la instalación del BOP sobre la brida (realizando unas pruebas de funcionamiento de este) y transcurridos 72 horas desde la finalización de la cementación se reanudará la perforación.

7.3 PERFORACIÓN A Ø 14 ¾"

La perforación se reanuda con un Ø 14 ¾", perforando inicialmente el tapón de cemento residente en la parte final de la columna cementada. Cuando la perforación llegue a terreno natural se procederá al cambio de los lodos de perforación pasando a lodos salinos, (la perforación del cemento ocasiona una contaminación muy importante de estos variando sensiblemente sus características por eso es recomendable cambiarlos una vez perforado el cemento).

El cambio de lodos es necesario realizarlo con anterioridad a la entrada de la perforación en el banco de sal (en nuestro caso entre aproximadamente 639 y 808 metros dependiendo del sondeo) para evitar disoluciones indeseadas del agujero.

Una composición tipo para esta etapa podría ser

- * Tricono Ø 14 ¾"
- * Motor Ø 9 5/8" (se indicará el ángulo de desviación de este)
- * Bearing stab Ø 14 ½" (estabilizador incluido en el pack motor)
- * String Stab Ø 12 7/32" (estabilizador de la sarta)
- * Shock SUB Ø 9 1/2" -pieza amortiguación de vibraciones-
- * XO Ø 9 1/2" (Crossover)
- * MWD (equipo direccional)
- * DC Ø 9 5/8" y/o Ø 8 ½" (Dricolares o barras de carga)
- * XO Ø 8 1/2" (Crossover)
- * Jar Ø 8" (martillo)
- * XO Ø 8" (Crossover)
- * DC Ø 8 ½"
- * XO Ø 8" (Crossover)
- * HWDP Ø 5" (Barras de perforación reforzadas)
- * DP Ø 5" (Barras de perforación convencionales)

Detectado el techo de la sal y analizado el porcentaje por el servicio de geología, se establecerán los metros de viga de sal necesaria para cumplir con las directrices del estudio de la Escuela de Paris (viga de sal al techo comprendida entre 30 y más de 50 metros dependiendo de la riqueza de la zona perforada).

Así la profundidad requerida (Techo de la sal + Espesor de la viga de sal) fijará el punto del pie de la columna de explotación Ø 10 ¾" a instalar y determinará la profundidad del cambio de fase o de diámetro de la perforación (cambio a Ø 12 ¼").

Al igual que en caso de la columna intermedia, esta profundidad habrá que adaptarla a la composición de la columna $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " pues no hay que olvidar que los tubos son elementos indivisibles (casing de rango 3), por lo que dependiendo del sumatorio de los mismo habrá que profundizar algunos metros más para ajustarla a la composición (también habrá que dejar 2-3 metros de desahogo del final de la perforación a $\text{Ø } 14 \frac{3}{4}$ " hasta el pie de la columna proyectada de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ ").

En cuanto a problemas que se pueden encontrar durante la perforación de esta fase, son los mismos que los indicados en la fase anterior, junto con los derivados de la direccional del sondeo y con la condición de que los lodos deben de estar completamente saturado con anterioridad a la entrada al banco de sal (no hay que olvidar que el techo de sal tomado es teórico, pudiendo existir errores en su determinación).

Hay que mencionar, que, según el diseño de la perforación, al entrar en el banco de sal la perforación ya deberá estar vertical, requisito fundamental para la explotación.

7.4. PERFORACIÓN A $\text{Ø } 12 \frac{1}{4}$ "

Fijado el punto del cambio del diámetro de la perforación, se iniciará la última fase de perforación a $\text{Ø } 12 \frac{1}{4}$ " ya dentro del banco de sal.

Una composición tipo para esta etapa podría ser

- * Tricono $\text{Ø } 12 \frac{1}{4}$ "
- * Motor $\text{Ø } 9 \frac{1}{2}$ " (se indicará el ángulo de desviación de este)
- * Bearing stab $\text{Ø } 11 \frac{1}{2}$ " (estabilizador incluido en el pack motor)
- * String Stab $\text{Ø } 12$ " (estabilizador de la sarta)
- * Shock SUB $\text{Ø } 9 \frac{1}{2}$ " -pieza amortiguación de vibraciones-
- * XO $\text{Ø } 9 \frac{1}{2}$ " (Crossover)
- * MWD (equipo direccional)
- * String Stab $\text{Ø } 11 \frac{1}{2}$ " (estabilizador de la sarta)
- * DC $\text{Ø } 9 \frac{5}{8}$ " y/o $\text{Ø } 8 \frac{1}{2}$ " (Dricolares o barras de carga)
- * XO $\text{Ø } 8 \frac{1}{2}$ " (Crossover)
- * Jar $\text{Ø } 8$ " (martillo)
- * XO $\text{Ø } 8$ " (Crossover)
- * DC $\text{Ø } 8 \frac{1}{2}$ "
- * XO $\text{Ø } 8$ " (Crossover)
- * HWDP $\text{Ø } 5$ " (Barras de perforación reforzadas)
- * DP $\text{Ø } 5$ " (Barras de perforación convencionales)

Los problemas que pueden aparecer durante esta fase pueden ser falta de avance por el deterioro del tricono (por los metros perforados), problemas de atasque si se atraviesa algún banco importante de arcilla y no existe una buena limpieza del agujero, etc. Los problemas de fugas estando dentro del banco de sal son inexistentes.

La perforación se dará por finalizada cuando el porcentaje de sal disminuya considerablemente durante varias decenas de metros (aproximadamente entre 1300-1400 metros).

Será importante tener una información puntual del porcentaje de sal durante la perforación, para tomar la decisión de detener la perforación y evitar la perforación de unos metros que no se podrían explotar.

La zona de inicio para la explotación de un sondeo requiere una riqueza superior al 80%, por lo que podría darse el caso que se desechara los últimos metros perforados si no cumpliesen este requisito

Dada por finalizada la perforación será necesario repasar el sondeo dando especial relevancia a las zonas en las que se detecte algún torque de la sarta.

Antes de proceder a sacar la sarta a las superficie, se realizará un circulación profunda de lodos, para lavar perfectamente el sondeo (evitando dejar detritus suspendidos en el mismo) y además, se inyectará unos metros por debajo de donde se va a situar el pie de la columna de explotación de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}''$, un tapón de gel (lodo con características especiales más viscoso) cuya función en cierta medida es taponar el agujero de $12 \frac{1}{4}''$ para evitar que la lechada de cemento que se inyecte en la posterior cementación de la columna descienda hacia el agujero perforado .

Como última operación antes de iniciarse la entubación del pozo, se retira el BOP, así como el casquillo protector de la brida de $16 \frac{3}{4}''$ (en este espacio se instalará los cuñas y anillo de cierre que sujetan la col de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}''$).

7.5. ENTUBADO COLUMNA DE $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}''$ Y CEMENTACIÓN

Previamente a entubación y a agujero desnudo se realizará un control del pozo por una empresa especialista en logging (Schlumberger, Weatherford ...) en este control se realizará varias medidas:

- * Calibración del agujero con un caliper de al menos 6 brazos (por la sensibilidad de la medida). Con el fin de determinar de forma más exacta el volumen de la lechada a emplear en la cementación.
- * Control de gamma-ray para tener una información más sobre el tipo de terrenos atravesados etc...

Estos equipos también pueden realizar otras series de medidas: de ultrasonidos, de neutrones etc.; ofreciendo cada uno de ellos diversa información sobre la formación geológica.



Figura 7.8: Caliper 4 brazos, Fuente: Probe (Probe1.com)

Realizado el logging se procederá a la entubación de la columna de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ ", siguiendo los mismos pasos que los ya descritos para la columna de $\text{Ø } 16$ ": calibración, roscado del zapato, soldado de este, etc., con la excepción del tipo y distribución de los de centralizadores.

En este caso se dispondrá de dos tipos de centralizadores dependiendo de su ubicación:

- Desde 0 a 250 metros (zona correspondiente al entubado de $\text{Ø } 16$ "") se dispondrá de un centralizadores rígidos tipo "welded centralizer" con doble "Stop collars" con un diámetro interior para un casing de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " y un diámetro exterior para un casing de $\text{Ø } 16$ " de 75 lb/ft, instalándose un conjunto cada dos tubos.



Figura 7.9: Welded centralizers- Stop collars; Catálogo Weatherford Cementing Products [18]

- Desde 250 metros hasta el pie de la columna cementada de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " se dispondrá de "non-weld centralizers" y "stop collars" similar a los de la columna de $\text{Ø } 16$ ", pero con un diámetro interior para un casing de $\text{Ø } 10 \frac{3}{4}$ " y un diámetro exterior para un agujero de $\text{Ø } 14 \frac{3}{4}$ ", disponiendo de dos unidades en los dos primeros tubos (zona de los zapatos) y una unidad en tubos alternos.

Al igual que en la columna de Ø 16”, se pondrá especial atención al apriete en este caso de la columna de Ø 10 3/4”. Un apriete defectuoso podría dar lugar una fuga de la lechada durante la cementación pudiendo dar lugar a la pérdida del sondeo. En este caso el par de apriete será de 5280 lb/ft.

DIÁMETRO	PESO	GRADO	TORQUE ÓPTIMO		
			STC	LC	KC
ulg	lb/pie		lb.pie	lb.pie	lb.pie
8 5/8	49.00	C-90		10850	4700
		C-95		11440	5200
		P-110		13350	5200
		Q-125		14960	5700
9 5/8	32.30	H-40	2540		
	36.00	H-40	2940		
		J-55	3940	4530	
	40.00	K-55	4230	4890	
		J-55	4520	5200	4700
	43.50	K-55	4860	5610	4700
		N-80		7370	5200
		L-80		7270	5200
		C-90		8040	5200
		C-95		8470	6200
		N-80		8250	5200
		L-80		8130	5200
C-90			8990	5200	
C-95			9480	6200	
P-110			11050	6200	
47.00	N-80		9050	5200	
	L-80		8930	5200	
	C-90		9870	5200	
	C-95		10400	6200	
	P-110		12130	6200	
	Q-125		13600	6700	
53.50	N-80		10620	5200	
	L-80		10470	5200	
	C-90		11570	5200	
	C-95		12200	6200	
	P-110		14220	6200	
	Q-125		15950	6700	
10 3/4	32.75	H-40	2050		
	40.50	H-40	3140		
		J-55	4200		
	45.50	K-55	4500		
		J-55	4930		
	51.00	K-55	5280		
		J-55	5650		
		K-55	6060		
		N-80	8040		
		L-80	7940		
		C-90	8790		
		C-95	9270		
		P-110	10710		
	55.50	N-80	8950		
		L-80	8840		
		C-90	9790		
C-95		10320			
P-110		12020			
60.70	P-110	13370			
	Q-125	15020			
65.70	P-110	14710			
	Q-125	16520			

Figura 7.10: Tabla de aprietes casing, Fuente: Catálogo Tenaris [17]

En este caso, para la determinación del volumen de lechada necesaria, se dispondrá de la información facilitada por la medida del caliper, si bien como este dato ahora se desconoce se va a realizar un cálculo aproximado (considerando el pie de la columna cementada a instalar a 724 m).

$$V_{\text{interior col. 16''}} = 250 \text{ m} \times 115,9 \text{ l/m} = 28,977 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{ozo desnudo}} = 724 - 250 \text{ m} \times 110,24 \text{ l/m} = 52,253 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{pozo ponderado}} = 52,253 \times 1,10 = 57,479 \text{ m}^3$$

A este volumen habrá que añadir los 7 metros de altura del tubo fontana (tubo de salida de lodos desde el ante pozo a la canal de lodos) menos el desalojo del tubo de 10 3/4".

$$V_{\text{fontana}} = 7 \times (115,9 - 7 \times 58,56) \text{ l/m} = 0,401 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Total}} = 86,857 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{desalojo casing 10 3/4''}} = 724 \times 58,56 \text{ l/m} = 42,397 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interior sarta perforación}} = (724 + 7) \times 9,27 \text{ l/m} = 6,776 \text{ m}^3$$

El volumen de lechada total necesario para este sondeo en concreto será:

$$V = 86,857 - 42,397 + 6,776 = 51,236 \text{ m}^3$$

Esta cementación se considera esencial para garantizar la estanqueidad del pozo, de cara a la explotación de este, así se ha previsto que la zona del zapato de cementación, comprendiendo aproximadamente 50-70 metros tenga una densidad de 1,8 kg/l con el fin de garantizar el sello de esta, y para el resto de la cementación se aplicará una densidad de 1,75 kg/l. Al igual que la cementación anterior la elección de estas densidades vendrá fijada por recomendaciones de la empresa especialista de la cementación, en base a sus cálculos y estudios realizados.

Así en este caso utilizaremos 8 m³ de lechada de 1,80 kg/l y 44 m³ de lechada de 1,75 kg/cm².

Es importante advertir que las lechadas en este caso se fabricarán con salmuera saturada para evitar cualquier tipo de disolución en el agujero, y el tapón espaciador de limpieza (spacer) también será de salmuera saturada. El tipo de cemento a emplear será del mismo tipo al elegido para la columna de Ø 16".

La cantidad de cemento utilizar será (según el prontuario de cálculo de lechadas del manual del perforador):

- Para 1 m³ de lechada de 1,8 kg/l se necesitan: 975 kg de cemento y 693 l de salmuera.

- Para 1 m³ de lechada de 1,75 kg/l se necesitan: 880 kg de cemento y 728 l de salmuera.

La cantidad total requerida será:

46,63 Tm de cemento

37,864 m³ de salmuera saturada

Si bien se mantendrán en stock en el emplazamiento un 30-40% más de cemento por si fuese necesaria su utilización.

El proceso a seguir en esta fase de cementación será idéntico al ya expuesto para la cementación de la columna de Ø 16". Dada la trascendencia de esta operación se pondrá especial atención en la inyección continua de la lechada sin variaciones bruscas de presión y con unas densidades de la lechada ajustadas a las calculadas.

Cuando se de por finalizada la cementación (estando la columna todavía suspendida por los elevadores en el piso de trabajo) se procederá a la instalación de las cuñas de sujeción del casing sobre la brida de 16 ¾", para que la columna de Ø 10 ¾" cementada descansa sobre la misma, lo que permitirá el corte de la columna cementada por encima de este punto, al nivel que exija para su ensamblaje con la cabeza final de explotación (cabeza de pozo tipo Cameron), y para finalizar se instalará el anillo tórico elástico de estanqueidad del pozo (ver plano 10.1. Brida cabeza pozo (Casing Head Housing)).

Tras 72 horas de fraguado se bajará nuevamente la sarta para la perforación del tapón de cemento con la siguiente composición:

- * Tricono 9 ½"
- * XO Ø 8 1/2" (Crossover)
- * DC Ø 8 ½"
- * XO Ø 8 1/2" (Crossover)
- * HWDP Ø 5" (Barras de perforación reforzadas)
- * DP Ø 5" (Barras de perforación convencionales)

Una vez detectado el pose en el tapón de cemento (zona de float collar) se procederá a perforar el mismo, y se continuará bajando la sarta hasta la máxima profundidad alcanzada durante la perforación, con el objetivo de limpiar el sondeo, una vez en el fondo y tras una limpieza y renovación de los lodos, se procederá a sustituir los mismos por salmuera para dejar preparado el pozo para la instalación de las columnas de explotación. Con esta operación se puede dar por finalizada la perforación del sondeo.

8- EQUIPAMIENTO COLUMNAS DE EXPLOTACIÓN

El equipamiento de las columnas de explotación se puede considerar adicional a todo todo el proceso de perforación, pues también podría realizarse por el equipo de Workover del departamento de sondeos, pero con la idea de poner en servicio lo antes posible el pozo (para minimizar el riesgo de cierre del agujero perforado) se realizará por el mismo equipo de perforación.

Así, antes de proceder al desplazamiento del equipo de perforación al siguiente sondeo, se procederá a bajar las columnas de explotación de $\varnothing 7\ 5/8''$ y $\varnothing 5''$ así como la instalación de la cabeza de pozo (tipo Cameron). El apriete de estas columnas se realizará con el equipamiento del servicio de sondeos y bajo su control e intervención.

Al finalizar estas operaciones tan solo restará la inyección del blanket y el conexionado de los elementos auxiliares externos: medidor de caudal, válvulas de red, etc, con lo que el sondeo podría quedar operativo para el inicio de su explotación.

9- INFORMES DIARIOS –DOCUMENTACIÓN

La empresa contratista de la perforación facilitará de forma diaria un informe completo de los trabajos de perforación, incluyendo así mismo todos los rapports adicionales de las empresas de servicios que intervenga en esa fecha en la misma.

Todas las operaciones ejecutadas durante la perforación de los sondeos deberán de estar debidamente documentadas.

* Informe diario de Perforación (informe general de compendio)

El informe principal será el facilitado por la empresa que ejecuta la perforación siguiendo los requisitos de la I.A.D.C. (International Association of Drilling Contractors).

En él, se facilitará la siguiente información:

- Nombre del sondeo
- Fecha del informe
- Profundidad alcanzada
- Número de orden desde el inicio de la perforación
- Avance diario de la perforación (avance en metros /día)
- Tiempo efectivo de perforación
- Rendimiento de la perforación en metros/horas.
- Formación atravesada
- Detalle horario de cada una de las tareas que se han desarrollado durante la jornada (perforación, reparaciones, pruebas etc.).
- Datos de la inclinación y el azimut de las medias efectuadas en las profundidades medidas.
- Parámetros de la perforación: incluyendo, el tipo y diámetro de tricono, la marca, el nº de serie, las toberas con las que está equipado, la profundidad inicial de utilización de este y la profundidad alcanzada en el día, el tiempo de perforación del día, el rendimiento, la carga sobre el útil media de la jornada, la revoluciones, el par motor, el caudal de circulación, el equipamiento de las bombas de pistones y el nº de emboladas etc.
- Análisis de lodos indicando el tipo de lodo, la densidad, la temperatura, el agua libre, el espesor de torta, el contenido en arenas, viscosidad plástica, viscosidad (en segundos) etc.
- Disposición de los casing hasta la fecha.



- Composición de la sarta de perforación en el día, determinación de la longitud de total, incluyendo la altura al piso de trabajo etc.
- Consumo diario de gasóleo.
- Número y tipo de trabajadores en el campo
- Tema tratado en la reunión diaria de seguridad según su plan de divulgación o formación.
- Persona que firma el informe jefe de campo o similar)

Y todos los datos que se consideren relevantes.

Se adjunta un informe diario tipo relleno con datos ficticios (en rojo)

LOGOTIPO		INFORME DIARIO DE PERFORACIÓN								LOGOTIPO	
EMPRESA PERFORADORA										EMPRESA CLIENTE	
Nº Sondeo	A	Fecha	20/06/2021	días desde inicio de la perforación		28	Ídem de la fase		12		
Profundidad	1391	Avance (m)	60	Tiempo de perforación (h)		19	Avance perforación m/h		3,16		
Formación		Triásico superior									
Interv. Horas.	H	Trabajos realizados									
06.00-23.00	17	Continuar perforación a 12 1/4" y añadir varillas									
23.00-04.00	5	Cambio de la manguera hidráulica Topdrive									
04.00-06.00	2	Continuar perforación a 12 1/4" y añadir varillas									
Reunión de seguridad (tema diario):		Uso de EPIS									
Medición de inclinación			Otras incidencias				Prestación de servicios -personal-				
Profundidad	Inclin °	Azimet °					NOV 1 persona				
1334	0,35	107,83					Weatherford 3 personas				
1343	0,56	109,92					Geodata 2 personas				
1352	0,49	126,22									
Parámetros de perforación			Análisis Lodos				BHA				
Bit/Trip nº	03/03			Hora muestra	16:00		1	DRM	12 1/4"	0,33	
Ø Broca	12 1/4"		Pulgadas	Tipo	Salado		1	Motor 1, 5º	9 1/2"	10,37	
Fabricante	Smith			Densidad	1,27	kg/l	1	Estabilizador	11 1/2"	2,57	
Tipo	GFS11YBV			Temperatura	51	°C	1	XO	9 1/2"	0,61	
Nº serie	RK1111			agua libre	6,01	ml	1	Estabilizador	11 1/2"	2,18	
Toberas	4 x24		/32"	espes. torta	0,8	mm	1	XO	9 1/2"	0,46	
Prof. Inicial	1331		m	Ph/pF	9,1/0,1		1	NMDC	9 1/2"	9,99	
Prof. Final	1391		m	Cont. Arenas	0	Vol. %	1	NMDC	9 1/2"	9,08	
Rendimiento	60		m	Cloruros	310000	mg/l	1	Estabilizador	11 1/2"	2,16	
Tiempo	17		h	Visco. Plast.	11	m/Pas	6	DC	9 1/2"	51,91	
Progreso perf.	3,53		m/h	YP	17	lbs/100 ft2	2	DC	8 1/2"	18,85	
Estado			d/r/c	Visco dinam.	37	seg	1	XO	8 1/2"	0,5	
Carga	10-18		Tm				1	jar	8 1/2"	9,55	
RPM	40/88						1	XO	8 1/2"	0,5	
Par motor	600-900		Nm	Casing			1	DC	8 1/2"	9,41	
Vol.en circula	2870		L/m	Ø Exterior		Pie	1	XO	8 1/2"	0,5	
Pistón B1	6 1/2"		Pulgadas	24"		8	10	HWDP	5"	90,14	
Emboladas B1	92		emb/min	16"		258,35	126	DP	5"	1182,81	
Presión B1	110		bar	10 3/4"							
Pistón B2	6 1/2"		Pulgadas						Longitud Total		1401,92
Emboladas B2	92		emb/min						Altura al piso trabajo		7
Presión B2	110		bar						Sobre el piso		3,92
Personal por turno		Consumo gasoil (litros)									
Perforación	1/2/8	Día	4500	PROFUNDIDAD MD 1391							
Técnico	1/0	En el sondeo	110000								
Motorista	1/1	Total	245000								
Electricista	1/1										

* Informe de Lodos de perforación

La empresa de servicios encargada del tratamiento de lodos facilitará también diariamente un informe detallando los parámetros obtenidos en los análisis de los lodos efectuado en la jornada (pueden llevarse a cabo 6-8 análisis por día), indicando los aditivos utilizados tanto para la fabricación de nuevos lodos, como los empleados para tratar los lodos en circulación.

Además, se reflejará en el mismo si se ha detectado alguna anomalía significativa durante la perforación: fugas de lodos, indicando profundidad y caudal de fuga etc.

*Informe del Control direccional.

Se facilitará un informe detallado de la trayectoria del sondeo real en comparación con la trayectoria prevista inicial. Dando la correspondencia en cada punto de los dos tipos de profundidad TVD (profundidad vertical) y la MD (profundidad en longitud).

* Informe geológico.

En este informe se indicarán los resultados de los análisis de los detritus, indicando la composición del terreno perforado, que permita la confección de un corte litológico. También se determinará el porcentaje de sal de cada una de las muestras. Esta información será también de utilidad para adaptar los parámetros de perforación al terreno atravesado en cada momento.

* Informes de cementación

Dentro de estos informes se pueden distinguir básicamente dos tipos:

- Informe de propuesta de cementación, en el que, con los datos de profundidad, diámetro de perforación, diámetro del casing etc. realizan una propuesta o un modelo cementación, estableciendo teóricamente los consumos de cemento, las presiones de bombeo de la lechada, el tiempo de ejecución de la operación etc.

- Informe real: en el que facilitarán todos los datos reales, obtenidos en la monitorización de la ejecución real de la cementación.

*Informe de roscado de tubos

En cada una de las entubaciones se facilitará un listado completo de la composición de esta, indicando la longitud de cada tubo y de las válvulas de seguridad (collar float y float shoe), su número de orden y la disposición de los centralizadores instalados.

Además, indicará el par de apriete dado a cada una de las conexiones.

***Informe de los logging**

Tras la realización del caliper efectuado antes de la entubación de la columna de 10 ¾” en cada uno de los sondeos se facilitará el volumen del pozo, para la determinación del volumen de la cementación.

En otros tipos de logging como pueden ser, gamma ray, neutrones etc. el informe facilitado tendrá que ser analizado e interpretado por un especialista, por su complejidad.

10-PLAN DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTAL

En este apartado se va a establecer dos apartados uno que abarque el plan de seguridad a contemplar en la construcción de la infraestructura del emplazamiento y otro que corresponda a la perforación de los sondeos, enfocando cada uno de ellos a los riesgos laborales asociados a cada actividad.

El primero será un plan de seguridad más individual enfocado a excavaciones, obra civil, montaje de tuberías y líneas eléctricas de B.T con un desarrollo más adscrito al tipo de actividad, pues en este caso en particular ninguna empresa pilota la obra, sino que se tratará de aglutinar los diversos planes de seguridad individuales, de la actividad que realice cada empresa, siendo por otro lado riesgos más conocidos y estandarizados.

El segundo será un plan de seguridad más ambicioso dada las características del trabajo a realizar: Trabajo menos estandarizado, trabajo a fuego continuo de forma ininterrumpida, duración de los turnos (en estos trabajos está permitido la realización de turnos de 12 h durante 14 días consecutivos), interacción de muchas empresas al unísono, pudiéndose ser de diferentes nacionalidades, etc.

Dadas las características de esta actividad se tendrá como marco normativo la Ley de Riesgos Laborales, Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera RD 1389/1997 por el que se aprueban las disposiciones Mínimas para proteger la Seguridad y Salud de los trabajadores en la industria extractiva.

Así mismo se tendrán en consideración toda la normativa particular adicional impuesta por la empresa contratante, que pudiera aplicarse, por ejemplo, permisos de trabajo, cumplimiento de las normas internas, curso obligatorio de bienvenida de formación de seguridad etc....., todo ello dentro de su política preventiva.

10.1. PLAN DE SEGURIDAD CONSTRUCCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Antes del comienzo de los trabajos las diversas empresas constructoras (obra civil, montajes metalúrgicos, etc.) presentarán un plan de seguridad de la obra que les corresponde ejecutar. En este deberá figurar con carácter mínimo:

* Designación de un Jefe de Obra el cual entre otras funciones le corresponderá:

- Conocer y consensuar el Plan de Seguridad y Salud elaborado por el Técnico de Prevención, indicando las situaciones críticas previstas en el desarrollo de la ejecución de la obra, estableciendo los medios y acciones para prevenirlas
- Tomar las decisiones necesarias para la eficaz coordinación y puesta en funcionamiento de las medidas de seguridad de la obra entre el personal propio y el personal de otras contratas.

- Colaborar en el desarrollo de Planes de Formación facilitando la asistencia de su personal de obra a Cursos o Reuniones de Seguridad que pudiera planificar o diseñar la empresa contratante (Solvay).
- Facilitar al Servicio de Prevención y Técnico de Prevención de la empresa contratante los datos que solicite, (relación de trabajadores, formación de cada uno de ellos y función etc.), así como colaborar en los análisis de los incidentes o accidentes que pudieran ocurrir en el desarrollo de esta.
- Entregar a cada empresa subcontratadas si la hubiera una copia del Plan de Seguridad correspondiente a su unidad de actuación.

En caso de solaparse distintas operaciones de diversos ramos, todos Jefes de Obra estarán bajo la supervisión y coordinación de un responsable de la empresa contratante (Solvay).

* Designación de Encargado de Obra el cual entre otras funciones le corresponderá:

- Vigilar que los operarios cumplan con las normas y medidas de seguridad.
- Requerir la presencia del Jefe de Obra y/o Técnico de prevención cuando tenga cualquier duda con respecto al cumplimiento de las normas de seguridad y/o de las medidas a tomar.
- Colaborar con el Servicio de Prevención

* Indicación del nombramiento de un recurso preventivo pudiendo ser un componente del equipo de trabajo. El cual vigilará el cumplimiento de las medidas incluidas en el Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo, pudiendo en el ejercicio de su función realizar las indicaciones necesarias para corregir las deficiencias detectadas.

También será necesaria la presencia del recurso preventivo cuando las operaciones a realizar por su naturaleza conlleven riesgos especiales: Riesgos graves de sepultamiento, caída a distinta altura, obras de pozos etc.

* Indicación del Técnico de Prevención. Este será el encargado de:

- Elaborar el Plan de Seguridad y Salud de la Obra
- Enviar para su aprobación del Plan de Seguridad al coordinador de Seguridad de la empresa contratante.
- Establecer la evaluación de riesgos para cada una de las funciones a intervenir en esta obra.
- Indicar las medidas de seguridad a adoptar para el buen fin de la obra en materia de Seguridad.

- Verificar con el encargado de Obra de que el material de seguridad a incorporar esté debidamente homologado según el artículo 41 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Estará facultado para ordenar la paralización de las Obras si detectase un grave incumplimiento de las normas de seguridad y/o un grave riesgo para integridad física de los trabajadores.
- * Identificación de riesgos inherentes a la ejecución de esta obra juntamente con las medidas correctoras a aplicar en cada caso, podemos destacar entre otros:
 - Atropellos por vehículos: reducción de la velocidad de circulación y señalización vial.
 - Caídas a distinta altura: apertura de zanjas o escalones en el movimiento de tierras: señalización de la zona afectada etc.
 - Caídas al mismo nivel: Señalización de zonas salientes del terreno (estaquillas, cordeles...)
 - Golpes o atropellos con maquinaria pesada. Control y respecto del radio de acción de la maquinaria etc.
 - Ruido: Uso de protecciones auditivas.
 - Lesiones con elementos cortantes. Uso de EPIS
 - Uso de herramientas eléctricas manuales: Control del estado de esta, así como de sus conexiones.
 - Golpes como consecuencia de la manipulación de grandes piezas (tubos, placas de encofrado etc.): Aplicación de los procedimientos de trabajo, control estado elementos de elevación etc.
 - Trabajos en zanja. Observación del talud mínimo necesario y análisis de estabilidad del terreno.
 - Proyecciones de partículas en soldaduras. Uso de los EPI.
 - Riesgo de contactos eléctricos.
 - Riesgo de contaminación ambiental por derrames contaminantes (aceites, combustibles etc.).
 - Sobreesfuerzos
 - Etc.

El Plan de Seguridad estará basado fundamentalmente en un modelo preventivo más que en uno correctivo, por lo que se tendrán que analizar todas las acciones para minimizar cualquier incidente o accidente laboral.

El plan también reflejará las acciones a tomar en caso de accidente, haciendo un especial hincapié en la atención del herido, contemplando los medios de comunicación a utilizar para transmitir el mismo y la rapidez de actuación.

10.2. PLAN DE SEGURIDAD FASE DE PERFORACIÓN

La empresa contratista facilitará un procedimiento de trabajo para la perforación de los sondeos. En este documento se describirán de manera general las distintas fases de ejecución de esta, desde su llegada al emplazamiento hasta la retirada y el traslado del equipo.

Previamente la empresa contratista facilitará un listado del material a instalar, juntamente con las características del transporte a realizar hasta la plataforma de perforación, con el fin de analizar los condicionantes del mismo, tomando especial atención al peso y las dimensiones, por su influencia en el cruce de tendidos eléctricos, viales limitados al peso y/o a la altura etc. Al tratarse en ocasiones de material pesado y voluminoso podría requerir la realización de transportes especiales

La primera fase contemplará el montaje de todo el equipamiento necesario para la perforación.

Una vez concluida esta fase y previo al inicio de la perforación propiamente dicha se realizará un “Checklist” general de la instalación por parte del responsable de seguridad de la empresa ejecutante y el personal designado por la empresa contratante, poniendo especial atención al conjunto de medidas de seguridad adaptadas. De no observarse ninguna anomalía se dará el visto bueno para el inicio de la perforación.

Para las siguientes fases de la perforación (perforación a 20’, entubación casing de 16’’ etc...) la empresa contratante facilitará un procedimiento de trabajo para cada una de ellas debiéndose indicar sus objetivos, los responsables de realizarlos, las circunstancias en las que son exigibles su aplicación, como han de aplicarse y los registros que han de cumplimentarse para dar constancia y controlar lo realizado.

La ITC 02.00.01 del RGNBSM establece la obligatoriedad, bajo la responsabilidad del director facultativo, de la creación de un registro en el que se inscriban todas la personal que trabajen en el centro de trabajo. Por lo que la empresa contratante deberá facilitar un listado de todo el personal que vaya a intervenir en los trabajos, tanto de la empresa responsable de la perforación como de las empresas auxiliares, indicando el servicio prestado por cada una de ellas.

La modalidad preventiva adoptada se regirá por lo dispuesto en el Real Decreto 39/1997 “Reglamento de los Servicios de Prevención” (modificado por el Real Decreto 604/2006).

Por lo que se exigirá a la empresa contratista la presencia en el trabajo de los recursos preventivos necesarios para garantizar el cumplimiento de las actividades preventivas debiendo permanecer en el trabajo durante el tiempo en que se mantenga la situación que determine su presencia, ya sea por supuestos y situaciones de especial riesgo o peligrosidad. El número de recursos preventivos será el suficiente para vigilar el cumplimiento de las actividades preventivas.

Al responsable de la empresa contratista “Jefe de Campo” (Tool pusher) se asignarán las siguientes funciones:

- Asegurar la coherencia de las acciones de la Política de Seguridad, Salud y Medioambiente en el trabajo.
- Asesorar al responsable del proyecto de perforación en la toma de decisiones.
- Implantar los procedimientos de Seguridad, Salud y Medio Ambiente en sus áreas de responsabilidad.
- Proponer acciones para la mejora de las condiciones de trabajo en sus áreas de responsabilidad.
- Comunicar al departamento de prevención de la empresa contratante (Solvay) los cambios que surjan en su área de responsabilidad que puedan afectar a la Seguridad y Salud de los trabajadores o al Medioambiente.
- Hacer cumplir los Objetivos de Seguridad, Salud y Medioambiente, auditorías internas, plan de formación programado etc.

A los trabajadores por otro lado se les exigirá:

- Cumplimiento con la Política de Seguridad, Salud y Medioambiente por la dirección de su empresa y la empresa contratante.
- Conocer en profundidad la actividad que desarrollan.
- Colaboración activa con la organización en el desarrollo de actividades preventivas cumpliendo todas las obligaciones en materia de Seguridad, Salud y Medioambiente, así como un seguimiento de los procedimientos e instrucciones desarrollados por la empresa sobre esta materia para el correcto desempeño de su trabajo.
- Velar por la propia seguridad y por la de aquellos que les pueda afectar su actividad.

Todos estos requisitos serán igualmente exigibles a los trabajadores de otras empresas contratistas, siendo estas responsables de la correcta ejecución de las medidas preventivas.

La empresa contratista identificará los peligros derivados de la actividad que desarrolla (se incluirá a otras empresas contratistas):

- En primer lugar, identificará los lugares de trabajo existente dentro del centro de la plataforma de perforación.
- Identificación de los distintos puestos de trabajo existentes en la plataforma de perforación para la evaluación de los riesgos específicos asociados a cada uno de los puestos de trabajo. Esta relación se completará con una breve descripción de estos.
- Identificación de los peligros genéricos asociados a las tareas de conjunto.

La evaluación de los riesgos asociados a las operaciones asociadas a este tipo de trabajo incluirá:

- Caídas de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al mismo nivel
- Desplome de objetos

- Caída de objetos manipulados
- Desprendimiento de objetos
- Pisada sobre objetos punzantes o cortantes
- Choque contra objetos inmóviles
- Choque contra objetos móviles
- Golpes, cortes o erosiones por objetos y herramientas
- Impacto de partículas o fragmentos volantes
- Atrapamiento por y entre objetos
- Vuelco de máquinas o equipos
- Sobreesfuerzos
- Exposición al frío o al calor excesivo
- Quemaduras por contacto
- Contactos eléctricos
- Exposición a sustancias nocivas o tóxicas
- Contacto con sustancias cáusticas
- Exposición a radiaciones (equipos de logging)
- Riesgo de explosión
- Atropellos con vehículos
- Ruidos
- Vibraciones
- Polvo, humo, y vapores
- Enfermedades causadas por otros agentes físicos (ergonomía etc....)
- Fatiga física o mental
- Cualquier otro riesgo asociado a estos tipos de trabajo

Una vez realizada la identificación y evaluación de los riesgos generales y por puesto de trabajo, se implementará una serie de medidas preventivas para la eliminación o reducción de los riesgos y su control.

Estas medidas preventivas deberán tener un programa de acción con fecha de ejecución y priorización de acuerdo con el riesgo evaluado y al número de trabajadores afectados, en esta planificación de actividades preventivas se deberá reflejar:

- Los objetivos que ha llevado a su implantación
- El plazo de ejecución.

- Los responsables para su ejecución.
- Los medios humanos materiales y económicos para llevar a cabo.

Además, se deberá asegurar el cumplimiento de la planificación de estas actividades preventivas, dentro del su plazo de ejecución contemplado, por lo que se realizará un seguimiento y control periódico del mismo, que permita detectar las desviaciones, y en cuyo caso se puedan implementar otras medidas alternativas.

Por otro lado, en cumplimiento del artículo 24 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales en materia de coordinación de actividades empresariales, se establecerán los medios que se consideren necesarios y pertinentes para esta coordinación:

- Reuniones periódicas conjuntas de los delegados de prevención.
- Intercambio de información entre empresas concurrentes.
- Impartición de instrucciones.
- Establecimiento conjunto de medidas específicas de prevención de los riesgos existentes en el centro de trabajo y que puedan afectar al conjunto de los trabajadores.
- La designación de una o más personas encargadas de la coordinación de medidas preventivas.

También se tendrá que disponer de un plan de emergencias en coordinación con el servicio de seguridad de la empresa contratante.

En este plan de emergencias se contemplarán los incidentes de cualquier tipo o accidentes graves debiendo reflejar las medidas a aplicar en cada caso. Podemos señalar entre otras:

- Control de derrames de hidrocarburos, aceites etc.: Contención de estos en el foso de recogida de efluentes.
- Erupciones del sondeo: Control y reconducción de esta para preservar el medio ambiente.
- Explosiones por la acumulación de gases. Control de comburente para minimizar el impacto.
- Incendios: control de este con los medios del sistema antiincendios distribuidos por toda la plataforma, y/o aviso al departamento de bomberos.
- Accidentes leves: Botiquín de primeros auxilios
- Accidentes graves con intervención de servicio médico y/o ambulancia

Todas estas acciones están basadas en una buena coordinación y comunicación con los servicios externos: bomberos, servicio médico, etc., por lo que habrá que diseñar un sistema fiable y fluido de comunicación dada las características donde se ubica el emplazamiento (zona de monte).



Siendo necesario establecer además un punto de encuentro externo fácilmente reconocible por los servicios externos (una iglesia cercana, el ayuntamiento de la zona etc.) para la recogida de estos en caso de necesidad. Este punto de encuentro será adicional a los puntos de encuentro que pudieran prepararse en la zona externa al emplazamiento y que respondan a uso interno.

Dadas estas circunstancias se considerará necesario nada más iniciarse el montaje de la instalación la realización de un simulacro de intervención de bomberos y equipo médico para familiarizarse con el entorno o si esto no es posible la realización de una visita a la zona.

11-PRESUPUESTO

Este se ha desglosado en dos grandes apartados uno que engloba toda la infraestructura y otro el conjunto de la perforación y el equipamiento del sondeo.

El importe considerado para las diversas partidas ligadas a la perforación (perforación básica, cementaciones, logging etc.) podrían sufrir grandes variaciones, pues es un mercado sujeto al entorno del mundo del petróleo y muy ligado por otro lado a la existencia o no de estos equipos en este momento en Europa.

La posibilidad de disponer de equipos en un entorno relativamente cercano, como puede ser el sur de Francia, por ejemplo, podría dar lugar a una disminución de las tarifas, por el contrario, la necesidad de trasladar los equipos de centro Europa, Reino Unido, Oriente Medio... podría ocasionar un gran incremento de los costes.

El importe de las distintas fases de perforación se ha evaluado por metro de perforación, incluyendo los costes asociados de la direccional, el control de lodos y el control geológico, por entender que estos son elementos que no se pueden considerar como servicios adicionales.

Además, se ha contemplado unas partidas o tarifas adicionales para cubrir diversas incidencias: gasto adicional de productos de lodo, como consecuencia de fugas, paradas del equipo no imputables a la empresa perforadora etc.

CANTIDAD	UNIDADES	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
5000	m2	Desbroce del terreno	1	3.000 €
7140	m3	Excavación de la explanación	4	28.560 €
2727	m3	Relleno del talud incluyendo compactado a capas	8	21.816 €
1050	m3	Excavación de la trinchera de los antepozo	4	4.200 €
5800	m3	Transporte de tierras sobrantes a acopio	3	14.500 €
350	m3	Transporte todo uno (propio)	6	2.100 €
350	m3	Relleno todo uno y compactación base hormigonada	5	1.750 €
2000	m3	Transporte guijo con incocidos (propio)	6	12.000 €
2000	m3	Relleno guijo con incocidos y compactación en plataf.	8	15.800 €
280	m3	hormigón HA-30 III + Qb (incluyendo bombeo)	63	17.640 €
15000	kg	Armadura B500 S incluyendo Armadura Ø 12c/30 Armadura Ø 16c/30 Armadura Ø 8c/10 Armadura Ø 10c/10 Armadura Ø 20c/20 Armadura Ø12c/20 Armadura Ø 10c/20 Separador de malla 25 cm Separador de malla 15 cm Armadura de refuerzo	1	16.500 €
30	mts	tubería de Ø 26" API 5L STD		0 €

60	mts	tubería de PVC saneamiento Ø 250 mm	6	360 €
40	mts	tubería de PVC saneamiento Ø 300 mm	8	320 €
12	mts	Tubo acero rectangular de 200 x 100	15	180 €
50	mts	Llanta inox 316 de 40 x 4 mm	10	500 €
24	mts	Angulo inox 316 de 50 x50 x 5	15	360 €
6	uds	Arqueta tipo telefónica 50 x 50	85	510 €
120	mts	tubería corrugas de Ø 150	1	132 €
120	mts	tubería corrugas de Ø 80	1	96 €
62	mts	Canaletas prefabricadas drenaje	135	8.370 €
1	lot	Caballetes soporte tubería	400	400 €
1	lot	Materiales diversos	1000	1.000 €
1	lot	Control topográfico	2000	2.000 €
50	h	Mano de obra instalación tub. Antepozo	25	1.250 €
240	h	Mano de obra encofrado antepozos	25	6.000 €
75	h	Mano de obra encofrado losa	25	1.875 €
40	h	Mano de obra instalación canaleta drenaje	25	1.000 €
75	m3	excavación foso decantador	4	300 €
15	m3	hormigón HA-30 III + Qb	58	870 €
900	kg	Armadura B500 S incluyendo Armadura Ø 12c/20 Armadura Ø 12c/30 Armadura Ø 10c/30	1	990 €
32	mts	Llanta acero 40 x 4	4	128 €

200	mts	Redondo de acero de \varnothing 20	2	400 €
40	h	Mano de obra construcción rejillas	27	1.080 €
52	h	Mano de obra encofrado foso	25	1.300 €
1	lot	Materiales diversos	400	400 €
600	m3	excavación en zanja (tuberías)	4	2.400 €
300	Tm	Arena	11	3.300 €
150	m	Acondicionado zanja lecho de arena	3	450 €
500	m3	Relleno de zanja y restauración terreno	3	1.600 €
150	m	Trabajo de apoyo a tendido tuberías	10	1.500 €
150	mts	tubería corrugas de \varnothing 150	1	165 €
150	mts	tubería corrugas de \varnothing 80	1	120 €
5	uds	Arqueta tipo telefónica 50 x 50	85	425 €
1	uds	Rollo señalización cable comunicaciones PVC	45	45 €
1	uds	Rollo señalización cable comunicaciones PVC	45	45 €
200	mts	tubería de \varnothing 14" " API 5I STD A-353 recub. de polietileno	157	31.400 €
30	mts	tubería de \varnothing 10" " API 5I STD A-353 recub. de polietileno	110	3.300 €
130	mts	tubería de \varnothing 5" " API 5I STD A-353 recub. de polietileno	55	7.150 €
1	lot	Accesorios acero (cap, codos bridas...)	1500	1.500 €
1	lot	Montaje tubería de acero	18000	18.000 €
150	mts	tubería de \varnothing 400 de PE-100 PN-6	30	4.500 €
150	mts	tubería de \varnothing 250 de PE-100 PN-6	12	1.800 €
60	mts	tubería de \varnothing 100 de PE-100 PN-6	6	360 €
1	lot	Accesorios PE (T, tope bridas y aros...)	900	900 €

1	lot	Montaje tubería de PE	3200	3.200 €
160	mts	Cable de RV-K 0,6/1KV de 4 x 95	22	3.520 €
1	uds	Caseta prefabricada de 2600 x 2400 Tipo Prephor	5400	5.400 €
1	uds	Cuadro de distribución eléctrica	150	150 €
1	lot	automáticos y diferenciales	1200	1.200 €
1	lot	Tomas de corriente externas	195	195 €
1	lot	Imprevistos	20000	20.000 €

TOTAL, PARCIAL -INFRAESTRUCTURA-

280.312 €

1	uds	Movilización y desmovilización del equipo	850000	850.000 €
2	uds	Desplazamiento entre sondeos del Rig	85000	170.000 €
760	mts	perforación a \varnothing 20 " (con direccional)	1050	798.000 €
1400	mts	perforación a \varnothing 14 3/4 " (con direccional)	900	1.260.000 €
2040	mts	perforación a \varnothing 12 1/4" (con direccional)	800	1.632.000 €
40	h	Reperforación tapones cemento y limpieza pozo	900	36.000 €
80	h	Entubado columnas	900	72.000 €
90	h	Stanby por causa ajenas a a empresa perforadora (*)	800	72.000 €
220	h	Tiempo espera fraguado cementaciones	850	187.000 €
96	h	Equipamiento columnas explotación	850	81.600 €
3	lot	fabricación de lodos adicionales por fugas (*)	20000	60.000 €
3	uds	Brida de cabeza de 16"	23000	69.000 €
1	lot	Imprevistos	80000	80.000 €

3	uds	Logging: caliper y gamma ray	43000	129.000 €
750	mts	Apriete entubado col. Ø 16"	25	18.750 €
2200	mts	Apriete entubado col. Ø 10 3/4 "	18	39.600 €
3	lot	Compañía servicio cementaciones para casing Ø 16"	25000	75.000 €
3	lot	Compañía servicio cementaciones para casing Ø 10 3/4 "	32000	96.000 €
250	Tm	Cemento	170	42.500 €
				0 €
770	m	Casing de 16" de 75 lb/ft K55	160	123.200 €
2250	m	Casing de Ø 10 3/4" de 40,5 lb/ft K55	90	202.500 €
4300	m	Casing de Ø 7 5/8" de 26,4 Lb/ft K55 (explotación)	55	236.500 €
4300	m	Casing de Ø 5" de 19 lb/ft K55 (explotación)	27	116.100 €
3	uds	Cabeza de pozo tipo "Cameron"	95000	285.000 €

TOTAL, PARCIAL -PERFORACION-

6.731.750 €

IMPORTE TOTAL

7.292.374 €

(*) Cantidad estimada

12-CONCLUSIÓN

Este proyecto para la perforación de tres sondeos en el diapiro de Polanco se ha realizado tomando como líneas directrices los siguientes puntos:

- Conseguir el mejor aprovechamiento del yacimiento, mediante el método de explotación por disolución de cámaras y pilares (disposición de los sondeos en una retícula hexagonal).
- Garantizar la perforación de todos los sondeos dispuestos en la malla teórica de distribución, con independencia de los accidentes geológicos y topográficos, etc. que pudieran interrumpir la misma.
- Planificar las infraestructuras necesarias con una doble finalidad, cumplir con los requisitos técnicos exigidos para la implantación del equipo de perforación, en la fase de ejecución del pozo, y de las necesidades requeridas para la futura explotación de los mismos (durante más de 30 años).
- Diseñar las estructuras de los pozos, cumpliendo las condiciones marcadas por la empresa explotadora que permitan el normal desarrollo de su explotación: verticalidad del pozo en la zona de explotación, desviación máxima admisible, inclinación dentro de las tolerancias fijadas, espesor de la viga de sal a conservar, etc.
- Criterios de ahorro económico tanto en el diseño de la infraestructura (emplazamiento único) como en el conjunto de las distintas etapas de perforación.
- Establecimiento de unas directrices de seguridad y medioambientales para la ejecución de los trabajos.

Lo que ha derivado en:

- Elección de sondeos desviados, frente a sondeos verticales (imponiendo que en su fase final dichos sondeos deberán ser completamente verticales para su posterior explotación, respetando por tanto su distribución en malla hexagonal).
- Planificación de la infraestructura desde un emplazamiento único, con tres cabezas de sondeos contiguas. Evitando la construcción por triplicado de accesos, plaza de perforación, red de conducciones de agua y salmuera, red de alimentación eléctrica, etc.

El emplazamiento único permite la instalación de los equipos auxiliares de perforación de forma inamovible durante la ejecución de los tres sondeos, siendo necesario tan solo desplazar (y dentro de la misma plaza) la torre de perforación, con el consiguiente ahorro de tiempo y económico.

- Elección para el equipamiento de la infraestructura del tipo de tuberías a instalar en las conducciones de agua y salmuera, necesarias tanto para la etapa de perforación como para la posterior explotación del sondeo (diámetro nominal, material, calidades, tipo de tendido, etc) en base a las condiciones o prestaciones requeridas (caudales de explotación, presiones de trabajo, etc.)
- Diseño de la línea eléctrica de alimentación al emplazamiento: tipo de distribución, sección del cable, tipo tendido etc., de acuerdo a la potencia máxima prevista a instalar para la explotación del pozo, atendiendo a la intensidad máxima admisible del conductor, la caída de tensión permisible, etc.
- Diseño de la estructura del pozo partiendo de los diámetros del casing de explotación impuesto por la empresa explotadora, lo que condicionara los diámetros de perforación las distintas etapas.
- Configuración telescópica del pozo, con la elección de los diversos tipos de casing (diámetro, calidad, etc.) a instalar en cada una de las fases, que soporten las exigencias a las que se verán sometidas durante la explotación del mismo (esfuerzos de aplastamiento y explosión, así como la tensión de corte).
- Determinación de las profundidades de instalación de las diversas columnas de la configuración telescópica del pozo, condicionada por la geología (profundidad del techo de la sal, encontrada durante la perforación).
- Detallar las distintas fases de perforación: perforación para instalación de la columna cementada intermedia, perforación para la instalación de la columna cementada de explotación, y perforación hasta fin de exploración.
- Elección del tipo de cementación a aplicar en cada una de las columnas (cementación por tapones o por stringer). Cálculo de los volúmenes de cementación.
- Enumeración de los requisitos técnicos y materiales con carácter general, a cumplir por las distintas compañías intervinientes.

- Detallar los informes a presentar tanto por la empresa que ejecute la perforación, como todas las que intervengan en las mismas (compañía de lodos, compañía de geología, etc.), ya sean de carácter diario, como los de carácter general de fin de perforación (informe corte general sondeo).
- Equipamiento final del sondeo: instalación del casing de explotación y de la cabeza de pozo para la puesta en servicio del sondeo.
- Fijación de las líneas generales de los planes de seguridad y medioambientales a aplicar, tanto durante la fase de construcción de la infraestructura como durante las distintas fases de la perforación.

Confección de un presupuesto general que abarque por un lado los costes de la infraestructura y por otro lado los de la perforación del pozo.

13-BIBLIOGRAFÍA

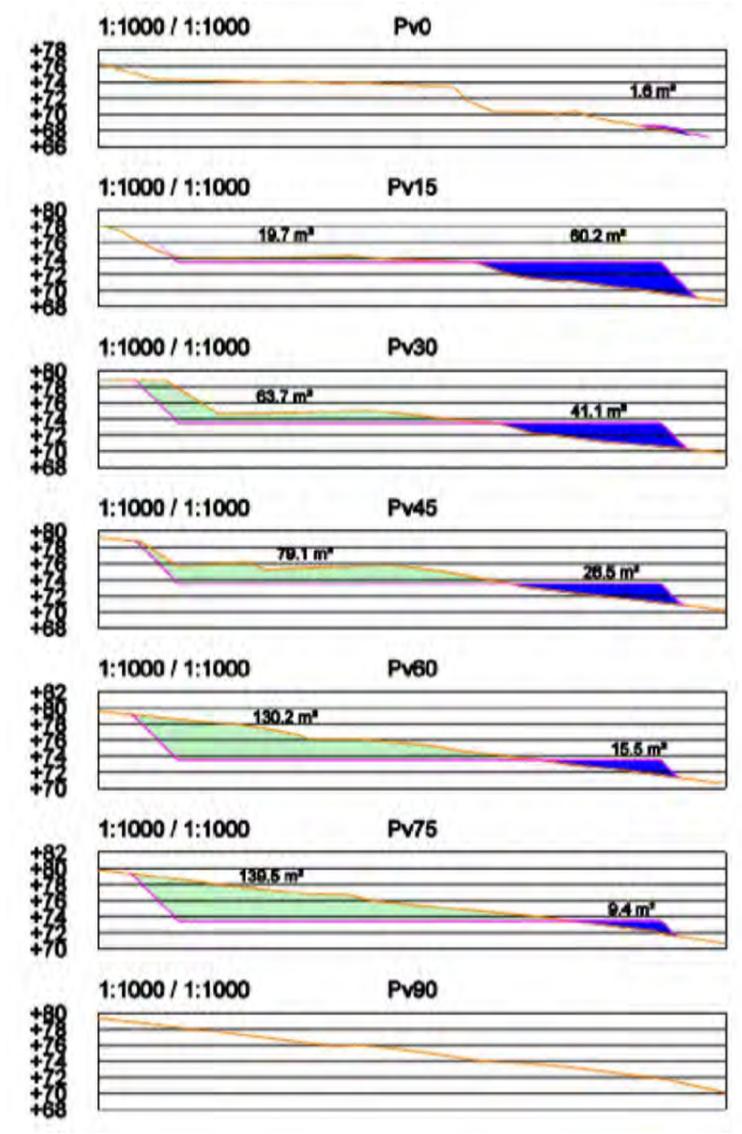
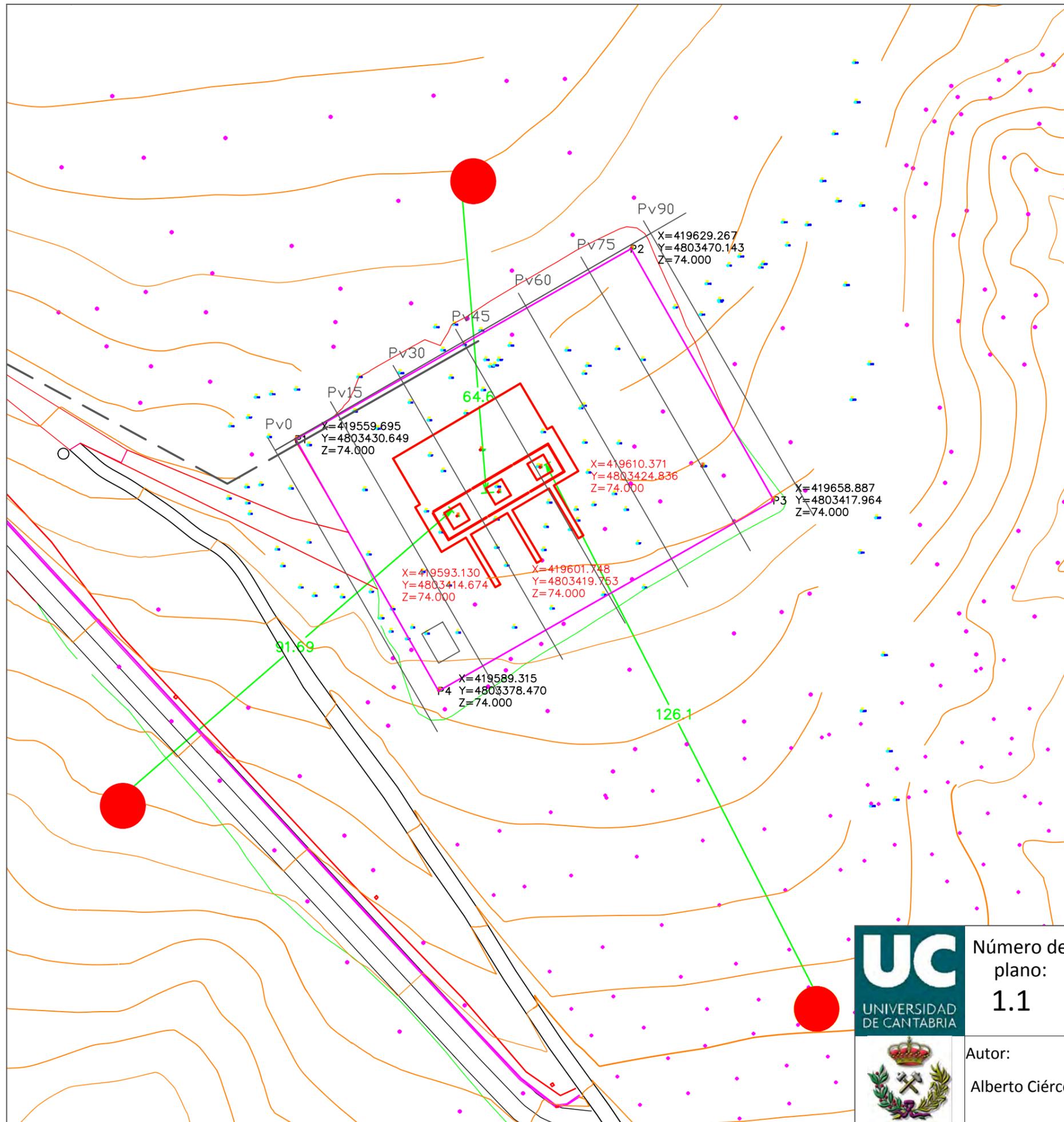
- [1] Division, E. S. (1999). *Casing Design Manual*.
- [2] España, I. G. (1995). *Estudios de los límites aflorantes del Diapiro de Polanco*.
- [3] Fuster, M. (2000). *Manual de Geología*. España: Paraninfo Cengage Learning.
- [4] Gilles Gabolde, J.-P. N. (1989). *Institut Francais du Petrole formulaire du foreur*. Paris: TECHNIP.
- [5] (s.f.). *Información técnica de explotación de Sondeos de SGW*. Ahaus-Alemanua.
- [6] Mitosa, D. F. (1986). *Estudio Geológico del Subsuelo de Polanco*.
- [7] PEMEX. (s.f.). *FORMULAS Y TABLAS PARA TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE POZOS*. MEXICO.
- [8] Petroleo, I. F. (1988). *Formulaire de Foreur*. Paris Editions Technip.
- [9] (s.f.). *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión*.
- [10] Schlumberger. (2020). *Schlumberger*. Obtenido de <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/bop.aspx>
- [11] Solvay, D. V.-I. (1993). *Notas Técnicas de Solvay de la Explotación de los Sondeos de Polanco*.

14-BIBLIOGRAFÍA COMERCIAL

- [12] Almesa. (2019). *Catálogo de Tuberías*.
- [13] Grupo, T. (2018). *Tuberías de polietileno para presión*.
- [14] Hartmann Valves & WellHeads. (2020). Obtenido de <https://www.hartmann-valves.com/en/products/wellheads/>
- [15] Mannesmann. (1980). *Tubular Goods for Oil Gas Fields*.
- [16] Prehorm. (2019). *Catálogo de prefabricados de hormigón*.
- [17] Tenris. (2019). *Catálogo de Casing*.
- [18] Weatherfor. (s.f.). *Catálogo Weatherfor Cementing Products*.
- [19] Weatherford. (s.f.). *Catálogo Weatherford Flot & Stage Equipment*.

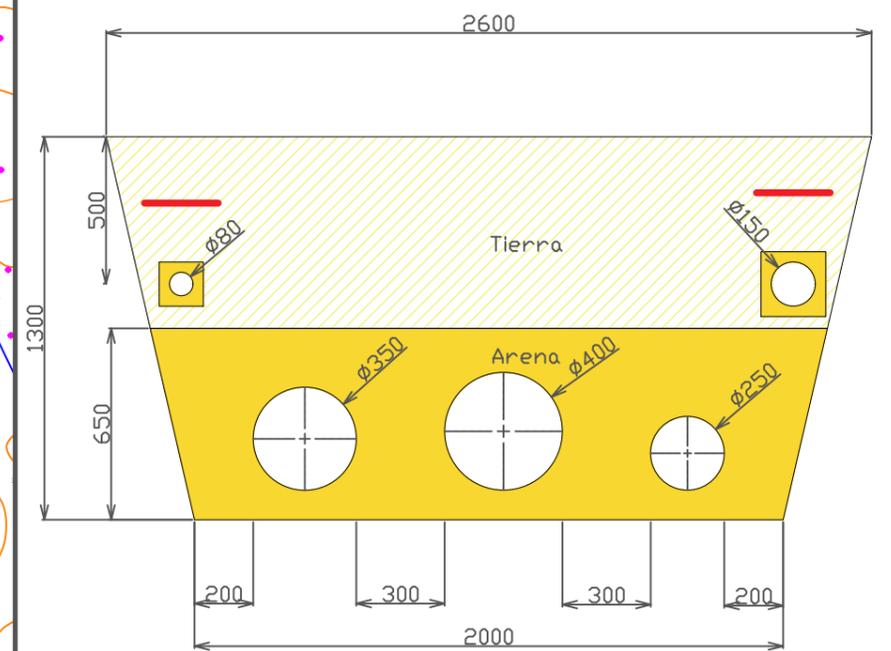
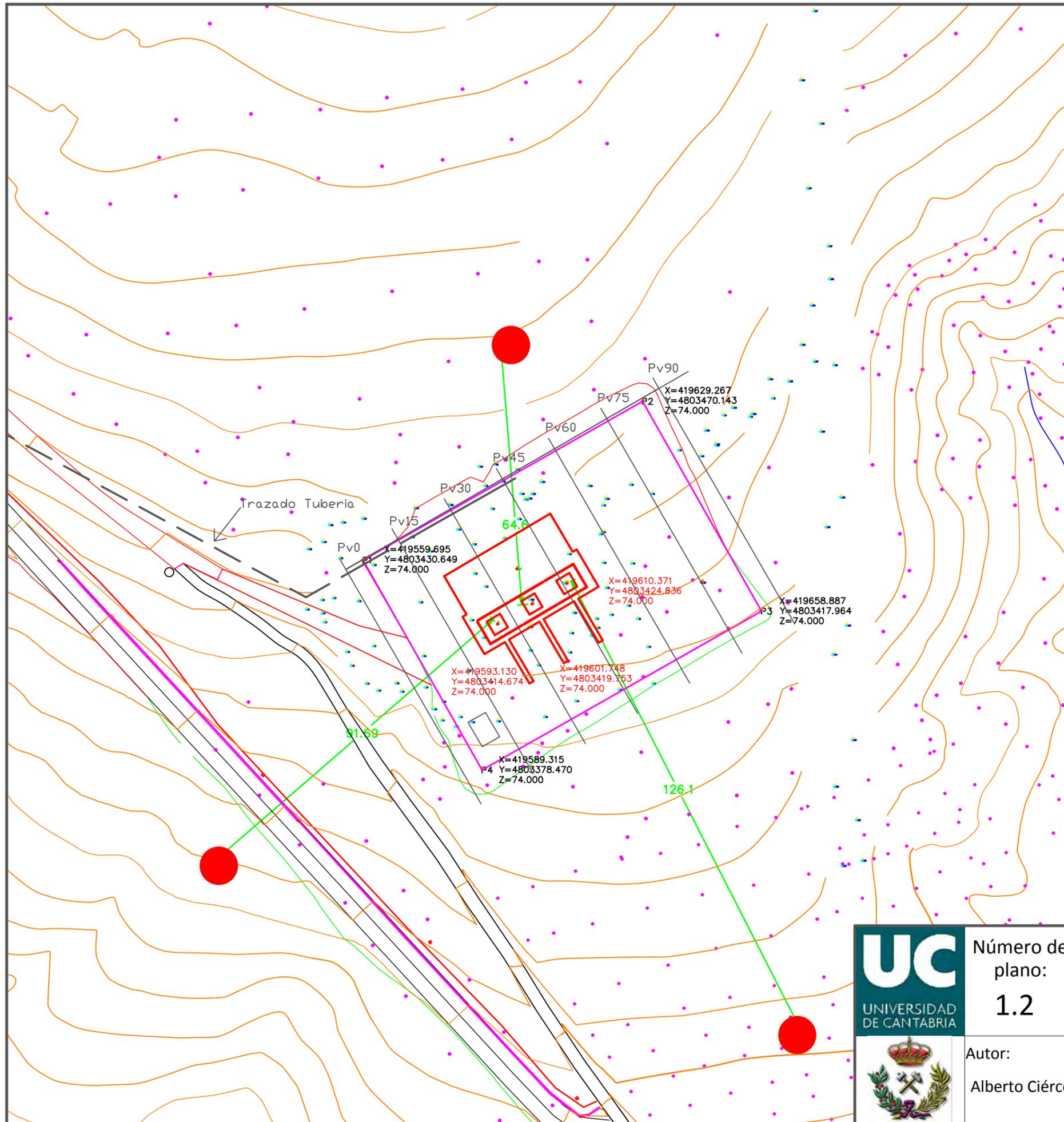


15-PLANOS



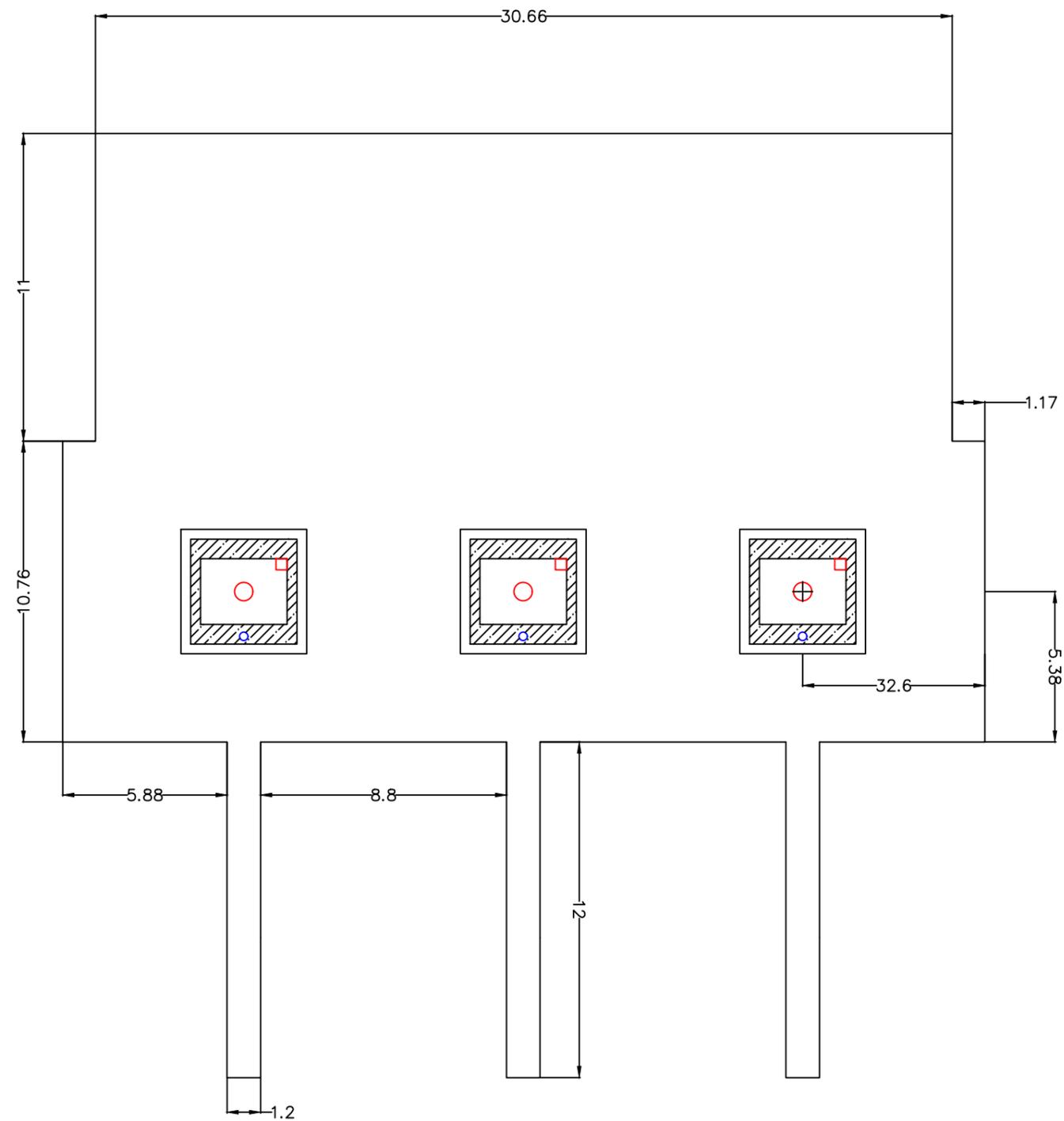
Número de plano:
1.1

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
Título: Cortes, movimiento de tierras	Escala:
Autor: Alberto Círcoles Ramírez	21/09/2020
Trabajo fin de Grado	
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	

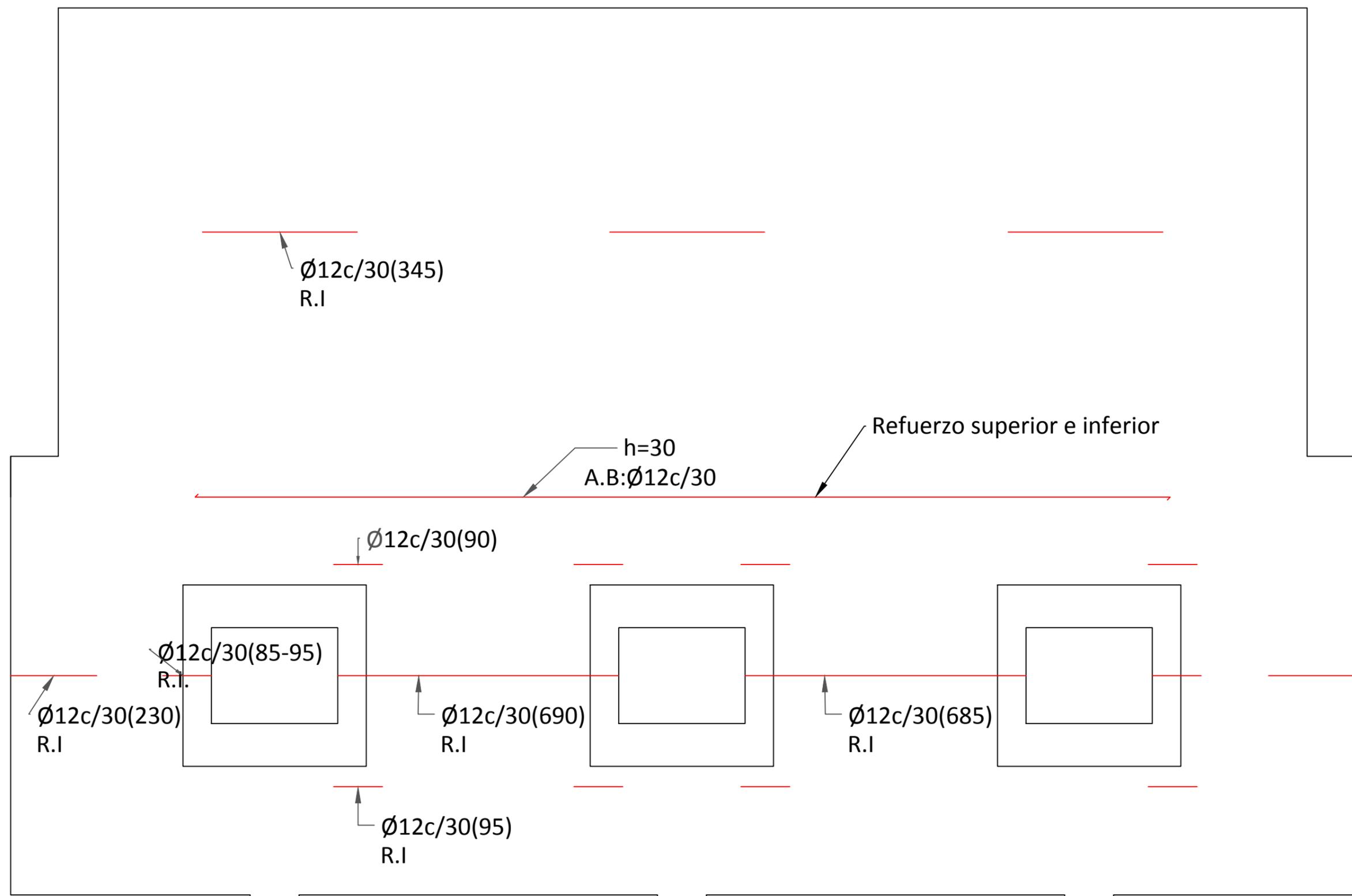


Zanja Tipo Canalizaciones

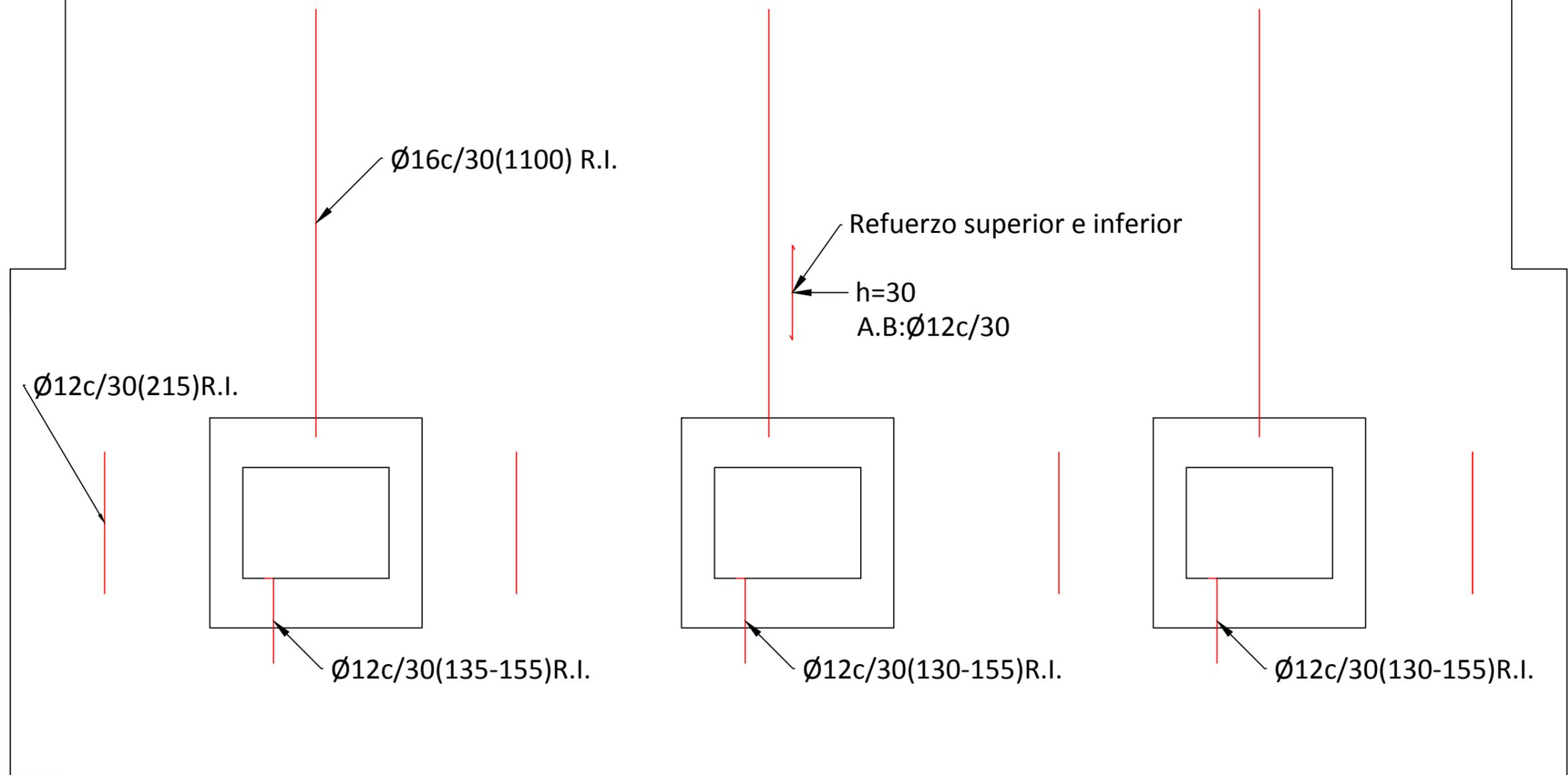
 UNIVERSIDAD DE CANTABRIA 	Número de plano: 1.2	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
		Título: Situación Plaza, tuberías y zanja	Escala: 21/09/2020
	Autor: Alberto Círcoles Ramírez	Trabajo fin de Grado	
		Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	



	Número de plano:	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	2.1	Título: Dimensionado Plaza	Escala: 1/200
	Autor:	Trabajo fin de Grado	Medida en metros
	Alberto Ciercoles Ramirez	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	21/09/2020



	Número de plano:	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	2.2	Título:	Armadura longitudinal inferior, refuerzo inferior
	Autor:	Trabajo fin de Grado	Escala: 1/100
	Alberto Ciercoles Ramirez	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	21/09/2020



Número de plano:
2.3

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera

Título: Armadura Transversal Inferior, Refuerzo Inferior

Escala:
1/100

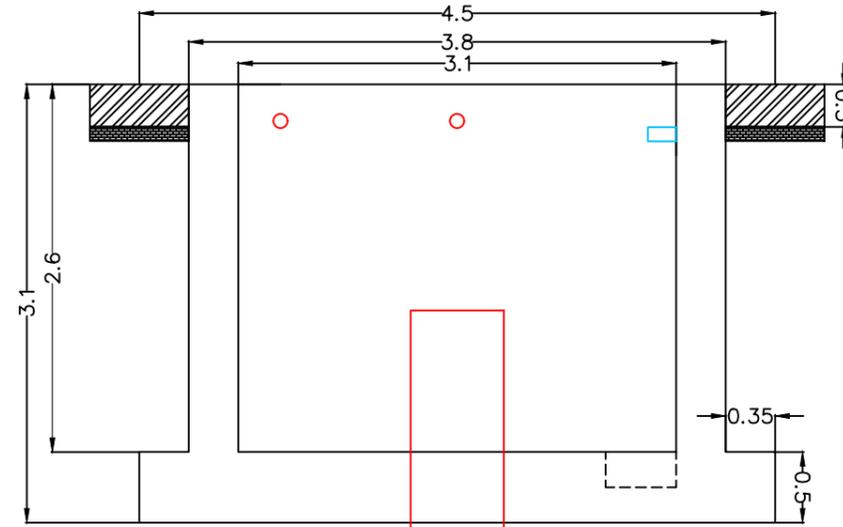
Autor:
Alberto Ciércoles Ramírez

Trabajo fin de Grado

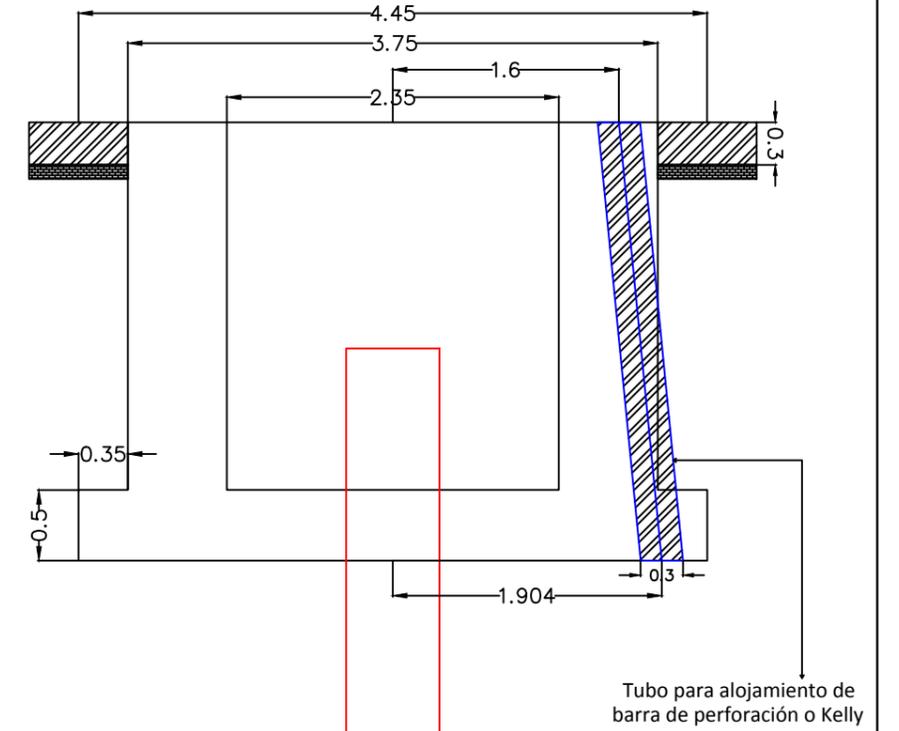
21/09/2020

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

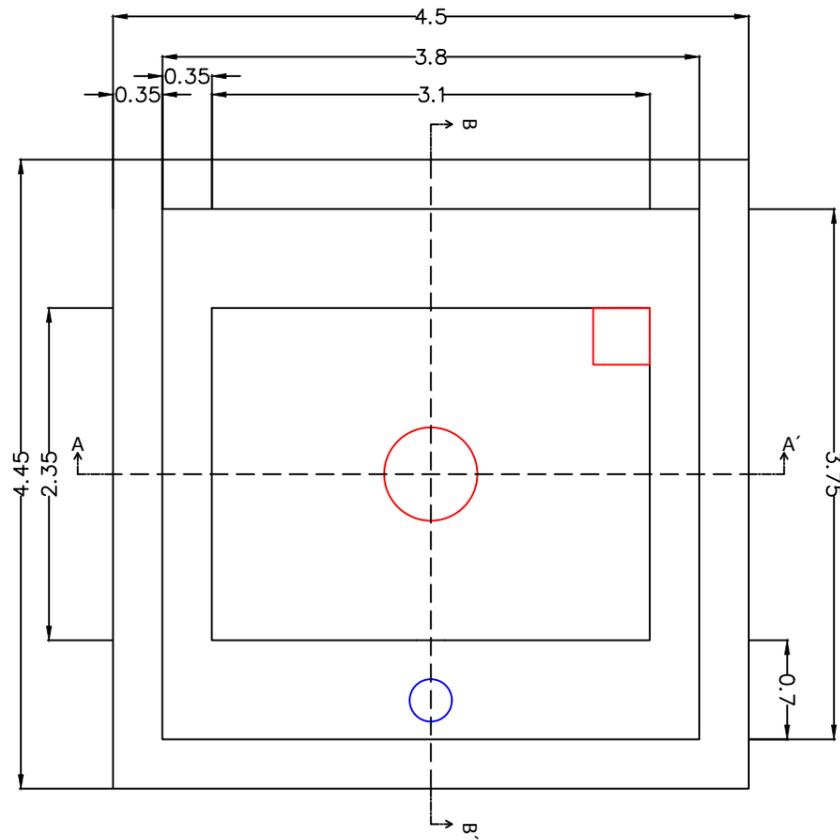
Sección A-A'



Sección B-B'



Planta



Tubo Conductor ≈ 7-9 metros

- Canalización eléctrica y comunicaciones
- Tubo de Rebose

	Número de plano: 3.1	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	Autor: Alberto Ciércoles Ramírez	Título: Dimensionado Antepozo	Escala: 1/50 Medida en metros 21/09/2020
		Trabajo fin de Grado	
		Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	

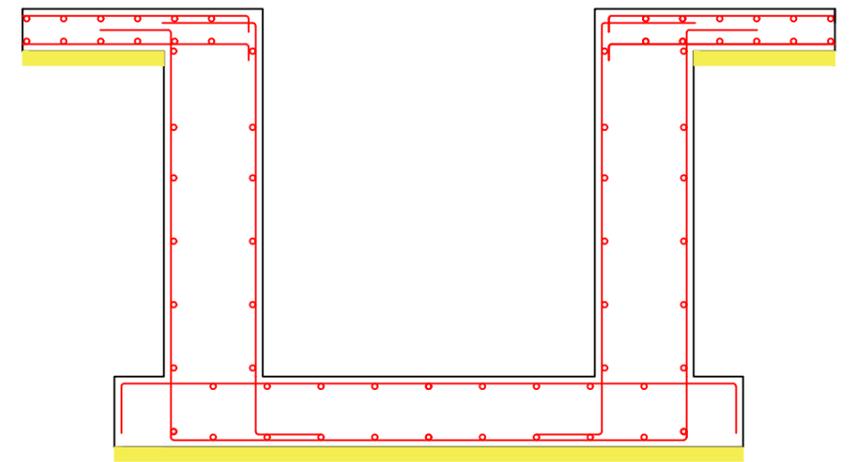
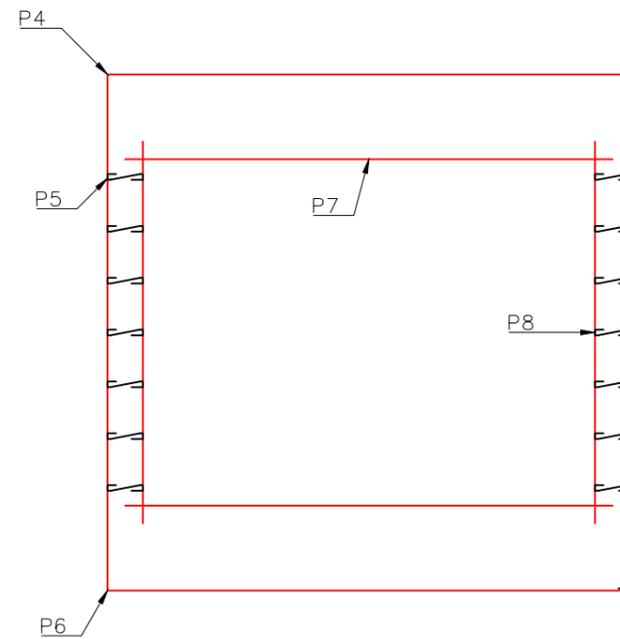
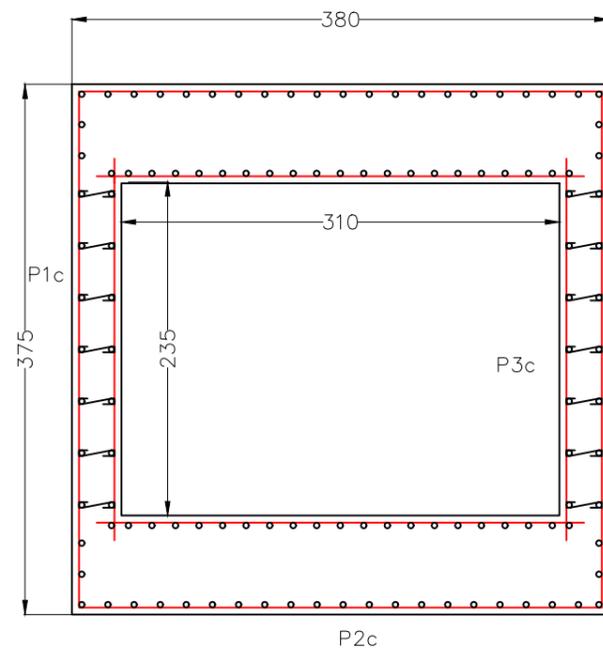
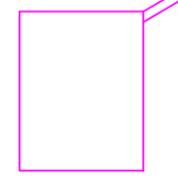
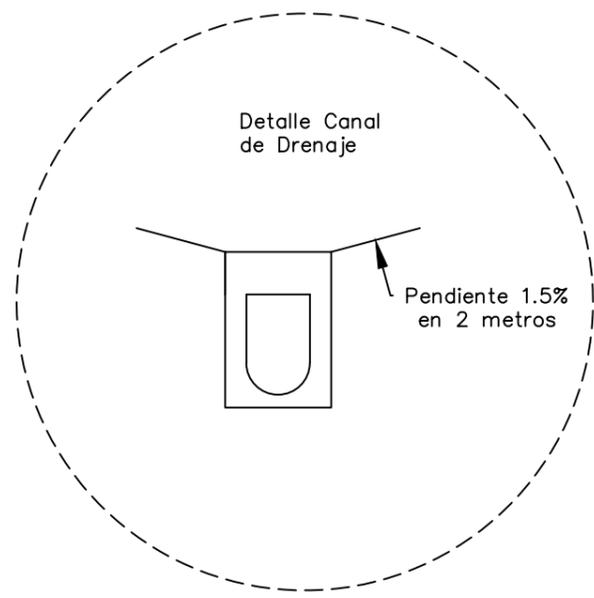


Tabla de Posiciones

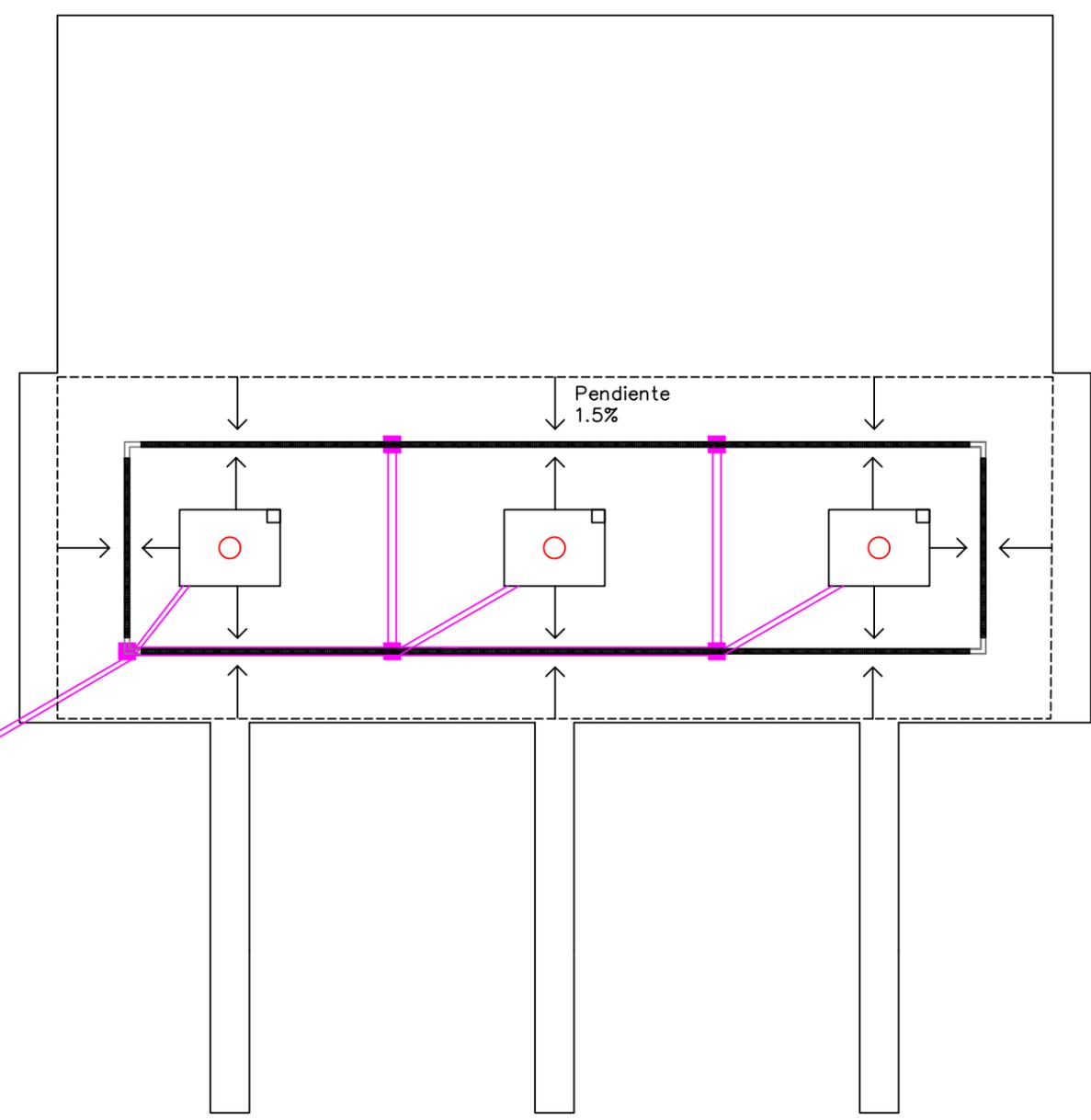
Pos.	Díám.	No.	Long.(cm)
1	∅16	24	300
2	∅20	76	320
3	∅12	16	290
4	∅10	60	398
5	∅8	352	51
6	∅12	44	403
7	∅12	44	347
8	∅8	60	272

	Número de plano: 3.2	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
		Título: Armadura del Pozo	Escala: 1/5000 Medida en cm
	Autor: Alberto Ciércoles Ramírez	Trabajo fin de Grado	21/09/2020
		Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	

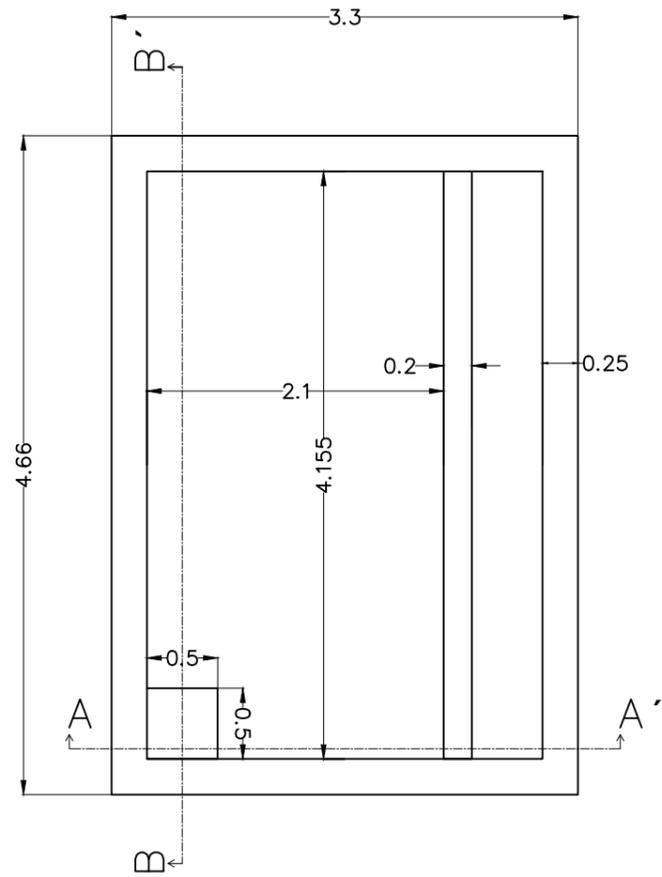
-  Arqueta 50 x 50
-  Tubo PVC Ø250
-  Tubo PVC Ø300
-  Zona con Pendiente 1.5%



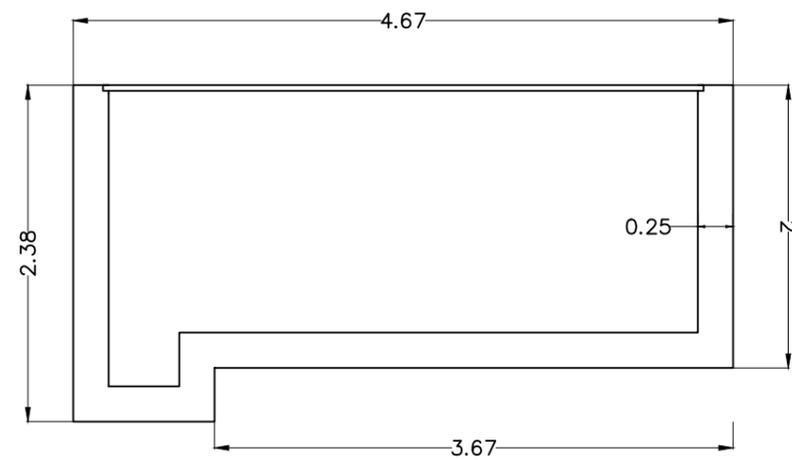
Foso de Recogida



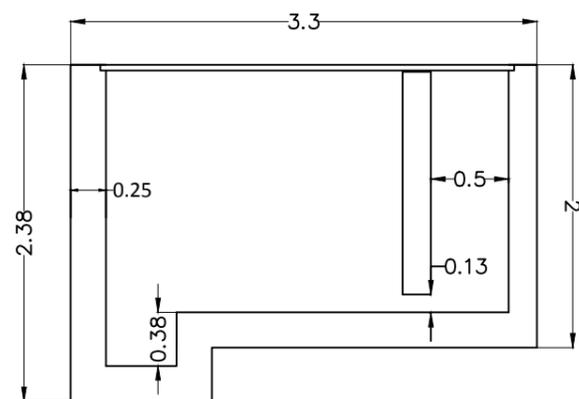
 UC UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	Número de plano:	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	4.1	Título:	Arqueta,desagüe
	Autor:	Trabajo fin de Grado	Escala:
	Alberto Círcoles Ramírez	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	1/200
			21/09/2020



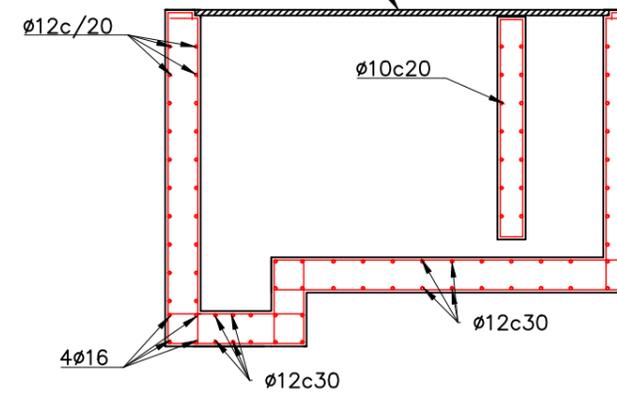
Sección B-B'



Sección A-A'



Losas Exteriores
Formadas por llantas de 40x10 mm
y barras de $\varnothing 20$ a 50mm



Número de plano:
4.2

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera

Título: Decantador, dimensionado, armadura

Escala:
1/50

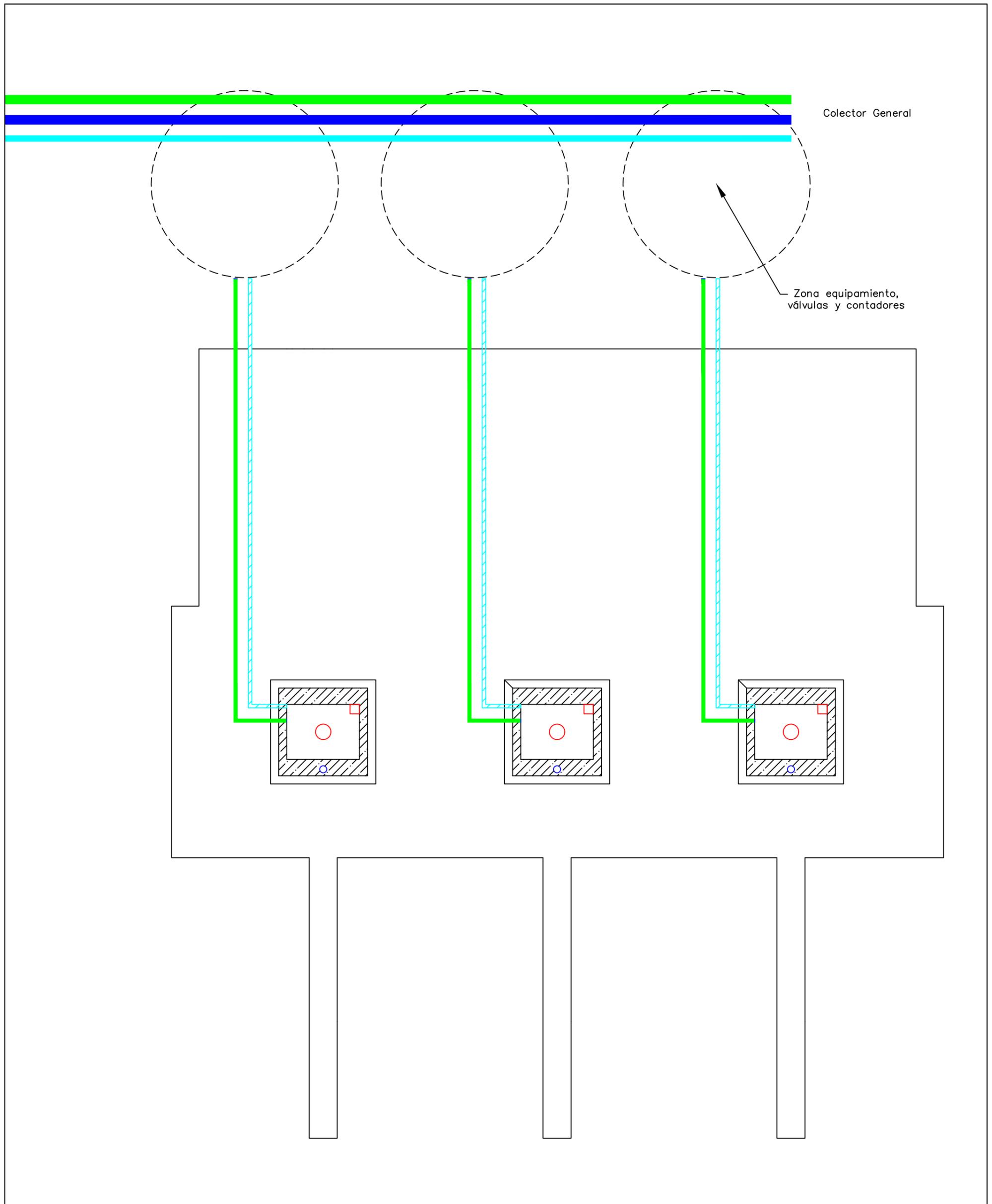


Autor:
Alberto Ciercoles Ramirez

Trabajo fin de Grado

Medidas en metros
21/09/2020

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



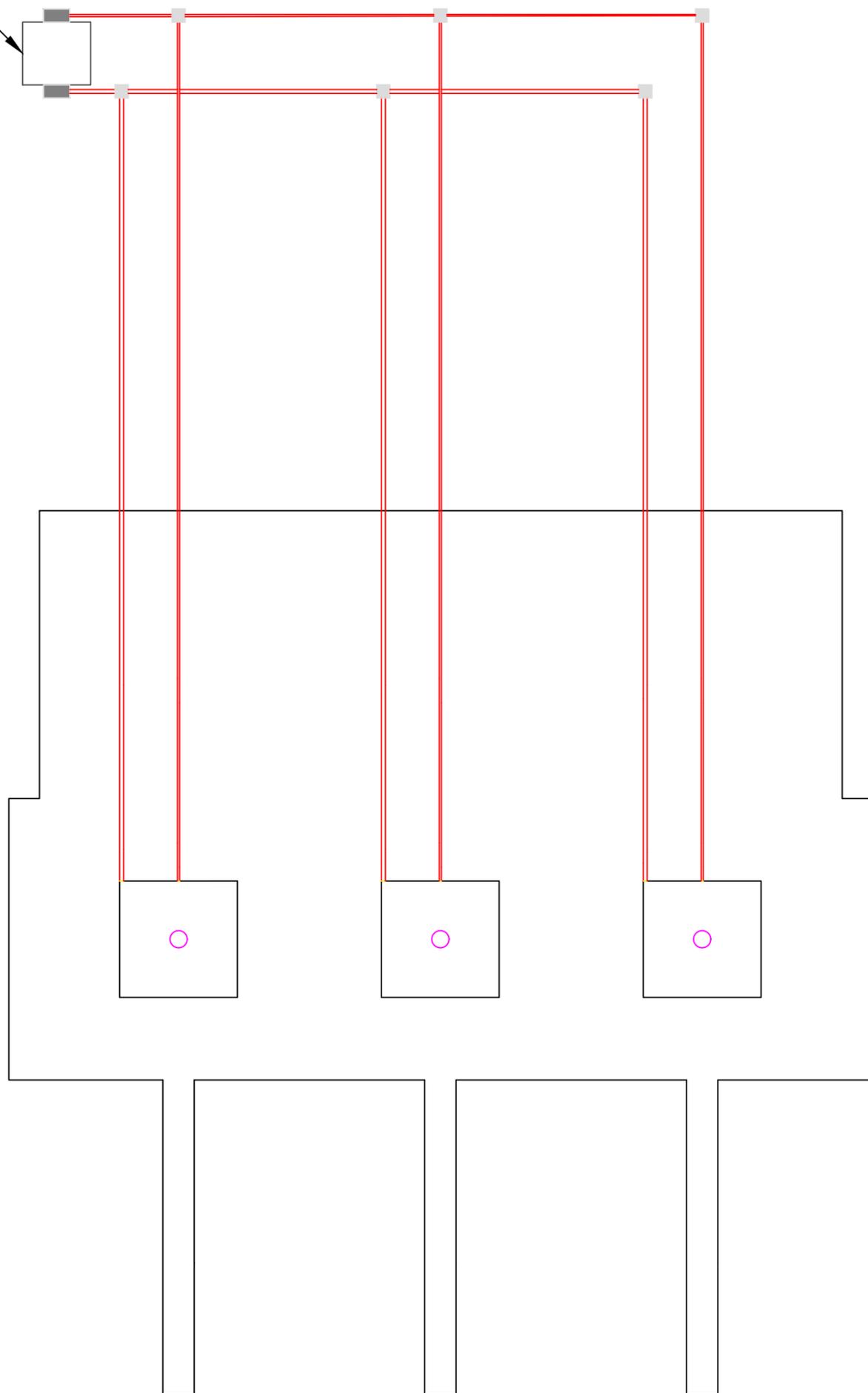
Colector General

Zona equipamiento, válvulas y contadores

-  ->Tubería de Agua a cabeza de Sondeo
-  --> Salmuera a cabeza de Sondeo

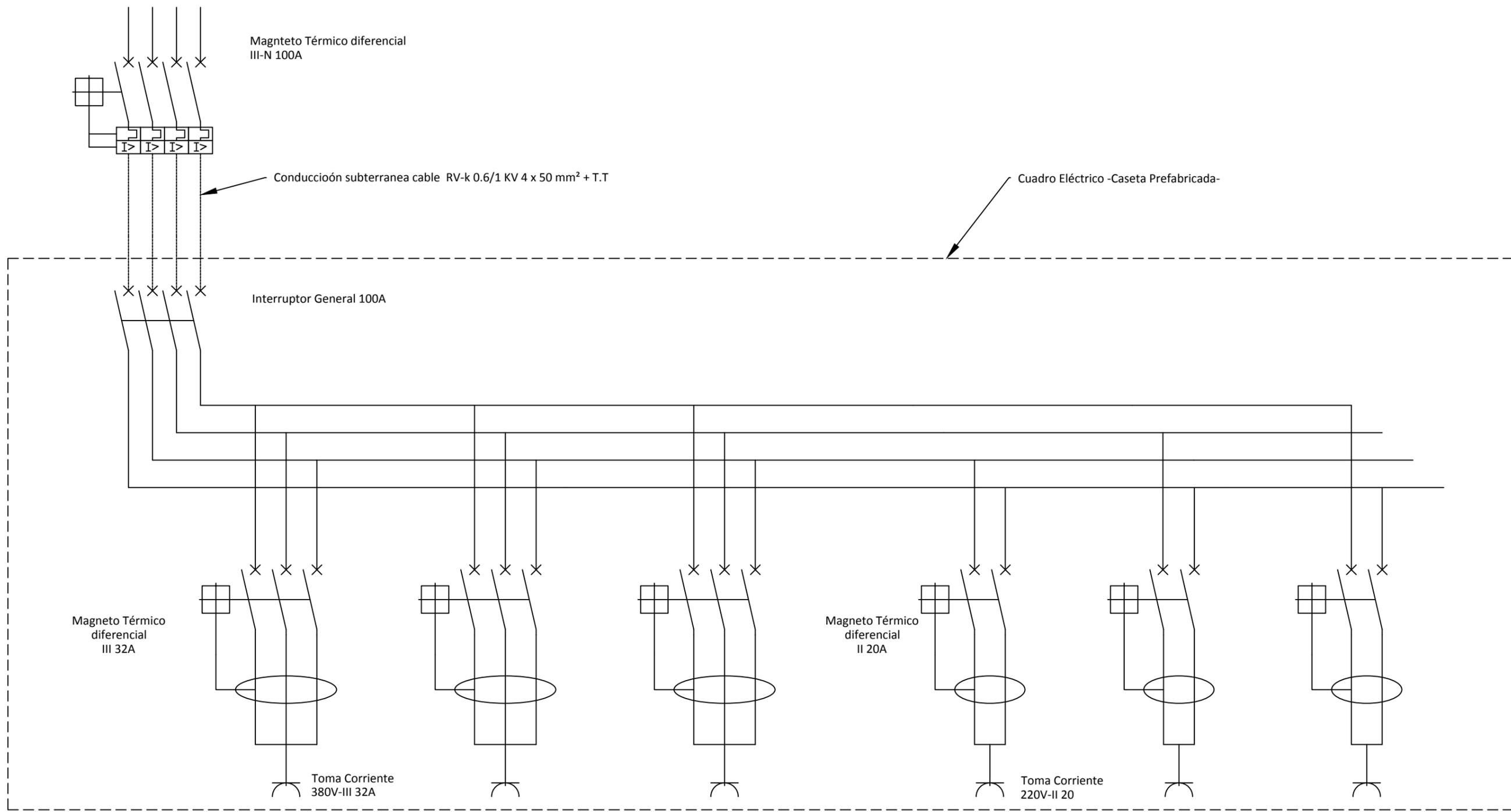
 Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
Título: Tuberías de salmuera débil, saturada y agua	
Número de plano: 5	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros
Escala: 1/150	21/09/2020
Autor: Alberto Ciércoles Ramírez	
	

Caseta Pefabricada

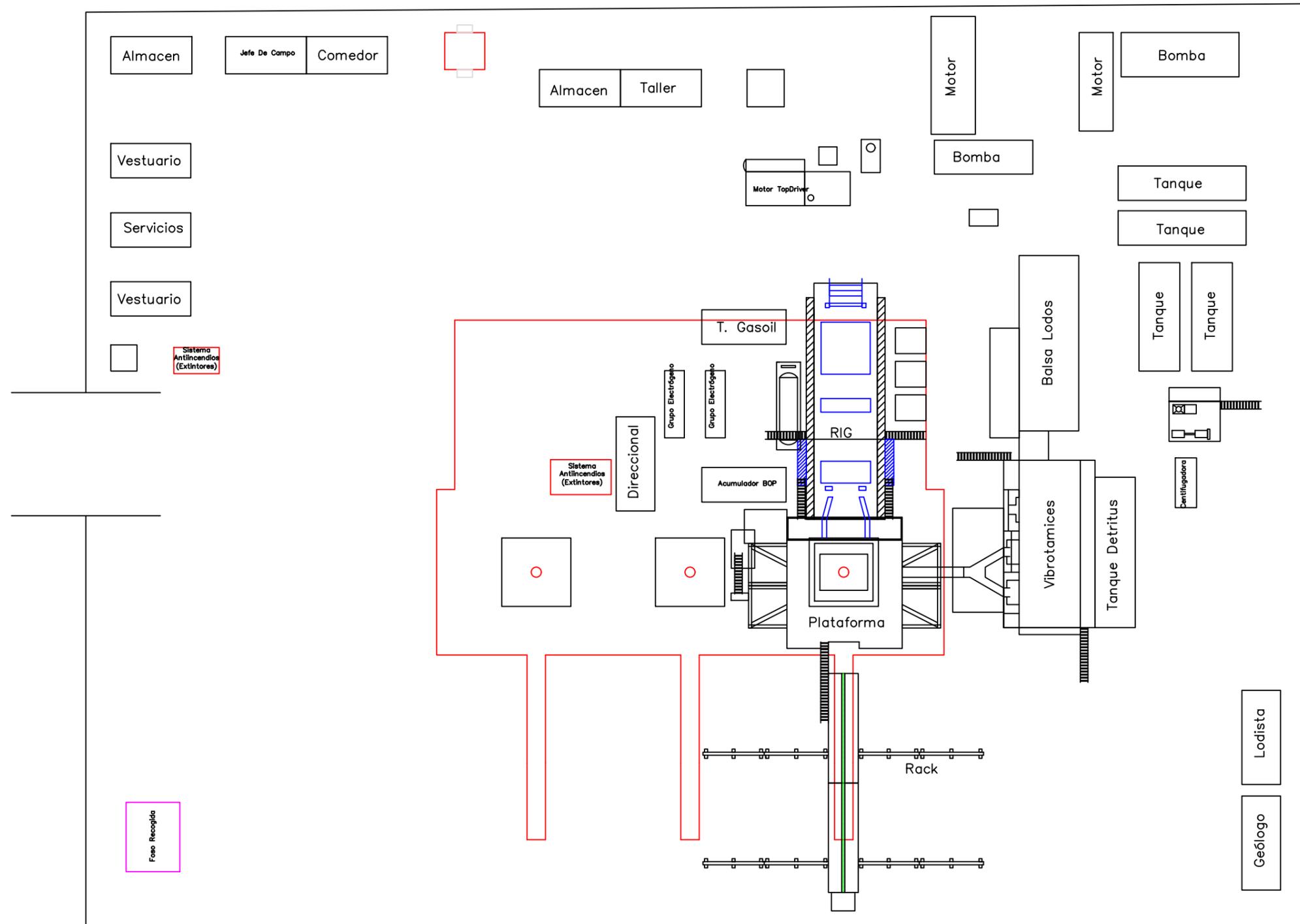


-  Arqueta 50 x 50
-  Arqueta 100 x 50
-  Tubo Corrugado \varnothing 80
-  Tubo Corrugado \varnothing 150

		Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
Título: Canalización de electricidad y comunicaciones a cabeza de Sondeo			
Número de plano: 6.1	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	Autor: Alberto Ciercoles Ramirez	
Escala: 1/200	21/09/2020		



Número de plano: 6.2	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	Título: Protecciones-Cuadro Eléctrico	Escala:
Autor: Alberto Ciercoles Ramírez	Trabajo fin de Grado	21/09/2020
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros		

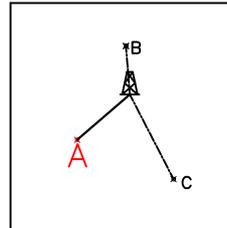
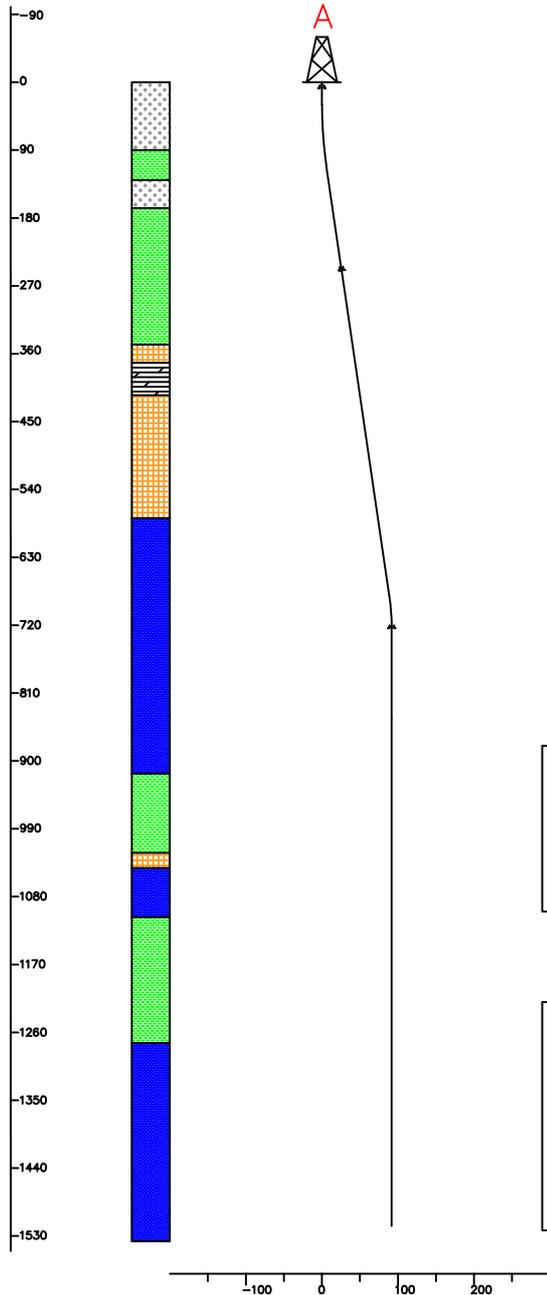


	Número de plano: 7	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
		Título: Torre de Perforación-Disposición de Equipos-	Escala: 1/300
	Autor: Alberto Ciercoles Ramirez	Trabajo fin de Grado	21/09/2020
		Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	

Logotipo
Empresa
Contratante

Proyecto: Sondeo en S
Localización: Polanco
Pozo: A

Logotipo
Empresa
Contratista



Detalles del Casing

Profundidad	Nombre
TVD	24" Tubo Conductor
8	16" Casing Cementado intermedio
250	10 3/4" Casing Cementado Explotación
724	

Detalles del Proyecto: Polanco

Sistema Geodésico: Universal Transverse Mercator
Datum: ED50
Sistema Datum: Nivel medio del mar
Coordenadas:
X: 419593.13
Y: 4803414.67
Z: 74



Número de
plano:
8.1

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos
para la extracción de salmuera

Título: Perfil Sondeo A

Escala:

1/10000

21/09/2020

Autor:
Alberto Ciercoles Ramirez

Trabajo fin de Grado

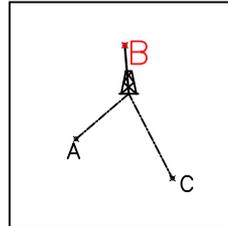
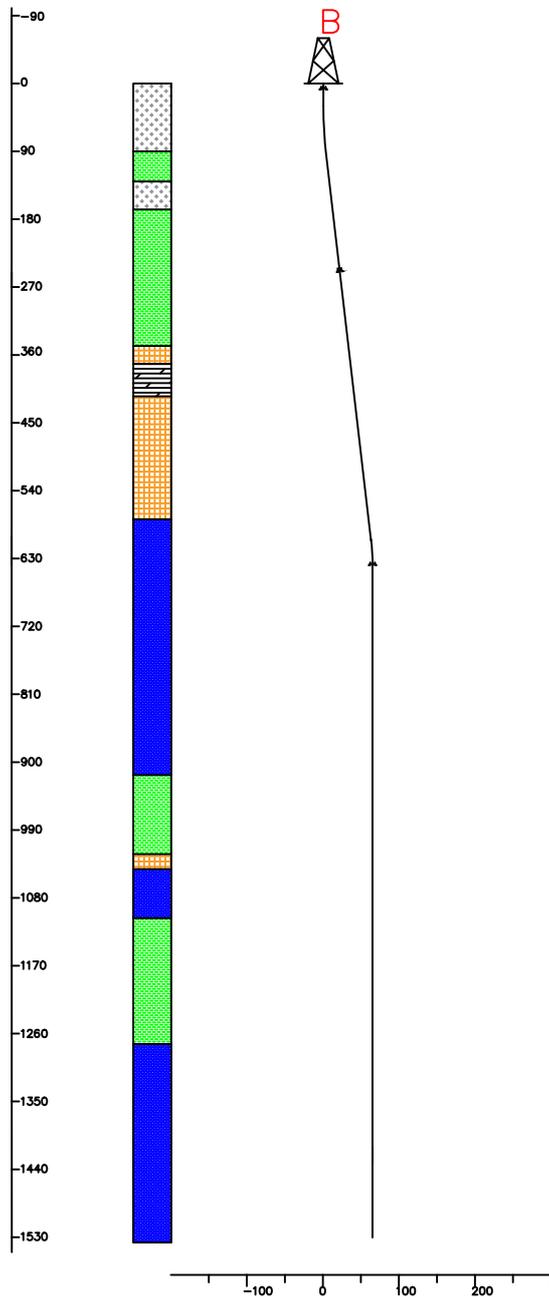
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



Logotipo
Empresa
Contratante

Proyecto: Sondeo en S
Localización: Polanco
Pozo: B

Logotipo
Empresa
Contratista



Detalles Casing

Profundidad	Nombre
TVD	
8	24" Tubo Conductor
250	16" Casing Cementado intermedio
639	10 3/4" Casing Cementado Explotación

Detalles del Proyecto: Polanco

Sistema Geodésico: Universal Transverse Mercator
Datum: ED50
Sistema Datum: Nivel medio del mar
Coordenadas:
X: 419601.748
Y: 4803419.753
Z: 74



Número de
plano:
8.2

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos
para la extracción de salmuera

Título:
Perfil Sondeo B

Escala:

1/10000

21/09/2020

Autor:
Alberto Ciercoles Ramirez

Trabajo fin de Grado

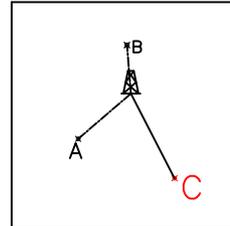
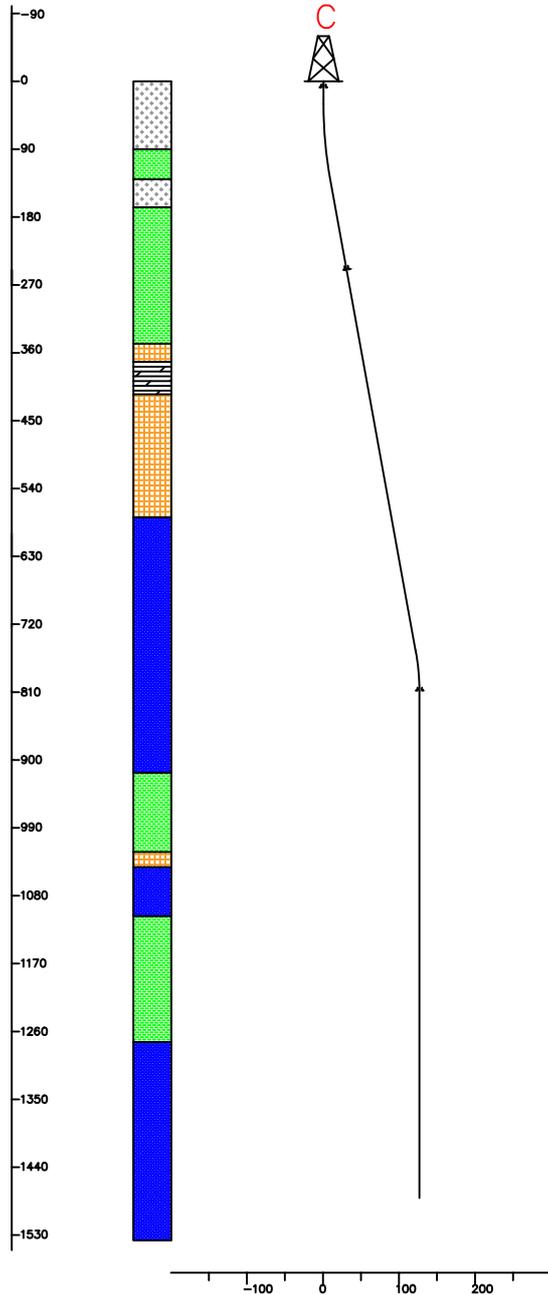
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



Logotipo
Empresa
Contratante

Proyecto: Sondeo en S
Localización: Polanco
Pozo: C

Logotipo
Empresa
Contratista



Detalles Casing

Profundidad	Nombre
TVD	24" Tubo Conductor
8	16" Casing Cementado intermedio
250	10 3/4" Casing Cementado Explotación
808	

Detalles del Proyecto: Polanco

Sistema Geodésico: Universal Transverse Mercator
Datum: ED50
Sistema Datum: Nivel medio del mar
Coordenadas:
X: 419610.37
Y: 4803424.84
Z: 74



Número de
plano:
8.3

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos
para la extracción de salmuera

Título:
Perfil Sondeo C

Escala:

1/10000

21/09/2020



Autor:
Alberto Ciércoles Ramírez

Trabajo fin de Grado

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Logotipo
Empresa
Contratante

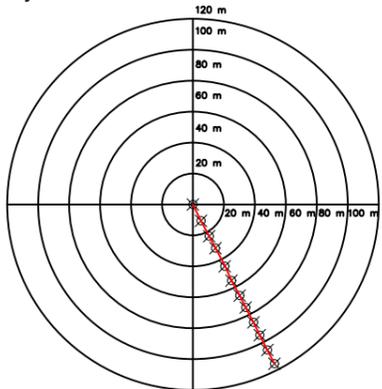
Sondeo A
Polanco
España

Logotipo
Empresa
Contratista

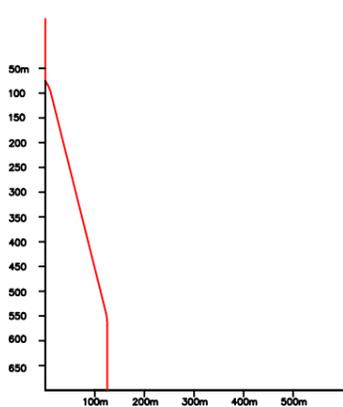
Cliente:
Operador:
Proyecto:
Sondeo A,B,C
Localización:
País: España
Región: Cantabria
Localización: Polanco

Duración:
Fecha: 2021
Profundidad de inicio: 0
Profundidad total: 0
RIG:
Tipo
Equipo:
Personal
Coordenadas
X,Y,Z

H-Projection



V-Projection



- Limolita
- Carbón
- Arenisca
- Caliza
- Arcilla
- Etc
- Dolomia
- Sal

R.O.P

[min/m]

Profundidad

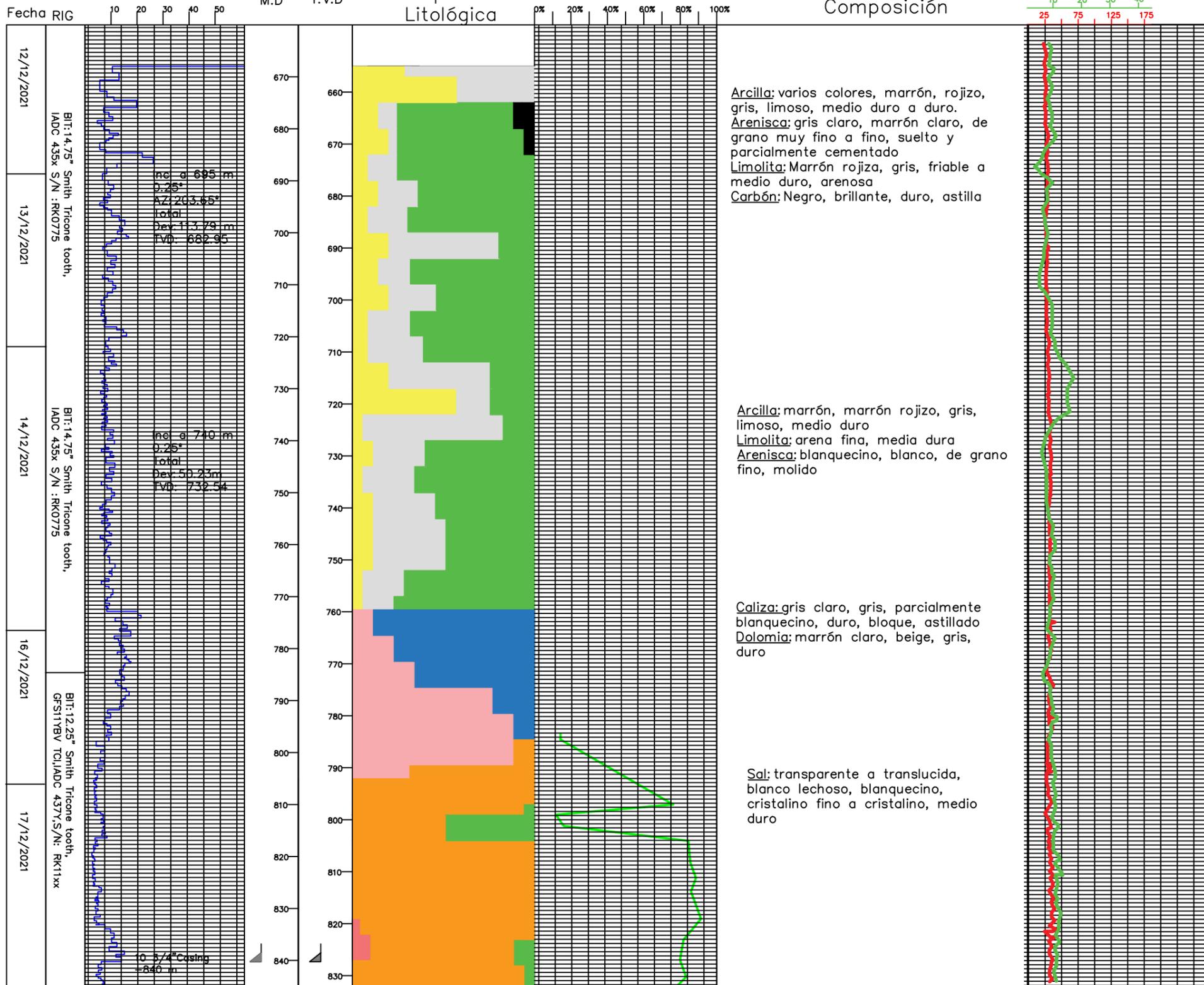
M.D T.V.D

Composición
Litológica

Contenido de Sal (%)

Composición

Peso Sobre el Tricono
y gancho [tf]



Arcilla: varios colores, marrón, rojizo, gris, limoso, medio duro a duro.
 Arenisca: gris claro, marrón claro, de grano muy fino a fino, suelto y parcialmente cementado
 Limolita: Marrón rojiza, gris, friable a medio duro, arenosa
 Carbón: Negro, brillante, duro, astilla

Arcilla: marrón, marrón rojizo, gris, limoso, medio duro
 Limolita: arena fina, media dura
 Arenisca: blanquecino, blanco, de grano fino, molido

Caliza: gris claro, gris, parcialmente blanquecino, duro, bloque, astillado
 Dolomia: marrón claro, beige, gris, duro

Sal: transparente a translucida, blanco lechoso, blanquecino, cristalino fino a cristalino, medio duro



Número de plano:

9

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera

Título:
Informe tipo, corte general Sondeo

Escala:

Autor:
Alberto Ciercoles Ramirez

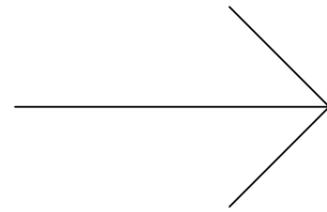
Trabajo fin de Grado

21/09/2020

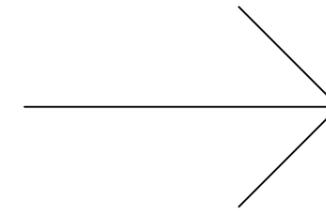
Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



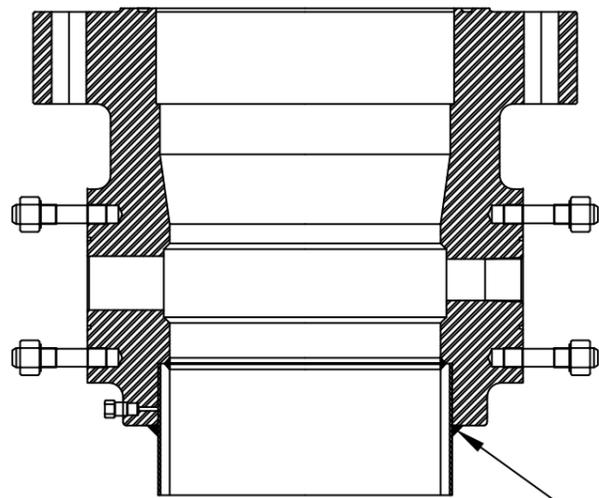
Brida 16 3/4"
API 5000 PSI



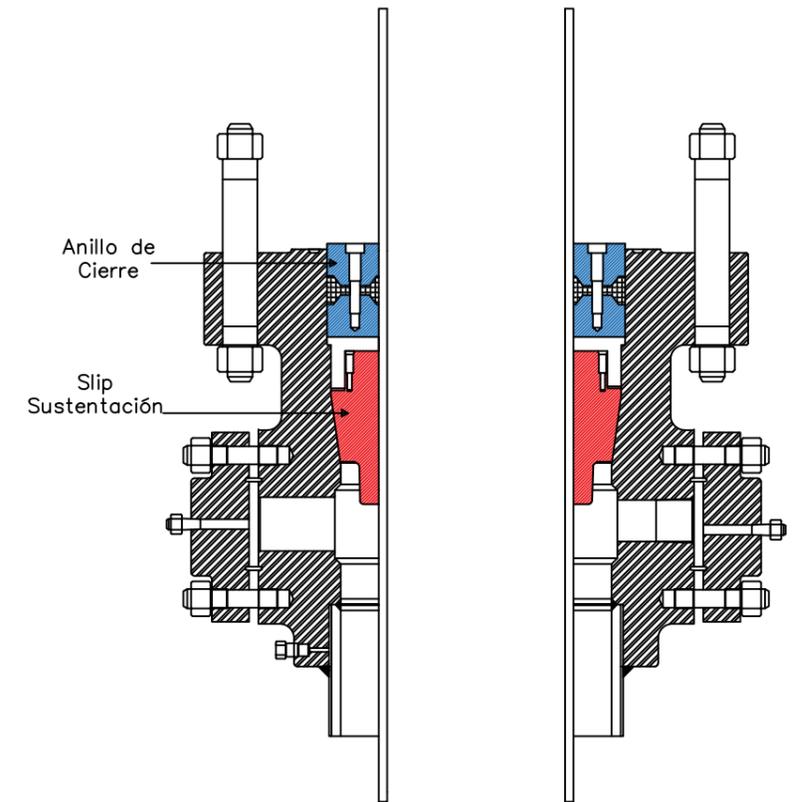
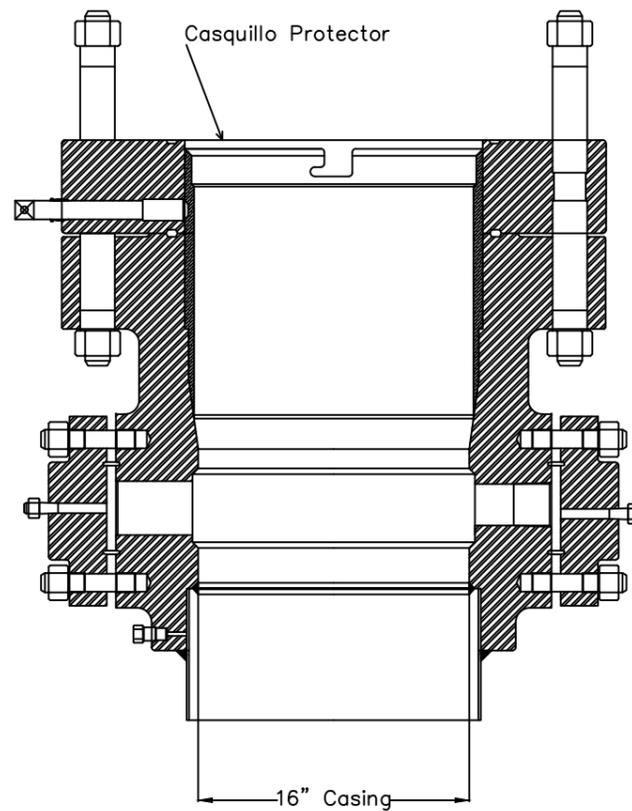
Brida 16 3/4"
API 5000 PSI
Con Casquillo
Protector



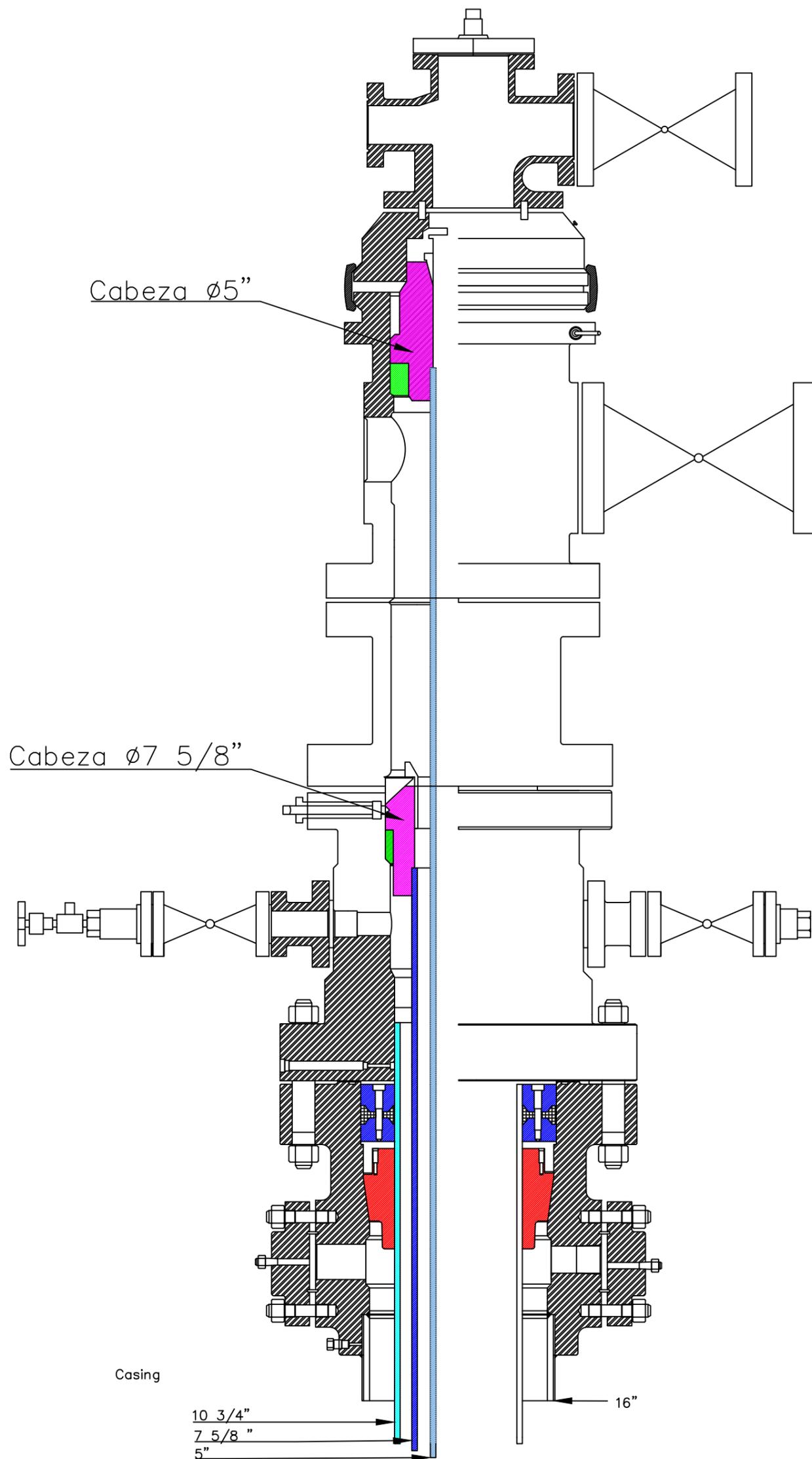
Brida 16 3/4"
API 5000 PSI
Con Cuñas y
Anillo de Cierre



Unión a Casing 16"
Soldado y radiografiado



	Número de plano:	Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera	
	10.1	Título:	Brida Cabeza Pozo (Casing Head Housing)
	Autor:	Trabajo fin de Grado	Escala: 1/10000
	Alberto Ciércoles Ramírez	Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros	
			21/09/2020



Número de plano:
10.2

Autor:
Alberto Ciércoles Ramírez

Planificación de la Infraestructura y Perforación de Sondeos para la extracción de salmuera

Título:
Cabeza Sondeos Tipo

Escala:
1/10000

Trabajo fin de Grado

21/09/2020

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros