



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**INFORME FINAL SOBRE EL DESARROLLO
DEL PROYECTO "CONTROL DE ASENTA-
MIENTOS". MINA DE PUENTES DE
GARCIA RODRIGUEZ.**





I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- INTRODUCCION	1
2.- DOCUMENTACION DISPONIBLE	2
3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
4.- DESCRIPCION DEL METODO ENSAYADO	4
5.- DESARROLLO DE LOS TRABAJOS	5
6.- BOMBEO REALIZADO Y SU RESPUESTA EN EL TERRENO	6
7.- ANALISIS Y CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL PROYECTO Y SU DESARROLLO	9



Fecha
09.09.91
Referencia
AOB/gta

INFORME

INFORME FINAL SOBRE EL DESARROLLO DEL PROYECTO "CONTROL DE ASENTAMIENTOS". MINA DE PUENTES DE GARCIA RODRIGUEZ.

1.- INTRODUCCION

La Empresa Nacional de Electricidad, S.A. (ENDESA), ha llevado a efecto, desde Agosto de 1.989 hasta el año en curso, el proyecto de geotecnia minera titulado "Control de asentamientos en el talud Este de la Mina de Puentes de García Rodríguez", con el objetivo fundamental de experimentar durante dos años medidas de asentamientos, mediante un sistema de células no utilizado en minería hasta el presente y que permite un control permanente de los asientos.

Para este proyecto ENDESA ha dispuesto de una subvención de OCICARBON que se cifró en un 50% del presupuesto total, y cuyas inversiones se han desglosado en gastos por adquisición y amortización de equipos, gastos de personal de la Empresa asignado a la investigación, gastos de funcionamiento y otros gastos.

Entre los gastos de funcionamiento se han incluido trabajos de terceros y seguimientos. A estos efectos y previa solicitud de ENDESA, el ITGE ofertó sus servicios para el seguimiento del desarrollo del proyecto en cuestión, oferta que fue aceptada por



ENDESA en fecha 11 de Mayo de 1.990, mediante su pedido nº 853/90.

El día 26 de Junio de 1.990 se tomó contacto con los trabajos y desarrollo del Proyecto, mediante la visita que los Sres. Gómez de las Heras y Ochoa Bretón del Area de Seguridad Minera de este Instituto realizaron a la Mina de Puentes de ENDESA, próxima a la localidad de Puentes de García Rodríguez (La Coruña), donde conocieron todos los pormenores del proyecto que estaba en curso y recorrieron tanto las zonas de los trabajos mineros de la corta como las del núcleo urbano de As Pontes donde se hallaban situados los equipos geotécnicos (casetas de centralización y células de asientos).

Como resultado de esta visita se redactó un primer informe en fecha 20.09.90 sobre el seguimiento del desarrollo del proyecto en cuestión.

El presente informe tiene por finalidad, a la finalización de los trabajos efectuados por ENDESA y obtención de resultados, el resumen, análisis y consideraciones sobre el Proyecto desarrollado.

2.- DOCUMENTACION DISPONIBLE

Para este informe se ha dispuesto de los siguientes documentos técnicos específicos sobre el Proyecto, proporcionados por ENDESA:

* "Control de asentamientos en el talud Este de la Mina de Puentes de García Rodríguez". Solicitud de subvención a OCICARBON. Abril 1.989.



- * Proyecto: "Control de asentamientos" (C-13.231). Informe a OCICARBON 4º Trimestre 1.989.
- * Proyecto: "Control de asentamientos en el talud Este de la Mina de Puentes de García Rodríguez". Informe a OCICARBON 1^{er} Trimestre 1.990.
- * Proyecto: "Control de asentamientos en el talud Este de la Mina de Puentes de García Rodríguez" (C-13.231). Informe Final a OCICARBON, Mayo 1.991.

3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se ha pretendido desarrollar en líneas generales, un método de auscultación mediante un sistema de células (con medidas de orden milimétrico) de los asientos producidos por un drenaje minero, que en el caso que nos ocupa se refiere a la explotación de la mina de lignito a cielo abierto, visitada en su día, en relación con la localidad de As Pontes situada en su extremo Este, estando previsto que esta explotación, con profundidad máxima de excavación de 300 m, avance en la coronación del talud hasta unos 250 m de este núcleo urbano, ya que los depósitos productivos de mineral continúan bajo el mismo.

Con el drenaje, que se produce en parte de modo natural, por la propia excavación y también mediante bombeo, se ha intentado conseguir el máximo rebajamiento de la capa freática y la consiguiente optimización de la excavación, con un diseño del talud, de mayor verticalidad, en función del descenso del nivel piezométrico, que permitirá aumentar las reservas a explotar, ya que es sabido, que a mayor descenso de los niveles piezométricos mayor es el coeficiente de seguridad de los taludes.



El rebajamiento de los niveles piezométricos, tanto por el drenaje natural del talud como por el drenaje complementario producido por sistemas de pozos de bombeo, da lugar a una consolidación del terreno formado por materiales terciarios que se traduce en deformaciones e importantes asientos verticales. En tanto y cuanto los asientos diferenciales que aparecen no pasan de determinados valores, no han de temerse daños en las estructuras afectada por estos asentamientos del terreno.

Con el método de auscultación desarrollado, se ha tratado de obtener un continuo seguimiento y control de los asientos diferenciales que permitiera en todo momento conocer el alcance del posible daño que pudiera producirse en edificaciones. Juntamente con este nuevo método de auscultación y como apoyo se utilizaron otros dos, ya suficientemente contrastados: nivelaciones de precisión de hitos topográficos y control de asientos puntuales mediante extensómetros de cable, anclados en el paleozoico basal.

4.- DESCRIPCION DEL METODO ENSAYADO

El nuevo método de auscultación ensayado está basado en la utilización de "células hidráulicas de asientos", que funcionan por el sistema de vasos comunicantes, miden descensos verticales, tienen una sensibilidad de 1 mm y las medidas no quedan influenciadas por los cambios de temperatura o movimientos laterales. El equipo requiere además de las células una unidad de desaireación y unos paneles terminales de lectura. El diseño de las células se ha realizado para una medida de asientos totales de 1 m.

Las células, en número total de 122, se situaron en ocho emplazamientos diferentes previamente escogidos dentro



del área urbana de As Pontes, con sendas casetas de centralización y dispuestas según dos o más direcciones, no sobrepasando la máxima distancia existente entre el panel de control y la correspondiente célula más alejada los 300 m.

5.- DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

Los trabajos se desarrollaron de acuerdo con un programa de actividades que comprendió:

- Instalación de equipos.
- Supervisión del funcionamiento y toma de medidas.
- Desarrollo informático.

La instalación de las células y sus conductos, casetas de control y paneles, así como las unidades de bombeo y desaireación tuvo lugar a lo largo del tercer trimestre de 1.989.

Las anomalías que se observaron durante la puesta en funcionamiento fueron resueltas con la eliminación de las burbujas de aire presentes en el circuito, mediante barrido de toda la instalación con nitrógeno seco a presión y, en último caso, se procedió a levantar unos centímetros las células, para conseguir así mayor pendiente en el circuito. Antes de iniciar el proceso de bombeo escalonado que se había previsto, se realizaron tres lecturas semanales.

Para la supervisión de la toma de datos iniciales durante el transcurso del bombeo se destacó a un técnico cualificado en obra de la firma responsable de la instalación. Las incidencias que se observaron en la toma de medidas y en el mantenimiento de los equipos fueron resueltas o debidamente anotadas para, en caso de



persistencia, proceder a dar de baja a las células con lecturas anómalas o fluctuantes.

Se creó una base de datos con todas las medidas de las células (diferencias obtenidas con la medida origen), que se tomaban normalmente cada tres días, y se elaboraron programas para el tratamiento informático de los mismos. Estos programas han proporcionado las salidas siguientes:

- Gráficos con la evolución de las deformaciones en el tiempo (desplazamientos en mm, representando con el signo + los asentos y con el - los levantamientos). En estos mismos gráficos se representó la evolución de la pluviometría diaria en litros/m².
- Cálculo en cuadros de doble entrada de las distorsiones angulares entre puntos del terreno definidos por cada célula con el resto de las células de la alineación, según el criterio de Bjerrum (1.963). En la presentación de los datos se incluyen dos: la distancia aproximada (m) entre las células y el denominador de la fracción 1/n que representa la distorsión angular.

Estos programas informáticos fueron elaborados por el Departamento de Geodesia y Cálculo de la Mina.

6.- BOMBEO REALIZADO Y SU RESPUESTA EN EL TERRENO

Los trabajos de bombeo se iniciaron de forma intensiva y escalonada en todo el área del talud el 12 de Febrero de 1.990, habiéndose realizado hasta el 31.01.91 cuatro escalones completos (niveles máximos de bombeo bajo superficie de 50, 75, 100 y 125 m). A la fecha de Mayo de 1.991 se encontraba en ejecución el 5º escalón, con el



que se pretendía deprimir el nivel piezométrico hasta unos 150 m bajo la superficie del terreno original, lo que supondría un 75% de la altura del talud, de aproximadamente 100 m (cotas de coronación y pie del talud, 360 y 170 respectivamente). El acuífero está formado por: un acuífero libre (con mal drenaje), un acuífero multicapa (buen drenaje), un acuífero en el contacto terciario-paleozoico (mal drenaje) y un acuífero en el Paleozoico que drena bien.

Todo el bombeo se ha realizado con un control exhaustivo de las deformaciones, mediante tres sistemas de auscultación distintos: nivelación de hitos en la zona de estudio (en total 30), extensómetros de hilo situados en el fondo de 18 sondeos y las células hidráulicas a las que se refiere este informe.

Los resultados de los valores medios de las deformaciones comparadas para los distintos tipos de auscultación en las diferentes zonas de alineaciones de células, en el quinto escalón de bombeo al 25.04.91, fueron los siguientes, según deducciones efectuadas por ENDESA en su informe final:

Auscultación	Deformación media (mm)	
	Máxima	Mínima
Hitos	81,7	19,2
Extensómetros	6,2	0,9
Células	96,1	44,4



Igualmente, para los valores medios de los asientos diferenciales comparados, los resultados según las mismas deducciones fueron:

Auscultación	Asiento diferencial medio (mm)	
	Máximo	Mínimo
Hitos	21,7	7
Extensómetros	2,5	-0,1
Células	8,6	0

Las deformaciones máximas se han obtenido generalmente en zonas próximas a los pozos de bombeo.

Las distorsiones angulares mayores de 1/1000 entre puntos (en cifras de color rojo en los cuadros de doble entrada) se han alcanzado, sobre un total de 739 puntos de medida de estas distorsiones angulares, en 73 puntos, lo que supone tan sólo un 9,9% del total y una distancia media de separación entre células de 12 m.

Del mismo modo, las distorsiones angulares mayores de 1/500 se han alcanzado en tan sólo 33 puntos de medida, que suponen un 4,5% del total, con una distancia media de separación entre células de 9 m. Corresponden primordialmente a puntos de medida efectuados en las zonas de Residencia, Campo de Fútbol y Enfersa.

Finalmente, las distorsiones angulares mayores de 1/250 alcanzan a sólo 10 puntos de medida, que suponen un 1,4% del total, con una distancia media entre células de 6 m, situadas en las zonas de Residencia y Anexo Residencia,



donde se observó un comportamiento anómalo de determinada célula, y en la zona de Campo de Fútbol donde el comportamiento de dos células arroja cierta incertidumbre.

7.- ANALISIS Y CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL PROYECTO Y SU DESARROLLO

Se ha expuesto, en síntesis, los objetivos del Proyecto, la metodología utilizada, el desarrollo de los trabajos desde la segunda mitad de 1.989 y los resultados obtenidos tras cuatro fases de bombeo y comienzos de la 5ª en el período comprendido entre los meses de Febrero de 1.990 y Mayo del presente año, procediéndose a continuación a realizar un análisis y exponer unas consideraciones sobre el Proyecto y el desarrollo de los trabajos.

En primera instancia, se señalará que los trabajos que se han llevado a cabo están en la línea marcada por las directrices y contenido del Proyecto. La concepción y metodología geotécnicas utilizadas para conseguir una optimización de la excavación, que permitiera explotar los máximos recursos de mineral, manteniendo la estabilidad del talud y dejando a salvo la localidad próxima de As Pontes de las posibles repercusiones en cuanto a deformaciones del terreno y daños a las contrucciones se refiere, son correctas.

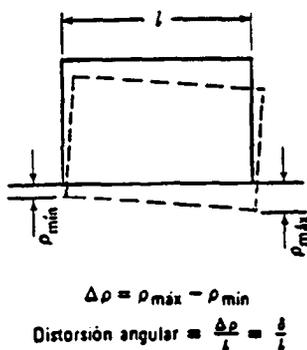
No obstante, con la metodología empleada para el control de asientos, se han considerado únicamente las deformaciones verticales del terreno, no uniformes, que dan origen a asientos diferenciales, que cuando pasan de determinados valores y en función naturalmente, de las



características constructivas de las edificaciones, pueden llegar a causar a éstas diversos tipos de daños.

En las actuales circunstancias, en las que la corta permanece suficientemente alejada y que la depresión de la capa freática se ha llevado de forma controlada en los distintos pozos de bombeo, con descensos dentro del área lo más uniformes posible, las deformaciones horizontales, que podrían dar lugar a esfuerzos de tracción o compresión, prácticamente no existen o serían despreciables.

En este último sentido, se considera correcta la aplicación del criterio de Bjerrum (1.963), que relaciona las distorsiones angulares con los límites de daños. A mayor abundamiento, se expone en la tabla siguiente (Tomlinson, 1.980) los criterios de otros autores,



VALORES LIMITES DE LA ROTACION RELATIVA (DISTORSION ANGULAR) PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS Y MUROS DE CARGA ARMADOS (Tomlinson, 1980)

ESTADO	SKEMPTON Y MACDONALD	MEYERHOF	POLSHIN Y TOKAR	BJERRUM
Daños estructurales	1/150	1/250	1/200	1/150
Agrietamiento en paredes y columnas	1/300 (pero 1/500 recomendado)	1/500	1/500	1/500

TABLA

incluido el propio Bjerrum, en los que se puede considerar que el límite para la aparición de agrietamientos en los edificios estaría cifrado en el valor 1/500 de la distorsión angular. Según los mismos autores pueden esperarse daños estructurales cuando la distorsión angular alcanza valores prácticamente superiores a 1/250.



En cuanto a los resultados de los controles de deformación en superficie y correspondientes cuadros con el cálculo de distorsiones angulares entre puntos de medida, expuestos en síntesis en el apartado anterior, pueden considerarse satisfactorios en líneas generales, ya que los límites aceptables para la posible aparición de agrietamientos o, en un último extremo, de daños estructurales como se ha expresado anteriormente, lo han sido en un porcentaje frecuencial muy pequeño con respecto al número total de medidas, inferior al 4,5% o 1,5% respectivamente, siendo además poco relevantes al corresponder a células muy próximas, a veces contiguas, con distancias medias entre ellas inferiores a 9 y 6 m en los dos casos límites considerados.

Según se desprende del informe final de ENDESA, no se han detectado daños en las edificaciones en las áreas de influencia que justifiquen los escasos valores encontrados superiores a los admisibles, por lo que se ha de considerar que se trata de deformaciones muy localizadas, de carácter prácticamente puntual y con poca relevancia dentro de los entornos controlados.

Se indicará, por último, que sería muy conveniente prever, para la fase final de la explotación, en que la coronación del talud de la Mina alcanzará la distancia mínima prefijada de unos 250 m, la posibilidad de que se produjeran como consecuencia de la deformabilidad del talud hacia el hueco de la corta, deformaciones tanto verticales como horizontales del terreno, que convendría conocer y, en todo caso, controlar con la instrumentación adecuada o mediante medidas tanto planimétricas como altimétricas de hitos topográficos de control.



El Area de Seguridad Minera del ITGE dispone de la posibilidad de utilización del programa Z-SOIL, que calcula la estabilidad de taludes por el método de esfuerzo-deformación por elementos finitos y que permite conocer y cuantificar estadios de deformabilidad del mismo en función de sus características geotécnicas.

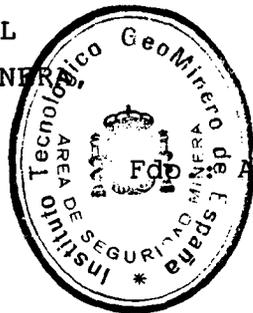
La utilización de este programa para el caso del talud Este de la Mina de Puentes podría resultar de gran interés. A solicitud de ENDESA, si lo considera conveniente, el ITGE prestaría su colaboración para que técnicos de aquella empresa pudieran rodar el programa indicado.

Madrid, 9 de Septiembre de 1.991

EL INGENIERO AUTOR DEL INFORME,

VºBº

EL INGENIERO JEFE DEL
AREA DE SEGURIDAD MINERA



Arturo Ochoa Bretón.

Fdo.: Jesús Gómez de las Heras.