

LA EXPLOTACIÓN



LA EXPLOTACIÓN

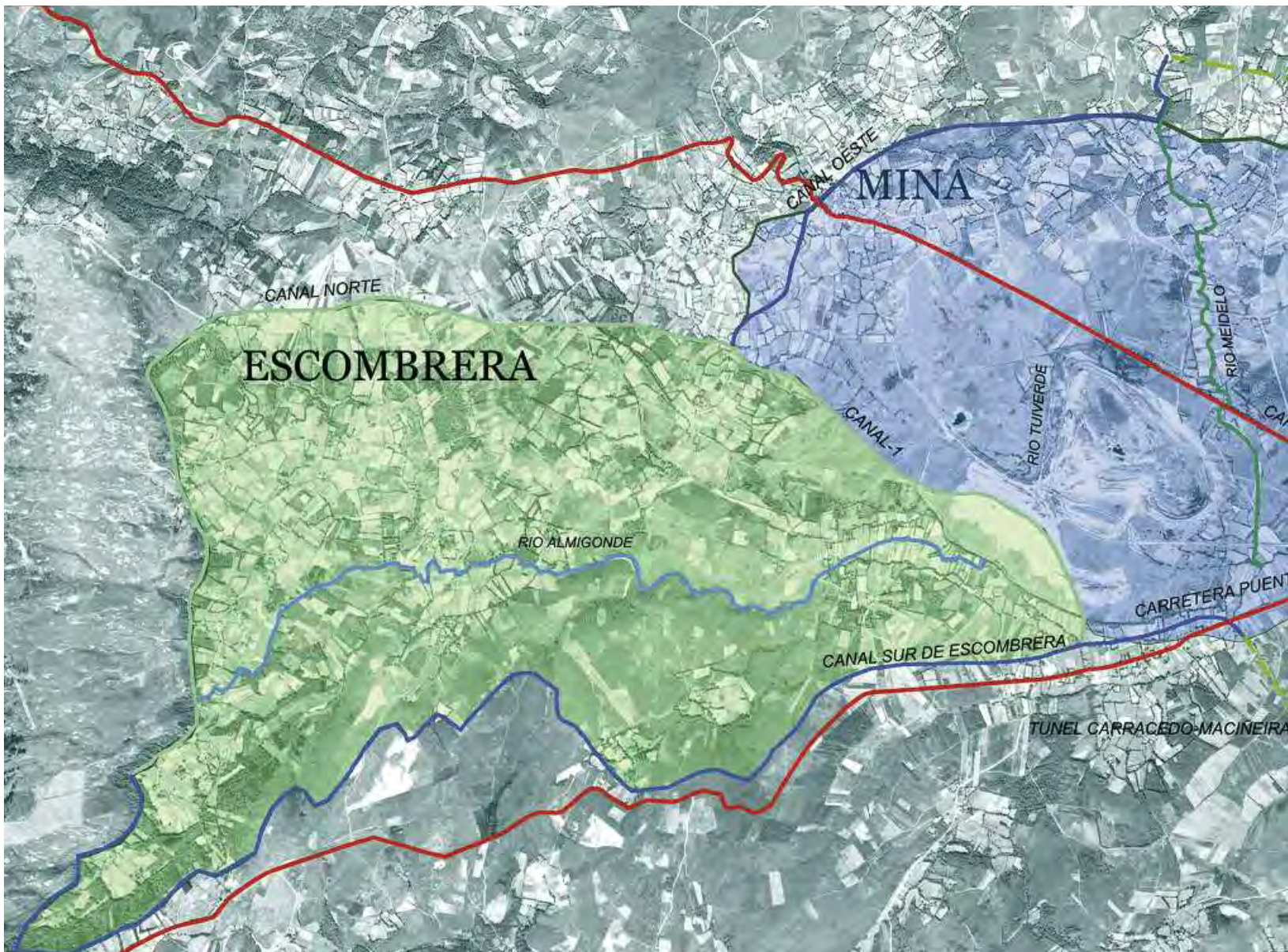
PRIMER PROYECTO DE EXPLOTACIÓN

El primer Proyecto de Explotación de la mina As Pontes, aprobado en 1974, consideró la cota de fondo +150 en el campo oeste; no contemplaba la excavación de pizarras en los taludes finales porque el conocimiento geológico del yacimiento que se tenía entonces permitía dejar dichos taludes en materiales terciarios. En el campo este se fijó la cota de fondo de +170, de igual modo con los taludes finales excavados en materiales terciarios. Se había previsto llegar con la explotación hasta el final del poblado de Endesa (Rego do Muíño), incluyendo el núcleo urbano de Pardo Bazán e instalaciones de Enfersa, para lo cual se pensaba desviar el río Eume en las proximidades de

la central térmica. Estas últimas previsiones suscitaban ya entonces serias dudas por razones sociales.

El referido documento consideraba un ratio de 2,12 m³ de material estéril por cada tonelada de lignito obtenida, aplicando criterios de selectividad basados en la experiencia de las minas alemanas (sin complejidad geológica: pliegues, etc.). También establecía que la actividad laboral se realizaría los siete días de la semana.

Asimismo, el proyecto de explotación contemplaba la creación de una escombrera exterior con capacidad para recibir 580 millones de metros cúbicos de material estéril y otra interior para 160 millones



de metros cúbicos; estas previsiones cubrían las necesidades de la explotación.

Además de comenzar las labores mineras según las pautas indicadas, empezó a ejecutarse el proyecto de canales de guarda. Conviene reseñar lo estricto de su ubicación, por condiciones de seguridad, en los bordes oeste y norte. En el borde este se proyectaba utilizar el cauce del arroyo Brixeo.

Igualmente, se inició el plan de desvío de las carreteras As Pontes-Ferrol, que atravesaba el yacimiento en sentido longitudinal, aproximadamente hacia su mitad, y As Pontes-Pontedeume que cruzaba transversalmente la mina en el extremo meri-

dional del campo este. En total se construyeron 10,7 kilómetros de nuevo trazado.

La apertura de una mina a cielo abierto es una labor muy delicada, tanto desde el punto de vista económico, como desde el de la técnica de explotación. Además, en el caso de As Pontes, la falta de capacidad de almacenamiento suficiente del carbón extraído hizo necesario adaptar la operación de las excavadoras al consumo, de modo que los planes de producción quedaron condicionados por las necesidades de funcionamiento de la central, en lugar de ocurrir al revés, como en cualquier explotación minera con unos ritmos mucho más flexibles.

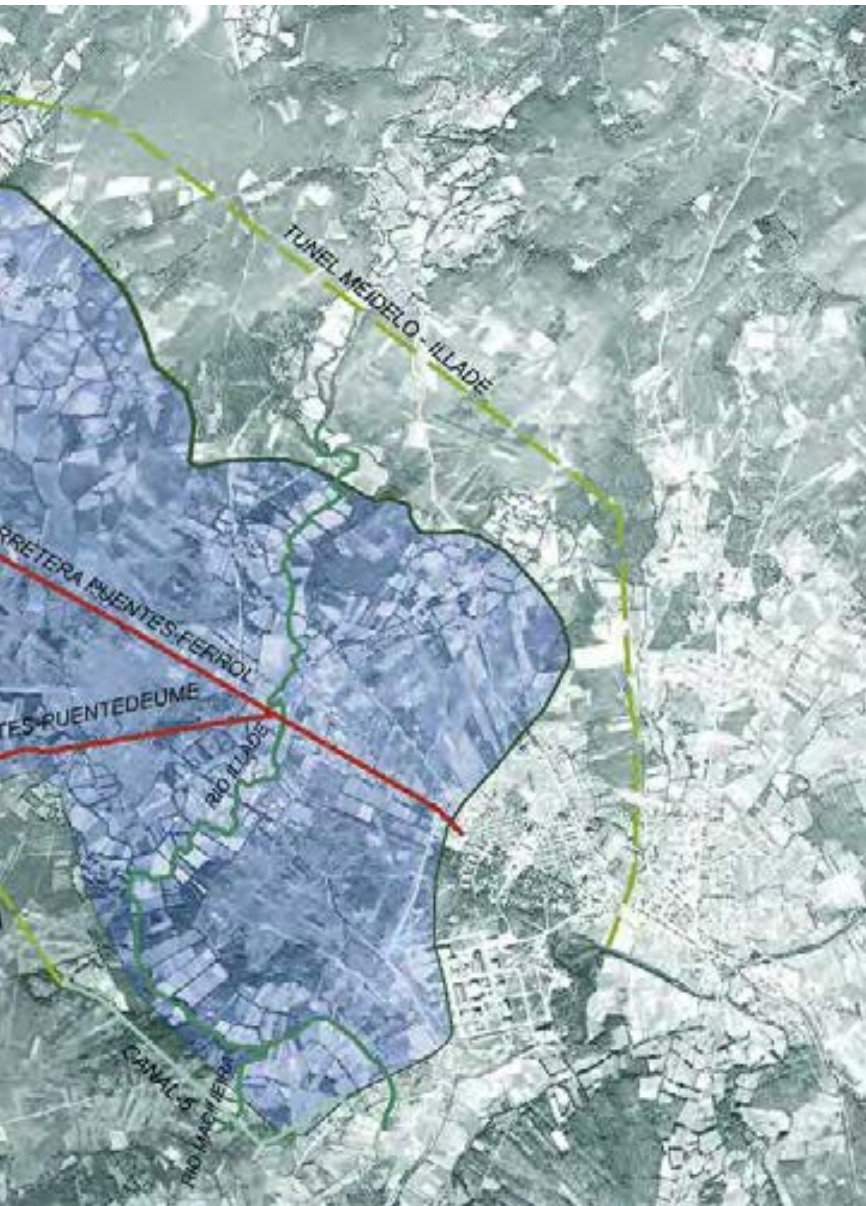


Foto aérea realizada en los años 60 con límites de mina y escombrera. Situación de ríos y carreteras primitivas y canales ejecutados



Diversas fases de construcción de la central térmica

PERÍODO 1976-1980

Entre 1976 y 1979, Endesa afrontó múltiples retos, unos derivados de la puesta en marcha de la instalación, toda ella desconocida en España, y otros de la gestión de las expropiaciones de los terrenos necesarios.

La explotación del yacimiento comenzó por el borde sur del campo oeste, si bien también se extrajeron lignitos del este, de la zona denominada Toxo Verde. No obstante, fue en 1979 cuando, superadas en gran parte las dificultades indicadas, se intensificaron las labores mineras. Precisamente en ese año entró en operación el último de los cuatro grupos de la central térmica, el primero de los cuales había arrancado en 1976.

Desde los comienzos, los problemas geotécnicos fueron una constante en el desarrollo de la mina. Cuando la corta adquirió cierta dimensión, tanto en extensión como en profundidad, Endesa otorgó la importancia que correspondía a la estabilidad de taludes para la seguridad de la explotación. De ahí que en 1978 encargase a Dames & Moore Ibérica un estudio para fijar las condiciones de estabilidad de la corta. Con ello pretendía definir la estabilidad de los taludes finales medios y los temporales de banco, así como identificar posibles estudios geológicos y geotécnicos complementarios (taludes oeste y norte del campo oeste, etc.).

En el análisis correspondiente del comportamiento del terciario, se vio la necesidad de determinar los parámetros resistentes que actúan en sus planos de discontinuidad: fallas y, en especial, la estratificación. Su investigación requería la ejecución de ensayos in situ a gran escala pero el gran problema era cómo realizarlos de modo que reflejasen la realidad.

Sin embargo, en la propia mina se disponía de un ensayo "a escala real", en los deslizamientos ocurridos en la antigua corta de Encaso que presentaban la morfología típica de un movimiento de traslación sobre un contacto estratigráfico. Cuando esa compañía, a principios de 1960, explotaba la mina con un solo banco y con una longitud de frente de unos quinientos metros se produjo un deslizamiento que afectó al tendido de ferrocarril, situado por detrás de

GRUPO	FECHA DE	HORA	DIA	MES	AÑO
GRUPO 1	ACOPLAMIENTO	19	2	ABRIL	1976
	EXPLOTACION COMERCIAL	0	28	JUNIO	1976
GRUPO 2	ACOPLAMIENTO	22	21	MARZO	1977
	EXPLOTACION COMERCIAL	0	9	MAYO	1977
GRUPO 3	ACOPLAMIENTO	17	10	MAYO	1978
	EXPLOTACION COMERCIAL	4	21	JULIO	1978
GRUPO 4	ACOPLAMIENTO	20	6	MARZO	1979
	EXPLOTACION COMERCIAL	2	2	ABRIL	1979

FECHA DE ACOPLAMIENTO EXPLOTACIÓN COMERCIAL DE LOS GRUPOS EN LA C. T. DE AS PONTES

la coronación del talud, y provocó el vuelco de algunas vagonetas estacionadas en la zona.

Entre el referido año y 1976 se interrumpió la explotación de esa parte del yacimiento. En otoño de 1977, en el proceso de apertura del primer banco, al avanzar el frente hacia la antigua carretera de Ferrol, se reactivó el deslizamiento principal con un desnivel máximo de veinticinco metros, provocando el desplazamiento de la cinta.

Sorprendía la magnitud del volumen movilizado, unos cuatro millones de metros cúbicos, y la geometría tan favorable de la superficie de rotura. Este deslizamiento se produjo siguiendo un plano de estratificación (techo de la capa "α") y salidas por las fallas existentes detrás de coronación (figura 1).

Efectuados los análisis retrospectivos de estabilidad, se obtuvieron valores del ángulo de rozamiento interno del orden de 13° en el plano de estratificación y cohesión nula, lo que indicaba que en el plano solo se pudo movilizar la "resistencia residual" (Ø' res.).

De esto se intuye que, incluso en las zonas menos plegadas del yacimiento, los planos de contacto del terciario experimentaron pequeños movimientos relativos en el pasado, suficientes para provocar una notable pérdida de la resistencia original a causa de la fragilidad de los materiales. Pareció prudente considerar que en estas superficies solo se disponía de "resistencia residual".

Asimismo, se ensayó en laboratorio una serie de cortes directos con grandes deformaciones para ob-

tener ángulos de fricción residual. Este parámetro geomecánico (ϕ' res.) fue el más importante en el desarrollo de la mina, como se verá más adelante.

En 1979 concluyeron los análisis de estabilidad de la corta y se definió una nueva geometría de taludes finales:

- Cota de fondo de mina: +70 en el campo oeste, que conllevaba una sobreexcavación de pizarras del talud norte.
- Situación del borde de excavación del talud este del campo este, a 250 metros del núcleo urbano, en la zona de A Casilla, excluyendo, por consiguiente, las áreas de Pardo Bazán, Poblado y Enfersa.
- Modificación del trazado de los canales de guarda.

Como consecuencia de este estudio, ante las incertidumbres geológicas y geotécnicas que se tenían en aquellos momentos, se adoptó un área de seguridad en torno al hueco de excavación de tres veces en horizontal la profundidad máxima a alcanzar, el famoso 3(H):1(V) de protección de la mina, tanto en la totalidad de su talud norte como en el oeste.

En 1980, se puso en vigor el calendario laboral de siete días por semana. Se consiguió mejorar la producción de las excavadoras, pero aún estaban lejos de su capacidad nominal. Además, continuaron los estudios geotécnicos, pero zonalmente, no de forma integral. También se ampliaron los límites de expropiación en base a los estudios realizados en 1979. Hasta 1982, Endesa no asumió la titularidad de los terrenos de los bordes oeste y norte de la explota-



Deslizamiento en el primer banco, 1977

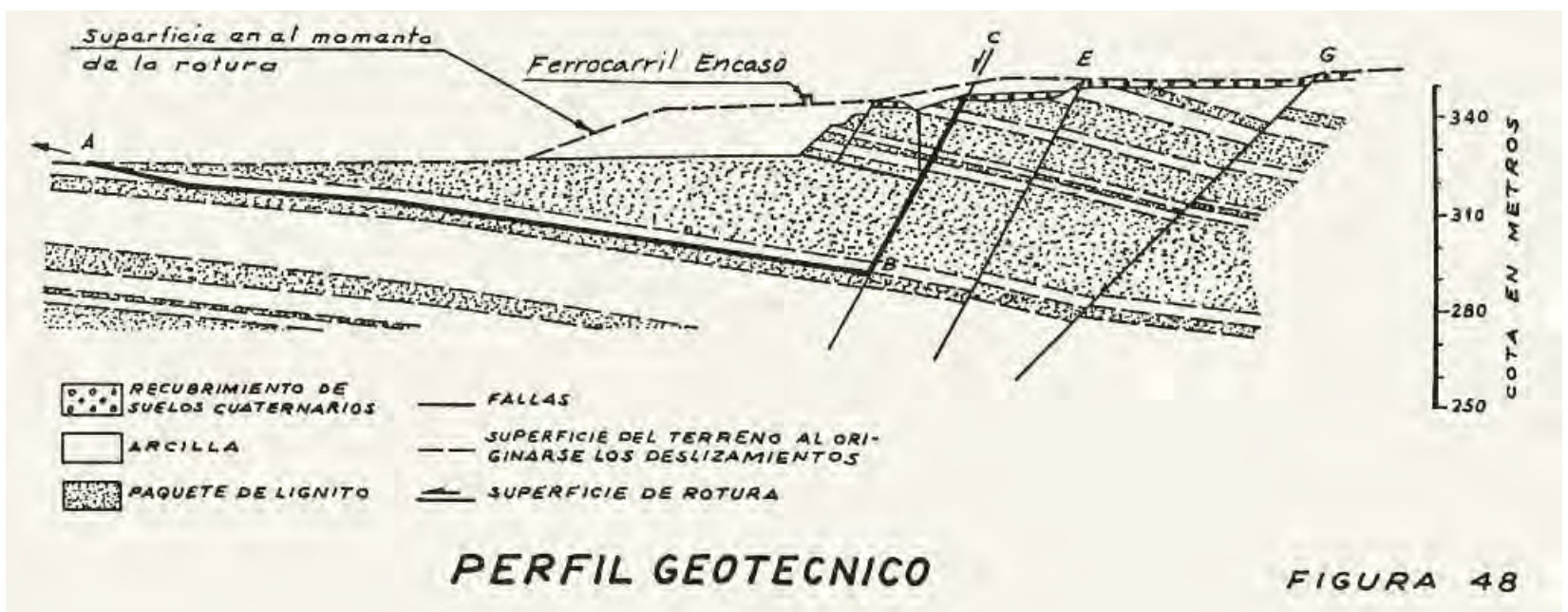
ción, que permitían realizar los sondeos necesarios para llevar a cabo dichos estudios con garantía.

Se presentó a la Dirección General de Minas, como Anexo al "Proyecto General de Explotación Mina As Pontes 2ª Fase", el método de explotación para aplicar en el perfilado y acabado de los taludes definitivos de borde del yacimiento, consistente en el arranque con maquinaria auxiliar y carga sobre cinta transportadora.

Igualmente, desde el inicio de la actividad, siempre se tuvo en cuenta la importancia del drenaje en la explotación. La alta pluviosidad de la zona, con precipitaciones medias anuales de 1.694 litros por metro cuadrado, obligó a tener muy en cuenta durante el laboreo la pendiente de los bancos para evitar la acumulación de agua en los mismos; de igual modo las cunetas debían encontrarse operativas en

todo momento. Las aguas recogidas eran conducidas a unos depósitos y, mediante bombeo, evacuadas a los canales perimetrales.

De ahí que se precisasen planes anuales de drenaje, que contemplaban el emplazamiento, la cuenca receptora, la capacidad de regulación y las necesidades de bombeo. Los depósitos eran de dos tipos: definitivos, situados en los taludes finales, principalmente en el sur, al quedar el talud "limpio a pizarras" por el sistema de explotación empleado, y los depósitos temporales, que se ubicaban en el banco de laboreo para recoger las aguas de escorrentía de éste y en las aperturas de nuevos bancos.





Sonda para instalación de instrumentación



Deposito OB-4



Bombas en el deposito II-EB

PERÍODO 1981-1983

Durante el trienio 81/83 se revisó, con la colaboración de Rheimbraun Consulting, el Plan Director de Mina y Escombrera contemplando las siguientes circunstancias:

- Cota de fondo de mina +70 en el campo oeste. El aumento de reservas de carbón precisaba excavar pizarras en los taludes finales.
- Borde de excavación en el campo este a 250 metros del núcleo urbano, excluyendo por tanto las áreas citadas en 1979. Se mantenía la cota de fondo +170, ya que por debajo apenas existía lignito explotable.
- Planificaciones diversas para producciones de carbón de 12, 12,8 y 13,8 millones de toneladas al año.

Finalizada la investigación básica para evaluar las reservas del yacimiento, se observó que existían menos de las previstas, si bien con un mayor poder calorífico, lo que compensaba el poder térmico total. En 1982, se cifraron las reservas disponibles con un ratio de 3,16 m³/t. Desde 1976 hasta el año 83 el yacimiento aportó las cantidades de lignito que se indican en el cuadro:

PRODUCCION DE LIGNITO (t)				
AÑOS	RATIOS M ³ /T	EXCAVA- DORAS	M. AUXILIAR (% total)	TOTAL
1976	0,81	757	378 (33%)	1,135
1977	1,32	2,325	633 (21%)	2,958
1978	0,86	4,123	1,100 (21%)	5,223
1979	0,95	5,628	1,686 (23%)	7,314
1980	1,24	8,282	2,812 (25%)	11,094
1981	1,98	10,228	1,526 (13%)	11,754
1982	1,98	11,872	1,514 (11%)	13,386
1983	2,35	10,779	2,056 (16%)	12,835

A pesar de haber alcanzado una mejora gradual de la producción con medios propios, el rendimiento de excavación resultaba inferior al previsto en el proyecto, lo que obligó a cubrir los objetivos exigidos por la central con la utilización de medios contratados, en porcentajes que variaron entre el 16% y el 25%. Estas desviaciones obedecían a una serie de circunstancias no contempladas en las etapas iniciales de la explotación:

- Menor capacidad de extracción de las excavadoras por mayor dureza del terreno y dificultades de selección de estéril y lignito.

Excavadora en un banco en altura





Vista general de la escombrera desde la sierra del Forgoselo

- Insuficiente desarrollo de la mina.
- Mayor complejidad geológico-geotécnica.
- Limpieza y acondicionamiento del talud sur previos a la apertura de un nuevo banco.
- Disponibilidad insuficiente de terrenos para desarrollar la escombrera exterior.
- Consideración de la mina como el verdadero parque regulador de la central, debiendo ajustar los planes de producción a las necesidades de consumo para no generar desabastecimiento, en lugar de ajustarlos de acuerdo a las conveniencias de la explotación. Se daba una gran dependencia cotidiana de la central, que llegó a consumir al día 45.000 toneladas de lignito, con un parque cuya capacidad máxima era de 200.000 toneladas.

Por todo ello, se tenía la incertidumbre de que a partir de 1986 no estuviese asegurada la producción

de carbón por encima de los nueve millones de toneladas anuales, lo que dio lugar a la puesta en marcha del llamado "Plan de Actualización".

El depósito de los materiales estériles también constituyó un reto notable. Dada la complejidad geológica del yacimiento, resultaba imposible por razones geotécnicas ejecutar una escombrera interior hasta que concluyese la explotación del campo este. Por tanto, se precisó encontrar una zona cercana a la mina y amplia como para admitir los aproximadamente setecientos millones de metros cúbicos de estériles y cenizas de la central. Para el emplazamiento de la escombrera exterior se seleccionó el valle Almiñonde-Sumeiro, que tenía una extensión cercana a los doce kilómetros cuadrados. He aquí sus límites: al norte, la carretera de Lugo a Ferrol, el arroyo Gorgode y el canal perimetral de la mina; al sur, la carretera de Cabañas a As Pontes; al este, la antigua escombrera de Encaso; al oeste, la sierra de Forgoselo.

DESLIZAMIENTO DEL TALUD OESTE, INICIO

El 1 de septiembre de 1983 se detectaron las primeras grietas en la coronación del talud oeste del campo del mismo nombre. Eran los síntomas iniciales de la inestabilidad general del talud, que se enmarcaría dentro de los límites del valle del Gorgode, en Espiñaredo, eje anticlinal (subparalelo a la propia excavación) y valle del Toiverde. Estos definirían la coronación del deslizamiento, cuyo pie se situaría en el fondo de la corta, que entonces se encontraba en la cota 270; sin embargo, no se detectaron grietas en este pie.

Como resultado de esta situación, se revisaron las programaciones de avance de la excavación e incluso, para el caso de no poder controlarla, se llegó a cuestionar la viabilidad de la explotación en los términos previstos. De ahí que se realizase un programa de investigación para este talud, consistente en:

- Toma de datos en superficie (afloramientos, calicatas y rozas).
- Sondeos mecánicos para prospectar en profundidad los materiales y estructuras.
- Control de las deformaciones mediante hitos topográficos, referencias en grietas, extensómetros horizontales e inclinómetros.
- Auscultación de la piezometría del área afectada.
- Ejecución de un área de ensayo de drenaje mediante pozos para la investigación y estabilización del talud.
- Reposición y adecuación de los drenajes de superficie.

En los meses siguientes continuó la evolución de las deformaciones y aparecieron nuevas grietas ali-

Pliegue en el talud oeste





Primera grieta detectada, 1983



Grieta canal de guarda, 1983



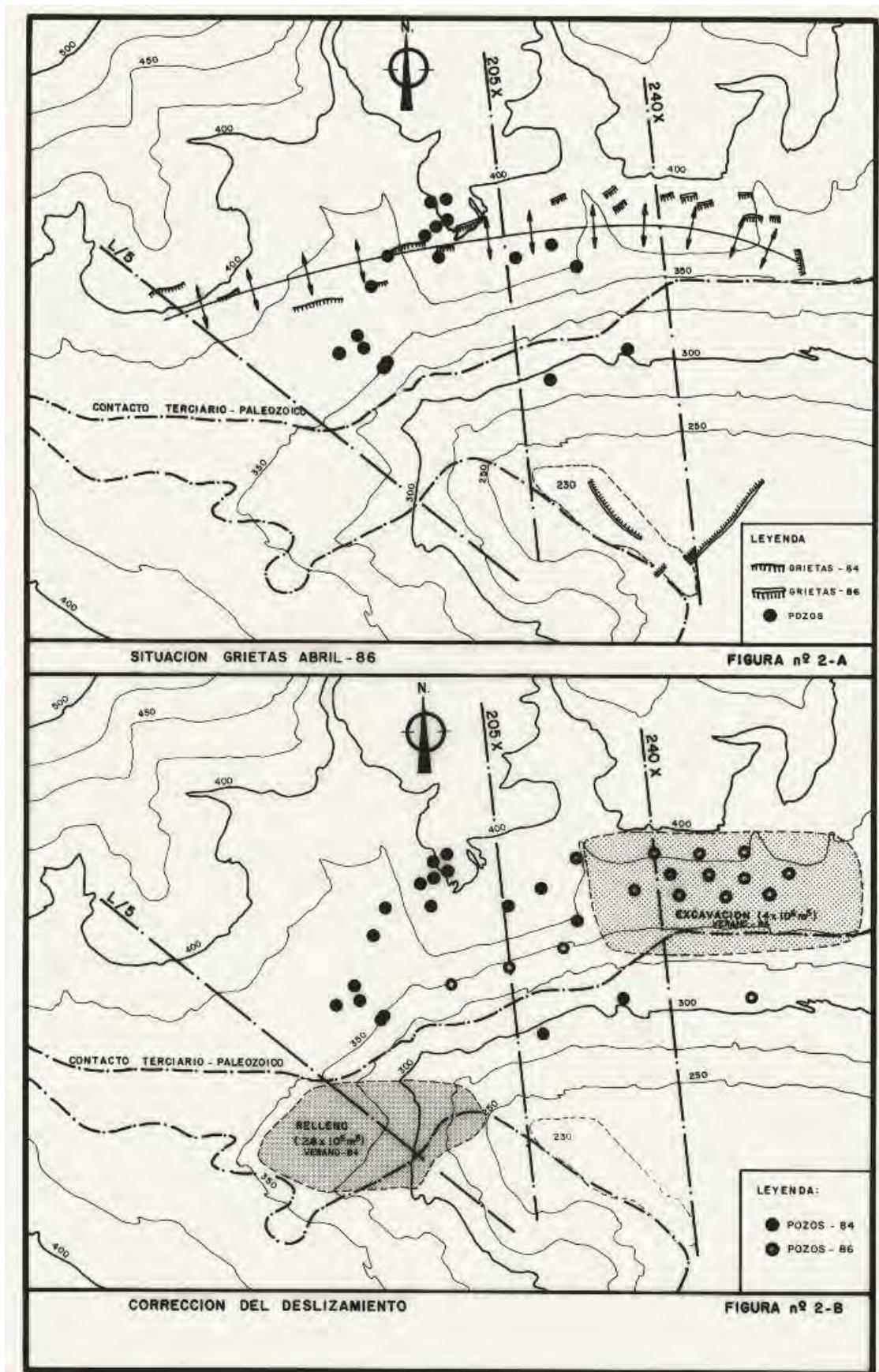
Grieta que originó un desnivel en el camino de Portoferreiro, 1983



Pliegue en el talud oeste, 1984

neadas con el referido anticlinal y en los límites previstos en una longitud de 1.300 metros (Fig. 2a). El volumen de la inestabilidad era de noventa millones de metros cúbicos. Para la estabilización del deslizamiento (Fig. 2b) se realizó un área de ensayo mediante dieciocho pozos para evaluar las posibili-

dades de drenaje de dos zonas del talud. También se habilitó una escombrera interior, denominada R de 2,3 millones de metros cúbicos (1,8 millones de arcilla, 0,5 millones de pizarra), al pie del deslizamiento. Esta obra se llevó a cabo entre los veranos de 1984 y 1985.



Figuras 2a y 2b



Preparación apoyo escombrera-R



Instalación de drenes horizontales en el fondo de la escombrera-R



Vista general escombrera-R

PLAN DE ACTUALIZACIÓN

Como consecuencia de los graves síntomas de inestabilidad en el talud oeste, en 1984 Endesa efectuó intensas y detalladas investigaciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas para reconsiderar el diseño de todos los taludes finales previstos, posibilitando la extracción de máximas reservas en condiciones de seguridad para las personas e instalaciones propias y ajenas.

Consiguientemente, se aplazó la revisión del plan director hasta disponer de los resultados de dichos estudios, limitándolo a una planificación anual hasta

1990 que permitiese ganar tiempo asegurando el normal desarrollo de la explotación. También se precisó modificar todo el proyecto de construcción de los canales de guarda en los bordes oeste y norte para adaptarlos a los nuevos taludes.

En el mismo año 84, se presentó el “Proyecto de Actualización de la Mina de As Pontes”. Este documento pretendía diversificar la explotación atacando simultáneamente las dos partes que constituían el yacimiento, aunque dando prioridad a la excavación del campo este, para ralentizar la profundización del

Foto aérea del año 1984



oeste en la zona de taludes problemáticos (oeste y norte), además de obtener la producción anual prevista a partir de 1986.

Para conseguir los objetivos de producción, Endesa reforzó el equipo en funcionamiento con dos excavadoras, otras tantas apiladoras y las necesarias cintas transportadoras, así como el resto de maquinaria complementaria. Las excavadoras seleccionadas fueron del modelo diseñado por Takraf (llamadas 16 y 17) con potencia doble de accionamiento

respecto a las Buckau (dos accionamientos de 610 kW). El modelo de apiladora elegido fue el PWH, con una capacidad de 17.000 t/h, brazo de descarga de 75 metros y 0,65 kg/cm² de presión sobre el suelo; se denominaron A-25 y A-29. Las cintas de banco de mina adquiridas fueron similares a las existentes, mientras que para la escombrera se optó por un ancho de banda de 2.200 milímetros.

En 1985, aconteció otro hecho relevante al renunciar Endesa de manera oficial a la expropiación de las zonas de A Casilla y Pardo Bazán.

Excavadora 16 trabajando en un banco en profundidad





Vista general de mina desde el talud oeste, 1985



Excavadora 16 en un banco de carbón, detalle del rodete



Excavadora 17



Vistas generales de la mina, 1985



Cinta transportando carbón





Apiladora 25



Apiladora en escombrera exterior

DESLIZAMIENTO DEL TALUD OESTE, REACTIVACIÓN

Durante 1985 continuó la explotación sin incidentes en el talud oeste, hasta la primavera de 1986, momento en el que progresaron las deformaciones que culminaron con la aparición de las grietas hacia el este, en unos 1.500 metros y en el propio fondo de la corta (cota 230). La masa inestable quedó tridimensionalmente conformada, con una longitud total de 2.500 metros, una superficie de 1.900.000 m² y un volumen de 200 millones de m³.

Los estudios que entonces se realizaban permitieron actuar sin demoras, paralizando el avance de la extracción de lignito el tiempo necesario (de mayo a septiembre) para adoptar las siguientes medidas correctoras (figura nº 2 b): ejecución de dieciséis

pozos y excavación de cuatro millones de m³ de esfériles de pizarra en la coronación del talud (obra de verano de 1986). Después se regularizó el avance de la explotación, recuperando los frentes abandonados temporalmente, hasta alcanzar el desarrollo previsto en la planificación.

Las investigaciones geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas llevadas a cabo demostraron que esta zona representaba uno de los bordes tectónicamente activos que conformaron la cuenca de sedimentación, cuya evolución originó desplazamientos de hasta un kilómetro de los materiales paleozoicos sobre los depósitos terciarios, conformando un cabalgamiento.

Talud oeste, 1985



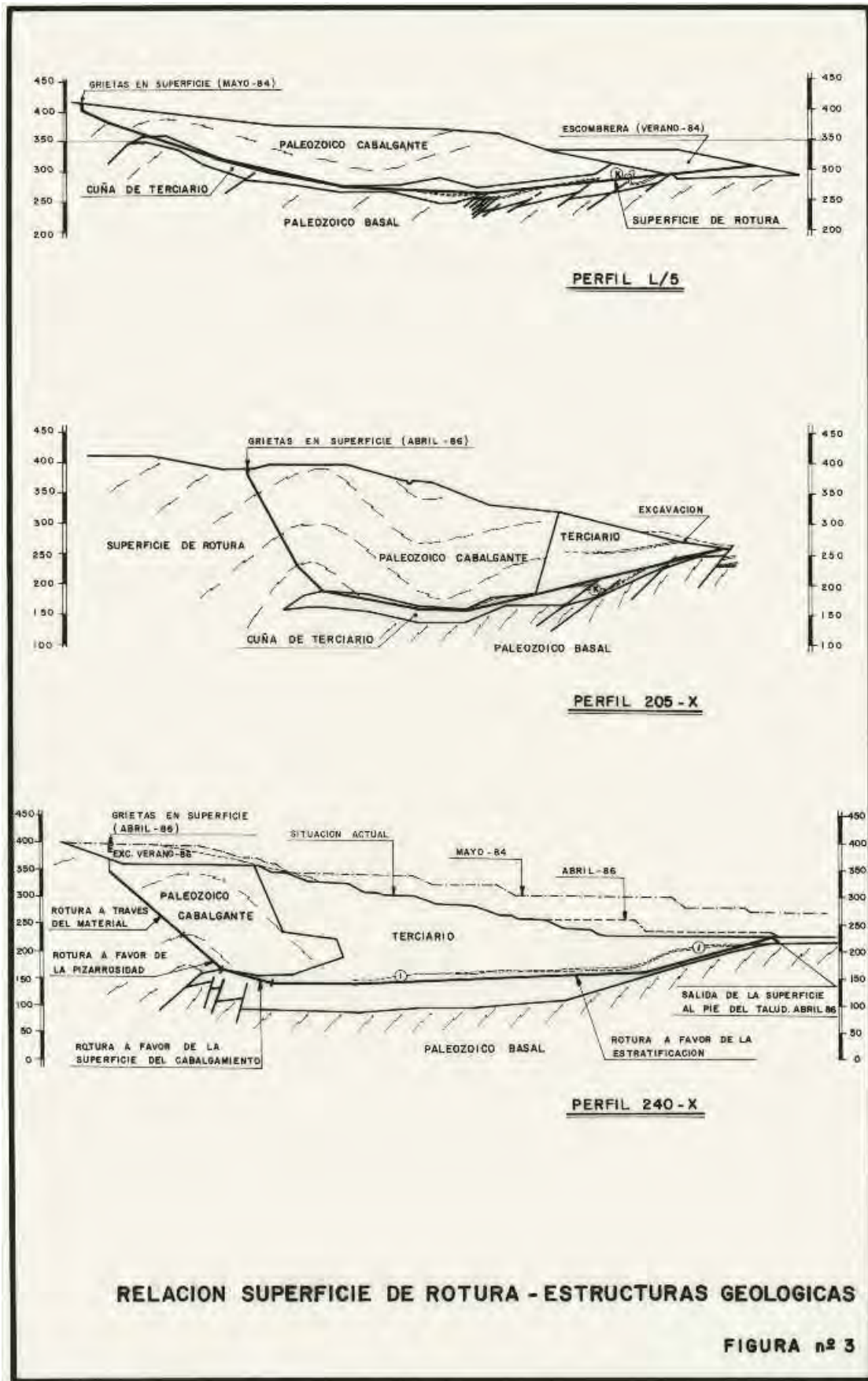


Figura n° 3





Como consecuencia de esta intensa actividad tectónica, se originó una fractura muy importante y se formaron pliegues asociados al efecto de arrastre, dispuestos en paralelo al borde de la cuenca.

Hay que destacar la relación existente entre las estructuras geológicas –el cabalgamiento, las superficies de estratificación paralelas a su parte inferior (generalmente el nivel de lignito “K”) y el anticlinal (por la disposición de la esquistosidad en su flanco y las juntas de tracción asociadas a su charnela)– con el proceso de inestabilidad del talud. Así se puede apreciar en la figura nº3.

En el área del talud oeste se definieron tres sistemas acuíferos principales:

- Los materiales paleozoicos aflorantes constituían un acuífero libre poco transmisivo, con dificultades para su drenaje.
- Los materiales paleozoicos cubiertos por los depósitos terciarios conformaban un acuífero confinado poco transmisivo pero que, a consecuencia de su propio confinamiento, resultaba de fácil drenaje.
- Los materiales terciarios eran en sí mismos un complejo sistema acuífero multicapa, con circulación a favor de las discontinuidades estratigráficas, preferentemente los muros de las capas de carbón, o tectónicas (fallas). La baja permeabilidad vertical de estos materiales originó los confinamientos detectados.

Desde el punto de vista geotécnico, existían dos grandes tipos de materiales: los terciarios, que conformaban el depósito productivo, y los paleozoicos, que constituían el borde. Los primeros, fundamentalmente arcillas, cuyas características medias corresponden a las de un suelo duro fisurado de plasticidad media y contenido en finos no muy elevado que, a pesar de la marcada anisotropía, presen-

Vista general donde se aprecia el cabalgamiento de materiales paleozoicos sobre depósitos terciarios

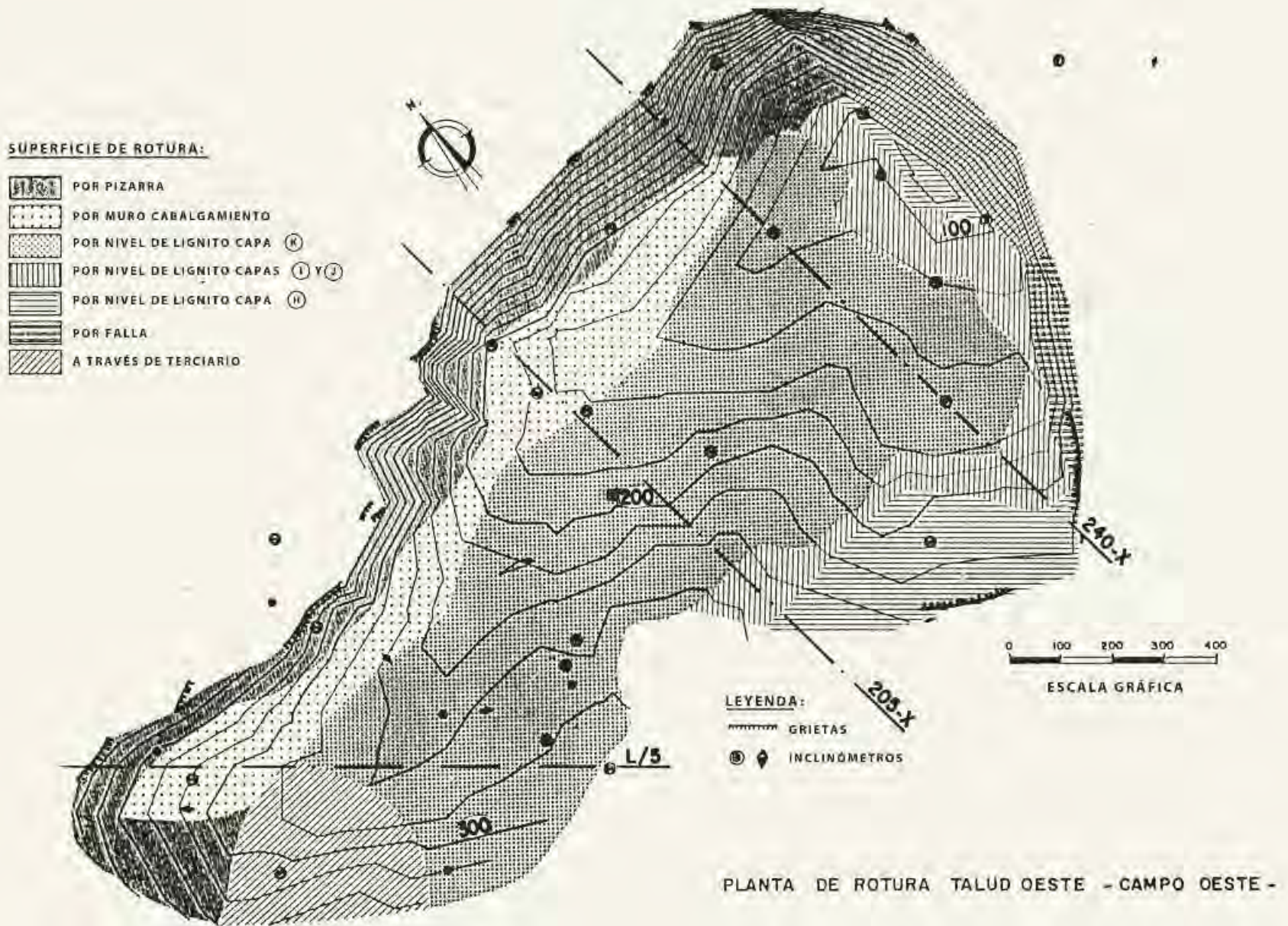
tan debilidades de gran continuidad, que descartan el uso de valores de resistencia medios. Los materiales paleozoicos son filitas con intercalaciones de cuarcitas, cuyo comportamiento viene determinado por su grado de tectonización y meteorización.

Dado que la inestabilidad quedó tridimensionalmente conformada en la primavera de 1986, la base del análisis retrospectivo debía partir de esa situación. La superficie de rotura era bien conocida desde sus primeras manifestaciones por las grietas vistas en superficie, los controles, los inclinómetros dis-

puestos para su detección en profundidad y la información adicional aportada por la situación de las roturas producidas en piezómetros y pozos.

En la figura nº 4 se representa la cartografía de la superficie de rotura, determinada con veintiséis inclinómetros con una longitud total de 4.082 metros. Hay que destacar que la parte más baja de esta superficie se detectó a la cota 70, cuando el fondo de mina se encontraba a la cota 230 (160 metros por debajo), lo que da idea de la importancia del movimiento.

Figura nº 4



Mediante la instrumentación instalada, se conocía con bastante precisión la situación de la piezometría en los distintos sistemas acuíferos. Estaban medidas las magnitudes, velocidades y direcciones de las deformaciones producidas, frente a las diversas afectaciones, punto de inicio para conocer y analizar las condiciones de estabilidad y su evolución en el tiempo. Por lo tanto, quedaba pendiente de resolver la distribución de resistencias movilizadas en los distintos tramos de la superficie de rotura.

En la figura nº 3 se detallan las principales relaciones entre estructura y rotura. A la vista del esquema de la figura se puede argumentar que, cuando aconteció la rotura, se habría movilizó la resistencia residual en sus correspondientes tramos.

Como resultado del análisis retrospectivo, se deduce que la resistencia movilizada en las debilidades del terciario, principalmente la estratificación, correspondería a un entorno entre los 8° y 9°. Del estudio de otros deslizamientos en la mina, se infiere que en la estratificación de los materiales terciarios se moviliza con cierta frecuencia su resistencia residual.

Las condiciones estructurales de esta zona, en la que se produjeron distorsiones y desplazamientos importantes durante la formación de la cuenca, propiciaron esta situación, lo que se comprobó por la continuidad de la rotura a favor de los horizontes es-

Medida automatizada de un inclinómetro



Inclinómetro y carrete del cable de medida



Medida manual de un inclinómetro

tratigráficos, en los que se detectaron las resistencias más bajas mediante ensayos de laboratorio.

Sin embargo, en el paleozoico, las condiciones estructurales y la existencia no de una sola grieta continua, sino de un cortejo de ellas alineadas en la coronación, permite suponer que no se alcanzó la rotura total y que, por lo tanto, se habría movilizó la resistencia de pico, o bien, en una situación intermedia, la resistencia de pico y residual en distintos tramos.

En la cartografía sobre la superficie de rotura, figura nº 4, se observa la gran continuidad del deslizamiento a favor de los horizontes débiles del terciario (72 % de la superficie total afectada), preferentemente el nivel K, mientras que la rotura en los materiales paleozoicos representa solo un 23% y el 5 % restante corresponde a tramos a favor de fallas o a través de materiales terciarios.

Se realizaron tests de sensibilidad frente a la variación de ciertos parámetros como, por ejemplo, la influencia de la resistencia de los materiales paleozoicos, densidades y modificaciones de algunos niveles perimétricos, comprobando su escasa influencia dentro de variaciones realmente posibles.

Por lo tanto, en base a estos análisis y consideraciones, expuestos de forma muy sucinta, se evaluó que la resistencia media movilizada en la mayor parte de la superficie se situó en el entorno a los 8°. Como consecuencia, quedó claro que la única forma de conseguir una geometría estable en el talud consistía en una sobreexcavación de pizarras del borde en relación con la situación que estaba prevista, compatibilizando en todo momento una nueva profundización del fondo de corta (estaba previsto llegar a la cota 140, con una altura de talud de 260 metros) con la excavación en coronación.

Desde el punto de vista geotécnico, este deslizamiento marcó un antes y un después en la vida de la mina, ya que estos valores de resistencia residual tan bajos en las capas inferiores del terciario (H a K) serían utilizados en el diseño de los taludes finales afectados por las mismas.



Hitos topográficos



Excavación de pizarras en el talud oeste, en primer término la escombrera R

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DEL YACIMIENTO

A lo largo de 1987, se obtuvieron los primeros resultados referentes a la geometría de corta basados en las nuevas condiciones de estabilidad de taludes. Al mismo tiempo se estudió el aprovechamiento de arcillas carbonosas y se evaluaron nuevamente las reservas, teniendo en cuenta ambos aspectos.

Además de iniciar los estudios de viabilidad de las alternativas de explotación, en ese ejercicio entraron

en funcionamiento dos nuevas excavadoras Takraf y otras tantas apiladoras previstas en el “plan de actualización”, así como las calles de cintas transportadoras correspondientes. También fue puesta en servicio la ampliación del nudo de transferencia, que pasó a poder recibir ocho calles de cintas de mina, dar salida a cinco calles de cintas de escombrera y dos de carbón, una para la central y otra para el par-

Nudo de transferencia y parque de carbones, 1985



que de regulación. De este modo, en octubre del referido año, estaban disponibles siete rotopalas y cinco apiladoras. Igualmente se modificó la actividad laboral, que recuperó las seis jornadas semanales.

En marzo de 1988 se terminó el estudio “Resultados de la Investigación del Yacimiento de Lignito de Puentes de García Rodríguez”, que supuso una profunda revisión de todos los aspectos y condicionan-

tes de tipo geológico, geotécnico e hidrogeológico. Permitted definir una serie de variantes de explotación en lo referente a geometría, lo que a su vez implicaba poner en juego diferentes niveles de fondo de corta, bordes del yacimiento, así como taludes finales.

Endesa eligió cuatro variantes de diseño para el campo oeste basadas en profundizar la corta hasta

Nudo de transferencia ampliado, 1987



los niveles +150, +110, +70, +0. La explotación del campo este, aún no iniciada, representaba un reto técnico por su proximidad y paralelismo al núcleo urbano de As Pontes. Por ello se estudiaron siete alternativas que contemplaban:

- Borde a 500 metros del núcleo urbano, con talud 5 (H): 1 (V) sin drenaje.
- Borde a 250 metros del núcleo urbano, con talud 5 (H): 1 (V) sin drenaje.
- Borde a 250 metros del núcleo urbano, con talud 4 (H): 1 (V) y drenaje con pozos.
- Variante sobre la anterior con máximo aprovechamiento de reservas fuera de zona urbana, respetando la red viaria actual, con talud 4 (H): 1 (V) y drenaje con pozos.
- Borde definido para aprovechamiento parcial de reservas en el área de Enfersa, con talud 4 (H): 1 (V) y drenaje con pozos, lo que implicaba el desvío de la carretera existente.
- Borde definido para aprovechamiento total de reservas en el área de Enfersa, con talud 4 (H): 1 (V) y drenaje con pozos, que requería el desvío de una carretera y del río Eume.
- Borde definido para aprovechamiento de máximas reservas, explotando totalmente el campo este. En este caso, parte de la excavación caía en zona urbana y exigía el desvío de una carretera y del Eume.

De todas ellas se definieron las magnitudes de explotación, para diferentes leyes de corte en cenizas (50, 60, 70, 80, 90 % s/s), lo que permitió conocer el volumen de pizarras, de terciario y de lignito, además del peso específico y el poder calorífico de este y las ratios. Como resultado del trabajo, Endesa logró un conocimiento más real del yacimiento con sus posibilidades de reservas extraíbles, calidad del carbón y ratios correspondientes, basados en los datos obtenidos durante la investigación y suficientemente fundamentados.

Este trabajo sentó las bases para los estudios posteriores que se realizaron orientados todos ellos a definir el hueco final de la explotación, es decir, los



Desvío de la carretera de Espiñaredo, 1989

niveles de profundización y el borde del yacimiento, así como la planificación del laboreo de la mina hasta el agotamiento total de las reservas explotables.

Las conclusiones de esta investigación fueron analizadas por consultores expertos, entre los que destacaban responsables de explotaciones de lignito a cielo abierto de las dos repúblicas de Alemania –entonces todavía separadas–, cuyo conocimiento en excavaciones al borde de núcleos urbanos era contrastado. En las reuniones que se celebraron en As Pontes del 26 al 29 de abril y del 24 al 27 de mayo de 1988 participaron: Mr. Barton (Instituto Geotécnico de Noruega), Mr. Turnbridge (Instituto Geotécnico de Noruega), Hr. Pierschke (RGmbH, de la República Federal de Alemania), Hr. Jolas (V.E. Braunkohlen Kombinat Bitterfeld, de la República Democrática de Alemania), Hr. Ziegler (V. E. Braunkohlen Kombinat Bitterfeld, de la R.D.A.), Sr. Fariña (Dames and Moore Ibérica, de España) y Sr. Llorca (Rodio, de España). El resultado de la evaluación reforzó las conclusiones del equipo técnico de Endesa, tal como recogió el protocolo firmado por los asistentes.

EXPLOTACIÓN DEL BORDE ESTE

Uno de los principales estudios llevados a cabo por Endesa y presentado en las reuniones de expertos fue el “Planteamiento general ante la explotación del borde este del yacimiento de la mina de As Pontes”, zona próxima a la villa. En el mismo se establecía un principio básico que debía prevalecer frente a cualquier otro objetivo o circunstancia: la seguridad en el entorno urbano. Solo después de establecer el referido fundamento incuestionable, se planteaba la obtención de las mayores reservas.

Para ello se establecieron los siguientes puntos de partida:

- Las excavaciones y los drenajes complementarios necesarios originaban apreciables deformaciones en el entorno.
- Según los estudios técnicos, ese impacto era compatible con el entorno urbano, pero se precisaba dejar sin explotar un importante macizo de protección, que se estimó en unos 250 metros, siempre que los canales de guarda de la mina estuviesen alejados de la coronación de excavación, tal como se establecía en el correspondiente proyecto presentado por Endesa ante la Administración para la construcción del denominado canal IV. Esta infraestructura desviaba las aguas de los bordes norte y este de la explotación al río Eume por el centro de As Pontes, alejándolas de la zona de excavación.

Si bien las experiencias propias y las de este tipo de minería en el mundo concordaban con estas conclusiones, para garantizar la seguridad en el área urbana se necesitaba medir las deformaciones que realmente se producían con el fin de evitar cualquier eventualidad. Por ello, se precisaba disponer de puntos de control suficientes para determinarlas tanto en superficie como en el interior de los macizos rocosos. Esta auscultación consistió en referencias topográficas para definir la “deformada” general de la superficie, células de asiento para determinar la “deformada” con mayor detalle de ciertas zonas de ensayo e inclinómetros y extensómetros para obtener la deformación en profundidad en los macizos rocosos.

Estos controles ofrecieron información suficiente para evaluar las condiciones de seguridad del emplazamiento en cada momento y prever su evolución en tiempo y magnitud para, si fuese necesario, aplicar las medidas correctoras oportunas.

Una de las causas principales de las deformaciones era la consolidación de los macizos rocosos debido al drenaje; por ello se precisaba información sobre la evolución de la piezometría para mejorar la capacidad de predicción de las deformaciones. En consecuencia, se estableció una red de piezómetros que controlaban la evolución de los distintos horizontes acuíferos.

Hito topográfico instalado en la central térmica



El proceso de excavación del talud se condicionó de modo que se pudiese continuar y profundizar más en fases sucesivas, hasta alcanzar la geometría final prevista, diseñada en base a los estudios mencionados anteriormente.

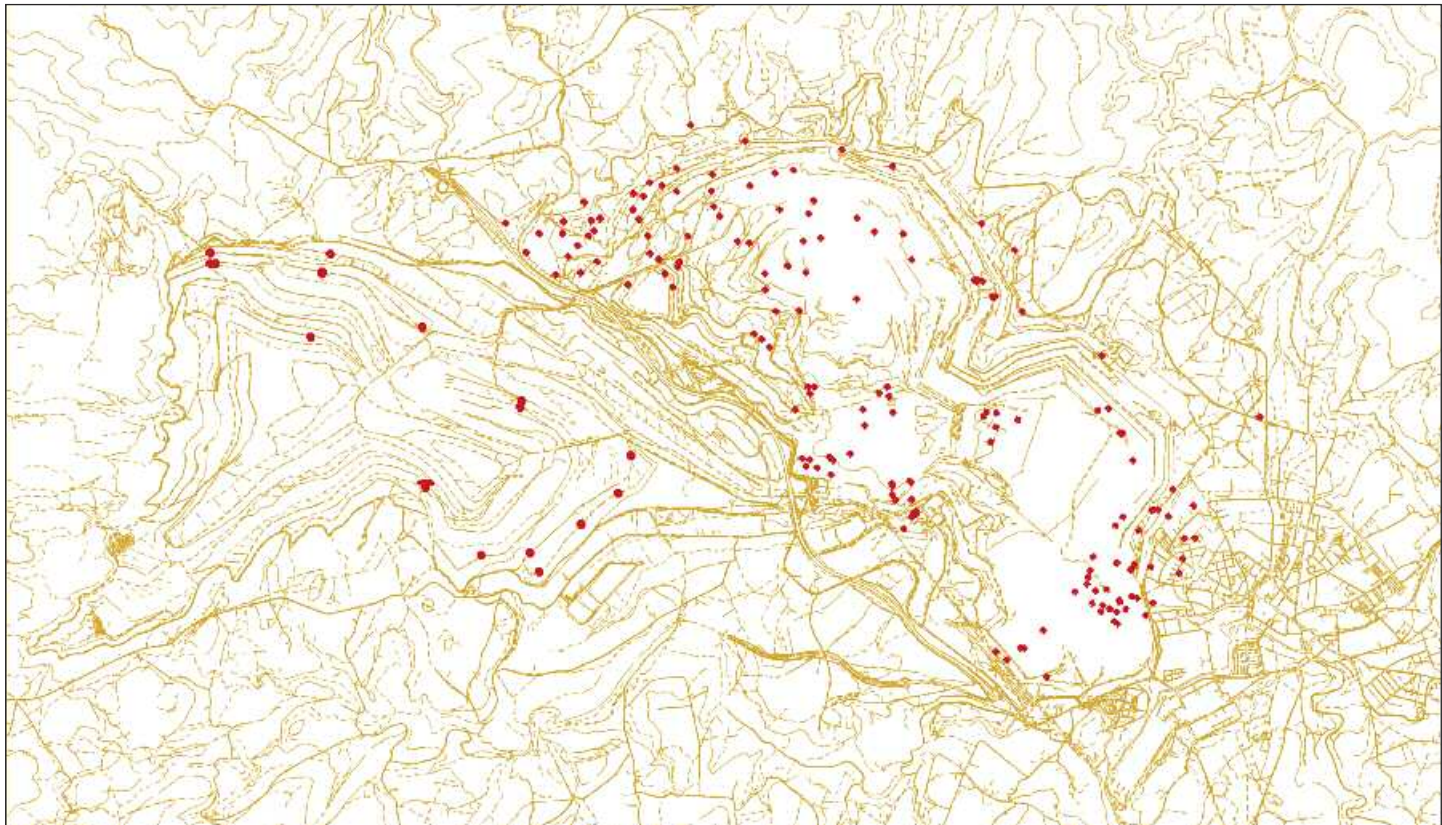
Partiendo de una evaluación teórica de todos los aspectos que intervienen en el diseño del talud, se programaron las actualizaciones de tal forma que cada una de ellas, excavaciones y drenajes, se efectuaron solamente hasta el límite que garantizara la seguridad del entorno. Con tal fin, primero se completó la auscultación que permitiese evaluar los efectos sobre el entorno. A ello siguió el drenaje para abatir progresivamente los niveles piezométricos del talud este hasta conseguir los rebajamientos necesarios sin peligro; ante cualquier eventualidad estaba previsto limitar estos descensos.

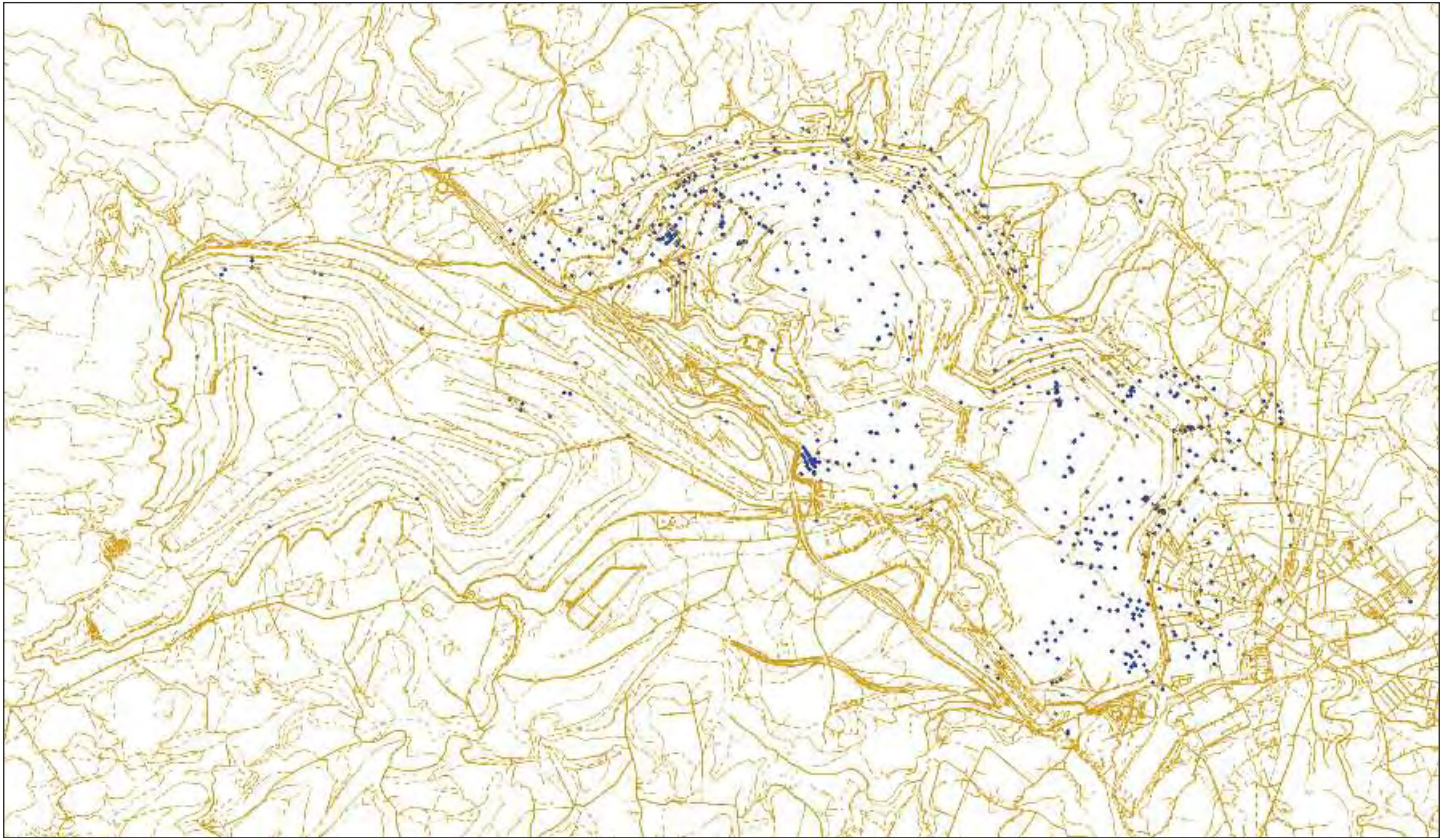
Una vez determinado el drenaje conseguido, se revisaron los diseños de excavación. Se había programado que el avance de esta progresase hasta al-



Instalación de inclinómetros

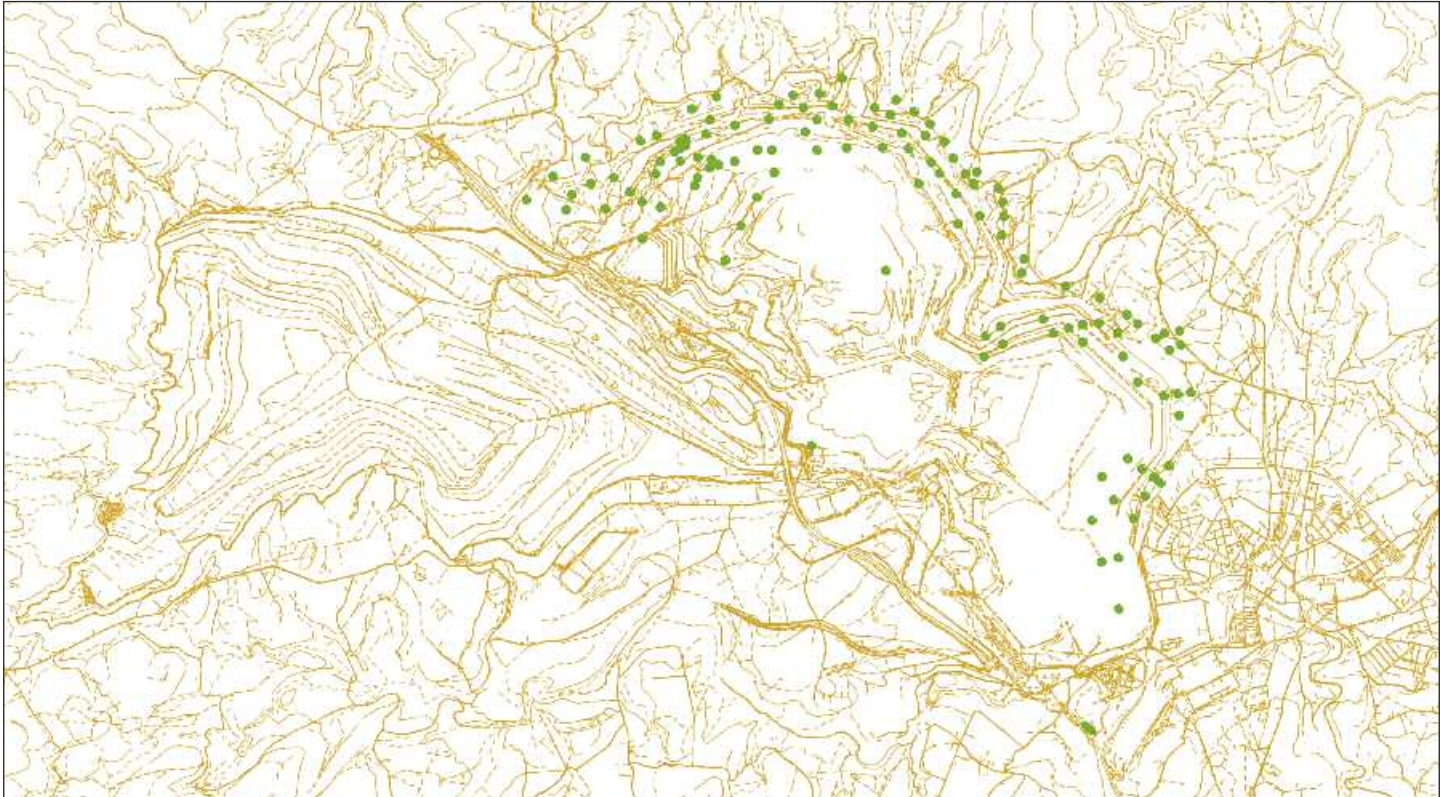
Plano de situación de inclinómetros





Plano de situación de piezómetros

Plano de situación de pozos



canzar el diseño teórico o, si fuese necesario, se introducirían las modificaciones que aconsejasen los resultados realmente medidos, principalmente:

- Control y limitación de los drenajes implantados para atenuar las deformaciones.
- Limitación en el avance o nueva profundización, temporal o definitiva, de los frentes de excavación.

En resumen, se trataba de, mediante un proceso iterativo, avanzar la explotación para obtener las mayores reservas con la confianza de tener siempre evaluadas las condiciones de seguridad del emplazamiento urbano.

Entre finales de 1988 y mayo de 1989, antes de comenzar el drenaje del talud este del campo este, y estando aún distante el borde de excavación, técnicos de Endesa, en colaboración con empleados mu-

Vista aérea general, 1988



nicipales, levantaron actas, casa por casa, con el fin de establecer el estado de los edificios para servir de referencia ante una posible afección por la explotación minera.

También durante 1988 se estudiaron las alternativas hasta el final de la mina, tomando como base los diseños de corta hasta las cotas 70, 110 y 150 en el campo oeste y una distancia de 250 metros al núcleo urbano en el campo este, que se denominaron

150W + 250E, 110W + 250E y 70W + 250E, con las correspondientes cubicaciones, planificaciones y evaluaciones económicas.

En este estudio se preveía el final de la actividad minera entre los años 2008 y 2012. El documento también consideraba proyectos como el traslado de talleres y almacenes, las protecciones de la rampa de cintas, la ubicación de las nuevas cintas de pizarras por el talud oeste y el desvío de la carretera de Espiñaredo.



En una reunión celebrada el 4 de abril de 1989, presidida por el entonces director general de En-
desa, Rafael Miranda, se adoptaron las siguientes de-
cisiones:

- Desechar la alternativa +70W + 250E por su mayor coste y por las dificultades técnicas que implicaba su ejecución.
- Desarrollar la geometría correspondiente a la alternativa 150 W + 250 E, pero con volumen de excavación de pizarras necesario para la 110 W y 250 E, con el fin de no hipotecar decisiones posteriores.
- Tomar la decisión sobre la alternativa final en un plazo de cuatro años, para disponer de datos básicos más precisos.
- Desarrollar la apertura de otras áreas de la mina que garantizasen y flexibilizasen la producción



Excavación de pizarras en el talud norte con excavadora de rodete





Excavación de pizarras en el talud norte con medios contratados

requerida por la central térmica. Entre las zonas que se analizaron estaba el umbral de separación de los campos oeste y este, llamado sector 500.

- Estudiar la reducción de los costes de la explotación, adecuando la plantilla a los nuevos requerimientos.

En 1989 comenzó la excavación de pizarras de manera sistemática con medios contratados, utili-

zando bulldozers para ripaje y retroexcavadoras para carga sobre cintas transportadoras. Posteriormente se investigó la posibilidad de excavar este tipo de materiales duros con rotopalas, sin incrementar el coste de excavación. Teniendo en cuenta que Endesa ya disponía de los equipos Takraff, a mediados de 1993 se canceló la contratación de recursos ajenos para utilizar medios propios. En total, las rotopalas excavaron unos cuatro millones de metros cúbicos de pizarras.

EL SECTOR 500

El sector 500, entre los campos oeste y este, fue muy importante en la explotación del yacimiento desde principios de los años 2000, debido al bajo contenido de azufre de su lignito de las capas superiores, lo que facilitaba la mezcla con carbón de otra procedencia y mayor contenido de azufre.

El contacto de paleozoico y terciario, como se puede apreciar en la figura nº 5, pasaba en la zona oeste por debajo de la rampa de cintas (cintas 1) previa al nudo de transferencia. Después atravesaba el canal de guarda, la carretera de Ferrol y se metía algunas decenas de metros bajo la escombrera para, ya en la zona sur, llegar cerca de la subestación y situarse por debajo de las oficinas de O Tesouro. En la misma figura se puede ver como la cinta 2 de mina estaba situada sobre esta zona.

Por lo tanto, la estabilidad de las excavaciones que se realizasen era básica para el desarrollo de la mina, pues un deslizamiento descontrolado en el sector supondría la paralización total de la explotación.

En marzo de 1989 aparecieron los primeros síntomas de inestabilidad al excavar la rotopala el tercer banco situado en la cota 295. Gracias a la instrumentación, que consistía en seis inclinómetros con un total de 284 metros y ocho hitos topográficos, se detectó el movimiento. En los meses siguientes, surgieron grietas en coronación (cotas 345 a 330) y en el otoño del mismo año en el pie (cota 260).

Los inclinómetros detectaron dos superficies de rotura a muro del nivel "C" y a muro del nivel "F", con salidas por falla en el pie. El buzamiento de la estratificación de estos niveles era como máximo de 10° a favor de la excavación, siendo el talud medio 8,5 (H): 1 (V), como se puede ver en el perfil de la figura nº 5.

El volumen de material inestable se estimó en veintisiete millones de metros cúbicos. En esta zona se disponía de tres pozos para rebajar los niveles piezométricos y veinte piezómetros para controlarlos. En un análisis retrospectivo realizado al efecto, se evaluaron unas resistencias residuales en estratificación de 8°, menores de las previstas en la zona, que eran de 12°.



Grieta en el sector 500, 1989

Para estabilizar el deslizamiento (figura nº 6), se necesitaron otros nueve pozos para rebajar los niveles piezométricos, que se añadieron a los tres ya existentes, alguno de los cuales no había podido entrar en funcionamiento cuando estaba previsto por condicionantes de producción.

Además, se dispuso un dique de pizarra de 900.000 metros cúbicos que, apoyado en el paleozoico, sirviese de contención del terciario. Se ubicó en una zona próxima al pie del deslizamiento, con un espesor máximo de terciario de cuarenta metros, por lo que hubo de ejecutarse en dos fases. La primera se realizó en julio y agosto de 1990, para excavar en trinchera unos 750.000 m³ de terciario, con

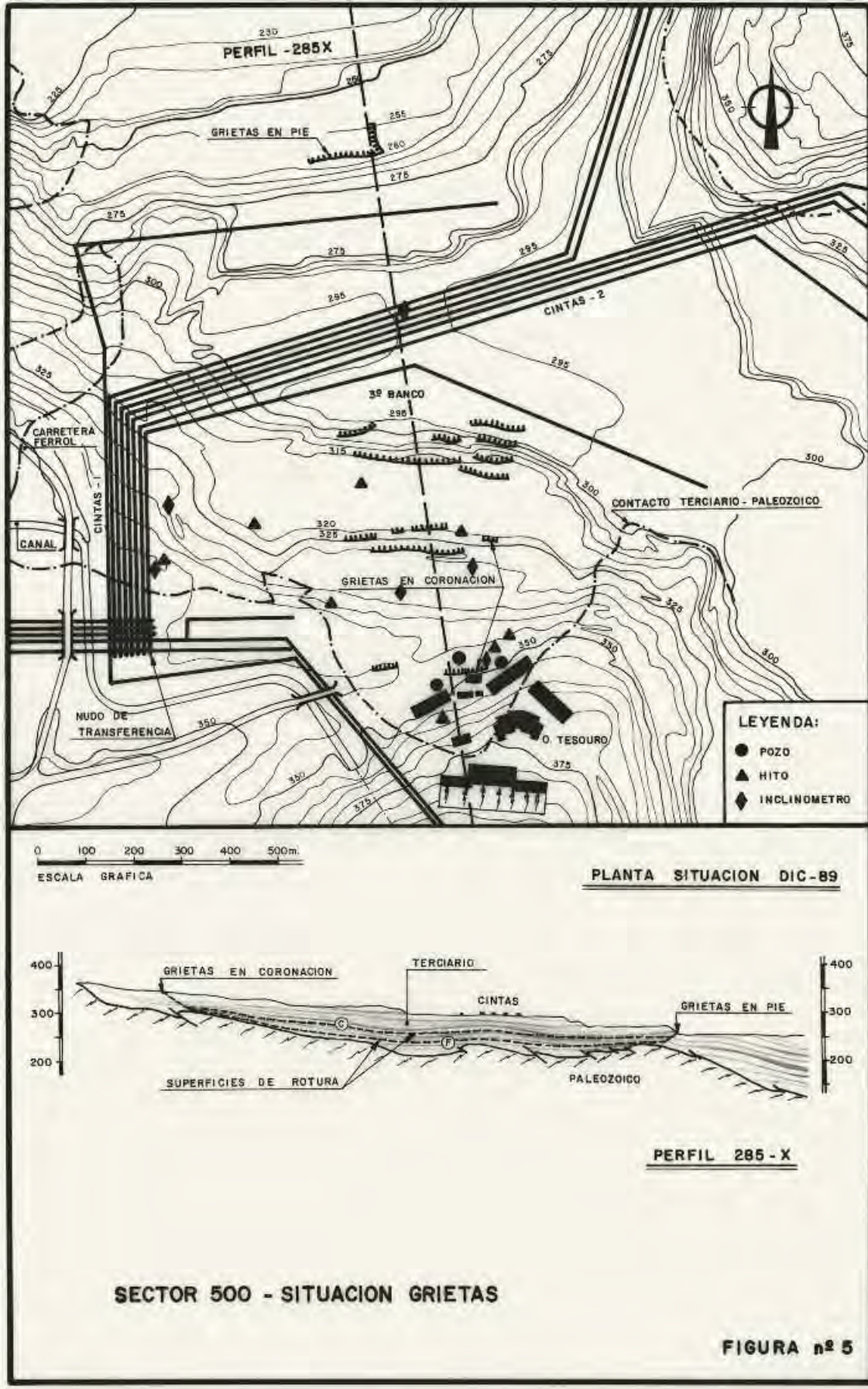


Figura nº 5

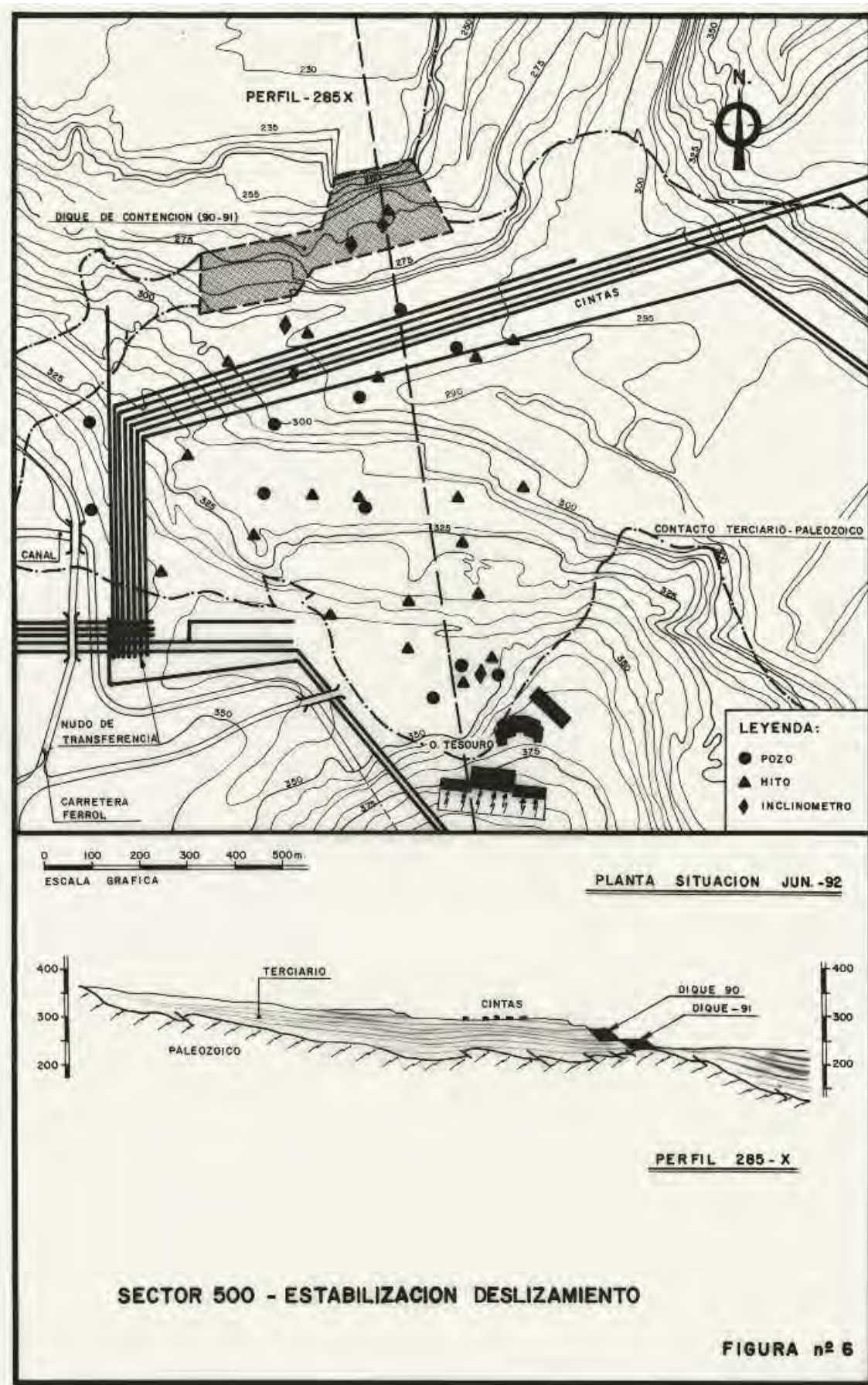


Figura nº 6

una profundidad de unos veinte metros para colocar en ella un dique de 600.000 m³. Este quedó apoyado en paleozoico en toda su longitud, salvo en la zona central, donde estaba muy profundo y resultaba imposible completar la excavación en la época de climatología favorable.

La segunda fase, que se llevó a cabo durante el verano de 1991, completó la contención del nivel "F" en el tramo central. Para ello se excavó una trinchera en el terciario, a continuación del dique anterior, de 450.000 m³ y otros 20 metros de profundidad, hasta alcanzar el paleozoico; se colocó en ella un dique de 300.000 m³.



Grietas en borde talud del sector 500, 1990

Excavación y relleno simultáneo para el apoyo del dique en el sector 500, 1990



EL EDIFICIO DE O TESOURO

El edificio de oficinas de la mina se levantó parcialmente sobre terciario, lo que requirió ejecutar una contención del mismo antes de comenzar las excavaciones de los bancos 1º y 2º del sector 500, programadas para finales de 1991. Se analizaron diversas soluciones hasta concluir que, tanto desde el punto de vista técnico como económico, lo mejor era construir un muro pantalla continuo anclado en las pizarras del basamento paleozoico.

Con el fin de elegir su ubicación idónea, se realizó una campaña previa de sondeos de reconocimiento. La pantalla alcanzó una longitud total de 95 metros, en tanto que su máxima profundidad llegó a los 22 metros, con 167 anclajes de 66 y 46 toneladas con una longitud total de perforación de anclajes de 4.018 metros. La obra se llevó a cabo en 1991.

Asimismo, todos los talleres y almacenes de la mina que estaban situados delante de O Tesouro y, por lo tanto, cimentados sobre terciario, fueron derribados, previa ejecución de los nuevos en una zona próxima a Espiñaredo, junto a la carretera AC-861 que enlaza Ferrol con Lugo. Controlado el deslizamiento, se excavaron el 1º y el 2º bancos del sector 500, para poder obtener la producción planificada.





Diversas fases de la ejecución del muro pantalla, 1991

DRENAJE DEL BORDE ESTE

El 12 de febrero de 1990 comenzó el plan de drenaje del talud este del campo del mismo nombre, coloquialmente llamado "talud del pueblo", para que alcanzase su máxima eficacia en un plazo de dos años. Diseñado en 1988, el plan establecía el descenso escalonado de las bombas situadas en los pozos, con intervalos de veinticinco metros de profundidad, de forma tal que los gradientes hidráulicos y los asientos diferenciales fuesen mínimos para que no entrasen ningún daño en las edificaciones.

El drenaje se realizó muy lentamente, controlando siempre tanto los niveles piezométricos como las deformaciones, en este caso asentamientos. Se llevaron a cabo siete escalones de drenaje:

ORDEN ESCALON	FECHA INICIO	PROFUNDIDAD BOMBEO
1	12.02.1990	50
2	24.04.1990	75
3	18.07.1990	100
4	18.10.1990	125
5	31.01.1991	150
6	14.05.1991	175
7	23.10.1991	200

El criterio aplicado para dar paso a un nuevo escalón consistía en conseguir un periodo de tiempo suficiente, generalmente un mes, con estabilización tanto de deformaciones como de niveles piezométricos.

Para ejecutar este plan, se instalaron durante 1989 los instrumentos de auscultación hidrogeológica y geotécnica que se indican a continuación: Diecisiete pozos de captación, 475 piezómetros colocados en 203 perforaciones para control de presiones hidráulicas, 146 hitos topográficos para medida de deformaciones superficiales, 845 metros de tubería inclinométrica en cinco emplazamientos para medidas de deformaciones profundas, veinte extensómetros verticales para medida de deformaciones profundas y 109 células de asiento distribuidas en ocho alineaciones diferentes dentro del área del talud este.

La toma de datos en campo, su tratamiento y el análisis de los resultados se realizaba de forma permanente, lo que permitía disponer en todo momento de una información precisa acerca de la situación del talud.

También se efectuaba cada semana una nivelación topográfica de los veintiocho hitos situados en una alineación que, partiendo de un punto fijo exterior a la cuenca, atravesaba todo el casco urbano de As Pontes hasta llegar al borde de la excavación. El resto de los hitos se nivelaban quincenalmente. Las células de asiento y los extensómetros verticales se medían cada semana, mientras que los inclinómetros, una vez al mes.

La revisión de niveles piezométricos era diaria, al estar automatizados gran parte de los aparatos. El control de funcionamiento de los pozos se realizaba diariamente, midiendo caudalímetros y horómetros. La avería de una bomba se limitaba a un tiempo máximo de cuatro días, como exigencia para mantener la regularidad del bombeo.

Se disponía de una base de datos de deformaciones y otra hidrogeológica que un equipo de técnicos interpretaba y analizaba de forma permanente. Estos controles continúan incluso después de que el hueco minero está lleno de agua, si bien el número de mediciones, así como el intervalo de las mismas, cambiará con el paso de los años, según los requerimientos de cada momento.



Sonda realizando una perforación, 1990



Instalación de un inclinómetro, 1992

Montaje de bombas en sondeos



ELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE EXPLOTACIÓN

En mayo de 1991 se presentó a la Dirección General de Endesa el "Estudio para la elección de la alternativa de explotación". El documento resumía los análisis técnicos y económicos que permitieron entonces decidir sobre la geometría final de la mina, base para la posterior definición del Plan director 1993.

Se estudiaron con detalle todas las zonas marginales de alta ratio, que se desecharon por criterios económicos. En estas zonas, la excavación del estéril necesario para recuperar toneladas de lignito adicionales implicaba generar pérdidas, ya que el ratio era elevado. Ello permitió acotar la profundidad a la que el campo oeste debía explotarse, además de definir los taludes en su zona N, NE y NO, así como los N y

NO del campo este. Estos taludes tenían que considerarse preliminares, ya que precisaban de un posterior estudio detallado y riguroso con bermas y bancos.

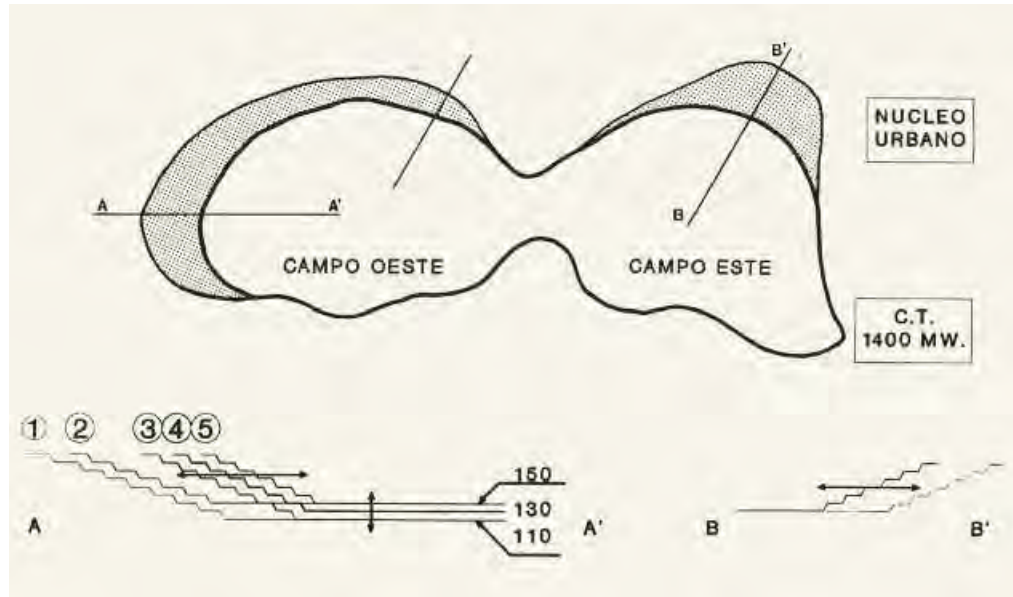
El estudio se centró en cinco alternativas de mina, de entre las que se optó por la cuarta, 130W + 250E, es decir, cota de fondo 130 en el campo oeste y 250 metros de distancia al casco urbano en el campo este.

Con relación a esta alternativa, se precisaba profundizar para su desarrollo en detalle, siendo necesario estudiar los taludes definitivos, valorar planificaciones alternativas, continuar la redacción del plan director, replantear la excavación de pizarras con maquinaria auxiliar y medios contratados y, finalmente, analizar plantilla y costes.

Foto aérea de mina y escombrera, 1991



ESQUEMA DE ALTERNATIVAS ESTUDIADAS





PRIMERA REDUCCIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Si bien el deslizamiento del talud oeste marcó un antes y un después en el desarrollo de las geometrías de taludes finales, el verdadero condicionante de toda la vida de la mina, de modo especial desde el inicio de la década de los 90, radicó en las emisiones atmosféricas autorizadas a la central térmica, pues el lignito extraído tenía que poder ser utilizado en esa instalación.

Los primeros límites tanto para dióxido de azufre como para partículas fueron establecidos en una resolución de la Dirección General de la Energía, de 19 de enero de 1974, por la que se autorizaba a la Endesa la emisión de 10.800 mg/m³N de dióxido de azufre y 350 mg/m³N de partículas.

Posteriormente, la Directiva 88/609/CEE, de 24 noviembre de 1988, transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 646/1991 de 22 de abril, estableció nuevas normas sobre limitación de las emisiones a la atmósfera procedentes de grandes instalaciones de combustión. He aquí sus aspectos más relevantes:

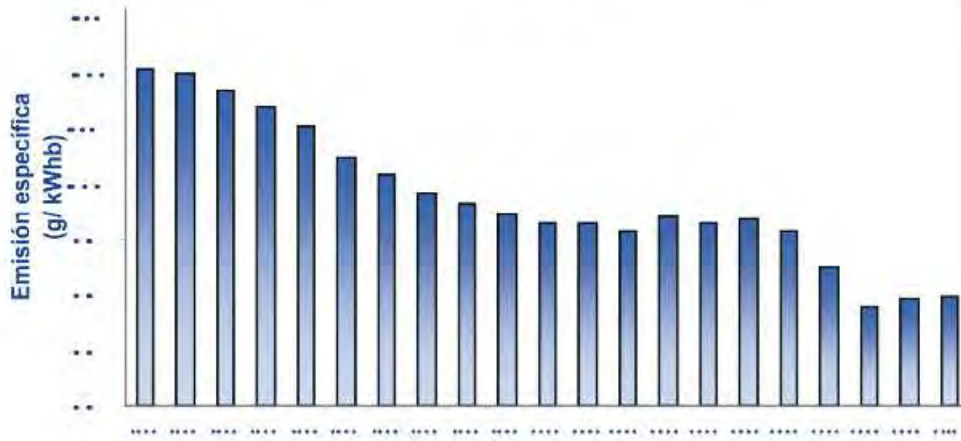
- Cambio de las bases de referencia a partir de 1 de enero de 1995, expresando los valores de emisión sobre seco normalizados a un 6% de oxígeno, en lugar de sobre bruto. Este cambio representaba para la central térmica de As Pontes una reducción del 23% en sus límites de emisión de dióxido de azufre y de partículas.
- Compromiso de reducción global de las emisiones de dióxido de azufre españolas de un 40% para el año 1998, tomando como referencia las emisiones ajustadas de 1980.

Endesa no se limitó a cumplir lo establecido en la nueva legislación, sino que amplió la reducción de las emisiones de dióxido de azufre hasta el 40%, to-



Situación actual utilizando carbón de importación, obsérvese la disminución de las emisiones en la chimenea

EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES ESPECÍFICAS DE CO₂ 1990-2010



MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDIDAS
EN EL PERÍMETRO DE AS PONTES

mando como referencia los límites legales (Acuerdo de colaboración entre la Xunta de Galicia y Endesa, de 27 de octubre de 1992, sobre la reducción de las emisiones anuales).

Todo ello originó un proceso de transformación de la central térmica, que fue ejecutado entre 1993 y 1996, con objeto de utilizar, con la máxima eficiencia, mezclas de lignito local con carbones subbituminosos de importación, caracterizados por sus bajos contenidos en azufre y cenizas.

Además, para garantizar el cumplimiento de las reducciones atmosféricas acordadas con la Xunta de Galicia, se estableció un límite de emisión en la concentración media anual de dióxido de azufre de 8.420 mg/m³N, sobre seco, normalizado a un 6 % de oxígeno.

De este modo, las reducciones reales alcanzadas en las emisiones específicas de dióxido de azufre durante el periodo 1997-2006, tomando como referencia el período 1989-1992 previo a la transformación, se situaron en un 48%.



Estación metereológica de A Mourela

Tabla de límites de emisión

VALORES	LÍMITES LEGALES (hasta el 31.12.2007)	
	SO ₂ (mg/m ³ N s/s) O ₂ = 6 %	Partículas(mg/m ³ N s/s)O ₂ = 6 %
Valores mensuales (base seca)	10800	350
Percentil 97 anual sobre periodos de 48 horas	11880	385

PLAN DIRECTOR 1993

Como consecuencia de la adaptación de la mina a los nuevos niveles de producción, se elaboró el Plan Director 1993. Su objeto consistía en adaptar la explotación a las nuevas previsiones de demanda, re-considerando los medios productivos y definiendo para ello la geometría de taludes finales, cubicaciones, producciones anuales de lignito y estéril, equipamiento, plantilla, inversiones y costes de explotación.

Se precisaba una mina claramente competitiva frente al carbón de importación a lo largo de toda

su vida y, en particular, a medio y largo plazo, pensando que los condicionantes futuros para la minería podían ser mayores. A continuación se enuncian las conclusiones más importantes de este plan:

- Se excluían de la geometría final de mina las zonas marginales, tanto en el campo oeste como en el este.
- La gran dificultad que presentaba el yacimiento conducía a una laboriosidad de los trabajos geotécnicos precisos, por lo que no se descartaba

Vista aérea general, 1993



la existencia de zonas optimizables que pudiesen ser detectadas en estudios posteriores.

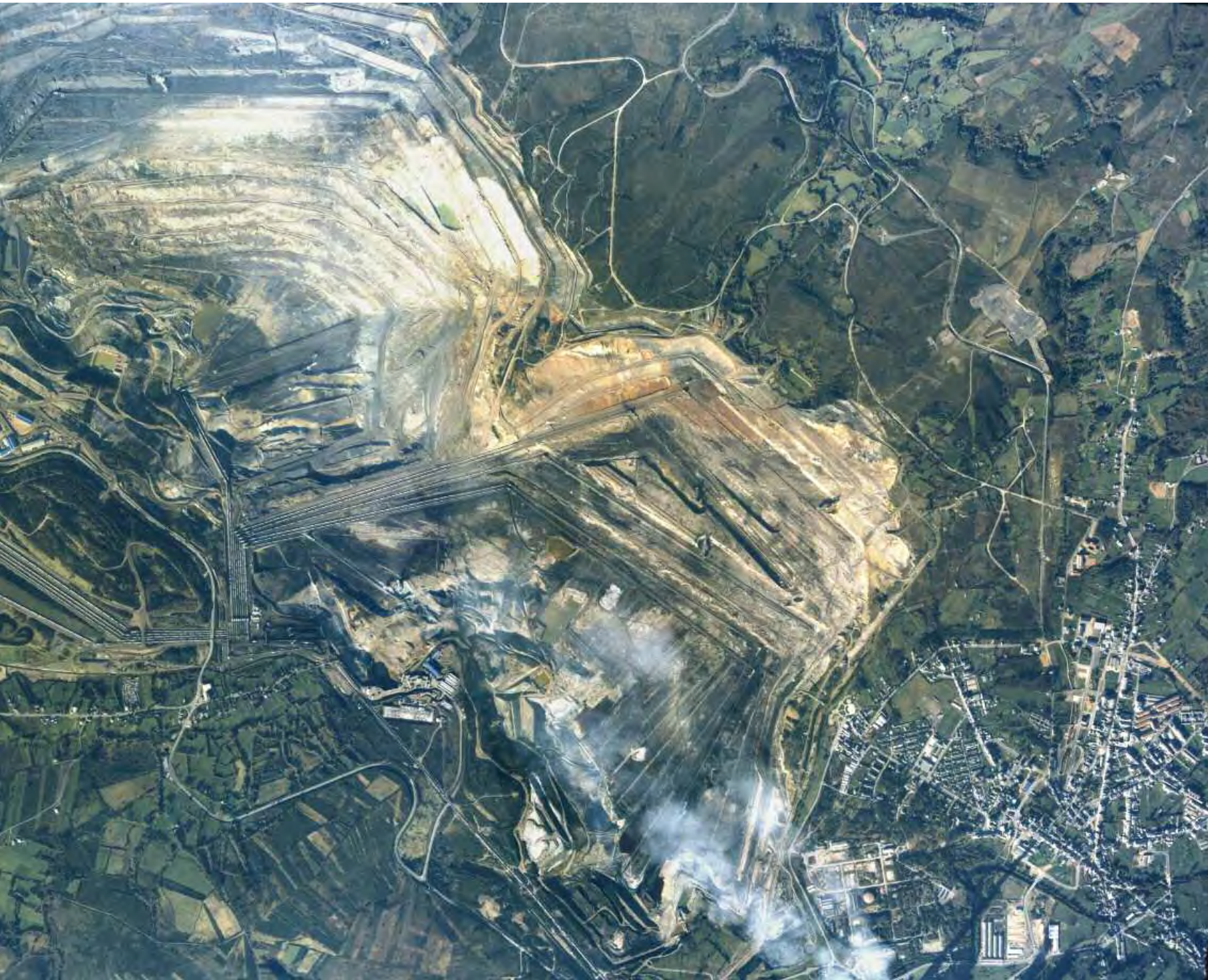
- Las reservas estimadas situaban el agotamiento en el año 2011.
- La combustión de un mix de lignito y carbón de importación llevaba irremediablemente a una reducción de la producción en la mina, lo que implicaba ajustes en maquinaria y plantilla.

El plan tenía por objeto principal obtener lignito en condiciones competitivas frente al carbón impor-

tado. De ahí que se requiriese analizar los cambios precisos en el equipamiento de la mina, poniendo especial énfasis en las necesidades de plantilla, uno de los más relevantes factores del coste. Endesa contemplaba todo ello bajo tres aspectos básicos: económico, social y ambiental.

Con el Plan Director 1993 se consiguieron por primera vez los avances que se indican:

- Una geometría de taludes finales, con las necesidades de drenaje requeridas en cada uno de



sus bordes que, básicamente, salvo algunas modificaciones, fue la de final de mina de 2007.

- Un proyecto de drenaje subterráneo para cumplir las necesidades anteriores.
- Un descenso de actividad debido a la entrada en escena del carbón de importación, que se tradujo en el mantenimiento en espera de una o dos excavadoras (se pasó de trabajar con siete a situaciones de 6+1, 5+1 y 4+2), después en la parada de dos excavadoras (E-14 en octubre de 1996 y E-11 en enero de 1998) y de dos apiladoras (A-27 en octubre de 1993 y A-26 en julio de 1996) y, finalmente, en el paso a la situación de espera en apiladoras (2+1).

El referido plan también establecía una serie de análisis pendientes de desarrollo que, aún siendo básicos para la mina, no habían podido realizarse bien

por falta de investigación, bien por resultar prematuros para su diseño definitivo. Así se estudiaron las rampas de salida de las excavadoras al final de la explotación; también las de acceso de las apiladoras al campo este, tanto desde la escombrera exterior como de bajada de estas a la interior. Igualmente se emprendió el proyecto de la escombrera interior y se estudió el sector 500 (contención de la carretera C-641 y del canal de guarda en la zona próxima al nudo de transferencia). Los estudios también tuvieron por objeto el mantenimiento de taludes finales, la inundación del hueco, la estabilidad durante el embalse y las protecciones frente al oleaje.

La importación de hullas procedentes de Indonesia y en menor medida de Estados Unidos requirió la construcción de un parque de almacenamiento de este carbón en las inmediaciones de Saá. Con una capacidad aproximada de 350.000 toneladas, fue do-

Vista del campo este, 1993



tado con todos los equipos necesarios para realizar la nueva mezcla de combustible demandada por la central térmica.

La extracción de este tipo de carbón se efectúa mediante dos rotoextractores, cubiertos por un túnel de hormigón, que descargan sobre una cinta transportadora. Esta, a su vez, vierte en una tolva situada por encima de la cinta de lignito.

En la confluencia de la cinta de transporte de combustible a la central y la de salida de carbón importado, se instaló un analizador continuo neutrónico (gammametrics), con su correspondiente aplicación informática incorporada, para cuantificar la calidad de la mezcla y determinar la cantidad de hulla necesaria para alcanzar el nivel de calidad exigido en la combustión. Se pretendía utilizar la menor cantidad posible de carbón importado, con el fin de maximizar la producción de lignito. La enorme variabilidad

en la calidad de lignito del yacimiento, con poderes caloríficos comprendidos entre 1.500 y 2.600 Kcal/Kg y contenidos de azufre desde 1,9% hasta 4,5%, hacían de la mezcla una operación de gran complejidad, ya que la central requería un combustible de 3.000 Kcal/Kg con una emisión inferior a los límites establecidos.

El carbón extranjero se transportaba en barcos de 65.000 toneladas hasta la terminal portuaria interior que Endesa construyó en Ferrol. Desde allí hasta Saá circulaba por carretera en bañeras de veintisiete toneladas de capacidad que descargaban en parva cubriendo el túnel de hormigón equipado con rotoextractores. Para aproximarlos hasta la zona de influencia de estos se empleaba maquinaria auxiliar convencional (pilas cargadoras y bulldozers).

Parque de carbón de importación de Saa, 2002



PERÍODO 1994-1998

En 1994 se redactó un anteproyecto de escombrera interior que preveía situarla en el sureste del campo este, a partir de la cota 240, con una capacidad de almacenamiento de sesenta millones de metros cúbicos. Requirió la construcción de un dique de contención de pizarra en el pie, de unos cuatro millones de metros cúbicos, apoyado sobre un "tetón" de pizarra existente en esa zona.

Mientras se construía esta escombrera, continuó el trabajo de excavación en el resto del campo hasta alcanzar el fondo de corta programado en la cota 170, punto a partir del cual se habilitó otra escombrera en dicho fondo.

Durante el verano del referido año, en la zona de Enfersa correspondiente al talud este del campo este, se terminó la construcción del dique de contención del tercer banco. Este tuvo que ejecutarse debido a la inestabilidad detectada en las proximidades de la carretera de acceso a La Casilla desde Vilavella, con la aparición de grietas en la zona próxima a la coronación del talud. De unos 100.000 me-



Dique de contención del tercer banco en zona de Enfersa

Diques de contención para paliar la inestabilidad detectada en las proximidades de la carretera Vilabella-La Casilla



tros cúbicos, se realizó por bataches a la vez que la excavadora E-14 culminaba la última pasada. Ya en los dos primeros bancos, se había precisado ejecutar sendos diques de contención de menor entidad.

Realizada la investigación correspondiente, se concluyó que para alcanzar la geometría final en el talud (hasta el sexto banco) sería necesaria una sobreexcavación en coronación del mismo, lo que afectaría al trazado de la carretera La Casilla-Vilavella en la zona próxima a la portería de la antigua Enfersa. Este cambio, que situó el vial entre el edificio del comité de empresa y la nave de reparaciones de las bombas de hidrogeología, se materializó en 1996. Permitted alcanzar la geometría final prevista, además de extraer el carbón de bajo contenido de azufre que se encontraba en el área de excavación y coronación.

En esos años, con el fin de verificar posibles afecciones en el barrio de La Casilla, Endesa encargó estudios científicos a las escuelas técnicas superiores de Ingeniería de Minas de Oviedo y de Ingeniería de Caminos de Santander, para presentar en procesos judiciales abiertos por iniciativa vecinal.

Taludes en el área de La Casilla



Diques de contención de los tres primeros bancos en la zona de Enfersa. Al fondo, taludes sin protección en el área de La Casilla

PLAN DIRECTOR 1998

En el año 1998, a consecuencia del agotamiento del campo este y del comienzo del laboreo en la escombrera interior, Endesa redactó un nuevo plan director que contemplaba todas las necesidades hasta el término de la explotación. Entre sus objetivos destacaban cuatro: definir los medios de producción necesarios, propios y contratados, adecuados a las previsiones de demanda; detectar los principales problemas relacionados con el avance de la explotación mediante planos de situación anuales; estimar las obras auxiliares y de infraestructura necesarias y prever los costes de referencia así como la consecuente cuenta de resultados.

En el Plan Director 1998 se establecieron los criterios de laboreo para intensificar la actividad en el campo este. De ese modo se pudo acelerar la escombrera interior, sin perder de vista la importancia de optimizar la mezcla de carbones de diferentes zonas de la explotación para obtener el lignito de calidad más homogénea durante el mayor número de años. Además, debía ajustarse la producción de estéril para rebajar los costes sin poner en riesgo la producción a largo plazo.

Anticipándose a la finalización del campo este, se iniciaron los trabajos necesarios para acometer la explotación del sector 500. La extracción del carbón de esta zona se consideró fundamental para conseguir una alta participación en el mix de central; debido a su bajo índice de azufre, la mezcla de lignitos procedentes del sector 500 con los extraídos en el campo oeste presentaba una calidad óptima. Dado que tanto la carretera Ferrol-Lugo como el canal sur de mina discurrían sobre un entrante de terciario en la parte sudoccidental del sector 500, se desviaron ambas infraestructuras antes del comienzo del laboreo en dicha zona.

La puesta en servicio de la escombrera interior y el comienzo de la explotación del sector 500 aconsejaron la reubicación del nudo de transferencia. Con este movimiento se minimizó el coste del transporte de estéril, porque disminuyó tanto la distancia a recorrer con este material como la diferencia de cotas entre el punto de extracción y el de vertido.

Con relación a la escombrera interior, en este plan se consideró que la apiladora A-29 desarrollaría la



Fondo oeste, 1998



Desvío carretera Ferrol y canal

Fondo oeste, 1999





Apiladoras escombrando en los límites del Forgoselo

zona situada más al sur del campo este a partir de 1999, mientras que la apiladora A-25 ejecutaría el espaldón de protección del talud del pueblo desde el año 2001. La escombrera interior perseguía varios objetivos:

- Reforzar la estabilidad del talud este del campo este (el talud más próximo al caso urbano) tanto durante la etapa de construcción como en la situación final, en la que el hueco minero se convertiría en un lago.
- Aumentar la eficacia y la eficiencia de las instalaciones, con la consiguiente reducción de costes por la disminución de las distancias de transporte de los estériles.
- Reducir el volumen del hueco final, con el fin de precisar una menor cantidad de agua para el llenado.
- Recuperar la mayor extensión posible de terrenos cerca del núcleo urbano.
- Evitar que la escombrera exterior invadiese el monte Forgoselo debido a que su geometría se encontraba prácticamente agotada.

Escombrera exterior y mina desde el monte Forgoselo, 1990



ESCOMBRERA INTERIOR

Los condicionantes geotécnicos del yacimiento impidieron el vertido de estériles en el interior de la mina hasta que el campo este estuvo casi finalizado. La construcción de la escombrera interior era necesaria para garantizar de forma definitiva la seguridad del talud este del campo este; de otro modo, el drenaje subterráneo de la zona sobre la que se asienta el núcleo urbano debería continuar permanentemente, incluso tras el cierre de la explotación.

La geometría final de la escombrera interior se definió en función del volumen a apilar disponible y de las prescripciones geotécnicas existentes, debiéndose mantener una anchura mínima del macizo de protección en el talud este. Asimismo, el ritmo de apilado se determinó a partir de los controles geotécnicos e hidrogeológicos que se practicaron durante el primer año de operación de la escombrera.

Aprovechando que en julio de 1999 la excavadora E-17 finalizó la excavación del 6º banco del campo este en su mitad sur, que dejaba despejada una plataforma en estéril de unas veinte hectáreas a la cota +230, se construyó un dique de contención que hiciese compatible el apilado de estériles en la zona sur del referido campo mientras proseguía la extracción de lignito en el resto.

El dique de contención se apoyó en la pizarra del basamento, realizándose en la obra de verano de 1999 las labores de preparación correspondientes con maquinaria auxiliar. Se vertieron con camiones unos 600.000 metros cúbicos de pizarras de excelente calidad que procedían del talud norte del campo oeste, donde habían sido arrancadas mediante voladura y colocadas en tongadas de dos metros de espesor.

Para el apilado en esta zona de la escombrera interior se utilizó la A-29, que en verano de 1999 fue trasladada desde la zona este de la escombrera exterior. El desplazamiento de la máquina se llevó a cabo entre los días 4 y 17 de septiembre, plazo en el que cubrió un trayecto de 10.270 metros. Para el recorrido se había habilitado una rampa de treinta metros de anchura con una pendiente máxima del 3,5%, ejecutada a lo largo de varios años, aprovechando el laboreo. De esta forma, la propia A-29 des-



Excavación de apoyo de dique

Inicio del relleno



arrolló un tramo en la escombrera exterior, mientras que las excavadoras realizaron los correspondientes en la mina. En aquellos lugares fuera del alcance de las grandes máquinas, los tramos se construyeron en las diferentes obras de verano.

Durante el traslado de la apiladora desde la escombrera exterior a la interior se salvaron diversos obstáculos, como la carretera C-641 (As Pontes-Ferrol), los canales de guarda, la cinta de transporte de carbón a la central y diferentes líneas eléctricas.

Antes del desplazamiento de la A-29, entre los meses de mayo y agosto, se llevaron a cabo las obras de movimiento de tierras, cimentaciones, construcción de la primera fase del nuevo nudo de transferencia y el montaje de la calle de cintas que dio servicio a dicha apiladora.

Cabe reseñar que el apilado de la A-29 en la escombrera exterior desde el nudo en su posición original suponía una distancia de transporte de 6.500 metros y una elevación del material de 234. Estas mismas magnitudes en la escombrera interior, con el nuevo nudo, se redujeron a 3.600 y a 24 metros, respectivamente.



Traslado de apiladoras desde la escombrera exterior al campo este de la mina





Traslado de apiladoras desde la escombrera exterior al campo este de la mina



Traslado de apiladora 25



Apiladora 29 iniciando el escombrado



Escombrera interior intermedia, dique contención de pizarra ejecutado con medios auxiliares

Los materiales de vertido eran de similares características a los de la escombrera exterior y su comportamiento geotécnico, idéntico. Pero se presentaron dos condicionantes que diferenciaron mucho a la escombrera interior. Por un lado, esta se desarrolló sobre los materiales terciarios no productivos del campo este y no sobre paleozoicos, como en el caso de la escombrera exterior, y, por otro lado, parte del apilado se ejecutó a la vez que se excavaba el resto del campo este. En base a estas dos particularidades se establecieron unas prescripciones geotécnicas específicas para poder llevar a cabo el escombrado.

La interior se dividió en dos zonas de apilado: la desarrollada por la máquina A-29, que se encontraba independizada del área de excavación gracias a un dique de pizarra, y la construida por las apiladoras A-25 y A-28, que se apoyó en el fondo de la excavación



Vista general del campo este, simultaneando excavación y apilado

una vez finalizada la extracción de lignito en el campo este y servía de apoyo al talud más próximo a As Pontes.

El proyecto de la escombrera de la A-29 contemplaba el vertido de unos veinticinco millones de metros cúbicos de estériles, de los cuales 2,5 millones correspondían al dique de pizarra que actuaba de contención de esta escombrera. Para este proyecto se caracterizó, tanto desde el punto de vista morfológico como del geotécnico e hidrogeológico, el área de emplazamiento de la escombrera; además se definió la forma de ejecución y el laboreo necesarios, así como el plan de instrumentación geotécnica e hidrogeológica precisos para garantizar de forma segura su ejecución.

Como la plataforma de apoyo de la escombrera interior estaba constituida por materiales terciarios, el principal condicionante en el diseño fue el nivel pie-



Escombrera interior intermedia. A-29 vertiendo detrás del dique de pizarra

zométrico en dichos materiales. Durante los trabajos de la A-29 se vigilaron permanentemente tanto las deformaciones como la evolución de los sistemas hidrogeológicos. El control de las primeras se llevó a cabo midiendo desplazamientos verticales y horizontales en superficie mediante hitos topográficos, e igualmente en profundidad, con la colocación de tubería inclinométrica en sondeos verticales. Las medidas hidrogeológicas se referían fundamentalmente al seguimiento de la evolución del nivel piezométrico.

Los desplazamientos horizontales se verificaban por toma de distancias con geo-robots con periodicidad diaria o por control de coordenadas con G.P.S.

Los inclinómetros se medían una vez al mes y los piezómetros, con periodicidad semanal.

La instrumentación que existía al comienzo del apilado en el área que iba a ocupar la escombrera era de trece pozos de bombeo para drenaje, 94 hitos topográficos, nueve inclinómetros y 91 piezómetros de cuerda vibrante y abiertos. Todos habían sido instalados durante la excavación del talud este.

La zona de la escombrera interior desarrollada por las apiladoras A-25 y A-28 ocupaba todo el fondo del campo este. Se apoyaba a la cota +230 y estaba construida con un talud 8(H):1(V) que ascendía hasta alcanzar la cota del embalse +332 en la zona del núcleo urbano de As Pontes.

Hito topográfico



Instrumentación de inclinómetro y aparatos de medida





Caseta de geo-robot



Apiladoras A-25 y A-29 desarrollando la escombrera interior



NUEVO NUDO DE TRANSFERENCIA

Después del año 2000, la excavación del yacimiento se trasladó al campo oeste y al sector 500, mientras que el escombrado se realizó en el interior del campo este, una vez clausurada la escombrera exterior. De ahí que cobrase una especial relevancia la reubicación del nudo de transferencia, puesto que en su localización original habría impedido el laboreo en el sector 500.

El nuevo nudo se situó frente al umbral, en el talud sur, sobre una zona intermedia entre la excavación del sector 500 y la escombrera interior. Su diseño estableció la elevación de todas las calles mediante estructuras metálicas, con un gálibo de paso de cuatro metros y una distancia entre cintas que aumentó de diez a catorce metros. De esta forma se resolvieron los problemas de limpieza y mantenimiento que planteaba el primer nudo de transferencia.

Toda el área ocupada se pavimentó con losas de hormigón armado de veinte centímetros de espesor en las zonas de rodadura y de diez en el resto. El nuevo nudo contaba con cinco calles de entrada de material procedente de las excavadoras y cuatro calles de evacuación, tres con destino la escombrera interior y una para envío del lignito al parque de regulación. Además, una de las líneas de escombrera era reversible, con el fin de poder enviar directamente lignito a la central térmica en caso de emergencia.

En el verano de 1999 comenzó la primera fase de su construcción, coincidiendo su puesta en servicio con la llegada de la apiladora A-29 a la escombrera interior, en el mes de septiembre. En esta etapa se ejecutaron dos calles de entrada de material, que daban servicio a las excavadoras E-12 y E-17, situadas en el campo este. Igualmente se habilitaron tres calles de salida: una llevaba el estéril a la A-29 y las dos restantes transportaban, a través del nudo original, el lignito al parque de regulación y el estéril a la escombrera exterior.

Ejecución del nuevo nudo de transferencia





Vistas del nuevo nudo de transferencia

PERÍODO 2000-2007

En el año 2000 quedó patente la necesidad de planificar a medio plazo (2001-2004) con el fin de, entre otros objetivos, optimizar el aprovechamiento de las reservas del campo este, definiendo las zonas marginales en función del ratio y del índice de azufre, diseñar las rasantes finales de los bancos, tanto en el campo oeste como en el sector 500, y desarrollar el anteproyecto del laboreo de éste. También se precisaba establecer el criterio de laboreo de la escom-

brera interior y redactar el proyecto de la segunda fase del nuevo nudo.

Durante el estudio de campo este, Endesa observó la necesidad de ejecutar unas nuevas rampas de acceso y salida de excavadoras en el talud del umbral, así como otra de cintas para las excavadoras, pues la existente coincidía con la de las apiladoras.

El desarrollo de la planificación 2001-2004 evidenció que, si se pretendía alcanzar la producción

Foto aérea general, 2003



prevista, el sector 500 debía ser explotado desde finales de 2001. Para ello previamente se precisaba desarrollar el plan de excavación de esa zona teniendo en cuenta los siguientes condicionantes:

- Desvío de la carretera C-641 (Ferrol-Lugo) y del canal de guarda, que se encontraban sobre terciario en un tramo de 500 metros en las proximidades del nudo de transferencia.

- El nuevo nudo tenía que ser puesto en pleno funcionamiento para retirar a continuación cintas del antiguo, que interferían en el laboreo.
- En el sector 500, los bancos se debían desarrollar de sur a norte, por el buzamiento de la estratificación en el terciario de las distintas capas.
- Se limitaba la altura de banco a diecisiete metros en la zona más occidental por problemas geotécnicos.



Con relación al campo oeste, se decidió que las rampa de acceso al 8º y 9º bancos se ejecutasen por el talud de la falla del Meidelo, lo que obligaba a trasladar hacia el umbral las cintas que entonces conducían a los bancos superiores, quedando pendiente de estudio la bajada a los bancos 10º, 11º y 12º.

A finales de 2001, Endesa Generación dio cumplimiento a los requisitos del Real Decreto 430/2004, de 12 de marzo, que transponía la Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre Limitación de Emisiones en Grandes Instalaciones de Combustión, por la que se obligaba a las centrales existentes a respetar, a partir del 1 de enero de 2008, nuevos límites de emisión más restrictivos.

Estos límites hacían inviable el consumo de lignito de la mina de As Pontes, ante lo cual la empresa

decidió transformar los cuatro grupos de la central térmica para consumir únicamente carbón subbituminoso de importación; con ello prolongaba la vida útil de la instalación más allá del cierre de la explotación de lignito local.

La entrada en vigor de la denominada "Directiva GIC" implicaba unos cambios tan importantes con relación a lo previsto que aconsejaron la redacción de una planificación 2002-2007, en la que se reflejaba un plan general de explotación desde 2002 hasta el final de la vida de la mina, prevista para diciembre de 2007.

En esta planificación 2002-2007 se estableció en detalle la geometría final de las áreas de excavación, para adaptarla a la demanda de carbón prevista, extrayendo los lignitos de mejor calidad y al ratio más favorable. De esta manera se realizó un estudio análogo al llevado a cabo en el año 2000

Vista de escombrera interior, 2005



por el que se optimizaba el aprovechamiento de reservas del campo oeste y del sector 500, definiendo las zonas marginales en función del ratio y del índice de azufre.

La adaptación de la geometría final del campo oeste a la nueva situación fue posible gracias al estudio detallado de la estabilidad de los taludes de la corta. Como parte de este, se determinó el estado

real del drenaje de los diferentes sistemas hidrogeológicos, lo que permitió observar diferencias positivas frente a los supuestos bajo los que se habían diseñado los taludes finales anteriores. El drenaje de los acuíferos del terciario explotable situó la línea piezométrica de este sistema a la misma profundidad que el fondo de corta, muy por debajo del supuesto de diseño, lo que posibilitó verticalizar los

VALORES	LÍMITES LEGALES (desde el 01.01.2008)		
	SO ₂ (mg/m ³ N s/s) O ₂ = 6 %	Partículas (mg/m ³ N s/s) O ₂ = 6 %	NOx (mg/m ³ N s/s) O ₂ = 6 %
Valores mensuales (base seca)	1.200	100	650
Percentil 97 anual sobre periodos de 48 horas	1.320	110	-
Percentil 95 anual sobre periodos de 48 horas	-	-	715

Vista del campo oeste de mina, 2007



taludes finales. De esta forma se optimizó la excavación en la zona norte del campo oeste, dejándose de extraer 21,7 millones de metros cúbicos de todo-uno; este volumen supuso el abandono de las pizarras duras del 3º al 6º bancos y del terciario de la esquina nordeste.

El talud final de banco también se verticalizó al 1 (H):1 (V), al tener en cuenta los pocos años que restaban hasta el final de la vida de la mina. La planificación 2002-2007 definió asimismo otras rampas de bajada a los bancos 9º y 10º por la falla del Meidelo, obligadas por el retranqueo de los nuevos taludes finales en esa zona; no obstante, quedaron pendientes de estudio las bajadas a los bancos 11º y 12º.

Así pues, todos los diseños de la mina efectuados hasta entonces habían estado encaminados a conseguir una geometría con “el máximo aprovecha-

miento de reservas con un ratio medio económico”. Sin embargo, con la Directiva GIC, el diseño de la explotación se encaminó a “extraer solo las reservas consideradas más interesantes económicamente, para satisfacer la demanda de la central térmica en el periodo 2002-2007”. El situar el final de la explotación en diciembre de 2007 posibilitó implantar los métodos precisos para la gestión de los diferentes tipos de lignito, para maximizar su participación y diseñar un plan de producción de estéril que disminuyese gradualmente el ratio de la explotación.

La extracción de lignito se adaptó a los requisitos medioambientales de la central térmica, de manera que se aprovechó la excavación de carbones con bajo índice de azufre en verano para seguir alimentando la instalación a pesar de los condicionantes climatológicos desfavorables. La excavación en el

Vista general de la central térmica con la mina al fondo, 2007





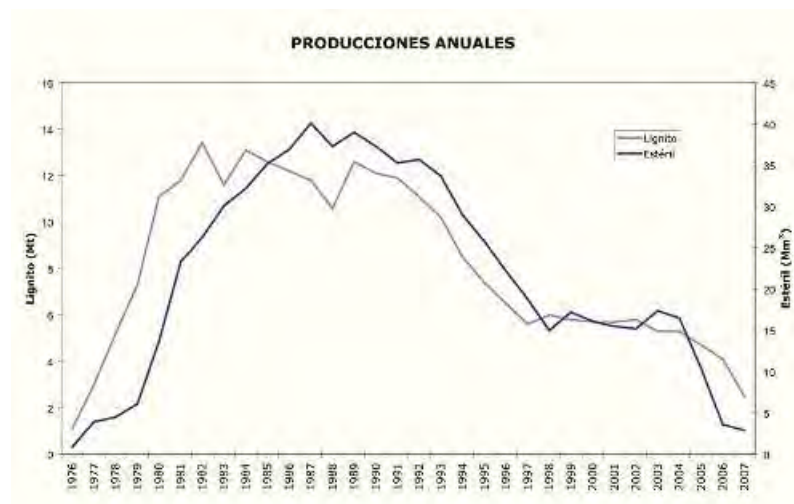
Obra en el área “A-1”, verano 2006

momento adecuado de cada una de las clases de lignito permitió compatibilizar altas cuotas de participación con las fuertes restricciones medioambientales, posibilitando la extracción de carbones de alto contenido en azufre. En este sentido, resultaron fundamentales tanto la explotación del sector 500 como las diferentes obras de verano. El área de excavación de reservas de contorno más importante fue la zona conocida como “A-1”, situada en las proximidades del taller de Areosa, gracias a la cual se alimentó la central térmica en los meses estivales entre los años 2003 y 2006.

La disminución progresiva de la actividad no hubiese permitido la extracción de grandes volúmenes de estéril durante la última etapa de la mina. De ahí que Endesa definiese un plan de excavación del estéril que aumentaba el volumen a extraer en 2003 y 2004 con el objeto de enriquecer el yacimiento en

los últimos ejercicios, adaptando de esta manera el estéril a las posibilidades reales de producción.

Durante el desarrollo de la planificación 2002-2007 se observó que para obtener el resultado previsto se precisaba comenzar en el sector 500 a finales





Obra de verano 2006, en zona "A-1"



de enero de 2002. Los condicionantes geotécnicos que se debían cumplir antes y durante la excavación de esta zona se siguieron y así el desvío de la carretera C-641 (Ferrol-Lugo) se abrió al tráfico el 18 de agosto de 2001. El nuevo tramo del canal de guarda

entró en servicio dos meses después, el 19 de octubre, y la reubicación del nudo de transferencia se terminó a finales de enero de 2002. Para esto último se hizo coincidir el traslado de la excavadora E-13 del campo este al sector 500 con el cambio de los únicos circuitos de cintas que entonces iban todavía al nudo original (circuitos de E-15 y de E-16).

Con el giro de la apiladora A-22 para que pudiese recibir alimentación directamente desde el nuevo nudo, Endesa terminó la adecuación a la fase última de la mina, ya que se diseñaron los bancos finales del campo este de tal forma que hacía innecesaria la construcción de otras rampas a través de la falla del Meidelo.

RATIO DE LA EXPLOTACIÓN



Escombrera interior. Año 2007



Durante los últimos años, la explotación se centró en alcanzar los objetivos de producción establecidos, teniendo en cuenta la necesaria reducción de la actividad tanto de medios propios como contratados. En este sentido, se realizó un gran esfuerzo para evitar que la prejubilación de personal de Endesa se tradujese en un aumento de los efectivos de contrata externas, que se encontrarían sin empleo al concluir la vida de la mina.

El laboreo de las máquinas también se encaminó a preparar el hueco para su inundación. De ese modo disminuyeron los costes en los que la compañía habría incurrido si se demorasen hasta terminar la extracción de lignito todas las obras relacionadas con la rehabilitación del espacio afectado.

La primera máquina en quedar fuera de servicio por remate de la actividad fue la A-28, en septiembre de 2005, mientras que la E-13 terminó el laboreo del

Campo oeste. Año 2007



sector 500 en octubre de 2006. La E-15 realizó su última pasada en julio de 2007 y las E-16 y E-17 finalizaron, respectivamente, en octubre y noviembre del mismo año. Así concluyeron 31 años de actividad extractiva ininterrumpida con la E-12 laboreando en el fondo de la mina y las apiladoras A-25 y A-29 conformando los taludes finales de la escombrera interior, cuyo volumen alcanzó unos 95 millones de metros cúbicos.

Tanto los taludes finales de la escombrera interior como los de la mina habían sido objeto de un exhaustivo estudio geotécnico para determinar las repercusiones que sobre ellos tendría el lago. La investigación, que comprendía las situaciones intermedias y la final, con el lago lleno y detenido el drenaje subterráneo, concluyó que las condiciones de estabilidad de los taludes serían iguales o mejores que las iniciales.

Campo este. Año 2007







Vista general de la mina en 2006

PRODUCCIONES

AÑO	CARBÓN (Tm.)		ESTÉRIL (m3 f.)						
	MEDIOS PROPIOS	MEDIOS CON-TRATADOS	TOTAL	TERCIARIO			PIZARRA		
				MEDIOS PROP.	MEDIOS CONT.	CINTA	TOTAL	MEDIOS PROP.	MEDIOS CONT.
1976	756.319	378.505	1.134.824	924.499			924.499		
1977	2.325.344	632.976	2.958.320	3.906.800			3.906.800		
1978	4.123.054	1.100.335	5.223.389	4.395.358	95.797		4.491.155		
1979	5.628.613	1.685.320	7.313.933	6.145.124			6.145.124		
1980	8.281.763	2.811.922	11.093.685	12.110.503	1.605.122		13.715.625		
1981	10.227.873	1.525.809	11.753.682	18.402.869	4.879.981		23.282.850		
1982	11.872.103	1.514.132	13.386.235	17.158.924	7.874.410	1.272.365	26.305.699		
1983	9.578.683	2.056.119	11.634.802	17.789.526	9.285.099	3.053.632	30.128.257		
1984	11.525.094	1.595.471	13.120.565	21.114.301	7.112.108	3.930.803	32.157.212		
1985	11.393.586	1.215.157	12.608.743	23.647.326	4.473.783	6.100.479	34.221.588		982.582
1986	12.078.892	99.633	12.178.525	21.280.661	5.267.006	5.607.083	32.154.750		4.751.047
1987	11.034.318	718.499	11.752.817	25.499.292	4.713.493	5.558.049	35.770.834		4.307.615
1988	10.226.772	353.845	10.580.617	23.390.239	4.298.138	624.067	28.312.444		3.784.374
1989	12.510.935	84.562	12.595.497	24.623.384	4.026.671		28.650.055	1.187.671	3.303.838
1990	11.614.310	500.690	12.115.000	23.245.198	939.379		24.184.577	3.139.802	1.556.405
1991	11.752.254	165.684	11.917.938	21.465.262	1.478.852		22.944.114	1.183.554	541.976
1992	10.437.672	627.818	11.065.490	26.016.766	594.148		26.610.914	3.302.509	365.920
1993	9.850.940	295.563	10.146.503	25.238.717	493.834		25.732.551	4.892.138	452.593
1994	8.231.718	254.459	8.486.177	22.192.709	338.322		22.531.031	6.084.875	418.320
1995	7.332.335	88.256	7.420.591	20.715.832	186.643		20.902.475	4.505.905	347.518
1996	6.333.443	130.730	6.464.173	17.082.268	770.604		17.852.872	4.157.955	139.355
1997	5.254.141	370.365	5.624.506	14.416.364	1.096.121		15.512.485	2.989.998	256.360
1998	5.720.762	236.839	5.957.601	13.238.156	830.144		14.068.300	911.935	54.349
1999	5.011.380	824.531	5.835.911	12.784.083	1.762.719		14.546.802	1.240.244	1.420.110
2000	4.732.881	934.445	5.667.326	12.190.081	1.902.682		14.092.763	1.930.825	90.370
2001	4.727.903	1.012.940	5.740.843	13.685.324	1.063.954		14.749.278	538.354	165.293
2002	5.120.688	682.369	5.803.057	13.790.221	895.292		14.685.513	493.251	0
2003	4.792.188	474.338	5.266.526	14.679.201	953.133		15.632.334	1.536.549	182.155
2004	4.853.495	482.943	5.336.438	14.452.724	977.362		15.430.086	984.271	119.085
2005	4.279.350	454.471	4.733.821	8.392.228	715.370		9.107.598	1.183.163	115.102 *
2006	3.173.938	900.422	4.074.360	2.635.913	916.796		3.552.709		84.904
2007	1.768.379	760.000	2.528.379	1.709.589	1.151.000		2.860.589		
ACUM.	236.551.126	24.969.148	261.520.274	498.319.442	70.697.963	26.146.478	595.163.883	40.262.998	23.439.271

			TODO UNO	TODO UNO (M ²)	ESTÉRIL			
		TOTAL						
CINTA	TOTAL	TERC./PIZAR	(m ² F.)	PROPIO	CONTRATADO	PROPIO	CONTRATADO	
		924.499	1.771.383	1.488.916	282.466	924.499	0	924.499
		3.906.800	6.114.501	5.642.131	472.370	3.906.800	0	3.906.800
		4.491.155	8.389.206	7.472.264	916.943	4.395.358	95.797	4.491.155
		6.145.124	11.603.283	10.345.581	1.257.701	6.145.124	0	6.145.124
		13.715.625	21.994.494	18.290.923	3.703.571	12.110.503	1.605.122	13.715.625
		23.282.850	32.054.254	26.035.610	6.018.644	18.402.869	4.879.981	23.282.850
		26.305.699	36.295.427	26.018.702	10.276.724	17.158.924	9.146.775	26.305.699
		30.128.257	38.810.945	24.937.797	13.873.148	17.789.526	12.338.731	30.128.257
		32.157.212	41.948.678	29.715.117	12.233.561	21.114.301	11.042.911	32.157.212
	982.582	35.204.170	44.613.680	32.150.002	12.463.678	23.647.326	11.556.844	35.204.170
	4.751.047	36.905.797	45.994.248	30.294.760	15.699.489	21.280.661	15.625.136	36.905.797
	4.307.615	40.078.449	48.849.208	33.733.858	15.115.350	25.499.292	14.579.157	40.078.449
5.223.700	9.008.074	37.320.518	45.216.501	31.022.158	14.194.342	23.390.239	13.930.279	37.320.518
5.828.453	10.319.962	38.970.017	48.369.642	35.147.574	13.222.068	25.811.055	13.158.962	38.970.017
8.445.000	13.141.207	37.325.784	46.366.829	35.052.396	11.314.433	26.385.000	10.940.784	37.325.784
10.620.147	12.345.677	35.289.791	44.183.775	31.419.155	12.764.620	22.648.816	12.640.975	35.289.791
5.457.000	9.125.429	35.736.343	43.994.171	37.108.582	6.885.589	29.319.275	6.417.068	35.736.343
2.626.690	7.971.421	33.703.972	41.275.989	37.482.303	3.793.686	30.130.855	3.573.117	33.703.972
	6.503.195	29.034.226	35.367.194	34.420.657	946.537	28.277.584	756.642	29.034.226
	4.853.423	25.755.898	31.293.652	30.693.629	600.024	25.221.737	534.161	25.755.898
	4.297.310	22.150.182	26.974.192	25.966.673	1.007.519	21.240.223	909.959	22.150.182
	3.246.358	18.758.843	22.956.236	21.327.363	1.628.873	17.406.362	1.352.481	18.758.843
	966.284	15.034.584	19.480.555	18.419.316	1.061.239	14.150.091	884.493	15.034.584
	2.660.354	17.207.156	21.562.313	17.764.163	3.798.151	14.024.327	3.182.829	17.207.156
	2.021.195	16.113.958	20.343.306	17.652.907	2.690.399	14.120.906	1.993.052	16.113.958
	703.647	15.452.925	19.737.136	17.751.964	1.985.172	14.223.678	1.229.247	15.452.925
	493.251	15.178.764	19.509.404	18.104.881	1.404.523	14.283.472	895.292	15.178.764
	1.718.704	17.351.038	21.281.281	19.792.010	1.489.272	16.215.750	1.135.288	17.351.038
	1.103.356	16.533.442	20.515.858	19.059.006	1.456.852	15.436.995	1.096.447	16.533.442
	1.298.265	10.405.863	13.938.565	12.768.936	1.169.629	9.575.391	830.472	10.405.863
	84.904	3.637.613	6.678.180	5.004.523	1.673.657	2.635.913	1.001.700	3.637.613
		2.860.589	4.747.439	3.029.275	1.718.164	1.709.589	1.151.000	2.860.589
						0	0	0
38.200.990	101.903.260	697.067.143	892.231.527	715.113.132	177.118.395	539.582.411	158.484.702	697.067.143



Vista general mina y escombrera, 2006



LA PARADA DE MÁQUINAS

De manera paulatina, entre los años 1993 y 2007 se pararon las máquinas empleadas en las labores mineras a medida que decaía la actividad en el yacimiento y en la escombrera.

La secuencia de las paradas fue la siguiente:

A-27	parada en septiembre de 1993	volada y retirada en 2004
R-21	parada en septiembre de 1994	desmontada en 2001
E-14	parada en agosto de 1996	volada y retirada en 2004
A-26	parada en mayo de 1996	volada y retirada en 2004
E-11	parada en enero de 1998	volada y retirada en 2003
A-28	parada en septiembre de 2005	aparcada en 2007
E-13	parada en octubre de 2006	aparcada en 2007
E-15	parada en julio de 2007	aparcada en 2007
E-16	parada en octubre de 2007	vendida en 2007
E-17	parada en noviembre de 2007	vendida en 2007
A-29	parada en diciembre de 2007	aparcada en 2007
E-12	parada en diciembre de 2007	aparcada en 2007
A-25	parada en diciembre de 2007	aparcada en 2007



Secuencias de la voladura previa al achatarramiento de la excavadora E-14 y la apiladora A-27. Esta operación ahorra los costes de desmontaje

EL MANTENIMIENTO



EL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades encaminadas a la conservación de equipos de producción, para asegurar que éstos se encuentren constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sean seguros de operar.

Los trabajos de mantenimiento también están concebidos para la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que éste tiene la responsabilidad de conservar en buenas condiciones la maquinaria y herramientas, para mejorar la seguridad y, por tanto, evitar riesgos en el área laboral.

En el caso de la mina, el mantenimiento tuvo como prioridad la consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad de las unidades de explotación.
 - Disminución de los costos de mantenimiento.
 - Optimización de los recursos humanos.
 - Maximización de la vida de los equipos.
- Para ello se llevaron a cabo tres tipos de mantenimiento:

MANTENIMIENTO RETÉN, CORRECTIVO

Es aquél que se ocupa de la reparación, una vez se ha producido el fallo o el paro súbito de la máquina o instalación.

El retén fue concebido como equipo de trabajo distribuido inicialmente en dos grupos, eléctrico y mecánico, con la misma jornada que la de la explotación, para asistir en cualquier avería que surgiese en las máquinas. Trabajaba casi en paralelo con el personal de producción e incluía inicialmente un operario eléctrico y otro mecánico por relevo en cada artefacto (el "oficial sobre máquina" hasta 1995).

La inexperiencia inicial en este tipo de equipos, desconocidos hasta entonces en España, se superó con los conocimientos adquiridos por algunos de los operarios que habían participado en el montaje y, sobre todo, con grandes dosis de tesón e ingenio.

Las labores propias de retén abarcaban multitud de intervenciones, desde las más simples y reiterati-

Diversos siniestros típicos que suponen actuaciones del retén



vas, pasando por algunas cuyas condiciones hacían el trabajo muy duro, hasta las actuaciones de larga duración y alta complejidad.

Reseña especial en este capítulo merece el incendio sufrido por la E-17, en agosto de 2002. Su reparación consumió nueve semanas, período después del cual la máquina recuperó su estado de forma satisfactoria.

Cabe destacar también que la ingeniería propia se desarrolló hasta poder prescindir de la asesoría inicial de los fabricantes y se optimizaron equipos y métodos de trabajo.

Incendio en la excavadora E-17



Cambio de cabrestante de izado

Rotura de eslabón de oruga



Cambio de reductora de rodete



MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PROGRAMADO

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados.

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizarán las acciones necesarias, engrases, cambio de accionamientos, desmontaje, limpieza, etc.

En la mina de Puentes este mantenimiento se realizaba con la ejecución de las gamas semanales, y las revisiones anuales.

LA GAMA SEMANAL

La gama englobaba los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo programado que se solían hacer con frecuencia semanal y afectando a todos los servicios de la mina. Durante una parada de ocho horas, se efectuaban tareas de limpieza, engrase, soplado de motores, alineación de cintas, inspección de unidades y cambio de elementos deteriorados. Después se modificó la periodicidad, de modo que pasó a realizarse cada cierto número de horas de trabajo de cada unidad y solo durante el relevo de mañana.

En las gamas con tensión, que requería la presencia del personal de producción, se inspeccionaban los cables de elevación y se realizaban los controles de pista de bolas, mecanismos de traslación, elevación y giro.





Actuaciones en reductora de rodete de una excavadora Takraf

Operaciones en un rodete



LA REVISION ANUAL

La revisión anual consistía en una parada de cada máquina y su correspondiente calle, de unas tres semanas de duración, para acometer tareas de entidad que no se podían llevar a cabo en una gama. Con tal motivo se preparaba una explanada donde la máquina quedaba aparcada después de ser sometida a un lavado; a continuación, se desarrollaban trabajos de cierta magnitud, inspecciones de los elementos esenciales, repaso integral de pintura, cambios de repuestos fundamentales, pruebas con tensión de todas las opciones del equipo, etc.

De acuerdo con los datos históricos de la máquina, las inspecciones precedentes y unos controles en fechas previas a la parada, se elaboraba un programa de tareas específicas, que incluía:

- Tareas tipo, como cambio de bandas, tambores, motores, etc.
- Trabajos en traslación, para realizarse con buen tiempo y fácil acceso.
- Trabajos de frecuencia plurianual, como reposición de rodamiento partido del rodete, cambio de cables de elevación, etc.
- Repaso general de escaleras, barandillas, puertas, cabinas, etc.
- Pruebas eléctricas de todos los mecanismos.

La revisión anual solía hacerse en temporada estival y con fuerte apoyo de personal contratado. La concentración de efectivos propios y ajenos en un espacio relativamente reducido y en un tiempo limitado exigía la adopción de medidas de seguridad específicas.

Tanto en las revisiones como en otras intervenciones de entidad se reformaron y mejoraron máquinas y cintas, lo que permitió optimizar su rendimiento y simplificar su mantenimiento.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la avería antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la avería o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitores de parámetros físicos realizando seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el

comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio

En la mina existía un servicio dedicado, entre otras labores, al control de ruidos de los diferentes accionamientos, control de desgaste de cables de elevación, grandes rodamientos, análisis de aceites, etc.

Todo el trabajo de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo programado requerían un programa de planificación, control y seguimiento de trabajos y de unidades elaborado por la oficina de programación y control (O.P.C.)

Máquina en plaza con apoyo de aguilón y contrapeso, preparada para las operaciones de gama anual



LOS “VULCAS”

Aunque incluidos inicialmente en el servicio mecánico, la peculiaridad de los cometidos atribuidos a los “vulcas” requiere una mención especial. En principio formaron parte del equipo de retén, pero desde 1986 constituyeron un grupo independiente que operaba en el taller de vulcanizado, lugar donde se reparaban hasta 24.000 metros anuales de banda, evitando un oneroso recurso a contrataciones externas. Además, los “vulcas” se ocupaban de atender el

retén, los empalmes y las reparaciones en campo. Los trabajos de optimización de dispositivos y normalización de intervenciones de este servicio permitieron disponer de un sistema operativo ejemplar.

Contaban con camiones-grúa para el montaje y movimiento de todo el equipo necesario para un empalme: vigas, planchas, cuadro eléctrico, cables eléctricos, grupo electrógeno, gomas, disolución, etc.



Los primeros tiempos fueron difíciles

Después, mejores medios y mejores accesos





Taller de vulcanizado



Vulcanizado de banda

En 1999 se llevó a cabo la contratación integral de las tareas de vulcanizado, manteniendo Endesa el control. Estaba dotada para ello de un sistema informático de diseño propio que permitía conocer el estado de cada tramo de banda de la instalación.

EL ALMACÉN Y EL TALLER DE A AREOSA

La mina disponía también de un almacén, que inicialmente estuvo integrado en mantenimiento y localizado en las proximidades de O Tesouro. En 1990 pasó, junto con el resto de talleres, a la zona de Espiñaredo, donde se habilitó una superficie de 6.000 metros cuadrados cubiertos y otros 40.000 descubiertos.

También contaba la explotación con un taller en A Areosa, ubicado en un edificio que había sido construido en 1951 para servicio de Encaso. En él se llevaron a cabo muchas de las reparaciones de equipos y repuestos de la mina. Estaba dotado de carpintería, taller de vehículos, taller eléctrico, taller de calderería y taller de ajuste y mecanizado.





Taller de A Areosa

Se potenció su ritmo de trabajo en el período 1994-97, con la incorporación de operarios excedentes del área de producción. Posteriormente, a raíz de las prejubilaciones, se produjo una disminución paulatina de su dotación de efectivos hasta el cierre del servicio y, en 2004, la demolición del edificio.

En el propio local del taller se celebró, año tras año, una comida de Navidad que alcanzó gran auge y arraigo como una manifestación de compañerismo y confraternidad entre la plantilla minera. La reunión rivalizaba con otra similar que se llevaba a cabo en la central térmica por las mismas fechas.



Comida de Navidad

LOS BOMBEO DE HIDROGEOLOGÍA Y DE DRENAJE SUPERFICIAL

Con el fin de mantener acotado el nivel piezométrico de las aguas subterráneas, se instalaron hasta 150 pozos con sus correspondientes bombas, lo que permitía extraer unos tres millones de metros cúbicos al año. Para el control y mantenimiento de esta instalación se dispuso de un taller específico y de un camión adaptado para el montaje y desmontaje del conjunto bomba-tubería flexible-cables de alimentación y control.

Con el fin de realizar el drenaje de toda la superficie de la explotación, la mina contó con hasta veinte depósitos, con diecinueve bombas fijas sobre bancada, y más de ochenta bombas sumergibles, de diversos tamaños y potencias.

La alimentación eléctrica de todos los depósitos, la reparación de las bombas que se averiaban y el montaje y desmontaje de las bombas de bancada, de sus motores y de sus acoplamientos era responsabilidad del servicio de Mantenimiento.



Equipo de bombeo del depósito II-EB

Deposito E-14





Bombeo del depósito OB-5 al OB-4

Depósito OB-4, con sus bombas Worthington



OFICINAS DEL TESOURO

La sede de la dirección y las oficinas de la mina estuvieron desde el inicio de la explotación por Endesa en el edificio de O Tesouro, ubicado en la loma del mismo nombre. Construido en 1975, se amplió hacia el sur con dos alas en 1982 y hacia el norte en todo el frente, en 1986. En 1989 se levantó además el anexo del botiquín. Este edificio albergó las oficinas y los archivos de todos los servicios de la mina, los vestuarios y el centro de control.

En sus proximidades, hacia el sur, se encuentra la oficina o caseta de obra, denominada “la casa de la pradera”, por donde pasaron los servicios de Sondeos, Geotecnia y Topografía. También en las inmediaciones de O Tesouro, en su lado norte, se encontraba otra caseta, “la caracola”, ya desaparecida, que albergó durante varios años los servicios de Proyectos y Geología.



Vista aérea del edificio



Detalles del interior y fachada sur del edificio



VENTA DE MÁQUINAS

El cierre de la mina en diciembre de 2007 conllevó la retirada de las excavadoras, apiladoras y demás equipos de las áreas de explotación y su aparcamiento en zonas dispuestas para ello siempre por encima de la cota 332 para evitar afecciones por la inminente inundación del hueco.

Dado que estos equipos estaban en muy buenas condiciones para seguir operando, se contempló la posibilidad de ponerlas a la venta al objeto de rentabilizar su retirada, además de posibilitar un destino más razonable que el mero achatarramiento.

De los contactos realizados con diferentes compañías, fue la empresa polaca Kopalnia Wegla Brunatrego "Konin" de Kleczew S.A. la que se interesó por dos excavadoras, concretamente las denominadas E-16 y E-17.

Fruto de las consiguientes negociaciones, el 28 de noviembre de 2007 se firmó entre ENDESA y KWB KONIN el documento de venta de los equipos siguientes:

- Dos excavadoras Takraff tipo SRs 1800: E-16 y E-17.
- Cinco estaciones motriz B-1800.

- Cinco grupos motriz de cintas tipo WH1800.
- Cuatro tiende tubos CAT.
- Dos bombas sumergibles FLY GHT-2400-
- Diez bombas sumergibles FLY GHT- 2250
- Ocho kilómetros de cable eléctrico 12/20Kv
- Seis kilómetros de cable eléctrico 18/30Kv

Los trabajos de desmantelamiento se desarrollaron en una campa ubicada en la zona de Espiñadero y fueron llevados a cabo por la empresa Masa Galicia, S.A.

El embalaje, carga y transporte fue ejecutado por la empresa FUGO "Konin" S.A.

El 21 de abril de 2009 se firmó el protocolo de entrega de las plazas de desmontaje entre Masa Galicia, S.A. y ENDESA ratificando, de este modo, la carga y transporte a Polonia de todos los equipos desmontados.

El 16 de septiembre de 2010 KWB KONIN inauguró en Polonia la puesta en marcha de la excavadora "CARMEN" originalmente denominada E-16.

Posteriormente, el 28 de marzo de 2011, la misma empresa puso en marcha la excavadora "DOLORES" antigua E-17 de la mina de As Pontes.

Desmontaje de la E-16 y E-17





		Fecha arranque	Fecha parada
"E 016"	Mina de As Pontes	09.03.87	18.10.07
"CARMEN"	KWB KONIN, Polonia	16.09.10	

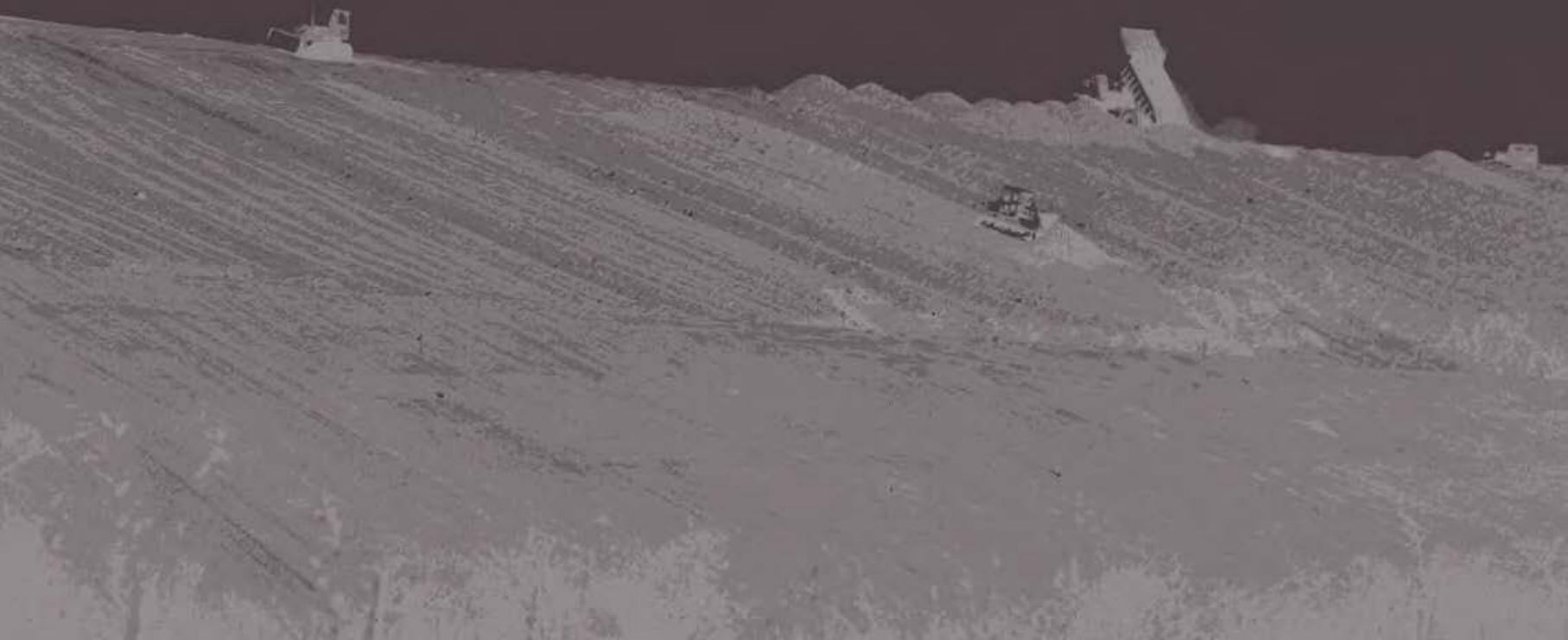


		Fecha arranque	Fecha parada
"E 017"	Mina de As Pontes	25.06.87	25.10.07
"DOLORES"	KWB KONIN, Polonia	28.03.11	

Encuentro de "Carmen y Dolores", los polacos las llaman "las españolas"



LA ESCOMBRERA EXTERIOR



LA ESCOMBRERA EXTERIOR

Desde el inicio de la explotación, los condicionantes geotécnicos impidieron escombrar en el interior de la mina en tanto el campo este no estuviese casi terminado. De ahí que, hasta el año 2002, el material estéril extraído se depositase en una zona externa a la cuenca productiva, en la escombrera exterior habilitada en el Almigonde. Se trataba de una superficie conformada por el valle del arroyo Almigonde y seis vaguadas principales, limitando por el oeste con el macizo granítico de la sierra de Forgoselo.

En su configuración final, la escombrera exterior se extiende por una superficie de 1.150 hectáreas, tiene un volumen de 720 millones de metros cúbicos y una altura de 160 metros.

Los criterios geotécnicos con los que se diseñó la escombrera estuvieron condicionados por diversos aspectos de los que nos ocuparemos en las páginas siguientes.



Vista general de la escombrera, 1985



MATERIALES

Los materiales depositados en la escombrera son los estériles limo-arcillosos del yacimiento, las filitas que conformaban el borde de éste y las cenizas producidas en la central térmica. La proporción de estas últimas supone alrededor de un 10% respecto al total de vertidos, por lo que prácticamente no influyen en su comportamiento geotécnico.

A efectos de diseño de taludes, tampoco las filitas condicionaron la inclinación de los mismos ya que, si bien presentan características geomecánicas mejores que las de los estériles terciarios, su volumen respecto al total de los vertidos, entre el 15% y el 20 %,

se considera relativamente pequeño. No obstante, en razón de sus mejores características resistentes, estos materiales se utilizaron en la ejecución de diques, rasantes y obras singulares.

Por tanto, son las características de los estériles arcillosos las que condicionaron la geometría final de los taludes y con este objetivo se diseñaron las campañas de investigación y reconocimiento geotécnicos. Los resultados de los ensayos de identificación de los vertidos fueron: densidad húmeda, 1,77 gr/cm³; humedad, 33 %; límite líquido, 51; límite plástico, 29 y contenido de arcilla, 25.

Vista desde el monte Forgoselo de un sector de la escombrera, con apiladoras en fase operativa





Vistas generales de la vertiente sur 1988-1992



NIVEL PIEZOMÉTRICO Y ESTABILIDAD

Uno de los aspectos básicos para diseñar los taludes es la predicción de las presiones intersticiales. A partir de los ensayos de laboratorio y de los piezómetros que se instalaron en la escombrera, se estimaron las presiones que se iban generando en su cuerpo según aumentaba la altura. También se supuso que a muy largo plazo se alcanzaría la distribución hidrostática de la presión de agua desde superficie.

La compresibilidad de estos materiales se estudió mediante ensayos edométricos, que arrojaron un valor medio del coeficiente de consolidación $C_v=250 \text{ m}^2/\text{día}$, lo que indica que la disipación de las sobrepresiones intersticiales en estos estériles será extremadamente lenta y tendrá lugar a lo largo de decenas de años.

Las previsiones realizadas se ajustan bastante a la realidad, según se pudo verificar tras las comprobaciones que se han venido efectuando sistemáticamente en los piezómetros.

Los cálculos de estabilidad se realizaron en dos dimensiones y, en general, no se ponderaron los coeficientes de seguridad de las secciones calculadas, exceptuando las zonas en las que fue preciso construir diques de pizarra.

Para determinar las características resistentes se emplearon ensayos triaxiales. He aquí los parámetros geomecánicos utilizados:

		Resistencia		Densidad
		ϕ ($^\circ$)	C' (t/m ²)	t/m ³
Vertido con apiladora	Arcilla	19	0	1,77
	Pizarra	25	0	1,77
Dique de pizarra		30	0	2

Se estudiaron dos situaciones: al acabar el escombrado (corto plazo) y cuando la ley de presiones intersticiales sea la hidrostática (largo plazo). El







Apiladora trabajando en el sector oeste, 1995



Apiladora escombrando pizarras, 1992

coeficiente de seguridad estimado fue de 1,4 mínimo. Para conseguirlo, dependiendo de la altura del talud, se obtuvo una inclinación del mismo de:

Altura Talud de diseño	
80 m	8 (H): 1 (V)
150 m	9 (H): 1 (V)
180 m	10 (H): 1 (V)



Apiladora escombrando contra las laderas de Goente y el monte Forgoselo

En lo que respecta a taludes de banco, se compatibilizó la ejecución con seguridad y estabilidad, alcanzando una altura óptima de 20-25 metros. Para esta son estables, a corto plazo, taludes de pendiente 3(H):1(V). Cuando se ejecutan en posición definitiva, se construyen con pendientes 5(H):1(V).

LABOREO Y DESARROLLO

La escombrera tiene dos zonas claramente diferenciadas: la este, más cercana a la explotación, y la oeste más lejana y de mayor extensión. En la segunda, los taludes alcanzan los 150 metros de altura, mientras que en la zona este bajan a los 130, aunque llegan a 160 metros en algunos puntos, dependiendo de la topografía del valle.

Para la consecución de la geometría definitiva, la escombrera se desarrolló de norte a sur por niveles de apilado de 20/25 m de altura desdoblándolos en dos de 10 metros, o en uno de 10 y otro de 15. El superior, nivel en altura, se construyó por encima de la rasante de la apiladora, mientras que el inferior, nivel en profundidad, por debajo de la rasante.

Como la pendiente del vertido que formaba la apiladora en cada pasada era 1,5(H):1(V), se dejaba una berma entre los apilados en altura y profundi-



En ocasiones, la construcción de la escombrera ha sido apoyada por medios auxiliares. Formación de un talud con pizarras procedentes de Espiñaredo-1988

Apiladora trabajando en el sector oeste, 1995



dad, para que el talud alcanzase la pendiente 3(H):1(V) que requiere su estabilidad. Una vez lograda esta situación, el proceso se repetía mediante el traslado de la cinta transportadora (ripado) a la posición siguiente.

La correcta gestión de los materiales que conforman la escombrera permitió prevenir ciertos problemas geotécnicos o corregirlos una vez presentados, mejorar las condiciones de ejecución del apilado y el estado de las rasantes, así como incrementar la capacidad de escombrado en algunas zonas.

Así, en la esquina noroeste, entre los años 1985 y 1988, se ejecutó un dique de pizarras (cuatro millones de metros cúbicos) que habían sido extraídas de la

mina con maquinaria auxiliar, para después ser transportadas en camiones y colocadas, extendidas y compactadas en tongadas inferiores a un metro de espesor. Gracias a ello se logró apilar en esa zona doce millones de metros cúbicos más de los previstos.

Desde el punto de vista de la restauración, la aplicación de los criterios de selección de estériles establecidos después de numerosos estudios dio como resultado la generación de superficies finales capaces de soportar cubiertas vegetales autosuficientes. A lo largo de los años se ha demostrado de forma práctica la importancia del vertido selectivo de los materiales como primer paso en el proceso de rehabilitación.

Escombrera F en ejecución, 1987



HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

A consecuencia de la elevada pluviosidad de la zona, con precipitaciones medias anuales de 1.694 l/m^2 y puntas diarias de 126 l/m^2 , el laboreo de la escombrera requería un adecuado drenaje de la escorrentía, lo que supuso la ejecución de importantes infraestructuras para la recogida y conducción de las mismas.

Debido a la configuración del área de emplazamiento, para posibilitar el laboreo, fue necesario canalizar la vaguada principal mediante el entubamiento del arroyo Almigonde. Esta conducción, situada en la base de la escombrera tiene una longitud de siete kilómetros y un diámetro de 1 - 1,30 metros. La tubería se prolongó a medida que la escombrera subía de cota y avanzaba hacia el oeste, para drenar las aguas de este sector.

Además de esta obra singular, se necesitó construir un canal de guarda circundando todo el perímetro para evacuar el agua de las cuencas limítrofes y sus propias vertientes. Su longitud alcanza los veinte kilómetros y su sección varía entre siete y

doce metros cuadrados. Este sistema constituido por los canales perimetrales y el entubamiento forma el drenaje general de la escombrera exterior.

Por otra parte, fue preciso contemplar en la propia escombrera una red de drenaje y pendientes adecuadas para evitar la acumulación de aguas en lugares no deseados y que, al mismo tiempo, proporcionase un control sobre la erosión. Por ello se realizó una división por niveles, coincidiendo con los que marcaba el laboreo. Estos, que están formados por taludes parciales y bermas, permiten una mejor gestión de la escorrentía del talud general.

Para limitar la capacidad erosiva de la escorrentía, los taludes parciales se construyeron con una pendiente del 20% y una proyección horizontal máxima de cien metros. Las bermas tienen una anchura máxima de un centenar de metros y una pendiente en sentido longitudinal del 2%, que vierte hacia el este o el oeste en función del drenaje general. En cada nivel existe una cuneta que recoge las aguas de escorrentía del talud y de la berma.

Canal perimetral, 2002





Geometría de un nivel, 2002

Geometría de un nivel, 2002





Niveles restaurados

LA RESTAURACIÓN

En términos generales, la restauración significa transformar una zona alterada por acciones antrópicas, en otra donde la configuración y el uso se establecen según un plan previamente elaborado, consiguiendo al final unas condiciones estables y compatibles con el ecosistema al que pertenece, por lo que nunca podrá considerarse como una unidad aislada ajena a su entorno natural.

El éxito de la restauración no solo depende de una acertada selección de especies vegetales y de

una correcta implantación de estas, sino también de una idónea gestión selectiva de los estériles que habrán de ir en superficie, de una remodelación de la morfología de la escombrera y de un control efectivo de la erosión mediante geometrías adecuadas y obras estructurales.

Aunque la implantación de la cubierta vegetal se pueda entender como la última fase de la restauración, únicamente mediante un proceso racional de regeneración de esta cubierta vegetal se crea un



ecosistema capaz de suplir al primitivo, pero siempre desde la perspectiva de restauración ecológica dando, por tanto, igual importancia a los aspectos de paisaje y comunidades como al meramente florístico.

La opinión de que solo la vegetación espontánea –proceso evolutivo natural– es capaz de crear a largo plazo ecosistemas estables e independientes no es válida en estos casos. Se comprende la restauración como una sucesión ecológica dirigida con igual re-

sultado final, pero con un período más corto de realización. Una sucesión dirigida y acelerada hacia la formación de un ecosistema estable, autosostenible y biológicamente variado, donde intervienen una serie de factores:

- Un sustrato con unas características físicas, químicas y biológicas adecuadas.
- Una selección de especies vegetales precisas enfocadas al desarrollo de suelo y organismos.





Area restaurada integrada en al entorno

- Una fauna adaptada al medio donde pueda sobrevivir y contribuir a su mejora.

En este sentido, la restauración de la escombrera ha estado orientada a la consecución de diversos objetivos globales, entre los que destacan:

- Creación de una cubierta vegetal estable que controle la erosión y la calidad del agua de escorrentía y propicie la formación de un suelo productivo.
- Reparación del paisaje alterado por las labores mineras.
- Recuperación e incluso mejora de los usos anteriores a la explotación.

Para la consecución de estos objetivos en el año 1985 se diseñó un programa de restauración, que se integró en el Plan de Operaciones Mineras, persiguiendo los cinco objetivos específicos siguientes: Aprovechamiento de la tierra vegetal, gestión selectiva de estéril, diseño geométrico para conseguir un buen drenaje y el control de la erosión, desarrollo de las técnicas adecuadas para establecer y mantener la vegetación y definición de usos del suelo.

La condición ineludible de todo ello está en el suelo, de tal manera que si, paralelamente a la extracción del mineral, se consigue que en las superficies generadas de la escombrera exista un sustrato capaz de sostener una cubierta vegetal avanzada, se habrán alcanzado los objetivos. Por ello conviene esta-



Sector de la
escombrera en fase de
construcción. El lago
Braña al fondo, 1988



El mismo sector en
fase de restauración,
1989



El mismo sector en
2006



Vista desde Espiñaredo, 1995



Vista desde Espiñaredo, 2005



Vista desde Espiñaredo, 2005



Los usos tradicionales se han mantenido en la escombrera. Primer corte de hierba 1988



Aprovechamiento de pastizal, 1998



Aprovechamiento de pastizal, 2008

blecer una sistemática de trabajo, que se inicia antes de que las excavadoras comiencen a funcionar y termina cuando se llega a la certeza de que el espacio restaurado puede evolucionar sin ayuda externa.

Numerosos factores limitan la revegetación, que depende, entre otros, del sistema de explotación y reconstrucción del suelo minero, de la topografía final resultante y de las características de los estériles escombrados.

El nivel de dificultad que se atribuye a los estériles procede de las texturas inadecuadas, de la carencia de estructura en los sustratos, de la compactación, de las limitaciones nutritivas, de la acidez y de las toxicidades inducidas. No obstante, el inconveniente más notable es la presencia de pirita, de la que se derivan serias dificultades.

Muchos estériles piríticos suelen presentar valores de pH cercanos a la neutralidad, pero al oxidarse



La tierra vegetal ha sido el recurso más apreciado en la restauración, 1989



Las pizarras del umbral fueron el material alternativo a la tierra vegetal. Rotopala excavando y apiladora acopiando el material, 1992



Los medios auxiliares son los encargados de distribuir las pizarras por los diferentes niveles, 1993



cuando permanecen a la intemperie experimentan una bajada brusca de este valor, volviéndose extremadamente ácidos. Ello impide el establecimiento de la vegetación o, lo que resulta más habitual, elimina la ya implantada. Además, propicia la formación de drenajes ácidos que contaminan tanto las aguas superficiales como las subterráneas. De ahí que el control de la oxidación y la posibilidad de predecir la

acidificación se hayan erigido en soportes básicos de cualquier iniciativa de recuperación de la flora.

En consecuencia, la selección del material y su adecuada disposición en la escombrera resultan fundamentales, incluso aunque se disponga en la superficie una capa de tierra vegetal, ya que las raíces de las especies implantadas utilizarán para desarrollarse el estéril que forma la capa subyacente.



Talud de pizarras con el color característico que origina la oxidación de la pirita, 1997

Se precisa, por lo tanto, antes de depositar los estériles, detectar la presencia de sulfuros y evaluar su potencial de generación ácida y el consiguiente riesgo de solubilización de metales tóxicos. Estos materiales deberán ser mantenidos en condiciones anaerobias y aislados de las zonas de enraizamiento o de aquellas por las que fluya agua.

El estudio mineralógico de la composición del estéril, en especial de la fracción arcilla, también facilita la predicción de su comportamiento en superficie. Se trata de conocer la presencia de sulfuros y neutralizantes, el contenido en minerales alterados y su potencial para liberar nutrientes.

La disponibilidad de macronutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo, que tanto favorecen

el desarrollo vegetal, raramente afecta a los criterios de selección, debido a que su presencia en todos los estériles puede considerarse escasa. De modo que lo habitual es agregarlos porque interesa restablecer cuanto antes los ciclos nutritivos. Por ello se intenta acelerar la acumulación de materia orgánica y el desarrollo de poblaciones microbianas, así como obtener nitrógeno por medio de plantas leguminosas y fósforo con especies vegetales micorrizas.

El estudio previo de las propiedades del estéril también ayuda a prevenir y mitigar los riesgos de compactación, inherentes a las operaciones mineras. No obstante, sea cual fuere la composición del material, lo que más influye en la compactación es el proceso de extracción y apilado, así como las opera-

ciones posteriores de estabilización del terreno y preparación de la superficie, en las que se precisa el uso de maquinaria pesada, cuyos efectos perniciosos se palian con ripados y subsolados.

Puede asegurarse que en la escombrera de la mina de As Pontes confluyen todos los aspectos negativos mencionados. Por este motivo, el plan de restauración desarrollaba una metodología de trabajo que se ha ido actualizando e incluía las fases siguientes:

- Estudios.
- Caracterización físico-química y composición mineralógica de los estériles en los frentes de excavación.
- Ensayos de campo con diferentes tipos y mezclas de estériles para predecir su comportamiento como sustratos.
- Selección de estériles y correcta ubicación en las superficies finales.
- Modelado de la morfología.



Las surgencias ácidas siempre han sido un problema recurrente en la restauración de la escombrera, 1989-2000



Surgencia ácida en un talud de la escombrera E-1.
Solución a base de drenes y arcilla, 1991

- Caracterización de los materiales escombrados.
- Ejecución de infraestructuras.
- Modificación de las características físico-químicas de los sustratos.
- Recuperación y tratamiento de la tierra vegetal.
- Implantación de las cubiertas vegetales.
- Labores de mantenimiento.
- Evaluación de resultados.

Todos estos aspectos que forman la metodología de trabajo concluyen con un plan de seguimiento de las superficies restauradas basado en la evolución del suelo, el agua y la vegetación. El sistema descrito adquiere su verdadera dimensión y eficacia cuando se aplica incorporado al resto del proceso de la mina.



El trébol entre las herbáceas y el aliso entre los árboles son especies fijadoras de nutrientes y por tanto mejoradoras de suelos, 2006





La preparación de las superficies aumenta la compactación de los materiales, 1990



Ripados y subsolados son operaciones adecuadas para descompactar el suelo, 1990



La restauración de la escombrera así como su construcción siempre se ha desarrollado de abajo a arriba, 2000

ESTUDIOS

La elaboración del plan de restauración está basada en estudios previos de las características agroclimáticas, edafológicas y botánicas del área circundante a la explotación. Estos sirven de base para evaluar el impacto ambiental de la actividad, para la selección de los vegetales que serán utilizados en la restauración y para las posibles asignaciones de los usos del suelo.

Además de estos estudios, se llevaron a cabo ensayos para evaluar la respuesta de algunos estériles mineros a la implantación vegetal, así como el uso de enmendantes (tipo y dosis) necesarios para disminuir la acidez de los estériles. Los productos analizados fueron carbonato cálcico y cenizas derivadas de la combustión del lignito e incluyeron pruebas de laboratorio, en invernadero y en parcelas de campo.

Asimismo se desarrollaron, tanto en campo como en invernadero, ensayos sobre abonos (tipos y dosis) e introducción de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas para conocer sus posibilidades de adaptación a las nuevas condiciones que encontrarían en la escombrera.



Los ensayos de campo han estado al orden del día, 1987

Parcelas de ensayos con caliza y diferentes especies de herbáceas, 1988



CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTÉRILES

Ante la limitada disponibilidad de tierra vegetal y la seguridad de que gran parte de la revegetación tendría que realizarse directamente sobre los propios estériles, en 1987 se inició el estudio de su idoneidad agrícola y forestal. No obstante, el sistema de laboreo aplicado en la explotación imponía una rápida toma de decisiones, lo que limitaba el tiempo necesario para la correcta identificación de grandes volúmenes de estériles. Este condicionante obligó a la selección y simplificación cuidadosa de las determinaciones analíticas necesarias para evaluar el posible comportamiento del estéril en las superficies de la escombrera.

La identificación de los materiales potencialmente productores de acidez y la predicción del alcance de la generación de esta última derivada de su oxidación constituye uno de los aspectos básicos a tener en cuenta para gestionarlos adecuadamente. La heterogénea distribución de los sulfuros en los estériles de la mina hacía necesario el análisis de un gran número de muestras para obtener resultados representativos y fiables, por lo que los parámetros de predicción deberían ser sencillos y de rápida interpretación.

Los criterios de selección vinieron determinados fundamentalmente por el contenido en azufre y la textura del estéril, propiedades que confieren al sustrato las limitaciones físico-químicas de más difícil solución: elevada acidez potencial en el caso de niveles altos de azufre y problemas físicos de baja infiltración, y riesgos de compactación y baja penetrabilidad radicular en el caso de texturas arcillosas.

Los objetivos, por tanto, eran:

- Realizar una caracterización físico-química de los estériles, con especial atención a los aspectos que más influyen en el desarrollo vegetal.
- Predecir el potencial de generación de acidez de los estériles con presencia de sulfuros cuando quedaban expuestos a la intemperie y establecer los límites permisibles para su mantenimiento en condiciones aerobias.
- Fijar los criterios básicos de clasificación de los estériles de los frentes de excavación que permitiesen una toma de decisiones rápida y fiable a partir de parámetros sencillos, que tuviesen un marcado valor predictivo y consumiesen poco tiempo de análisis e interpretación.



Las campañas analíticas para caracterizar los materiales han sido permanentes. Bolsas con muestras de estériles, 1987



Las arcillas carbonosas son muy problemáticas, tanto en la restauración como en su manejo. Bulldozer con problemas, 2000

MODELADO DE SUPERFICIES Y EJECUCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

En el diseño de la escombrera se aprovechó la división en niveles que se realizaba con el propio sistema de laboreo, consistente en subdividir el talud general en un conjunto de taludes parciales y bermas. En función de la pendiente, el ancho de los niveles varía entre sesenta y cien metros. Estos niveles drenan hacia el este o el oeste según el drenaje general. Las bermas presentan una pendiente del 2% porque se ha demostrado que, además de mejorar el control del agua, se tiene la posibilidad de absorber las deformaciones provocadas por los asentamientos que aparecen tras el escombrado.

Su longitud oscila entre uno y dos kilómetros, razón por la cual cada doscientos metros y transversalmente se construyeron muretes y cunetas en tierra que hacen las funciones de interruptores del agua de escorrentía.

Los taludes tienen una pendiente del 20% y se ejecutaron procurando alcanzar siempre un perfil uniforme o mejor mixto y, por tanto, cercano a los taludes naturales (convexo en la parte superior y cóncavo en la inferior). De esta manera se asegura la estabilidad y se aminora la erosión laminar.



Nivel de la vertiente norte, 1992





La geometría de los niveles se consigue a base de maquinaria pesada, 2001



El mismo nivel, zona del monte Forgoselo, una vez restaurado, 2005

En cada nivel se hizo una cuneta al pie del talud parcial que recoge directamente las aguas de escorrentía del talud y las del propio nivel. Estas cunetas presentan una pendiente variable del 2%, según la general del propio nivel. La sección trapezoidal se diseñó revestida de piedra suelta de cien a trescientos milímetros, que descansa directamente sobre el cajado abierto en el estéril escombrado. Para evitar el

arrastre de piedras, provocado ocasionalmente por el empuje del agua, el último tramo de la cuneta (cincuenta-cien metros) se construyó con hormigón.

Paralelamente a la cuneta y junto a ella o al otro de la berma, dependiendo del tipo de parcelación realizado, discurre una pista para el acceso a las áreas en restauración. Dicha pista, de cuatro o cinco metros de anchura, se construyó con una capa de



Inicialmente para la ejecución de las cunetas se utilizaba un geotextil impermeable que se demostró que era contraproducente, 1988



A partir de 1989, los trabajos se mecanizaron



En poco tiempo este tipo de cunetas, ya sin geotextil, quedan ocultas por la vegetación, 1991 y 1999

quince centímetros de grosor, con grava de 10-40 milímetros, sobre otra de 50-70 milímetros cuando la rasante de explanación era pizarra, y una capa de quince centímetros de grosor, con grava de 8-50 milímetros, sobre otra de 70-100 milímetros cuando la rasante era arcilla.

En las cabeceras de los taludes parciales se ejecutó un caballón de tierras para evitar que las aguas del

nivel pasasen al talud con la consiguiente generación de cárcavas. Con objeto de acceder al talud desde la pista, se colocaron sobre la cuneta unos pasos de hormigón armado que enlazan aquel con la vía.

Desde un punto de vista de mejor integración en el paisaje, la escombrera se diseñó tratando de conseguir líneas irregulares, suavizando bordes y modificando la anchura de las bermas.



Ejecución de una cuneta en un talud del nivel inferior de la vertiente oeste para conducir las aguas hacia el canal perimetral, 1992



La cuneta un año después



El mismo talud tratado con pizarras del umbral, 1992 y 1993





La red de pistas de la escombrera supera el medio centenar de kilómetros, 2006



El diseño geométrico junto con los diferentes estratos vegetales integran la escombrera en el medio, 2007



