

RESTAURACIÓN DE LAS CANTERAS DE LA SIERRA DE FONTCALENT (ALICANTE).

M. CANO¹, R. TOMAS¹, J. DELGADO¹

¹ Departamento de Ingeniería de la Construcción, OO.PP. e Infraestructura Urbana,
Escuela Politécnica Superior,
Universidad de Alicante.

RESUMEN

En el presente trabajo se describen las propuestas encaminadas, por una parte, a la restauración de la ladera meridional de la sierra de Fontcalent, afectada por el frente de la antigua cantera de Vicente Serrano y que incide de manera notable en la calidad paisajística que se tiene de la sierra vista desde Alicante al mismo tiempo que se justifica la conservación de este talud rocoso por el efecto de pantalla visual que tiene sobre los frentes de cantera de la ladera septentrional. Por otra parte, se analiza la restauración de las canteras septentrionales de la sierra, de modo que sea compatible con la creación de puntos de observación de interés geológico-geotécnico, dada la singularidad estructural y estratigráfica de este afloramiento, así como la gran casuística de fenómenos de inestabilidad geomecánica que han aparecido tras la explotación de los distintos frentes.

1. INTRODUCCIÓN

La sierra de Fontcalent está afectada, desde la década de los sesenta del pasado siglo, por una serie de actividades extractivas, intensificadas notablemente en los últimos años.

Tratándose de un elemento paisajístico de primer orden, de carácter referencial para la ciudad de Alicante, se considera de especial importancia el estudio de la restauración del espacio afectado por la actividad minera.

Siguiendo la metodología expuesta por Conesa (1997), para una valoración directa subjetiva del paisaje, considerando que Fontcalent es un paisaje soberbio y asignándole un valor absoluto ($V_a=16$), calculando el índice K, que corrige este valor absoluto para adoptar un valor relativo ($VR=71\%$), y entrando en la función de transformación

correspondiente, se obtiene una calidad ambiental $CA=0.8$, (Cano, 2003), lo cual corrobora de una manera objetiva la enorme importancia paisajística de esta sierra.

Las propuestas que aquí se hacen van encaminadas, por una parte, a la restauración de la ladera meridional de la sierra, afectada por el frente de la antigua cantera de Vicente Serrano y que incide de manera notable en la calidad paisajística que se tiene de la sierra vista desde Alicante. Al mismo tiempo que se justifica la conservación de este talud rocoso por el efecto de pantalla visual que tiene sobre los frentes de cantera de la ladera septentrional. Por otra parte, se analiza la restauración de las canteras septentrionales de la sierra, de modo que sea compatible con la creación de puntos de observación de interés geológico-geotécnico, dada la singularidad estructural y estratigráfica de este afloramiento, así como la gran casuística de fenómenos de inestabilidad geomecánica que han aparecido tras la explotación de los distintos frentes.

La zona objeto de estudio, está ubicada al Oeste de la ciudad de Alicante, abarcando una superficie aproximada de 7 Km^2 (Gomis, 1985), que se incluyen en su totalidad en el término municipal de la mencionada ciudad. En cuanto a las canteras, éstas se hallan ubicadas en la zona más nororiental de la sierra.



Figura 1. Vista aérea de la sierra de Fontcalent y sus canteras.

El trabajo se estructura en dos partes, una primera centrada en la restauración de la ladera meridional, correspondiente a los epígrafes 2, 3 y 4. En ellos se analiza la estabilidad del frente de cantera y se propone una solución para la regeneración morfológica de la ladera, que abarca el relleno de la oquedad dejada por la explotación minera y el envejecimiento acelerado del frente de cantera mediante la técnica de la bioalteración inducida. La segunda parte de esta comunicación expone las propuestas de restauración para la ladera septentrional, y

corresponde al epígrafe 5, en el cual se aborda la solución de un gran vertedero de residuos de inertes provenientes de la actividad constructora, así como la construcción de un espacio habilitado para actividades docentes, dado el elevado valor de los frentes Fontcalent y Pavasal tanto desde el punto de vista geológico como geotécnico. En la figura 1 pueden observarse los diversos frentes de cantera abiertos.

2. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL FRENTE DE LA ANTIGUA CANTERA DE VICENTE SERRANO



Figura 2. Vista del frente de la Antigua cantera de Vicente Serrano.

En toda restauración de un frente de cantera es necesario la realización de un estudio geomecánico que identifique las zonas donde se puedan dar mecanismos cinemáticos que puedan inestabilizar el talud, al tiempo que clasifiquen el frente objeto de estudio por su calidad geomecánica. En caso de estimarse oportuno se procedería posteriormente al estudio de la estabilidad de los bloques de forma individual, susceptibles de inestabilidad y el cálculo del coeficiente de seguridad.

El criterio elegido para dividir el frente de cantera en diversas zonas de estudio ha sido principalmente la tipología de la inestabilidad observada al realizar la inspección visual del mencionado frente.

El macizo objeto de estudio presenta unas características geotécnicas muy homogéneas en lo que se refiere a competencia de la roca matriz, propiedades y distribución espacial de las discontinuidades, que en este caso están

representadas por una única familia, la estratificación; la cual presenta a su vez la misma orientación en todo el frente de cantera. Tan sólo el buzamiento de los estratos presenta variaciones a lo largo del talud. Esta circunstancia, unida a la distinta orientación de los taludes del frente de cantera son las que condicionan la clasificación geomecánica del macizo.

Mediante un análisis poblacional de las discontinuidades del macizo se ha podido establecer los mecanismos cinemáticos de rotura en las distintas zonas de estudio. La rotura planar se produce en la zona 1.1 i (inferior) y en la zona 2 cuando los estratos están menos verticalizados; concretamente, se ha analizado el caso de mínimo buzamiento del intervalo (52° SE). A medida que la estratificación aumenta su buzamiento la rotura posible evoluciona hacia el vuelco, como sucede en el resto de las zonas estudiadas.

En la zona 3a el mecanismo cinemático posible es el vuelco, aunque éste no se da gracias

a la práctica perpendicularidad de la estratificación con la dirección del talud. En 3b, con el mismo mecanismo, la inestabilidad no se produce por la reducida dimensión del plano del talud, que en este caso es un plano de falla y también por estar coaccionado el movimiento por la posición de los planos de los taludes colindantes. Por último, en la zona 3c tampoco se observa ninguna inestabilidad, por la misma razón que el caso anterior.

En estas tres zonas lo que sí se ha observado es la presencia de bloques caídos (rock fall) y algunos a punto de hacerlo, debido a la acción de las voladuras que han dejado fisuras de forma aleatoria en el frente de cantera, y al estar sometida alguna de las partes del talud a esfuerzos de tracción se produce la rotura de algún bloque. Esta situación se da habitualmente cuando el plano del talud es oblicuo o perpendicular a la estratificación. También se ha observado esta particularidad en otros puntos de la cantera con circunstancias similares.

En cuanto a la calidad geomecánica del macizo, se ha preferido utilizar la clasificación de Romana (1985) porque ésta da resultados más cercanos a lo observado en el frente de cantera, que excepto en la zona 2, donde se produce rotura planar, siendo el talud inestable y de calidad mala; en el resto, el talud es parcialmente estable y de calidad normal. La zona 3b está en el límite entre la inestabilidad y parcialmente estable, aunque, dado que no se han observado roturas por vuelco, se ha considerado que la zona es parcialmente estable y de calidad normal (Tabla 1).

Hay factores externos que pueden desencadenar la inestabilidad del talud. Estos son, principalmente, las voladuras que se efectúan en el frente contiguo, un hipotético sismo de intensidad elevada y la presión hidrostática producida al introducirse agua en las juntas cuasi-verticales y de gran altura.

Existen multitud de medidas correctoras que se podrían aplicar en este caso como medidas correctoras a las inestabilidades detectadas: saneado de los bloques inestables, bulonado, gunitado, etc., pero dado que se pretende dar al talud un aspecto lo más natural posible, para que se integre paisajísticamente con el resto de la ladera, se ha optado por las siguientes propuestas:

- No actuar sobre el frente rocoso y dejar que los bloques inestables deslicen, vuelquen o simplemente caigan sobre el pie del talud.
- Realización de una zanja a pie de talud de acuerdo con los cálculos efectuados por Cano (2003).
- Confirmar el vallado actual realizado por la empresa del grupo HOLCIM, propietaria de la central de fabricación de hormigón situada junto a este frente, con el fin de que ninguna persona sin autorización se acerque al talud.

- Colocación de carteles indicadores de peligro por desprendimientos de rocas en el perímetro vallado.
- Otras medidas de seguridad legalmente establecidas.

Zona	SMR	Clase	Descripción	Estabilidad
1.1 s	49	III	Normal	Parcialmente estable
1.1 i	52	III	Normal	Parcialmente estable
1.2	51	III	Normal	Parcialmente estable
2	57 ($\beta_j=52^\circ$)	III	Normal	Parcialmente estable
	32 ($\beta_j=90^\circ$)	IV	Mala	Inestable
3a	53	III	Normal	Parcialmente estable
3b	40	III-IV	Normal	Parc. estable / Inest.
3c	53	III	Normal	Parcialmente estable

Tabla 1. Resultados de la aplicación de la clasificación SMR.

3. RELLENO DE LA CANTERA ABANDONADA.

La actividad minera, ahora abandonada en la ladera meridional, ha dejado como resultado una gran oquedad entre el frente abandonado y los bancos de materiales margosos que no se han explotado (Figura 2). Con la finalidad de regenerar morfológicamente la ladera, se rellenará este hueco con materiales procedentes de escombros generados por la actividad constructora. El volumen del relleno propuesto es de 51.892 m³.

El relleno del hueco generado por la actividad extractiva se realizará mediante el extendido y compactación ligera en tongadas de 1-2 metros de espesor, a modo de pedraplén, con materiales procedentes de escombros generados por la actividad constructora, es decir cascotes de obra, escombros procedentes de derribos y material térreo fruto de la excavación de solares en las edificaciones de nueva planta. Se trata pues

de un material muy heterogéneo, tanto en composición (restos de ladrillo, hormigón, yeso, azulejos, trozos de vigas, rocas, arena, arcilla, etc.) como en tamaño, desde partículas del tamaño de la arcilla hasta bloques decimétricos.

La superficie regenerada deberá tener unas características morfológicas similares a las de la ladera contigua, con pendientes hacia el SE y hacia el NE, excavándose al pie del talud rocoso se una zanja de sección trapezoidal cuya misión será la de concentrar en esta zona los bloques desprendidos del mismo.

En el extremo NE de la cantera, cuando termina el frente, de orientación SO-NE, se rematará la pendiente con un muro de contención de hormigón armado discontinuo, que tiene las siguientes funciones:

- Evitar que el material de relleno pueda ser erosionado por las lluvias torrenciales
- Dar continuidad visual al frente rocoso. Para ello el muro se construirá de forma discontinua, simulando la estratificación que en esta zona es casi vertical. Para ello, la textura y coloración del hormigón serán lo más similares posible a la de la roca del macizo contiguo.
- Tras el muro se colocará una pantalla de escollera de entidad suficiente y un material de filtro para impedir el movimiento del material de relleno a través de las discontinuidades del mismo.

Para conseguir la integración paisajística de la zona rellenada, se procederá al recubrimiento con material de cobertura o tierra vegetal, que además de contribuir a evitar el contraste cromático con las zonas aledañas, permite la posterior introducción de la vegetación.

La elección de las técnicas de siembra o plantación deberá adaptarse a este caso concreto. En primer lugar debe efectuarse un estudio como el realizado en M. Cano, 2003 para seleccionar las especies a reinstaurar.

Se aconseja, en las mezclas, la presencia de especies leñosas y herbáceas, tanto leguminosas como gramíneas en número suficiente. Son preferibles las mezclas pluriespecíficas con cierto margen de adaptabilidad a las condiciones generalmente adversas de taludes y terraplenes.

4. MINIMIZACIÓN DEL IMPACTO VISUAL DEL FRENTE DE CANTERA DE VICENTE SERRANO MEDIANTE BIOALTERACIÓN INDUCIDA.

En el frente de la ladera meridional de la sierra de Fontcalent se distinguen perfectamente dos sectores, por una parte la ladera natural y por otra el frente de la antigua cantera de Vicente Serrano (Figura 2).

El impacto visual que provocan los taludes verticales de una cantera es enorme cuando

ésta se halla situada en una zona de fácil observación, dando lugar a la aparición de contrastes entre los distintos materiales, incluso la aparición de un color que antes no existía. La supresión de la cubierta vegetal implica cambios drásticos en la apreciación del conjunto de colores existentes, determinando el impacto visual que se produce en el observador. Este material nuevo aflorante, todavía no está sometido a procesos de alteración orgánica e inorgánica que implican cambios en su composición química y física.

Cuando se dejan al descubierto grandes superficies rocosas, la bioalteración junto con la meteorización físico-química son los responsables directos de las primeras etapas de la sucesión natural y en definitiva de la regeneración e integración paisajística futura.

En este sentido es interesante comentar que la presencia de nódulos de pirita en diferentes fases de oxidación, será determinante para la integración de la roca fresca en el entorno alterado. La oxidación de los citados nódulos, esparciendo tonos de color ocre sobre la roca, mejorará el aspecto visual del frente. Por otra parte, en el entorno de estos óxidos aparecerán numerosos microorganismos adaptados a estos ambientes y que propiciarán un mayor deterioro de la roca.

La textura superficial de la roca está muy influenciada por los procesos de microkarstificación, que desgraciadamente es muy lento, al mismo tiempo que influyen positivamente en la preparación del soporte para la colonización del mismo por parte de los microorganismos litobiontes.

Cuando un talud rocoso lleva expuesto a la intemperie cierto tiempo, además de las modificaciones en su composición, éstas vienen acompañadas de un cambio de coloración, generalmente un oscurecimiento del material rocoso en el que influyen directamente los microorganismos (cianofíceas, algas, líquenes, etc.). Este proceso conocido como bioalteración, permite poco a poco la integración paisajística con el entorno que la rodea y por otro lado prepara el sustrato, mediante la perforación de la roca y la acumulación de agua, para la colonización de otros individuos (briofitos y plantas superiores).

Por estas razones es importante considerar el papel que pueden desempeñar los microorganismos en el paisaje durante la formación de barnices y costras oscuras en áreas donde las condiciones son poco favorables para la existencia de otras formas de vida. De forma general, las cianofíceas y los líquenes están omnipresentes en la mayoría de los ambientes y pueden ser un componente muy importante del paisaje donde predominan las superficies rocosas. Además, es bien conocida la influencia de los microorganismos en la bioalteración de rocas calcáreas. Esto ha sido probado porque éstos tienen una vinculación directa a pequeña escala con sustratos calizos que queda preservada en el registro geológico, estudiado mediante técnicas de microscopía.

Como ya se ha apuntado, de entre los organismos pioneros en la colonización de los

materiales pétreos, las comunidades fotoautótrofas compuestas por líquenes, algas y cianofíceas son las más extendidas, colonizando prácticamente cualquier tipo de material.

En definitiva, tenemos un frente de cantera que con el tiempo sufrirá diversos procesos de alteración que le conferirán un aspecto similar al de su entorno, pero mientras tanto el impacto sobre el paisaje permanecerá.

Tal y como se ha expuesto, el color y textura de la roca es el causante del mayor impacto visual, por lo que es de gran interés que dicho impacto desaparezca cuanto antes. También se ha observado que los procesos naturales de bioalteración oscurecen la roca, y que en el entorno se han desarrollado comunidades litobióticas (cianofíceas, algas y líquenes, sin más especificaciones).

Por estas razones se hace una propuesta de aceleración del proceso natural de bioalteración, probada con éxito por Monzó (1999) en el Vinalopó Mitjà (Alicante), con unos supuestos tanto climáticos como de características del sustrato prácticamente idénticos a los planteados en este trabajo.

Del análisis de este experimento se desprenden unas consecuencias y unas recomendaciones que pueden ser aplicadas a la sierra de Fontcalent:

- Los tratamientos a realizar consistirían en llevar a cabo un sistema que mantenga unas condiciones de humedad periódicas.
- Es necesario utilizar un agua que contenga nutrientes, pero en unas concentraciones muy bajas que favorezcan primero la colonización de cianofíceas. Sería conveniente usar un agua proveniente de la depuración de lodos y aguas residuales urbanas. Esta agua contiene cantidades bajas o moderadas de materia orgánica, y otros microorganismos que pueden favorecer aún más las primeras etapas de colonización.
- El dispositivo puede consistir en situar una red de tuberías en la parte alta del talud, y mediante unos aspersores, que periódicamente se conectarían, humedecer por esorrentía el talud.
- Es necesario observar la evolución de este dispositivo durante varios ciclos anuales, para la optimización del mismo. Es decir conocer la cantidad óptima de agua a utilizar para que las cianofíceas se desarrollen. Pues si se desarrollan otros organismos, como son los clorofitos, al aplicar una cantidad excesiva de agua, cuando se dejara de aplicar éstos morirían y no se conseguiría la integración paisajística.
- Es importante saber el papel que juegan los periodos estacionales, para conseguir mejores resultados.
- Se debe hacer un estudio de idoneidad de aplicación de éste método según el tipo de orientación, pendiente, textura, etc., y en cuales de ellas existen evidencias de

colonias, variando el tratamiento en cada una de ellas, con lo cual se optimizarían los resultados.

- En los taludes excesivamente verticales y con superficies muy pulidas, es adecuado aplicar algún método de alteración mecánica de la roca, que provoque superficies de discontinuidad que aumenten la porosidad de la roca; favoreciendo de esta forma la colonización del talud.

5. PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DE LAS CANTERAS DE LA LADERA SEPTENTRIONAL DE LA SIERRA (FRENTE FONTCALENT - PAVASAL).

Dado el estado en que ha quedado el frente de cantera de la ladera septentrional de Fontcalet tras los últimos años de explotación (Figura 3) es inviable una restauración tradicional mediante el relleno de los bancos, pues por sus características geométricas se tendrían que generar pendientes artificiales con un ángulo muy elevado.

El problema planteado es doble, por una parte los terraplenes o pedraplenes a construir deben cumplir con unos requisitos de compactación y/o granulometría, que garanticen la estabilidad de la pendiente generada, lo cual es inviable económicamente en este tipo de actuaciones. Por otra parte, no se puede obviar la situación climatológica de la zona objeto de estudio, donde, sobre todo en otoño, se producen precipitaciones de gran intensidad y corta duración que en pocos años erosionarían la pendiente artificial, dejando al descubierto, de nuevo, la roca.



Figura 3. Vista general del frente Fontcalet (ladera septentrional).

La geometría del frente se podría modificar retranqueando los bancos actuales hacia el interior de la sierra, consiguiendo una pendiente adecuada, que permitiese adoptar la solución anterior, pero ello llevaría consigo la práctica destrucción de la cresta que forma la barrera visual de protección que impide ver estas canteras desde la ciudad de Alicante, así como los enclaves de

interés geológico de la zona superior de la sierra.

Por estas razones, se aporta una solución que está en equilibrio con la protección de las zonas de interés didáctico y al mismo tiempo disminuye el impacto visual sobre esta ladera. Se trata de la creación de un vertedero de escombros junto con la conservación de los enclaves de interés para la docencia de la Geología y la Ingeniería Geológica, mediante las siguientes actuaciones (Figura 4):

- Reinstauración de la cubierta vegetal en las bermas superiores, excepto en aquellas que impidan la correcta observación de los puntos de interés docente.
- Saneado de los frentes de cantera con peligro de desprendimientos, y/o ejecución de anclajes o bulones.
- Construcción de las vías necesarias para acceder a los puntos de observación de los enclaves geológicos.
- Relleno parcial del hueco generado por la explotación minera, generando unas pendientes suaves.
- Dotación de las infraestructuras mínimas para el comienzo del funcionamiento del vertedero.
- Reinstauración de la vegetación en el vertedero al final de su vida útil.

La explotación de las canteras ha puesto de manifiesto determinadas estructuras tectónicas de la sierra de Fontcalent, así como una mejor observación de la secuencia estratigráfica, ambas de gran valor científico. Con vista a los trabajos de restauración que en su día se acometan, es conveniente que al menos en dos de estos afloramientos, no se modifique su estado físico actual. Se trataría por tanto, de que no se viesen afectados por la actividad restauradora y que permanecieran tal y como la actividad minera los dejó. En el primero de los casos se trata de unas estructuras tectónicas de gran interés y en el segundo caso de la secuencia Jurásica, especialmente de los niveles correspondientes al Oxfordiense, y de la propia estructura general de la sierra.

Además, y también debido a la actividad minera, se producen diversas tipologías de inestabilidades (vuelcos, roturas planas, pandeos de estratos y caídas de bloques) del macizo rocoso, que son de interés para la docencia de diversas áreas de conocimiento de la Ingeniería Geológica. Al mismo tiempo, y con la misma finalidad, se propone el bulonado y el anclaje de las zonas de mayor susceptibilidad de inestabilidades. El interés didáctico de esta zona queda reforzado por la cercanía al campus universitario de Sant Vicent del Raspeig.

Por otra parte, la regeneración parcial de la morfología de esta ladera pretende dar solución a un grave problema medioambiental del entorno metropolitano de Alicante consistente en la falta de vertederos para residuos procedentes de la actividad constructora. El volumen de escombros aproximado, necesario para regenerar esta ladera

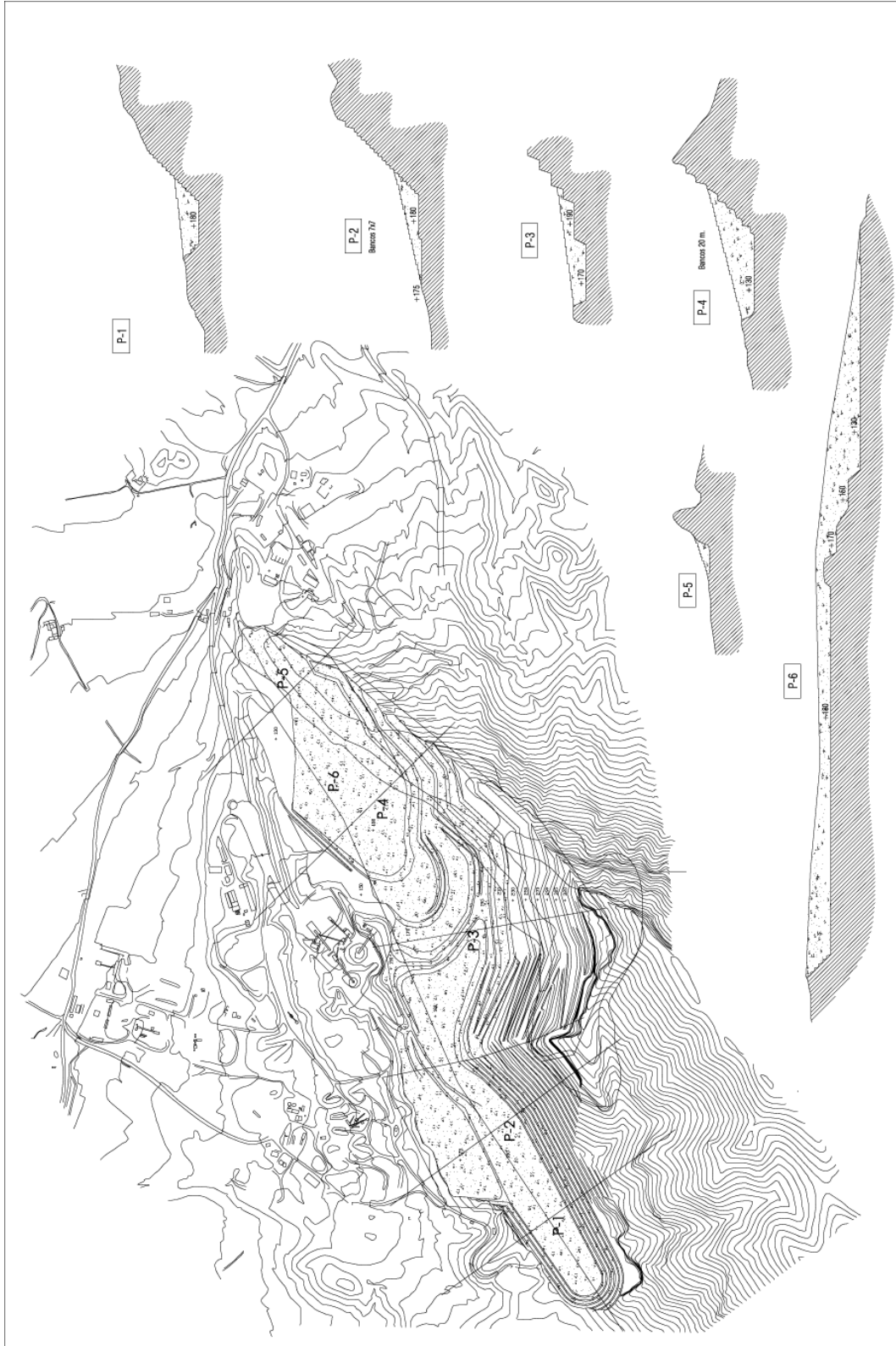


Figura 4. Plano general de las actuaciones de restauración en la ladera septentrional. Escala 1:10.000

es de 4.931.489 m³, que de haberse mantenido el ritmo de la actividad constructora de años anteriores, se hubiese completado en 5 años.

6. CONCLUSIONES

Dado el tipo de explotación al que ha sido sometido la sierra, la restauración paisajística es compleja, siendo prácticamente imposible la regeneración de las laderas con una morfología similar a la preexistente antes de las actuaciones extractivas. Las soluciones aquí propuestas, pretenden integrar los escarpes rocosos debidos a la acción antrópica, bien mediante técnicas de bioalteración inducida o bien sin ninguna actuación especial, dado el gran valor científico que tienen. Al mismo tiempo y para conseguir una restauración parcial de la morfología inicial de las laderas, mediante el relleno con material inerte proveniente de la actividad constructora, se da solución a un grave problema medioambiental del entorno metropolitano de Alicante: los vertederos ilegales.

REFERENCIAS

- Cano, M., 2003. Consideraciones acerca de la sierra de Fontcalet y sus canteras. Actuaciones puntuales en su restauración. Proyecto final de carrera de Ingeniería Geológica, Universidad de Alicante.
- Conesa, V., 1997. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Gomis, C., De La Torre, A. Vicedo, M. y Alonso, M. A. Estudio del medio físico-biológico en las sierras de Fontcalet y Mitjana, sitas en el término municipal de Alicante. Reubicación del hito.
- Monzó, J.C., 1999. Bioalteración y oscurecimiento natural en rocas carbonáticas: ensayo de aplicación en la restauración de canteras (Vinalopó Mitjà, Alacant)". Tesis de Licenciatura, Universidad de Alicante.
- Romana, M., (1985). New adjustment ratings for applications of Bieniawski classification to slopes, Int. Sym. On the role of rock mechanics, 49-53. Zacatecas.