

TEMA 9.- HUNDIMIENTOS MINEROS.

9.1. Introducción.

El titular de una explotación subterránea es responsable de las repercusiones que la actividad minera pueda producir en edificaciones, infraestructuras, etc. situadas en superficie. Los hundimientos y sus repercusiones en superficie dependen de muchos factores: geometría de la explotación minera, profundidad de las labores, naturaleza de los terrenos atravesados, etc. Por eso, prever cuáles serán los efectos que va a provocar una futura explotación puede resultar muy complicado.

En cualquier caso, una vez producido un hundimiento será necesario cuantificarlo e intentar relacionarlo con los trabajos de interior para delimitar las responsabilidades y las correspondientes indemnizaciones, especialmente en zonas en las que existan varias explotaciones mineras próximas.

9.2. Naturaleza de los daños.

Los terrenos permeables suelen sufrir pocos efectos. En los poco o nada permeables se forman depresiones en las que pueden producirse inundaciones que los hacen inadecuados para la agricultura.

Las edificaciones muestran grietas que pueden ser importantes y provocar el derrumbamiento de techos y muros.

Las vías de comunicación pueden presentar variaciones importantes en su perfil longitudinal. Se producen movimientos y roturas de losas y pavimentos, así como alteraciones en los sistemas de drenaje. Los efectos pueden ser muy importantes en vías férreas.

Las canalizaciones pueden llegar a romperse o, en otros casos, ser movidas o empujadas fuera del suelo por compresión horizontal.

9.3. Movimientos del terreno debidos a una explotación subterránea.

Los movimientos en superficie, motivados por una explotación subterránea, pueden provocar problemas considerables, afectando a edificios e infraestructuras, creando depresiones donde se acumulan las aguas de aluvión o desecando los terrenos afectados.

Las repercusiones dependen de las condiciones de la explotación, de la profundidad y de las características geológicas de los terrenos afectados. En yacimientos estratificados, en capas de gran potencia o en el caso de rocas encajantes poco competentes, los efectos serán grandes; en capas de poca potencia, a gran profundidad o en el caso de rocas competentes, los efectos serán pequeños o nulos. Los movimientos pueden ser complejos y las zonas más críticas corresponden, en superficie, a los bordes del área afectada.

Supongamos una capa de carbón explotada por el método de hundimientos, en la que los huecos creados por la explotación se rellenan con materiales desprendidos del techo de la capa. Si el esponjamiento de los materiales desprendidos es de 1,4, el hueco que producen será igual al vacío inicial dividido por este valor. El nuevo hueco se rellenará, a su vez, con nuevos materiales desprendidos, siguiendo esta misma regla. El hundimiento irá progresando, de manera que el volumen total de terreno desprendido será la suma de los términos de una progresión geométrica decreciente e ilimitada, cuyo primer término es el hueco inicial y donde la razón de decrecimiento es la relación 1/1,4.

La zona hundida tendrá una forma irregular, que podemos asimilar a la de una pirámide cuya base será el hueco inicial. Si las labores subterráneas se encuentran a una profundidad h inferior a la altura de esta pirámide, el hundimiento se declarará en superficie bruscamente, con una forma parecida a la de un cono invertido.

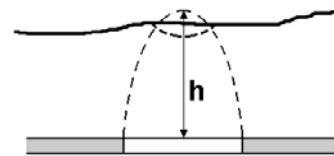


Fig. 9.1. Forma de la zona hundida (1)

Si las labores se encuentran a una profundidad superior a h el hundimiento se manifestará en forma de artesa $abcd$. Si la altura es grande los efectos pueden tardar varios años en manifestarse. El hundimiento irá progresando con el tiempo y la artesa irá creciendo en profundidad y extensión hasta que se restablezca el equilibrio de los terrenos afectados. Las zonas críticas corresponden, precisamente, a los bordes de la artesa, en los que los terrenos pueden perder la horizontalidad y los efectos sobre las construcciones situadas en superficie serán máximos.

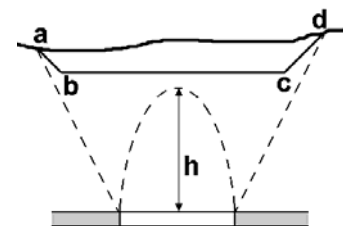


Fig. 9.2. Forma de la zona hundida (2)

La zona afectada por el hundimiento tendrá una superficie mayor que la proyección horizontal de la labor minera que lo provoca. Aparecerán efectos de tracción (desgarramiento) hacia los bordes de la zona y efectos de compresión en su parte central. Las rectas que unen los puntos del límite de la labor con los

correspondientes del límite de la zona afectada forman, con un plano horizontal, el llamado *ángulo límite*. Las rectas que unen los puntos límite de la explotación con aquellos de la superficie en que se producen los máximos efectos por desgarramiento forman, con un plano horizontal, el llamado *ángulo de fractura*.

Las características del hundimiento van a depender de la profundidad de la labor y del valor del ángulo límite. Si al llevar los ángulos límite desde los extremos de nuestra labor hacia el interior de la zona afectada las rectas correspondientes se cortan por debajo de la superficie del terreno, nos encontramos en el caso de la figura adjunta. En los bordes de la zona afectada dominan los efectos de desgarramiento, mientras que en el interior dominan los de compresión y algunos movimientos laterales.

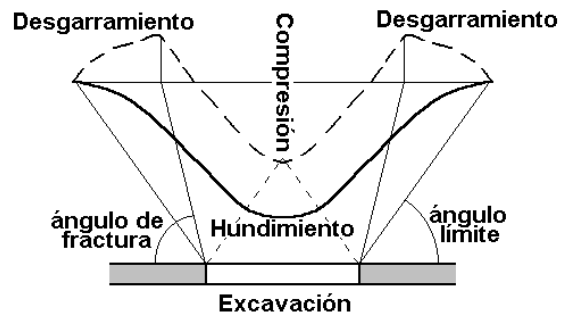


Fig. 9.3. Características del hundimiento (1)

Si las rectas se cortan justo en la superficie del terreno, se tendrá una cubeta de hundimiento con efectos de desgarramiento similares a los del caso anterior pero con una zona central mayor y en la que se darán efectos de compresión menos acusados.

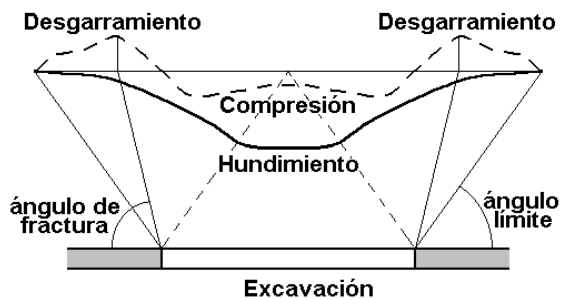


Fig. 9.4. Características del hundimiento (2)

Cuando las rectas se cortan por encima de la superficie del terreno, los efectos de desgarramiento y compresión se limitarán a los bordes de la zona afectada, mientras que la zona central sufrirá un hundimiento uniforme y no se verá sometida a movimientos laterales.

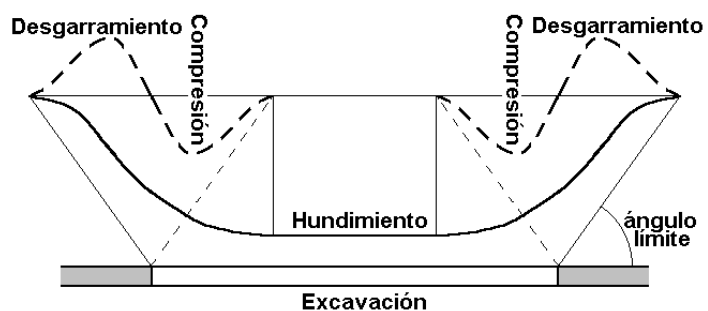


Fig. 9.5. Características del hundimiento (3)

Las observaciones realizadas en hundimientos mineros confirman que las deformaciones producidas tienen un comportamiento similar al de un material deformable sometido a cargas. Aunque los valores obtenidos en cada

caso dependerán de las condiciones particulares del mismo, la forma de estos diagramas de deformación es siempre la misma.

Si representamos en el eje vertical las deformaciones producidas y en el horizontal el tiempo transcurrido hasta que se produce la deformación, obtendremos un diagrama similar al de la figura. La curva presenta una asíntota horizontal que corresponde al hundimiento máximo y, por tanto, al restablecimiento del equilibrio en los terrenos.

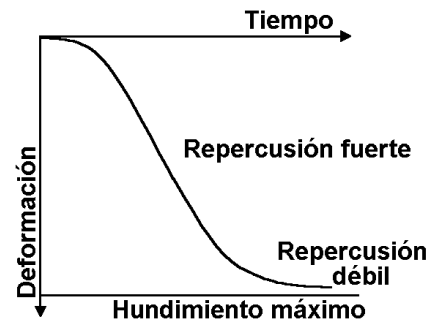


Fig. 9.6. Deformaciones / tiempo

Al principio, durante un periodo que puede alcanzar varios meses, los movimientos son imperceptibles. A continuación aparece un periodo de repercusión fuerte, que puede durar varios años. Le sigue un periodo de débil repercusión que puede llegar a durar centenares de años, hasta que el hundimiento alcanza su forma definitiva. La forma en que evolucionan los hundimientos con el tiempo ha de tenerse en cuenta a la hora de reparar los daños causados en superficie, ya que, en tanto no se alcance la fase de débil repercusión, pueden seguir produciéndose efectos.

9.4. Cálculo de hundimientos y macizos de protección.

Muchas empresas mineras han desarrollado métodos empíricos para prever los efectos de los hundimientos mineros. Estos métodos están basados en la experiencia y pueden proporcionar buenas estimaciones, a condición de que se apliquen en condiciones similares a aquellas para los que fueron desarrollados. Por desgracia, como hemos visto, los efectos de los hundimientos dependen, en gran medida, de estas condiciones. La existencia de discontinuidades geológicas, además, puede invalidar los resultados de cualquiera de estos métodos.

También se han propuesto métodos analíticos, a partir del desarrollo de la Mecánica de Rocas, en los que no entramos por no ser objeto de esta materia.

Robert Taton, en su libro *Topografía Subterránea*, proponía un método empírico de cálculo que denomina *método de trazado teórico*. El autor supone que la zona afectada corresponderá, aproximadamente, a la forma de una pirámide invertida. Desde los extremos de la labor minera se trazan unos planos con una inclinación de 30° , respecto a la vertical, para los terrenos

primarios y de 45° para los terrenos recientes. La intersección de estos planos con el terreno nos determinará la posible área de influencia del hundimiento. El efecto máximo en superficie puede calcularse mediante la expresión:

$$d = \frac{k a p}{\cos i}$$

donde i es la inclinación de la labor respecto a la horizontal, k es un coeficiente variable de 0 a 1 según la profundidad, a es un coeficiente de reducción de las capas y p es la potencia de las mismas.

Luis Fernández, en su libro *Topografía Minera*, propone un método contrastado por su experiencia en la empresa Duro-Felguera. Se basa en una tabla en la que se entra con la inclinación i de la labor respecto a la horizontal y se obtienen los valores de los ángulos límites A y B .

Inclinación i	A	B
0°	70°00'	70°00'
10°	72°30'	67°30'
20°	74°45'	65°15'
30°	77°00'	63°00'
40°	78°45'	61°15'
50°	79°45'	60°15'
60°	79°30'	60°30'
70°	78°00'	62°00'
80°	74°45'	65°15'
90°	70°00'	70°00'

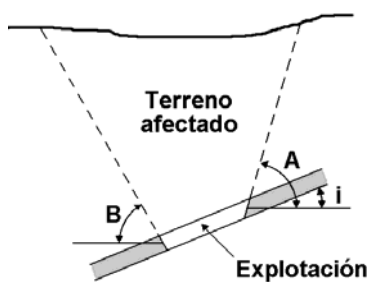


Fig. 9.7. Zona de influencia (ángulos límite)

La zona de influencia se determina teniendo en cuenta que A es el ángulo límite que corresponde al punto más alto de la explotación y B el que corresponde al punto más bajo. Estos valores se trazan sobre secciones verticales del yacimiento, tal como se muestra en la figura, y nos permitirán prever la zona afectada por nuestra explotación o si un determinado punto de la superficie está situado dentro de esta zona.

El mismo método puede emplearse para determinar el macizo de protección (parte del yacimiento que se deja sin explotar) para evitar efectos en determinadas zonas de la superficie que

La zona de influencia se determina teniendo en cuenta que A es el ángulo límite que corresponde al punto más alto de la explotación y B el que corresponde al punto más bajo. Estos valores se trazan sobre secciones verticales del yacimiento, tal como se muestra en la figura, y nos permitirán prever la zona afectada por nuestra explotación o si un determinado punto de la superficie está situado dentro de esta zona.



Fig. 9.8. Macizo de protección

se desea proteger. Como antes, lo aplicaremos gráficamente sobre secciones verticales del yacimiento.

9.5. Control topográfico de hundimientos mineros.

El seguimiento topográfico de las deformaciones puede hacerse a partir de puntos materializados en el terreno y cuyas coordenadas X, Y y Z se han medido con la máxima precisión. Estos puntos se marcan y se miden antes de que comience la explotación y deben situarse fuera del área de influencia de la misma. A partir de esos puntos se miden las coordenadas de una serie de referencias fijas, situadas dentro de la posible zona de influencia. La coordenada Z es especialmente importante, por lo que conviene determinarla a partir de nivelaciones geométricas de precisión. La medición se puede repetir con cierta frecuencia, para detectar si se han producido movimientos.

Si empiezan a manifestarse los efectos de un hundimiento, se repetirán las mediciones con mayor frecuencia y siempre apoyándonos en los puntos exteriores, que no sufrirán deformación. Podemos determinar así, y trazar, las curvas de igual hundimiento, que nos determinarán los límites del área afectada y las zonas de mayor deformación.

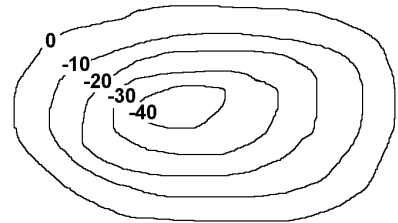


Fig. 9.9. Control topográfico (1)

Es importante realizar un control de deformaciones en el interior de las labores para intentar correlacionar los movimientos exteriores con los de interior. Existe, además de los métodos topográficos, una gran variedad de técnicas para controlar las deformaciones en techos, muros y columnas.

Si se sospecha que puedan superponerse los efectos de dos explotaciones mineras próximas, conviene trazar conjuntamente las curvas de igual deformación correspondientes a ambas explotaciones. Las zonas que se sitúan en la intersección de los dos sistemas de curvas estarían afectadas por ambas explotaciones y la responsabilidad de los daños producidos en esas zonas debe compartirse.

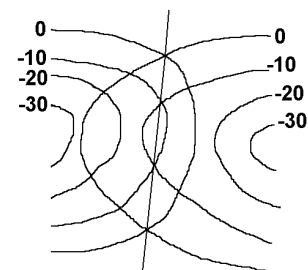


Fig. 9.10. Control topográfico (2)