



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

**Estado actual de la tecnología de la carga mecanizada de voladuras**  
**Unidades Móviles de Mezcla (“Mobile Mixing Units” -“MMU’s”-)**

**Eugenio Muñiz Hevia<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero de Minas. Consultor de Explosivos. [emuniz@pronobel.com](mailto:emuniz@pronobel.com)

**1. Resumen**

Con la aparición de los explosivos tipo Anfo y más recientemente, las emulsiones explosivas, se ha producido una importantísima transformación en la tecnología de la carga mecanizada de los barrenos, tanto en las grandes voladuras a cielo abierto como en las de tamaño más reducido, entre las que se encuentran las de las labores subterráneas, habiendo quedado reducido en muchos países el uso de los explosivos encartuchados convencionales a niveles testimoniales.

En este trabajo se describen los tipos de explosivos susceptibles de ser cargados a granel y los diferentes procedimientos de carga mecanizada de los barrenos, haciendo especial énfasis en las unidades MMU (“Mobile Mixing Units”), que permiten la mezcla de los ingredientes en el lugar de la voladura.

Con esta tecnología se evita la manipulación, transporte y carga de los barrenos con productos explosivos, ya que los ingredientes transportados son inertes (no explosivos) y solo se sensibiliza su mezcla, transformándose en explosivo, después de cargada en los barrenos.

Se evalúan las ventajas derivadas de esta modalidad de carga, que constituye el desarrollo más importante en la utilización de los explosivos industriales desde la época de Nobel.

Además se describe el procedimiento de carga mecanizada de barrenos SSE para voladuras de menor tamaño, como las de los trabajos subterráneos. En este caso se utilizan emulsiones, que también se sensibilizan después de cargadas en los barrenos, indicando sus ventajas con respecto al empleo de explosivos encartuchados.

**1.- Introducción**

La carga de los barrenos ha sido siempre una operación tediosa, no exenta de peligro, debido al riesgo de mecanizar la carga de los explosivos convencionales (encartuchados), por su elevada sensibilidad a los estímulos accidentales. Sin embargo, con la aparición de los explosivos a granel, primero el anfo y posteriormente las emulsiones, se han desarrollado diversos sistemas de carga mecanizada, simplificándose esta operación y reduciéndose el riesgo y el tiempo de carga. Además se aprovecha totalmente el volumen perforado consiguiendo un acoplamiento perfecto entre el explosivo y las paredes del barreno, lo que permite incrementar el rendimiento del explosivo en la fracturación de la roca.

A continuación se estudian las propiedades de los explosivos a granel y se describen los procedimientos de su carga mecanizada.



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

## **2.- Propiedades de los explosivos a granel**

### **2.1.- Anfo**

Es el primer explosivo a granel aparecido y el más utilizado en todo el mundo. Está constituido por una mezcla de nitrato amónico granulado poroso y aceite mineral en proporción estequiométrica.

Su elevada energía de explosión, más de 3.900 KJ/kg, así como del volumen de gases, 970 l/kg, explican las excelentes prestaciones de este explosivo. Si a esto se une su bajo coste y baja sensibilidad a los estímulos accidentales, que permite la mecanización de su carga, es fácil de comprender el rápido crecimiento de su consumo.

Sin embargo, su resistencia a la humedad es mala y su densidad baja, 0.8 g/cc, lo que le hace inapropiado para muchas aplicaciones, especialmente en arranques en roca dura y/o con agua.

### **2.2.- Hidrogeles**

Se desarrollaron para competir con el anfo y se caracterizan por contener agua en su composición. Son suspensiones acuosas en las que la fase continua está constituida por una solución acuosa saturada de sales oxidantes, principalmente nitrato amónico y la fase dispersa por combustibles sólidos y el resto de oxidantes no disueltos. Contienen además espesantes y agentes reticulantes que evitan la decantación de la fase dispersa. Su sensibilidad a los sistemas de iniciación se consigue mediante la adición de microesferas huecas de vidrio o bien de burbujas gaseosas finamente distribuidas en su masa, que actúan como puntos calientes en el proceso de detonación.

Estos productos se caracterizan por la elevada seguridad en su manipulación y por su resistencia a la humedad. Además su densidad, del orden de 1,18 g/cc, es bastante superior a la del anfo lo que permite la carga de barrenos con agua.

El efecto negativo del agua en la energía de explosión se compensa con el empleo de aluminio particulado como combustible, consiguiéndose valores del orden de 3.600 kJ/kg, cuando se utiliza este ingrediente. Su velocidad de detonación es del orden de 3.500-4500 m/s, lo que les confiere un buen poder rompedor.

Aunque los hidrogeles se desarrollaron para competir con el anfo, su empleo más generalizado ha sido como explosivo encartuchado, sustituyendo a las gomas.

En la actualidad, estos explosivos han sido prácticamente desplazados por las emulsiones.

### **2.3.- Emulsiones**

Las emulsiones también se caracterizan por contener agua en su composición. La fase dispersa está formada por gotas microscópicas de una solución acuosa saturada de oxidantes (principalmente nitrato amónico) y la fase continua por una película de aceite mineral que rodea a las gotas de solución de oxidantes. Además llevan un emulgente apropiado para estabilizar la emulsión. También se sensibilizan con microesferas huecas de vidrio o bien con burbujas gaseosas finamente



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)” ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

distribuidas en su masa, que actúan como puntos calientes en el proceso de detonación

Las emulsiones se caracterizan por su gran insensibilidad a los estímulos subsónicos mientras que mantienen una buena sensibilidad a los estímulos supersónicos (sistemas de iniciación), consiguiéndose que transmita la detonación en diámetros inferiores a 22 mm.

Su resistencia a la humedad es muy elevada, superior a la de los hidrogeles y gomas y su densidad, del orden de 1.25 g/cc, lo que las hace muy apropiadas para la carga de los barrenos con agua.

La energía de explosión de la emulsión matriz pura es relativamente baja, del orden de 2.800 KJ/kg, debido al efecto negativo del agua en el proceso de detonación. Sin embargo este efecto puede ser compensado con la adición de aluminio particulado o bien de otros componentes energéticos, con lo que la energía puede alcanzar valores de 4.500 kJ/kg.

La velocidad de detonación de la emulsión matriz es muy alta, del orden de 6000 m/s, contribuyendo a su gran poder rompedor.

Estas composiciones son bombeables y la elevada seguridad en su manipulación, superior a la del anfo e hidrogeles, posibilita la mecanización de la carga a granel de los barrenos. Su menor energía de explosión por unidad de peso de la emulsión matriz con respecto al anfo queda sobradamente compensada por su mayor densidad y poder rompedor, lo que permite que el efecto rompedor por unidad de volumen, es decir, por metro de barreno perforado, sea más elevado. lo que se traduce en una ampliación del esquema de voladura. Esto unido a su excelente resistencia al agua ha convertido a las emulsiones a granel en un explosivo de uso creciente en todo el mundo.

### 2.4.- Mezclas anfo-emulsión

Una de las propiedades más importantes de las emulsiones es la de mezclarse con el anfo en todas las proporciones, obteniéndose una serie de productos cuyas propiedades varían desde las del anfo a las de la emulsión matriz, en función de la proporción de ambos ingredientes.

Al rellenar la emulsión los intersticios de los granos de anfo, se obtienen productos de densidad creciente a medida que aumenta el contenido en emulsión, hasta un máximo próximo a 1.30 g/cc, correspondiente a un contenido de emulsión del 50 %.

Las mezclas se insensibilizan al aumentar el contenido en emulsión de tal forma que a partir del 50 % precisan la adición agentes sensibilizadores, normalmente microesferas huecas de vidrio o gasificación, para su sensibilización, lo que reduce su densidad, tal como se observa en la Figura 1.

A medida que se incrementa el contenido en emulsión aumenta la resistencia al agua, al recubrir la emulsión los granos de nitrato amónico del anfo. Cuando el contenido en emulsión supera el 60 % los productos obtenidos son tan resistentes al agua como las emulsiones puras.

En la Figura 1 se indica la energía por unidad de peso de estas mezclas, que como era de prever, disminuye con respecto al anfo al aumentar la proporción de emulsión, debido al bajo calor de explosión de la emulsión matriz. Sin embargo, la



## 2ª Jornada de ANEIX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIX [www.aneix.org](http://www.aneix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

energía por unidad de volumen, que es lo verdaderamente importante, aumenta hasta llegar a un máximo que se corresponde con el 50 % de emulsión.

Al superar el contenido de emulsión esta proporción, empieza a disminuir ligeramente la energía por unidad de volumen debido a la disminución de la densidad a que se ha hecho referencia anteriormente, de donde se desprende que las mezclas de anfo y emulsión con mayor contenido energético por unidad de volumen son las que se corresponden con un contenido de emulsión del 40-50%.

Las mezclas de anfo-emulsión con contenido en emulsión inferior al 50 % tienen un aspecto similar al anfo por lo que son conocidas como **anfo-denso**. Aunque su resistencia a la humedad aumenta con el contenido de emulsión, todavía es débil por lo que no pueden emplearse en barrenos con agua.

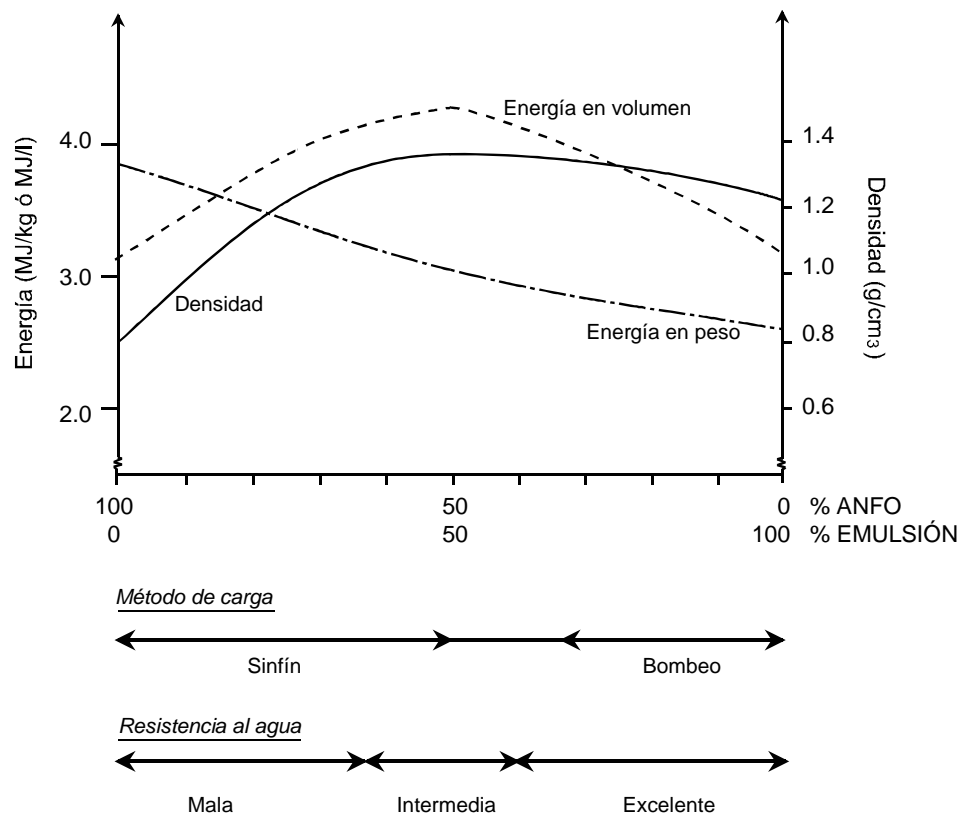


Figura 1. Potencia y densidad de las mezclas anfo-emulsión

Cuando el contenido en emulsión supera al 60 % el aspecto de estas mezclas es el de una emulsión, por lo que estos productos reciben el nombre de **emulsiones**. Son bombeables y como veremos más adelante pueden cargarse en los barrenos mediante sistemas provistos de bombas especiales.

En cuanto al costo de estos productos puede decirse que aumenta con el contenido en emulsión, pudiendo suponer para una composición con un 40 % de emulsión matriz un precio ligeramente superior al del anfo.

Por consiguiente lo más aconsejable sería utilizar un anfo denso con el 40-50 % de emulsión para la carga de barrenos secos reservando las emulsiones para los barrenos que contengan agua.



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012

### “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

**ANEIEX** [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

Otra conclusión importante es que desde el punto de vista de eficacia en el arranque de la roca, es más favorable la utilización de una emulsión con un contenido en emulsión matriz del 65-70 %, que otra del 80 %, con la ventaja adicional de su menor coste, lo que como se verá más adelante, es una ventaja adicional de las emulsiones cargadas con unidades MMU.

### 3.- Sistemas de carga mecanizada de explosivos a granel

#### 3.1- Cargadoras neumáticas

Fueron las primeras utilizadas para la carga mecanizada del anfo.

Constan de un recipiente a presión de acero inoxidable con la parte inferior troncocónica en cuyo vértice está acoplada la manguera de carga de los barrenos.

El anfo se introduce por la boca de carga que se cierra una vez lleno el recipiente mediante una tapa, favoreciendo la hermeticidad la presión interior del recipiente, que es de 1,5 – 3 kg/cm<sup>2</sup>.

Mediante una toma auxiliar de aire se puede soplar el explosivo, que es impulsado por la manguera incrementando su velocidad, permitiendo la carga de barrenos horizontales e incluso ascendentes, lo que las hace muy apropiadas para labores de interior. La presión del aire de soplado es de 2 a 3,5 kg/cm<sup>2</sup>.

La longitud de la manguera puede llegar a ser de hasta 50 m permitiendo la carga de un gran número de barrenos desde un el mismo emplazamiento, incluyendo barrenos situados en cotas 40m más altas que el lugar de emplazamiento de la cargadora. La capacidad de carga suele variar entre 30 y 130 kg/min, en función del diámetro interior de la manguera y de su longitud.

Durante el proceso de carga se produce electricidad estática y para su disipación es necesario que el material de la manguera sea semiconductor. Además la cargadora debe estar conectada a tierra.

Normalmente el tamaño del recipiente varía entre 100 y 1000 l. Para facilitar su desplazamiento los modelos pequeños van sobre ruedas y los más grandes sobre vehículos autopropulsados.

En las figuras 2 y 3 se han representado cargadoras sobre ruedas y sobre vehículo.

La capacidad de los camiones puede ser de hasta 12 T de anfo. En este caso la longitud de las mangueras puede llegar a ser de 80 m.

Con este tipo de cargadoras puede producirse el apelmazamiento del anfo en la parte inferior del recipiente que en muchas ocasiones suele deshacerse golpeando el depósito. Para evitar este inconveniente se han desarrollado cargadoras de lecho fluido, representadas en la figura 4, de manejo más eficiente y con dos salidas de producto.



2ª Jornada de ANEIX 27-Abril-2012  
“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIX [www.aneix.org](http://www.aneix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)



Figura 2. Cargadora neumática de anfo, sobre ruedas

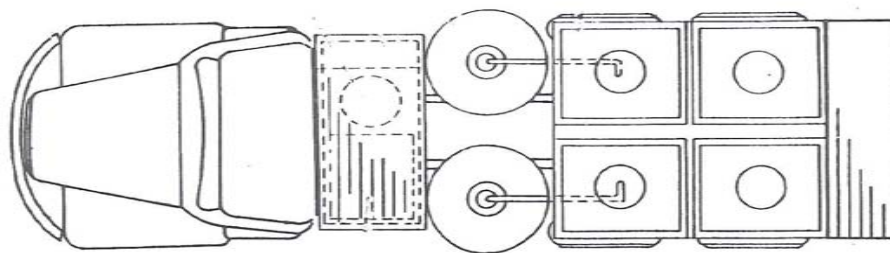
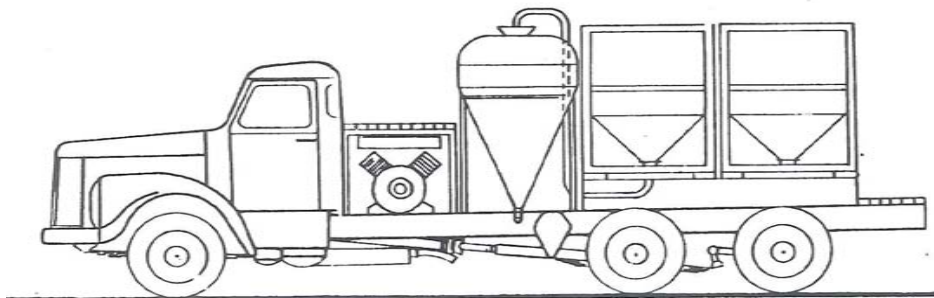


Figura 3. Sistema de carga neumática de anfo, sobre camión



2ª Jornada de ANEIX 27-Abril-2012  
“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”  
ANEIX [www.aneix.org](http://www.aneix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

**CARGADORA DE ANFO DE LECHO FLUIDO**

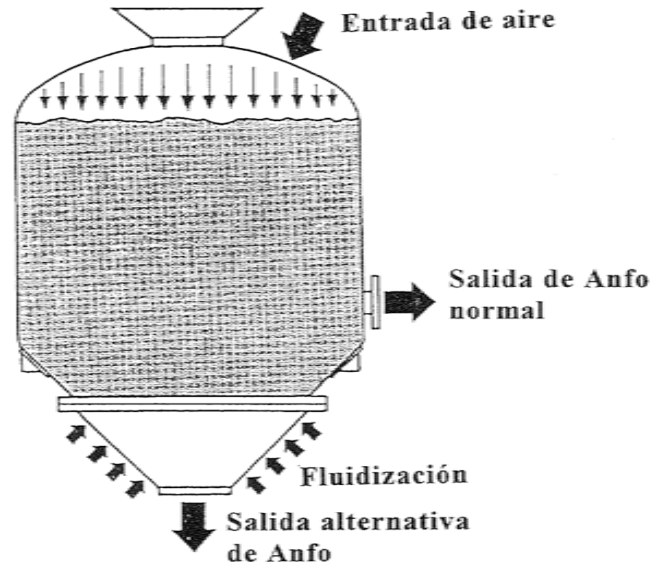


Figura 4. Cargadora de anfo de lecho fluido

**3.2.- Camiones cargadores de husillos**

Son los más utilizados actualmente para la carga a granel del anfo en barrenos de gran diámetro. Constan de una tolva metálica en forma de V, provista de un husillo longitudinal en su parte inferior que arrastra el producto hacia uno de los extremos, alimentando a un husillo vertical, que descarga a su vez en otro horizontal superior que gira 360° alrededor del camión. La Figura 5 representa el esquema de un camión de este tipo.

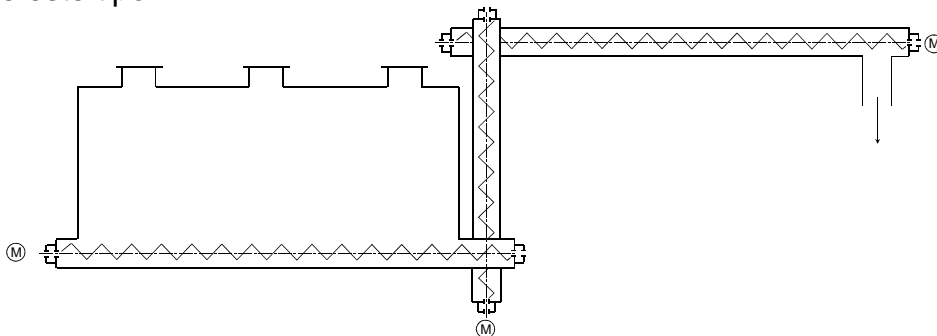


Figura 5. Husillos de carga de un camión cargador de anfo, con brazo de carga superior.

Los barrenos se cargan por gravedad desde el husillo horizontal superior por medio de una manguera flexible, como muestra la Figura 6. El husillo vertical puede estar colocado en la parte anterior o posterior de la tolva.



2ª Jornada de ANEIX 27-Abril-2012  
“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIX [www.aneix.org](http://www.aneix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

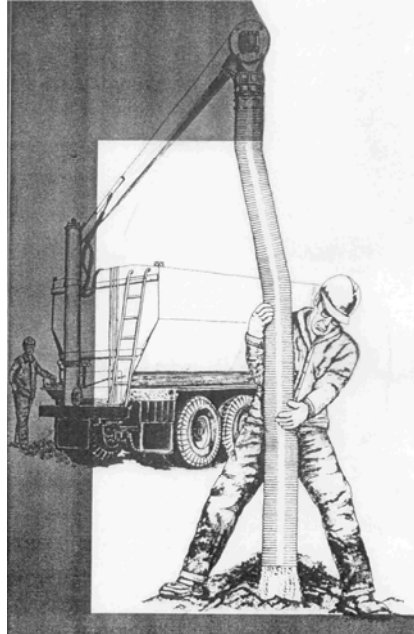


Figura 6. Carga de anfo desde camión con husillo superior.

El husillo horizontal de carga también puede estar colocado en uno de los laterales (Figura 7), en cuyo caso solo puede girar unos 170°.  
La Figura 8 muestra un camión de anfo con husillo de carga superior.

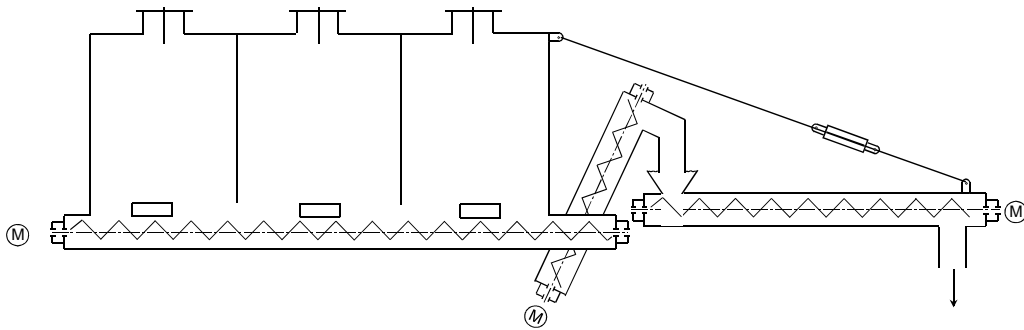


Figura 7. Camión de anfo con disposición lateral del husillo de carga.





## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)



Figura 8. Camión de anfo con husillo de carga superior

Estos camiones se pueden adaptar muy fácilmente para la fabricación de anfo in-situ, acoplando una bomba dosificadora de gasóleo que lo inyecta en la parte inferior del husillo vertical (o inclinado). El vehículo dispone de una central hidráulica que acciona los motores de las bombas y husillos. El control de la carga se verifica contando las vueltas del husillo de arrastre y la capacidad de carga de estos camiones es de 200 a 400 kg de anfo por minuto.

### 3.2.- Camiones de carga de anfo denso

Los camiones cargadores de anfo, descritos anteriormente, no son aptos para la carga de mezclas de anfo denso, pues a partir del 15 % de emulsión estos productos no fluyen bien, por lo que no pueden ser desplazados por el husillo de arrastre.

La única forma de cargar mecánicamente estas composiciones es mezclando in situ el anfo (o nitrato amónico) con la emulsión matriz.

Para ello el vehículo (Figura 9) dispone de dos compartimentos, uno para la emulsión matriz y el otro para el anfo (o nitrato amónico). El arrastre del anfo se produce con husillos, igual que en los camiones cargadores de anfo, mientras que la emulsión se bombea a la parte anterior del husillo horizontal de carga, mezclándose ambos productos en la proporción deseada.

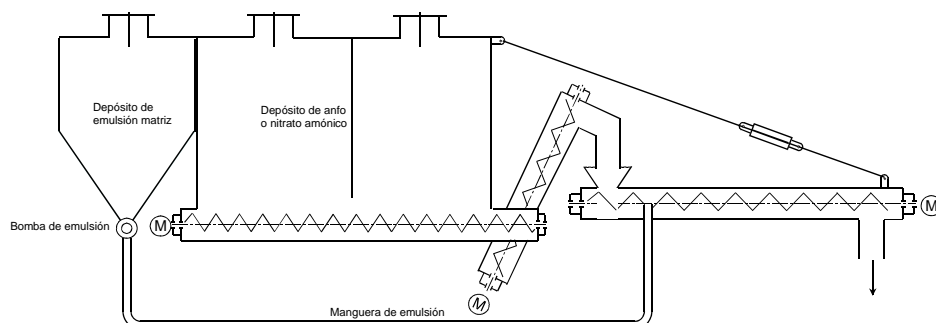


Figura 9. Esquema de camión cargador de anfo denso.  
La Figura 10 muestra una unidad de carga de anfo denso.



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)



Figura 10. Camión para mezclado de anfo denso. El compartimento anterior del remolque contiene emulsión y el posterior anfo o nitrato amónico.

Con estos vehículos se puede elegir el tipo de mezcla más adecuada en el momento de la carga, optimizándose el resultado de la voladura al permitir la carga de fondo de un barreno con una composición con mayor densidad y poder rompedor que la utilizada para la carga de columna.

Todos los motores son hidráulicos y el vehículo está provisto de un panel que permite controlar la proporción de los componentes y la cantidad de producto cargado al barreno. La capacidad de carga de estos vehículos es de 200 a 400 kg por minuto.

Desafortunadamente, este tipo de carga no está autorizada en España, al no contemplar el Reglamento de Explosivos, la mezcla de los componentes in-situ, por lo que el anfo denso a granel nunca ha podido ser utilizado en nuestro país.

Por consiguiente, las explotaciones de arranque españolas no han podido beneficiarse hasta ahora de esta importante tecnología, tan extensamente utilizada en el resto del mundo, **sin razón de peso alguna**, ya que el control de estas operaciones, desde el punto de vista de la seguridad de orden público, sería el mismo que con las unidades de carga mecanizada de anfo fabricado en plantas fijas, utilizadas actualmente.

### 3.3.- Camiones de carga de emulsiones

Estos camiones constan de un depósito con un husillo en su parte inferior que alimenta a una bomba, que por medio de una manguera retráctil carga los barrenos (Figura 11).



2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012  
“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”  
ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

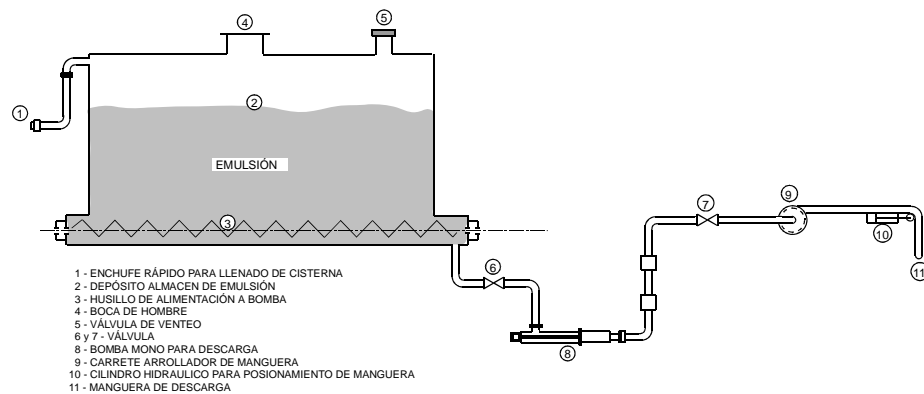


Figura 11. Esquema de camión cargador de emulsiones.

La longitud de la manguera, de unos 40 m, permite la carga de un gran número de barrenos desde un determinado emplazamiento del camión. Además es posible la carga de barrenos horizontales e inclinados y de barrenos de difícil acceso para el camión e incluso en cotas superiores al del emplazamiento, todo lo cual constituye una importante ventaja con respecto a los camiones cargadores de husillo (de anfo y anfo denso). El accionamiento de los motores es hidráulico y los vehículos están dotados de un panel con los mandos y dispositivos de control necesarios para la operación.

Su capacidad de carga es de 180-200 kg/minuto. Aunque inferior a la de los camiones de husillo, esta desventaja se compensa por el menor número de emplazamientos del camión para la carga de los barrenos.

La carga de los barrenos con agua se realiza introduciendo la manguera hasta el fondo, moviéndose hacia arriba a medida que se llena el barreno de explosivo. De esta forma la emulsión desplaza al agua evitándose discontinuidades en la carga explosiva, lo que asegura el buen resultado de las voladuras.

Estos camiones, además de emulsión pura, también pueden cargar mezclas de anfo y emulsión matriz, con contenido de esta superior al 80 %, por ser bombeables. Estas mezclas han sustituido a las emulsiones puras por tener mejores prestaciones, tal como se indica en la Figura 1, y un menor coste.

El anfo se sustituye normalmente por nitrato amónico (NA), ajustándose el balance de oxígeno con un mayor contenido de aceite mineral en la emulsión.

Debido a la gran insensibilidad de la emulsión matriz y al elevado contenido de este ingrediente, es preciso añadir a estas mezclas un agente sensibilizador, normalmente microesferas huecas de vidrio, por lo que su densidad y energía por unidad de volumen disminuyen con el contenido de emulsión, además de incrementarse su costo.

Estas composiciones se preparan y sensibilizan en pequeñas instalaciones (plantas satélites), próximas a los lugares de consumo, donde se mezcla la emulsión matriz con el nitrato amónico y microesferas. Las mezclas así preparadas se transportan y bombean a los barrenos con los camiones cargadores que hemos descrito.

Este es el procedimiento de carga mecanizada a granel de emulsiones utilizado en España.

Un inconveniente importante de este sistema, es que se transportan y bombean productos explosivos **previamente sensibilizados**, susceptibles por consiguiente de



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012

### “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

**ANEIEX** [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

detonar accidentalmente en el transporte y en su manipulación durante el proceso de bombeo a los barrenos.

Debido a esta circunstancia, el transporte a granel de estos explosivos sensibilizados no está aceptado por el Acuerdo Europeo para el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR) **y está prohibido en muchos países.**

Este problema se podría evitar sensibilizando la emulsión mediante gasificación química durante el proceso de carga de los barrenos, que como se verá más adelante requiere algunos minutos, por lo que la emulsión no se sensibilizaría hasta después de cargado el barreno.

Otro inconveniente es su falta de flexibilidad, que únicamente llevan un solo producto, siendo imposible la carga selectiva de los barrenos o de cualquier cambio de composición durante la carga.

#### 4.- Unidades Móviles de Mezcla

##### 4.1.- Unidades móviles mezcladoras

Esta tecnología, desarrollada en EEUU en la década de los 90, permite la mezcla de los componentes (nitrato amónico y emulsión matriz) en Unidades Móviles de Mezcla (MMU's). Al no estar catalogada la emulsión matriz como explosivo, ninguno de los productos transportados en los camiones son explosivos, produciéndose la sensibilización de la mezcla final después de haber sido cargada al barreno.

La configuración de los vehículos utilizados para esta operación está indicada en la Figura 12. Al igual que en el caso de los camiones cargadores de anfo denso, los vehículos están dotados de dos compartimentos, uno para el nitrato amónico y otro para la emulsión matriz, con la diferencia de que ahora la proporción de emulsión es mucho mayor y el producto obtenido es bombeable. El nitrato amónico se dosifica y transporta por medio de un sistema de husillos similar al de los camiones de anfo y la emulsión matriz se dosifica y bombea a la parte anterior del husillo horizontal superior. En este husillo se mezclan ambos componentes en la proporción adecuada, descargando en un pequeño recipiente provisto de agitación mecánica, que alimenta a una bomba de desplazamiento positivo que impulsa el producto a través de la manguera retráctil de carga de los barrenos.

En el recipiente anteriormente indicado se añaden los agentes de la gasificación química que sensibiliza la composición. Esta reacción de gasificación, que se puede modular, se produce algunos minutos después de cargado el barreno, por lo que durante el proceso de carga el producto todavía no es explosivo.

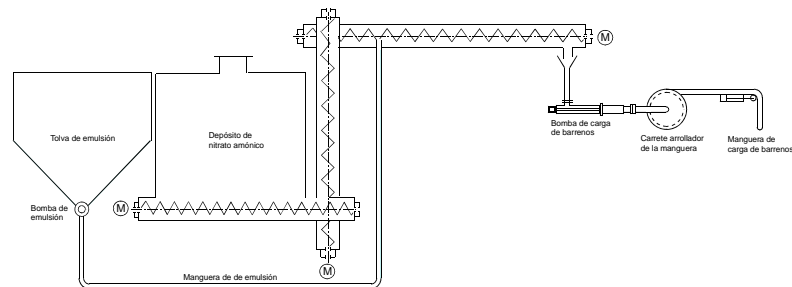
Con este procedimiento se pueden obtener composiciones bombeables con sólo el 65 % de emulsión, lo cual supone una importante ventaja con respecto a las unidades descritas en el apartado anterior, que precisan el 80%.

La Figura 13 muestra una operación de carga con estos camiones.



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**

**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**



**Figura12. Esquema de camión mezclador de emulsiones.**



**Figura 13. Carga de barrenos con camión mezclador de emulsiones.**

Regulando la gasificación se pueden obtener composiciones de distinta densidad empleando las más densas para la carga de fondo y las de menor densidad para la carga de columna

Con este sistema se pueden cargar mezclas de anfo-emulsión de cualquier tipo, utilizando para las composiciones de anfo denso (con contenido en emulsión matriz inferior al 50 %) el sistema de carga de husillos.

**4.2.- Unidad móvil “Unibody”**

La capacidad de mezclado de las MMU anteriormente descritas para distintas composiciones de anfo-emulsión está condicionada por su diseño. Efectivamente, un camión diseñado para cargar emulsión del 70% con capacidad de 16.000 kg, solo podría llevar 6.700 kg de anfo denso con el 28% de emulsión matriz. Las cantidades para otras composiciones serían las indicadas en la siguiente tabla:

Anfo	5.140kg
Anfo denso del 28%	6.700 kg
Anfo denso del 49%	9.475 kg
Emulsión del 68%	16.000 kg
Emulsión del 100%	11.250 kg

Como puede observarse, las cantidades de anfo y anfo denso quedan bastante reducidas.



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

Para resolver este problema, Tread Corporation ha diseñado una unidad móvil de mezcla, denominada “**Unibody**”, con cuatro compartimentos, dos laterales, iguales, cada uno con capacidad del 20% del volumen total, y otros dos centrales, uno con el 20% y el otro con el 40%.

Los dos compartimentos laterales solo pueden contener nitrato amónico, pero los dos centrales son convertibles y pueden llevar nitrato amónico o bien emulsión matriz.

Estas unidades pueden configurarse de cinco maneras distintas para incrementar la cantidad de las distintas composiciones. Para una unidad con capacidad para 16.000 kg de emulsión del 70%, las cantidades para las distintas configuraciones son las siguientes:

Anfo	12.765 kg
Anfo denso del 28%	13.350 kg
Anfo denso del 49%	14.000 kg
Emulsión del 70%	16.000 kg
Emulsión del 100%	11.250 kg

lo que supone un aprovechamiento de la capacidad de carga del camión mucho mayor, para anfo y anfos densos, que en el caso anterior.

El cambio de configuración del vehículo solo requiere unas horas y no es necesario el uso de herramientas especiales.

Las cinco configuraciones están ilustradas en la Figura 14.

La Figura 15 representa una unidad Unibody. Como se aprecia las superficies de los compartimentos son curvas, en vez de planas, permitiendo aumentar su resistencia, disminuir su peso muerto y bajar el centro de gravedad.

La figura 16 representa un camión Unibody cargando anfo o anfo denso en una voladura.



2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012  
“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIEX [www.aneix.org](http://www.aneix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)



Todos los tanques llenos de NA



Tanque convertible pequeño lleno de emulsión. El resto de NA



Tanque convertible grande lleno de emulsión. El resto de NA



Los dos tanques convertibles llenos de emulsión. El resto de NA



Los dos tanques convertibles llenos de emulsión. Los dos laterales sin NA

Figura 14. Configuraciones del vehículo Unibody



Figura 15. Vista del vehículo Unibody



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

**ANEIEX** [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)



**Figura 16. Camión Unibody cargando anfo**

### 4.3.-Unidades móviles SME

Las unidades móviles descritas anteriormente mezclan NA con emulsión matriz, no explosiva, sensibilizando la mezcla en el lugar de las voladuras. Sin embargo Dyno Nobel (hoy Orica), ha desarrollado un procedimiento de mezcla integral a partir de los ingredientes de la emulsión, lo que comporta la formación de la propia emulsión matriz en el lugar de la voladura. El procedimiento conocido como SME (Site Mixed Emulsion), se utiliza profusamente en EE.UU., Canadá y en los países nórdicos y, por sus grandes ventajas, se está extendiendo al resto del mundo.

El equipo (Figura 17) está provisto de un depósito para aceite mineral, con el emulgente incorporado, y otro con la solución de oxidantes, que se dosifican y bombean a presión en un mezclador estático donde se forma la emulsión matriz. Esta emulsión pasa a un mezclador con agitación mecánica donde se mezcla con el resto de los ingredientes, principalmente con NA y agentes gasificantes. Además el sistema admite la adición de aluminio para obtener composiciones más enérgicas. El producto obtenido se bombea a los barrenos por medio de una manguera de carga retráctil.

Con este procedimiento solo se pueden mezclar composiciones bombeables, lo que requiere un contenido de emulsión superior al 65%.

Estos camiones pueden cargar barrenos a partir de 2" de diámetro. La capacidad de carga depende del diámetro de los barrenos y oscila entre 100 y 300 kg/min.

La longitud de la manguera de carga puede ser de hasta 150 m, lo que permite la carga de las voladuras con un solo emplazamiento del camión. Además se pueden cargar barrenos en cotas superiores al emplazamiento del vehículo, con diferencias de altura de hasta 40m. Esta unidad móvil puede ser operada por solo una persona, ya que la manguera está dotada de un sistema de retracción programable, en función del diámetro de los barrenos. Además se programa y





## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIEX [www.aneie.org](http://www.aneie.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

registra la profundidad de cada barreno, la cantidad de producto cargado y la longitud del barreno sin cargar.

Al igual que en los casos anteriores, la sensibilización del producto se produce por gasificación química, que se inicia en un intervalo de tiempo comprendido entre uno y tres minutos, lo que garantiza que este proceso no se produzca mientras el producto circula por la manguera.

Modulando la gasificación se pueden conseguir densidades comprendidas entre 0.5 y 1.25 g/cm<sup>3</sup>, pudiéndose cambiar la densidad durante la operación de carga de la voladura, lo que posibilita la carga selectiva de los barrenos, empleando una densidad elevada para la carga de fondo y otras más bajas para la carga de columna.

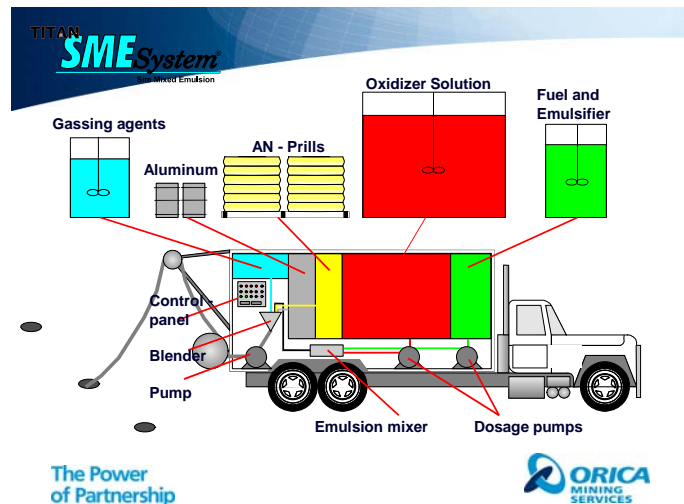


Figura 14. Unidad Móvil de Mezcla de emulsiones SME

### 4.4.-Unidades móviles de carga de emulsiones sensibilizadas in situ.

Por su gran tamaño, las unidades móviles de mezcla descritas anteriormente no son apropiadas para su utilización en voladuras de difícil acceso, tal como ocurre en la minería de interior, túneles y obras subterráneas.

Para su aplicación en estos trabajos, Orica ha desarrollado un procedimiento de carga de emulsiones con unidades móviles más pequeñas, conocido como SSE (“Site Sensitised Emulsion”), que permite la sensibilización in situ de una emulsión matriz.

La Figura 18 muestra un esquema de este sistema. Consta de un depósito que contiene la emulsión matriz, no explosiva, que es impulsada mediante una bomba hacia la manguera de carga. En este trayecto se le inyectan agentes gasificantes mediante una bomba dosificadora, homogenizando la emulsión con los agentes gasificantes antes de alcanzar la manguera de carga.

El proceso de gasificación se controla automáticamente y no se inicia mientras el producto circula por la manguera. Regulándolo se pueden obtener densidades que varían entre 0,5 y 1,25 g/cm<sup>3</sup>, lo que permite la carga selectiva de los barrenos y reducir la carga de los barrenos perimetrales en las voladuras en túnel.



## 2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012 “Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”

ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)

La capacidad del depósito de emulsión es de 800 kg y la capacidad de carga de los barrenos de 40 kg/min.

Dispone de dos líneas de carga, con mangueras dotadas de un sistema de retrotracción programable, con control remoto de la carga mediante supervisión automática.

Los parámetros de la carga de los barrenos y el consumo de explosivos se registran en un ordenador.

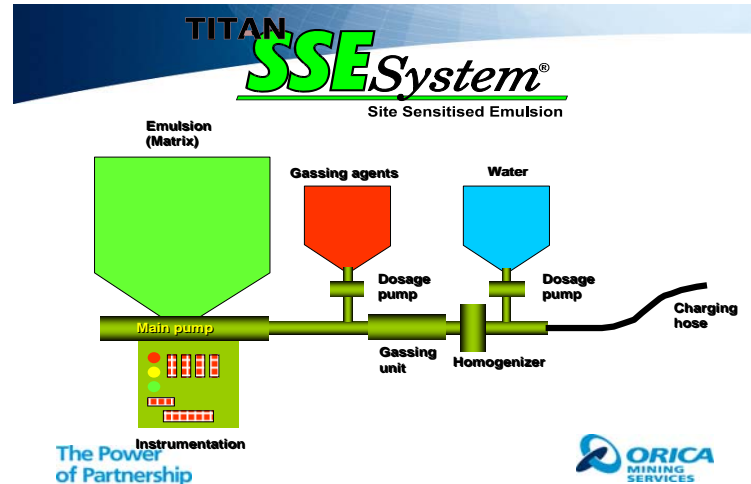


Figura 18. Sistema de sensibilización de emulsiones in situ

En la Figura 19 se ha representado una unidad SSE acoplada a un vehículo provisto de pluma con jaula para la carga de los barrenos.

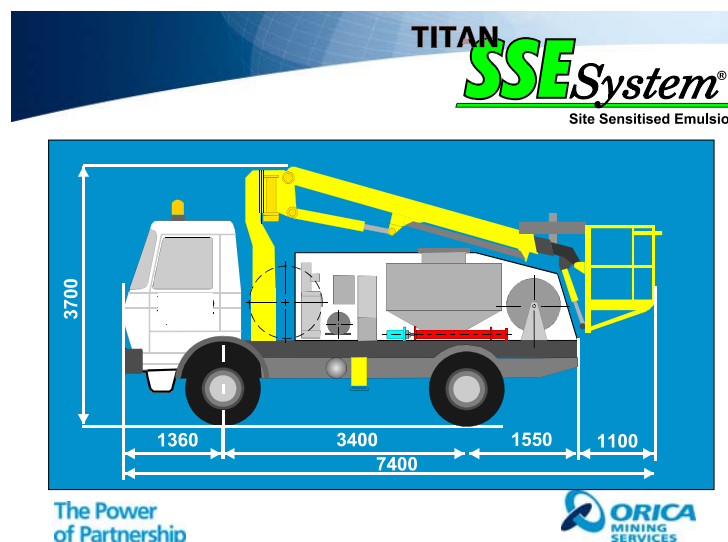


Figura 19. Unidad móvil de carga de emulsiones sensibilizadas in situ



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneie.org](http://www.aneie.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

Este sistema ha supuesto la práctica desaparición de los explosivos encartuchados en la minería de interior, túneles y obras subterráneas con diámetros de perforación iguales o superiores a 2”, debido a las grandes ventajas que comporta el uso de esta avanzada tecnología.

#### **4.5.- Ventajas de las Unidades Móviles de Mezcla**

Los procedimientos de carga de las voladuras descritos en este capítulo constituyen los avances más importantes de la tecnología de los explosivos industriales de los últimos años, habiéndose extendido rápidamente su utilización a todo el mundo debido a las múltiples ventajas con respecto al procedimiento de carga a granel de emulsiones sensibilizadas en plantas fijas (descrito en el apartado 3.3), que enumeramos a continuación:

- 1.- No transportan ningún producto explosivo, lo que representa una importantísima ventaja para la seguridad tanto vial como industrial y de orden público.
- 2.- La sensibilización del producto mezclado se produce después de cargado el barreno. Por consiguiente, durante el transporte y en el momento del bombeo el producto todavía no está sensibilizado, lo que representa un importante aumento de la seguridad industrial en la operación de carga.
- 3.- Después de transcurridos varios días, el producto se insensibiliza, por pérdida de las burbujas gaseosas, convirtiéndose el explosivo remanente, en caso de fallo, en un producto inerte.
- 4.- Con este procedimiento no se producen sobrantes de explosivos, ya que sólo se mezclan los ingredientes que se cargan a los barrenos, regresando el camión únicamente con componentes no explosivos que se transfieren a las tolvas de almacenamiento correspondientes. Por el contrario, con los camiones de carga actualmente utilizados en España, los sobrantes son productos explosivos que normalmente quedan en el camión hasta la aplicación siguiente, lo que constituye una práctica poco recomendable. En caso contrario el producto se ve sometido a un número excesivo de trasiegos, lo que deteriora sus propiedades, por rotura de las microesferas de vidrio.
- 5.- Las unidades MMU y Unibody son los únicos procedimientos de carga mecanizada de barrenos que permiten la utilización de cualquier composición de mezcla anfo-emulsión, desde el anfo puro hasta la emulsión pura, pudiendo elegir la composición deseada en el momento de la carga de los barrenos.
- 6.- Estas unidades permiten la carga selectiva de los barrenos, pudiendo cargar el fondo con anfo denso con alto contenido en emulsión, o con una emulsión en el caso de que contengan agua, y la columna con anfo, o bien con la misma emulsión pero con dos densidades distintas (sistema SME)
- 7.- Las prestaciones de las composiciones bombeables son mejores que las fabricadas en plantas fijas, debido al menor contenido en emulsión, lo que además permite reducir su coste.
- 8.- La sensibilización con gasificación química de estas composiciones evita el empleo de microesferas de vidrio, que suponen un importante encarecimiento del producto fabricado en plantas fijas.



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

9.- El sistema de sensibilización de las emulsiones in situ (SSE) permite una reducción sustancial del consumo de explosivos gelatinosos convencionales (gomas), en la minería de interior y obras subterráneas, lo que supone un aumento muy importante de la seguridad laboral y de orden público, sin que se produzcan sobrantes de explosivos.

10.- Además de reducirse sustancialmente el tiempo de carga de las voladuras subterráneas, con el sistema SSE se evitan los atranques de los cartuchos en la carga de los barrenos, lo que supone un grave riesgo para los operarios, además de afectar al resultado de las voladuras.

11.- La carga de las voladuras subterráneas con el sistema SSE, permite un acoplamiento perfecto entre el explosivo y las paredes de los barrenos, lo que se traduce en un mejor rendimiento del explosivo y una reducción sustancial de los costos.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que estas novedosas tecnologías aportan, no es posible utilizarlas en España, por no estar contemplada en el “nuevo” Reglamento de Explosivos la mezcla en unidades móviles. **Y lo más sorprendente es que en la exposición de motivos del Reglamento se haga referencia a que una de las razones que aconsejaban su promulgación era la de incorporar las transformaciones técnicas producidas desde la promulgación del anterior Reglamento de 1978.**

Por consiguiente, hasta que la Administración se decida a contemplar estos procedimientos en la normativa vigente, la minería, canteras y obras públicas españolas, se verán privadas beneficiarse de estas avanzadas tecnologías, que, aparte de las ventajas indicadas suponen un notable abaratamiento de las operaciones de arranque.

## **5.- Conclusiones**

De entre los distintos procedimientos de carga mecanizada de los barrenos destacan por sus grandes ventajas las Unidades Móviles de Mezcla, que permiten la carga de cualquier explosivo a granel, desde el anfo, a las emulsiones, incluyendo todos los tipos de anfo denso. Estos procedimientos eliminan el transporte y manipulación de productos explosivos, lo que mejora extraordinariamente la seguridad viaria, industrial y de orden público. Además se mejora la eficiencia de las voladuras, reduciéndose notablemente su coste.

Al no permitirse la utilización de esta técnica en España, se están usando sistemas de carga mecanizada que requieren el transporte y manipulación de productos explosivos sensibilizados, no contemplados en el “Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera” por el riesgo que comporta.

El uso del procedimiento de sensibilización de emulsiones in situ (SSE), posibilitaría una notable reducción del consumo de explosivos gelatinosos convencionales (gomas) en la minería de interior y obras subterráneas, lo que supondría una



**2ª Jornada de ANEIEX 27-Abril-2012**  
**“Carga de las Voladuras con Unidades Móviles de Mezcla (MMUs, Mobile Mixing Units)”**  
**ANEIEX [www.aneieix.org](http://www.aneieix.org) – [aneve@aneve.org](mailto:aneve@aneve.org)**

importantísima mejora de la seguridad de orden público, viaria e industrial, reduciendo sustancialmente el coste de las voladuras.

Urge, pues, la revisión del Reglamento de Explosivos para que recoja la posibilidad de utilización de estas tecnologías, lo que beneficiará la seguridad integral en el empleo de explosivos, mejorando además la eficacia de las voladuras y la reducción de sus costes.

### **Bibliografía**

ISEE, *Blasters Handbook*, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio (1998).

Sanchidrián, J.A. y Muñiz, E. *Curso de Tecnología de Explosivos*, Servicio de Publicaciones de la Fundación Gómez-Pardo.

Muñiz, E. *Estado de la Tecnología de carga de los barrenos con explosivos acuosos*, X Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, Valencia 1999

Muñiz, E. *La carga a granel de los barrenos en explotaciones a cielo abierto*, XI Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, Zaragoza, 2002.

Tread Corporation, *Sales Brochure*, Roanoke, Virginia

Muñiz, E. *Estado actual de tecnología de la carga mecanizada de los barrenos*. XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Oviedo, 2007