

Memoria de ejecución del proyecto ID2013/057

Financiación concedida: 200€

## “ELABORACIÓN DE MODELO PARA DEMOSTRACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE BULONES”

Coordinador del proyecto:

MONTERRUBIO PÉREZ, SERAFÍN

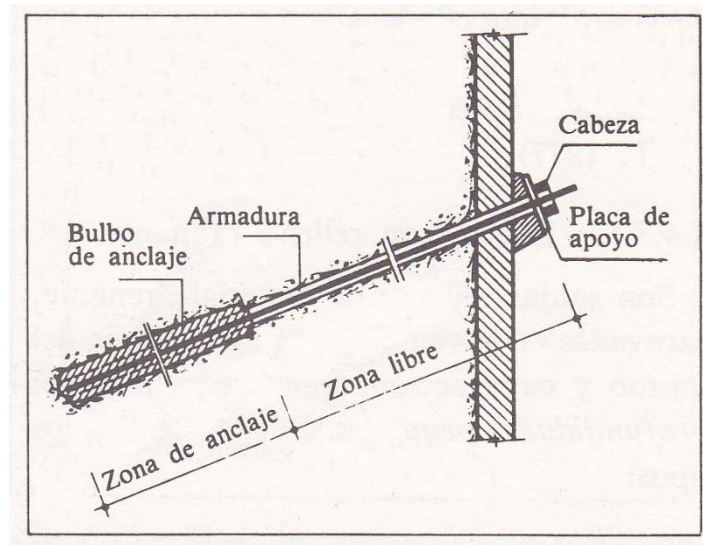
Miembros del equipo de trabajo:

NESPEREIRA JATO, JOSÉ  
FERNÁNDEZ MACARRO, BEGOÑA  
YENES ORTEGA, MARIANO  
ALONSO LLAMAS, J. ANGEL (PAS)

### **INTRODUCCIÓN**

El proyecto ejecutado se incluye en la línea de actuación “Incorporación de recursos para actividades prácticas”. Adicionalmente contribuirá a la implantación de metodologías activas enseñanza-aprendizaje con las que se facilita la adquisición de competencias.

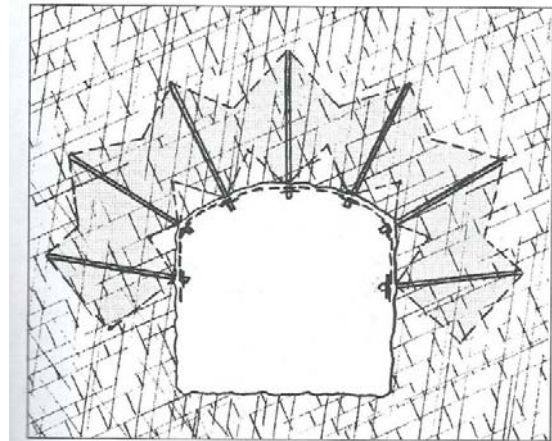
Se ha elaborado un modelo de laboratorio que permitirá a los alumnos de los grados en Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica visualizar la forma de trabajo de los bulones en las obras subterráneas. Los bulones son barras de acero con diámetros habituales entre 20 y 40 mm y longitudes que normalmente oscilan entre 3 y 6 m, que se introducen en perforaciones previas y se fijan a las paredes de la perforación mediante resina, cemento o simplemente por fricción mediante inflado a presión (Figura 1).



*Figura 1. Esquema de un anclaje (Jimenez Salas et.al. 1980) y bulones de fricción "Swellex" preparados para su colocación.*

Los bulones evitan la descompresión del macizo, impidiendo deslizamientos y caída de cuñas y bloques. Cuando se colocan de forma sistemática (espaciados regularmente), unen y confinan el terreno del entorno de la excavación, de modo que los propios bloques de roca fracturada forman un anillo resistente que va a constituir el principal elemento de sostenimiento de la obra subterránea (Figura 2).

El objetivo principal de este proyecto ha sido la elaboración de un modelo de laboratorio que permita a los alumnos de los grados en Ingeniería Civil y Arquitectura Técnica visualizar la forma de trabajo de los bulones en las obras subterráneas.



*Figura 2.- Bulonado sistemático en el interior de un túnel (izquierda). Zona de compresión (sombreada) que se genera en la roca fracturada y que forma un arco autoportante (Hoeck et al. 1993).*

El modelo creado servirá para la realización de una práctica en el laboratorio de geotecnia de la Escuela Politécnica Superior de Zamora que será impartida a alumnos de los grados citados dentro de las asignaturas Geotecnia II, Mecánica de Suelos y Ampliación de Estructuras y Geotecnia.

Con esta práctica se prevé una mejora en la calidad de la docencia ya que los alumnos van a poder comprobar visualmente la forma de trabajo de estos elementos presentes en la estabilización de obras subterráneas. La comprobación práctica es una estrategia docente que facilita la adquisición de competencias además de una metodología activa de enseñanza aprendizaje. Se espera que este tipo de comprobación incremente la motivación y el interés así como una mejor comprensión del modo de funcionamiento de estos elementos de sostenimiento.

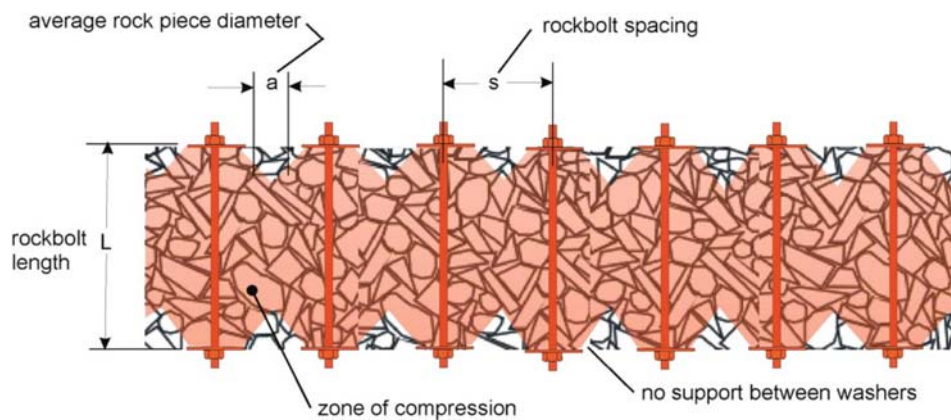
## **TAREAS REALIZADAS**

### **1.- Diseño del conjunto.**

El diseño se realizó siguiendo la idea del profesor Hoeck, el cual se basó en el modelo de Tom Lang. Los detalles del funcionamiento pueden consultarse en:

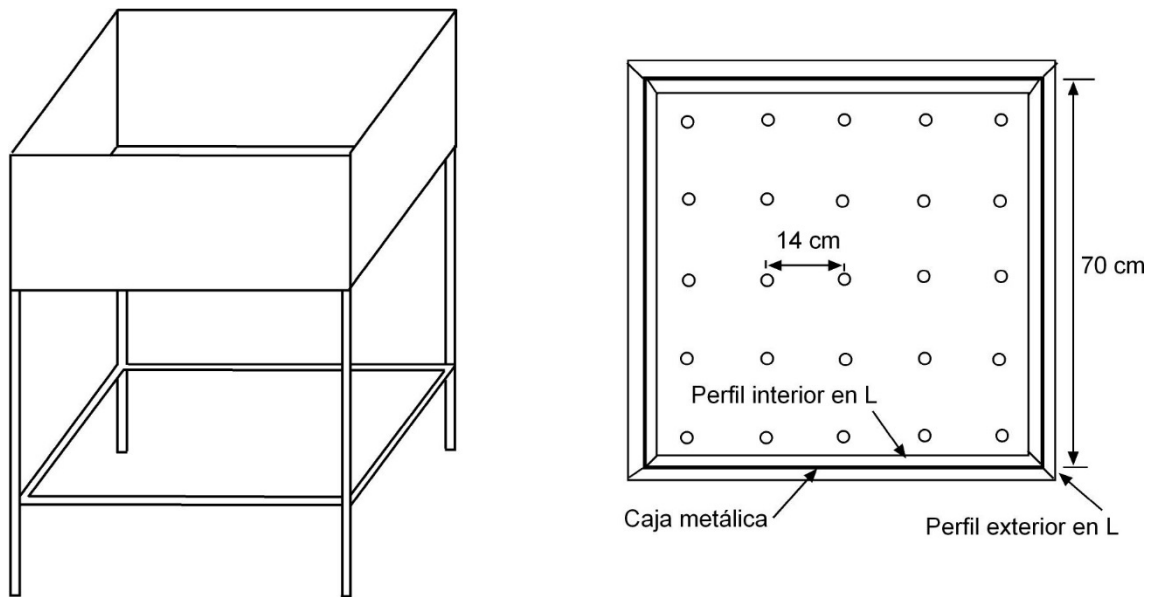
[http://www.rocscience.com/hoek/corner/15\\_Model\\_to\\_demonstrate\\_how\\_rockbolts\\_work.pdf](http://www.rocscience.com/hoek/corner/15_Model_to_demonstrate_how_rockbolts_work.pdf)

Se trataba de conseguir, con un tamaño lo más reducido posible, un modelo que ocupase poco espacio y que, a su vez, fuera suficiente para la demostración de la forma de trabajo de los bulones. Para ello se tantearon distintos tamaños medios de fragmentos rocosos y se siguieron las relaciones geométricas indicadas en la figura 3.



*Figura 3: Explicación de Tom Lang del funcionamiento de los bulones. La separación entre bulones “s” debe ser menor de 3 veces el diámetro medio de la roca “a”. La longitud del bulón “L” debe ser aproximadamente 2 “s”*

El resultado final del diseño fue una caja metálica cuadrada de 70 cm de lado por 30 cm de altura con un reborde metálico en L de 3 cm tanto exterior como interior. El reborde metálico interior permite la sujeción lateral de los fragmentos de roca y el exterior permite la sujeción provisional del panel inferior. Ambos permiten dar mayor solidez y resistencia al conjunto. Dentro del armazón metálico se colocarán 25 “bulones” espaciados cada 14 cm (Figura 4). Todo este conjunto debe de ir elevado para facilitar la colocación de los fragmentos de roca y su posterior visualización por la parte inferior.

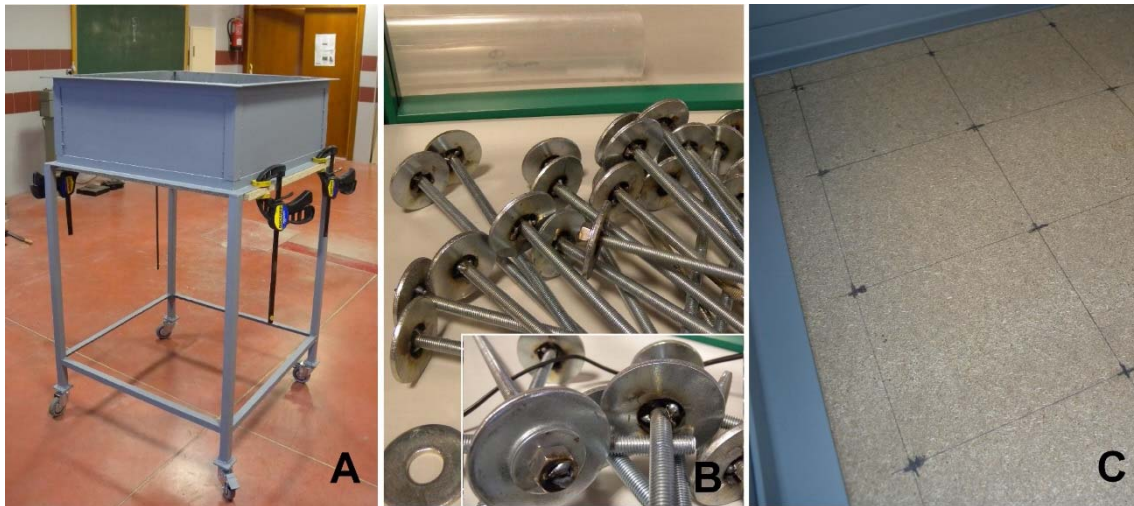


*Figura 4: Diseño de la caja metálica y localización de los bulones (alzado y planta).*

## **2.-Ejecución y montaje en laboratorio.**

Una vez adquirido el material necesario (chapas, perfiles metálicos, varillas roscadas, arandelas, panel de aglomerado, etc.) se procedió a la construcción del armazón metálico (Figura 5A) y de los bulones (Figura 5B) en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de Zamora. Para esta labor se ha contado con la colaboración del técnico de laboratorio J. Ángel Alonso Llamas (incluido en el equipo de trabajo) y de otros técnicos de laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Zamora expertos en soldadura. Los bulones se fabricaron con varillas roscadas, arandelas y tuercas. En uno de los laterales se soldaron la tuerca, arandela y varilla roscada para poder colocar el bulón sobre el panel de aglomerado sin que éste pasase a través de la perforación del panel (Figura 5B). A su vez se replanteó y perforó el panel provisional inferior que permite colocar los bulones y retener provisionalmente los fragmentos de roca (Figura 5C).





*Figura 5. A) Armazón metálico terminado y pintado. B) Bulones con detalle de la fijación de la parte inferior mediante soldadura. C) Replanteo de perforaciones en el panel inferior.*

#### **DISEÑO DE LA PRÁCTICA CON LOS ALUMNOS.**

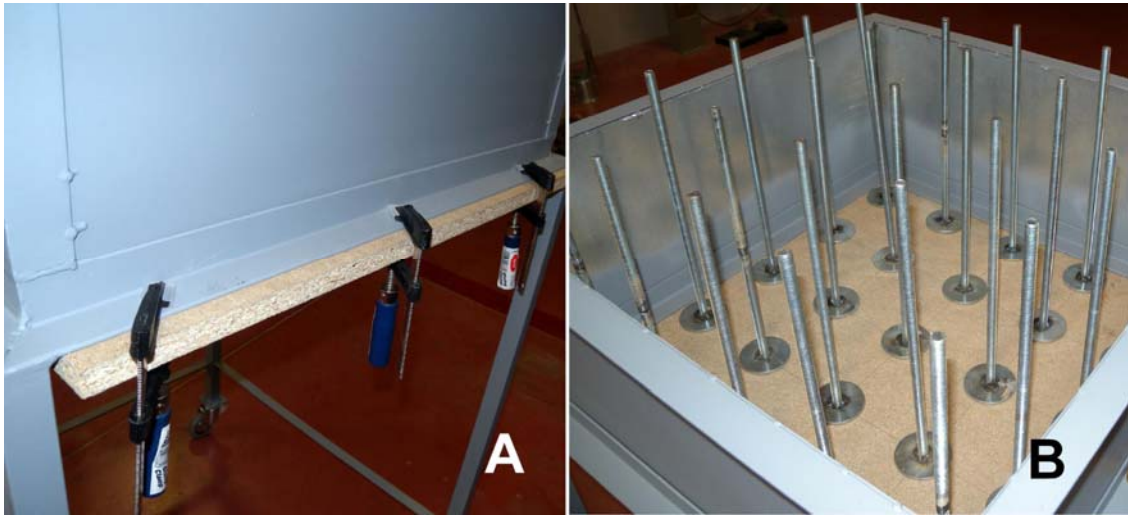
Los alumnos encontrarán el material de la práctica sin montar (armazón metálico, panel de aglomerado inferior, mordazas para sujeción del panel, bulones y fragmentos de roca, Figura 6). Los alumnos guiados por el profesor realizarán la secuencia siguiente:



*Figura 6. Material para ejecución de la práctica*

1º Colocación del panel en la parte inferior de la caja metálica y sujeción con las mordazas (Figura 7A).

2º Colocación de los bulones con la parte fija apoyada en las perforaciones del panel (Figura 7B).



*Figura 7. Sujeción del panel (A) y colocación de bulones (B)*

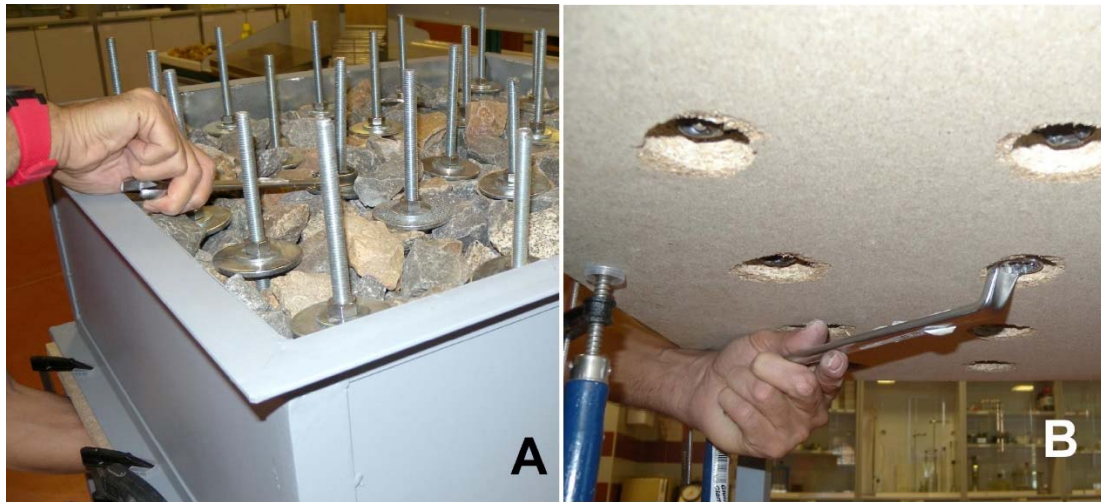
3º Relleno del cajón metálico con fragmentos de roca. Simultáneamente al relleno se procederá a la compactación de los fragmentos (Figura 8A).

4º Colocación de las arandelas y tuercas en el extremo superior de los bulones (Figura 8B). Se procederá al apretado de las tuercas superiores (Figura 9A) manteniendo fijas las inferiores. Para ello será necesario sujetar la tuerca inferior a través de la perforación del panel para impedir su giro (Figura 9B).



*Figura 8. A) Relleno y compactación. B) Colocación de arandelas y tuercas.*





*Figura 9. Apretado de las tuercas superiores (A) manteniendo fijas las inferiores (B)*

5º Por último se procederá a la retirada de las mordazas y del panel inferior. Se comprueba que los fragmentos de roca se mantienen suspendidos y estables debido a la compresión de los bulones (Figura 10A). Solamente algunos fragmentos caen debido a que están fuera de las zonas de compresión (Figura 10B).



*Figura 10. A) Vista inferior una vez retirado el panel. B) Fragmentos de roca caídos sobre el panel debido a que no quedan comprimidos.*



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JIMENEZ SALAS, J.A. y otros (1980). *Geotecnia y Cimientos III*. Editorial Rueda. Madrid.

HOECK, E., KAISER, P.K. & BAWDEN, W.F. (1993) *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Funding by Mining Research Directorate and Universities Research Incentive Fund.