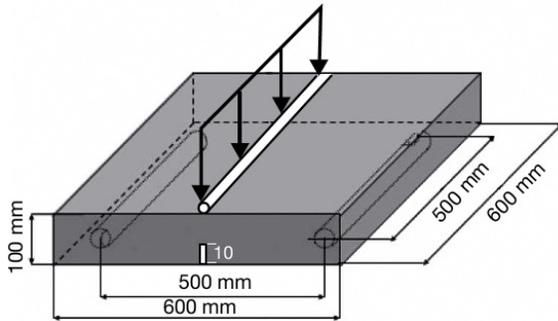


**Gráfico N° 3:**  
Ensayo alternativo para determinar la resistencia residual con panel cuadrado.



**Gráfico N° 4:**  
Ensayo de absorción de energía en laboratorio.



Es importante realizar una correcta lectura de los resultados obtenidos del ensayo de absorción de energía, puesto que no sólo es importante alcanzar la demanda de energía especificada según el tipo de roca, sino que además se debe asegurar que las fibras doten la ductilidad necesaria al shotcrete, lo cual puede ser verificado a través de las recomendaciones de Asquapro, en la que se especifica que la carga mínima ( $F_{el-min}$ ) entre 0 y 5 mm obtenida de la curva carga-deflexión, debe ser mayor al 70% de la carga máxima ( $F_{el}$ ) definida entre 0 y 2 mm, de acuerdo con la Fig. 5.

Otro aspecto importante durante el análisis de los ensayos de absorción de energía es la dispersión de los resultados. La dispersión es la variación entre los resultados obtenidos por cada muestra de un set y se debe a básicamente a un limitado número de muestras y una reducida área en tensión. El primer factor depende del número de especímenes; mientras mayor sea el número de muestras, menor será la dispersión entre los resultados. De acuerdo con las recomendaciones brindadas por EN 14487-1 el número de muestras podría ascender a 12 como mínimo cuando se realizar trabajos continuos y la zona es crítica. El segundo factor se debe a la capacidad de las fibras para redistribuir los esfuerzos, lo cual se manifiesta a través de la cantidad de fisuras que se generan durante el ensayo. Al tener mayor área

en tensión, se logra que las fibras aporten resistencia post-fisura al shotcrete, confiriéndole ductilidad. En el caso del refuerzo con fibras de acero, su mecanismo de anclajes permite mantener las fisuras cerradas, generando que las fibras aledañas al plano de falla (fisura) tomen parte de los esfuerzos restantes de manera continua, generándose mayor área en tensión que en el caso del refuerzo con fibras sintéticas.

### Red de fibras

La red de fibras juega un rol fundamental en el desempeño del shotcrete reforzado con fibras de acero porque nos da una idea de la cantidad de acero que hay en el concreto. Este factor está estrechamente relacionado con la relación de aspecto, que es la relación entre la longitud

y el diámetro de la fibra. Mientras más alta sea la relación de aspecto, mayor será el desempeño de la fibra. La elección del nivel de desempeño de las fibras de acero, dependerá del grado de exigencia y magnitud de las fuerzas que se aplicarán en la estructura. Para comprender este factor necesitamos tener en cuenta la cantidad de fibras (o piezas) que hay en un kilogramo, la cual varía según la geometría y la precisión con la que se fabrican las fibras. En el siguiente cuadro se muestran dos fibras de acero de distintas características. La fibra con mayor relación de aspecto provee mayor longitud total de fibras que la fibra de menor relación de aspecto, con la misma dosificación. Por lo tanto, mientras más grande sea la longitud total de fibras por cada metro cúbico de concreto, la red de fibras será mayor. **TM**

**Gráfico N° 5:**  
Curva Carga-Deflexión de ensayo de determinación de capacidad de absorción de energía acorde con EFNARC y EN 14488-5.

