

Entibación en Mina con madera reforzada

Fernando Enrique Toledo Garay, Estanislao De la Cruz, Carrasco, Oswaldo Ortiz Sánchez

Resumen

En la actualidad, la entibación en mina con madera, sigue siendo una alternativa económica; pese a su antigüedad y la competencia con una diversidad de elementos y materiales.

Este trabajo de investigación, consiste en buscar la mejor disposición de ensamblaje de varillas de acero de construcción en la zona de tensión de una viga, con el fin de que el acero tome todos los esfuerzos de la tensión (f_s), y la madera todos los esfuerzos de compresión (f_w), generado por una carga concentrada (en el laboratorio).

La idea es hacer trabajar la madera y el acero, uniéndolos íntimamente con resinas epóxicas, con la finalidad de obtener similares resultados al de una viga de concreto armado.

La ventaja que tiene la madera sobre el concreto, es su bajo peso específico, que constituye un, parámetro importante para la trabajabilidad en el subsuelo.

Las restricciones económicas y de tiempo permitieron ensayar sólo 150 probetas, que no fueron las suficientes para alcanzar el éxito deseado. Sin embargo, nos ha dado pautas importantes, Profesores del Dpto. Académico de Ingeniería de Minas para lograr mayores niveles de resistencia en la práctica, o en futuros ensayos.

En la probeta N° 113-TOR-11 T(3/8)-AQ/MP, se logró el 83% en el incremento de su resistencia en el límite elástico, con una carga de 2,220 Kg., frente a 1,210 Kg soportando sin el refuerzo metálico.

I.- INTRODUCCION

Los objetivos en este trabajo de investigación son: Encontrar la forma, de que la madera y el acero, sometido a los esfuerzos combinados de flexión; tengan un comportamiento similar al de vigas y columnas de concreto armado.

Luego evaluar su resistencia en función a sus dimensiones, para normar su uso mediante tablas: en función al momento máximo de flexión, especie de madera, sección transversal de estructura y diámetros del refuerzo metálico.

Finalmente, patentar el sistema a nombre de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Los beneficios obtenidos por cualquier empresa minera serían:

- Reducir el peso de las estructuras de soporte, hasta el 50% de los usados sin el refuerzo.
- Aumentar en tres veces el número de cuadros instalados en un mes, respecto a la cantidad de trabajo actual.

Con estas ventajas, se podría reducir hasta en el 20% de los costos actuales en sostenimiento, en minas como Cerro de Pasco.

2.- ANTECEDENTES

HARRY PARKER, en la página 205 correspondiente al capítulo 12, titulado: "Vigas de dos materiales, ensamblados", en su libro: "Texto simplificado de Mecánica y Resistencia de material", dice: "Antes que las vigas de acero liminadas se obtuvieran con facilidad, era práctica común aumentar la resistencia de las vigas de madera añadiéndoles una o varias placas de acero...."

S- Timoshenko, en la página 209 del primer tomo de su libro: "Resistencia de Materiales", así como F.P. Beer y E.R. Johnston, en la página 202 del capítulo 4 del libro: "Mecánica de Materiales" refieren respectivamente sobre: "vigas de materiales diferentes" y "Flexión de Elementos hechos de varios materiales". Todos estos autores tratan el tema en sentido general, aplicables a la ingeniería de constituciones. Pero, el profesor francés V. Vidal, en la página 416 del primer tomo de su libro: "Explotación de minas" refiere en el capítulo III, Entibado: "El refuerzo con cable (fig.22) consistente en deslizar bajo la trabanca un cable metálico....."

También, el responsable de este proyecto de investigación, en la mina Cerro de Paseo, en el año 1975 probó este procedimiento de reforzar sombreros (vigas de madera) con cables metálicos en la bifurcación de galerías, con resultados óptimos.

Todos estos antecedentes me impulsaron a estudiar la posibilidad de reforzar la madera, con rigurosidad científica, a fin de poner al alcance de los ingenieros y las empresas mineras una alternativa trabajable, eficiente y económica en el sostenimiento de las labores de la minería subterránea.

3.- METODOLOGIA

La metodología se basa en el análisis deductivo del problema, partiendo de los antecedentes y continuando con el siguiente procedimiento:

- A.- Recopilación de información bibliográfica.
- B.- Análisis de estructuras de madera.
- C.- Cálculo de esfuerzos en vigas de dos materiales.
- D.- Diseño de probetas en base al diagrama de momentos de flexión y adherencia.
- E.- Estudio de la trabajabilidad en los elementos de soporte.
- F.- Fabricación de probetas.
- G.- Aplicación de cargas y rotura de las probetas en el laboratorio de prueba de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- H.- Capacitación de los operadores de campo, alumnos de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- G.- Gestiones para firmar un convenio con Centromín Perú, a fin efectuar pruebas de campo.

4.-RESULTADOS

Los resultados obtenidos en laboratorio no fueron alagadoras, debido a la falta de experiencia en la preparación de las probetas. La madera, a diferencia del concreto, al combinarse con el acero, no se comporta como material isomórfico, pese a la adherencia con resinas epóxicas.

La primera conclusión es haber mostrado la dificultad de efectuar esta combinación, de manera que sea muy trabajable, eficiente y económico; debido a que tiene que tenerse en cuenta muchos más parámetros que los utilizados en el concreto armado.

La segunda conclusión, es que sólo las maderas de alta densidad favorecen esta combinación, obteniéndose mayor incremento de la resistencia a la tensión.

La tercera conclusión, es que las resinas, durante el incremento de la flexión empiezan a fallar al corte horizontal, a partir de los 500 Kg de carga, separando al acero de la madera, de manera que el acero deja de influir en la resistencia de la viga.

La cuarta conclusión, es que las resinas epóxicas deben de ser inyectadas en el orificio de anclaje del acero en la madera, como se muestra en las fotografías del anexo.

La quinta conclusión es, que antes de inyectarse la resina se debe efectuar el ajuste de las tuercas, hasta comprimir al máximo las fibras de la madera.

La sexta y más importante conclusión, es perforar en la madera los taladros de ensamblaje del acero, con una inclinación de 80° respecto al eje longitudinal, de manera que al introducir los externos del refuerzo, tenderán a abrirse, flectándose inversamente la varilla y pegándose fuertemente a la madera, cuando se proceda a ajustarse las turcas.

Habiéndose cumplido estas condiciones en la probeta N° 113-TOR-11T (3/8)-AQ/MP, se obtuvo el 83% de incremento de la resistencia a la flexión, en el límite elástico; con una carga de 2,220 Kg. respecto a la muestra N° 107-TOR-000-000, sin refuerzo, que alcanzó sólo una resistencia a la flexión en el límite elástico, con 1,219 Kg.

Así mismo, se obtuvo incrementos significativos del 79% en la probeta N° 123-TOR-11T (3/8) AQ-MP y 76% en la probeta N° 120-TOR -310 -MP1.

En las demás probetas se han alcanzado incrementar del 25% al 65%, dependiendo estos factores de: la especie de madera, ensamblados con tuercas o sin ellas, tipos de resina y general mente con orificios perpendiculares o inclinaciones incorrectas.

5.-DISCUSION

El imperativo de efectuar trabajos rápidos, eficientes, seguros y económicos para competir en el mercado internacional de metales, incita a los ingenieros a aplicar las ciencias físicas para resolver los problemas de laboreo de minas.

El incentivo para investigar y encontrar la alternativa más económica de seguir usando la madera, es el bajo peso específico y el precio de este material, a pesar de que sus dimensiones comerciales ya no permiten su uso en galerías que superan los 5 m. de ancho.

La madera de Eucalipto es los más económicos y con mejores atributos para la entibación de las labores mineras. Para éste fin, la mayor sección transversal comercial es de 0.25 m. x 0.25 m. y la mayor longitud 4.50 m. En raras ocasiones se pueden encontrar hasta 6.00 m. de longitud. Con estas dimensiones, se hace muy difícil trabajar demandándose mayor cantidad de hombres y tiempo en el armado de un cuadro de madera con todos sus elementos.

La ciencia de resistencia de materiales, enseña que el esfuerzo de una viga (f_w) depende del claro o "luz" (L) (distancia entre apoyo), la carga que soporta (P), el área y la forma de la sección transversal de la estructura, denominado módulo de sección (S). Los análisis se pueden observar en el anexo 4, correspondiente a vigas homogéneas (de un solo material) y en los anexos 5 y 6 vigas compuestas de 2 materiales.

Cuando se combinan 2 materiales para que soporten una carga con esfuerzos, también combinados, a fin de que cada cual asuma según su resistencias, a la que es sometida, se tiene que analizar iniciándose desde la relación de sus módulos de elasticidad (E).

El concreto y el acero físicamente son isotrópicos por lo que al combinarse para soportar una carga dada, el conjunto se comporta isomórficamente, tomando cada cual el esfuerzo correspondiente a su resistencia.

Con la madera y el acero no ocurre el mismo fenómeno, porque en la madera la resistencia varía con la composición y dirección de su grano.

Los autores de la referencia, sostienen que en una viga de madera armada o reforzada con una lámina de acero, ésta última toma los esfuerzos de tensión, aumentando la resistencia del conjunto siempre que no se produzca desplazamiento.

Las pruebas de laboratorio, han demostrado que basta un diferencial de desplazamiento para que el acero deje de tomar los esfuerzos de tensión, siendo asumido por la madera y produciendo la rotura inmediata de la viga. El acero por su ductilidad, solo se dobla cediendo a la carga, como se puede observar en las fotografías de los anexos 1, 2 y 3.

La clave del éxito es evitar que se produzca éste desplazamiento diferencial, lo que es muy difícil de obtener trabajándose con varillas corrugadas de acero de construcción, sin embargo, estábamos a punto de lograrlo.

En caso de haberse logrado este objetivo, una viga de madera que se rompe al aplicársele, una carga de 1210 kg., ésta misma reforzada con una varilla de 3/8" podría haberse roto a los 5350 kg., incrementándose en 3.4 veces su resistencia.

Por lo investigado, se puede deducir que además de tomarse las medidas efectuadas en la preparación de las probetas N° 113, 120 y 123, previamente se debía de soldar láminas de fierro dulce en las varillas, para adherirse a la madera con tirafones.

El gran inconveniente que se tuvo en éste trabajo, fue el no poder encontrar en el mercado local de Lima Metropolitana, madera acerrada de Eucalipto, fuente importante para el estudio.

No se pudo encargarse la compra a la ciudad de Huancayo debido a las normas burocráticas de la Universidad y las presiones para presentar el reporte económico de la partida asignada a la compra de materiales.

6.-BIBLIOGRAFIA

- BEER.F.P. y JOHNSTON, E.R. JR. 1996. "Mecánica de Materiales". Editorial Mc. GRAN-HILL, segunda edición, Santa Fé de Bogota.

- LEWIS, R.S.AND CLARK. G. B. 1964. Elements of Mining. John and sons, inc. third edition, New York..

- PARKER, HARRY. 1991. "Texto Simplificado de Mecánica y Resistencia de Materiales". Editorial LIMUSA, décima edición, México.
- PARKER, HARRY 1997. "Ingeniería simplificada para Arquitectos y Constructores". Editorial LIMUSA, duodécima edición, México.
- TIMOSHENKO S. 1961 "Resistencia de Materiales" Editorial ESPASA-CALPE, S.A., novena edición, Madrid.
- TOLEDO GARAY, F. E. 1984 "Short- Fer Nueva Alternativa para el Sostenimiento de Túneles y Labores Mineras" Instituto de Ingenieros de minas del Perú, Anales del XVII convención de Ingenieros de Minas del Perú.
- V. VIDAL 1966. "Explotación de minas" Ediciones OMEGA, S.A. Primera Edición. Barcelona España.

ANEXOS

Imágenes de Entibación en Mina con Madera Reforzada



Foto N° 1.- Vista horizontal: preparación de probetas de madera reforzada



Foto N° 2.- vista de perfil: preparación de probetas de madera reforzada

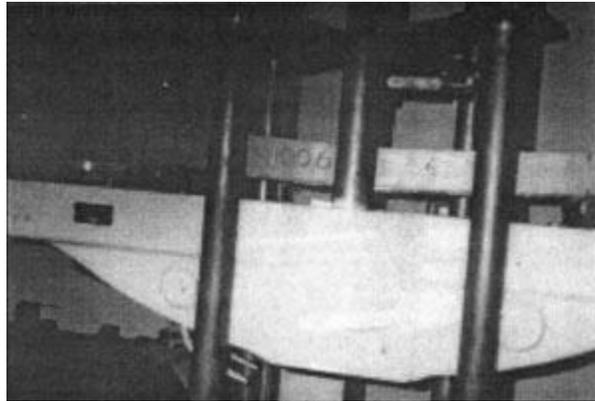


Foto N° 3.- Probeta de madera reforzada sometida a flexión estática, en máquina universal



Foto N° 4.- Probeta de madera reforzada sometida a flexión estática, en máquina múltiple



Foto N° 5.- Probetas de madera reforzada después de la rotura

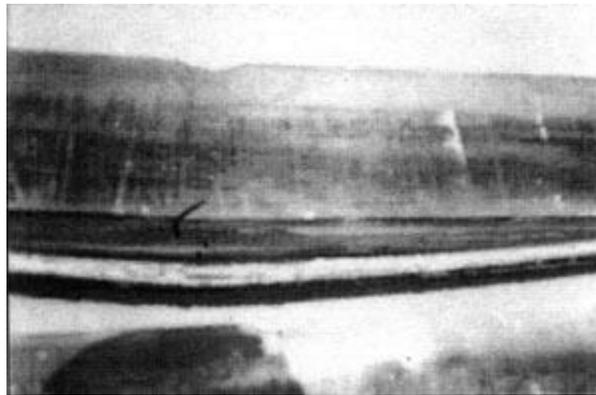


Foto N° 6.- Detalle, falla al corte horizontal de resina epóxica del refuerzo metálico de la madera