

EVOLUCIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ALAMBRES UTILIZADOS EN INVERNADEROS DEL SUR DE EUROPA.

E. Garzón¹⁾, J.A. López¹⁾, A. Ruiz²⁾, P.J. Sánchez²⁾, M. Raigón³⁾

¹⁾Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería,
La Cañada de San Urbano – 04120 - Almería, Spain.

²⁾Instituto de Ciencia de Materiales. Centro Mixto C.S.I.C. - US. Avda. Américo Vespucio s/n,
Isla de la Cartuja - 41092-Sevilla. Spain. email: pedroji@icmse.csic.es

³⁾Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales. ESII. Universidad de Sevilla.
C/ Camino de los Descubrimientos s/n. Isla de la Cartuja. 41092 – Sevilla, Spain

Resumen: Se ha realizado un estudio sobre el alambre utilizado en la estructura de los invernaderos. Para ello se han tomado muestras de un invernadero con alambre acerado que lleva colocado en la estructura 23 años y de varias casas comerciales (nuevo). Todas las muestras se han roto a tracción. Por último a una submuestra se ha ensayado mediante microscopía electrónica de barrido con espectroscopia de energías dispersivas de rayos X. Los resultados muestran que los alambres utilizados tienen una presencia mayoritaria de Zn, además de otros elementos como: Al, Si, S, Cl, K, Ca y Fe. En cuanto a la resistencia a tracción se ha visto que se ha producido una reducción de las propiedades mecánicas con respecto a las probetas de alambres acerado nuevo, debido a la corrosión y a la tensión permanente que soporta el material en la malla de cubierta del invernadero.

1.- INTRODUCCIÓN.

El alambre de acero galvanizado utilizado en la estructura de los invernaderos de Almería, tiene como función más importante la de sujetar la cubierta y resistir cargas exteriores, tanto las debidas al viento como al peso de la cubierta de plástico [1], [2]. Las estructuras formadas con alambre tienen una gran difusión, esto es debido a que resultan muy económicas, son adaptables a terrenos con lindes irregulares y con pendiente, pueden formar unidades de gran extensión y además presentan una elevada resistencia a la acción del viento [2].

Debe observarse que el acero se ve afectado por la corrosión atmosférica, además el alambre colocado en invernadero suele estar sometido a una tracción permanente. Una aleación bajo tensión puede sufrir un ataque de corrosión intergranular (en los granos internos del metal) capaz de producir fisuras en el material, lo cual conduciría a una disminución de sus características mecánicas aún peor que si no hubiera tracción sobre el alambre [3], [4]. La protección del acero contra la corrosión es un aspecto muy importante, que debe tenerse en cuenta para que las propiedades mecánicas del material permanezcan inalteradas el mayor tiempo posible, sin que esto suponga un alto incremento del coste del producto. Por este motivo se recubre toda la superficie del alambre, mediante el proceso de galvanizado en caliente [2], [4], [5], con una capa de zinc que actúa como barrera aislante y además establece una célula galvánica, con lo que se asegura la protección en las zonas de material que no estén bien cubiertas [3], [4], [6].

Un procedimiento empleado para modificar las características del metal es el recocido, por lo que los alambres sometidos a este tratamiento, que generalmente son del tipo normal, presentarán unas propiedades que les distinguirán de los que no están tratados [4], [5], [7], [8], [9]. Otra forma de diferenciar el producto es según el recubrimiento de zinc que tenga en su superficie, así pues el alambre podrá tener un galvanizado normal, o un galvanizado reforzado si la capa protectora es más gruesa. Esta característica influirá en la posterior degradación del material en el invernadero, ya que una mayor capa de zinc proporciona mejor protección contra la corrosión [3], [7], [10].

Este producto no suele pasar por ninguna comprobación de calidad, a parte de la que efectúa el propio fabricante, por este motivo, y dada la importancia que tiene dicho material en la estructura del invernadero, se considera necesario ver como evolucionan sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

En primer lugar se tomaron probetas de alambre galvanizado (nuevo) acerado, pertenecientes a varios fabricantes y distintos diámetros comprendidos entre 2 y 4,4 milímetros.

También se recogieron muestras de alambre degradado procedente de la malla de cubierta del invernadero, construido en 1982 en el Centro de Investigación y Formación Agraria de La Mojonera (Almería)

(C.I.F.A.). El terreno invernado se destinaba a cultivos ecológicos, pero hay que mencionar que la zona de recogida de alambre no está cultivada y además se encuentra sin cubierta de plástico desde el año 1992.

El invernadero es de raspa y amagado, con cubierta a dos aguas y soportes constituidos por palos de madera. Las cordadas del techo de la estructura están compuestas por alambres trenzados de 4 milímetros de diámetro nominal, mientras que la malla de cubierta, de donde se tomaron las muestras, está formada por alambres del tipo acerado con un diámetro de 1,6 milímetros.

La raspa tiene una altura de 2,9 metros y la superficie total invernada es de 3.000 metros cuadrados. La separación entre las cordadas transversales, paralelas a la cordada este y orientadas en dirección norte-sur, es de 2 metros. En la **figura 1** se pueden observar las dimensiones de la estructura del invernadero, su orientación y las líneas de la malla de cubierta donde se recogieron las muestras de alambre.

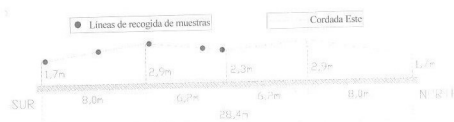


Figura 1. Dimensiones de la estructura del invernadero.

En cada línea de muestreo se seleccionaron 12 puntos de recogida, y en cada uno de éstos se obtuvo una muestra longitudinal y otra transversal, con una longitud aproximada de 50 cm. metros cada una. La recogida se hizo empezando por el este y acabando por el oeste.

El primer punto de recogida en cada línea de muestreo estaba a 30 cm. de la primera cordada orientada en dirección norte-sur (cordada este), a partir de este punto se obtuvieron las muestras cada 4 metros en la línea.

A una submuestra tomada de diferentes puntos de la estructura se analizó (morfología, microestructura, tamaño de granos y porosidad) mediante microscopía electrónica de barrido, seguido de un análisis microquímico mediante la técnica de espectroscopias de energías dispersivas de rayos X.

Seguidamente se realizó la rotura a tracción de las probetas de alambre con una máquina universal electromecánica, modelo ELIB-100 de la empresa IBERTEST, con 100 kN de capacidad máxima, según la norma UNE 7474-1:1992 [11] que regula este ensayo.

Primero se determinó la sección inicial de la muestra según la Norma UNE 7474-1:1992 [11]. Para ello se hacen dos medidas sobre dos diámetros perpendiculares (d_1 y d_2) utilizando un micrómetro. Luego se calculó la media aritmética (D) de ambas dimensiones, ya que este

dato es el utilizado para definir dicha sección.

$$(S_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2).$$

En el caso de alambre degradado, la medida de los diámetros se debe realizar sobre una porción de material sin óxido en su superficie, ya que de no ser así, la sección inicial estimada sería mayor que la sección útil resistente. Por este motivo, se elimina el óxido en un extremo del alambre con un torno eléctrico.

Una vez eliminado el óxido, se miden dos diámetros perpendiculares en la zona cepillada (d_1 y d_2) y se calcula la media aritmética de ambas dimensiones (D). Esta operación se hizo con las dos muestras extremas y otras dos intermedias pertenecientes a una misma línea de muestreo, antes de preparar las probetas de alambre de esa misma hilera.

Después se determinó un diámetro equivalente (D_e), utilizado para calcular la sección inicial de las probetas de alambre degradado, que será el mismo para todas las muestras que pertenezcan a una misma línea de la malla del invernadero. En consecuencia, se debe calcular una media aritmética con los valores obtenidos en las 4 muestras tomadas de la misma fila, siendo este valor el diámetro que representa a las doce muestras de la misma línea y su sección equivalente ($S_e = \frac{\pi}{4} \cdot D_e^2$).

Posteriormente según se tratara de alambre degradado o nuevo, se confeccionaron las probetas siguiendo las directrices del Anexo B de la Norma UNE 7474-1:1992 [11], que es aplicable a los alambres ensayados a tracción. Y se calculó la longitud inicial entre puntos ($L_0 = 11,3 \cdot \sqrt{S_0}$).

Así pues, el tratamiento estadístico se realiza sobre los valores calculados de tensión máxima (expresada en MPa), deformación en resistencia máxima y deformación en rotura (expresadas en porcentaje), que se determinan a partir de los resultados de los ensayos como se indica a continuación:

$$\text{Tensión máxima: } \sigma \text{ (MPa)} = \frac{\text{Fuerza máxima (N)}}{\text{Sección resistente (mm}^2\text{)}}$$

$$\text{Deformación en resistencia máxima: } \varepsilon \text{ (\%)} = \frac{\text{Alargamiento en resistencia máxima (mm)}}{\text{Longitud inicial entre puntos (mm)}} \cdot 100$$

$$\text{Deformación en rotura: } \varepsilon \text{ (\%)} = \frac{\text{Alargamiento en rotura (mm)}}{\text{Longitud inicial entre puntos (mm)}} \cdot 100$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Composición química y estructura.

Las muestras de alambre analizado por EDX muestran la presencia mayoritaria de Zinc (Zn), además de otros elementos como, Al, Si, S, Cl, K, Ca y Fe (además de C y O, Mg). El elemento fósforo (P) también podría estar presente, de acuerdo con su línea característica entre Si y S. Su microestructura es de grano fino, con pequeños islotes aislados de material más suelto y, a veces, compacto y algo de porosidad.

3.2. Características mecánicas.

Los resultados obtenidos indican que, para la determinación de las tensiones y de las deformaciones, la sección inicial estimada en el cálculo influye sobre los valores, como se muestra en la tabla I. Este efecto debe tenerse en cuenta a la hora de evaluar las propiedades mecánicas de un alambre que esté oxidado debido a los años de uso en invernadero.

Los valores de la tabla II, ponen de manifiesto la disminución de la resistencia a tracción (de 1.357,84 MPa a 840,28 MPa como término medio) experimentada en el alambre degradado. Asimismo, la deformación bajo carga máxima se ha reducido en un 7,93 %, según los valores medios obtenidos para cada material. Con la deformación en el punto de rotura la diferencia ha sido mayor aún, ya que el alambre acerado nuevo soportó un alargamiento medio del 52,83 %, mientras que el alambre acerado degradado alcanzaba en la rotura un estiramiento medio del 10,92 %.

Tabla I. Características mecánicas obtenidas en los ensayos sobre alambre degradado, según la sección estimada en el cálculo y para todos los valores en general.

| PARÁMETROS | Rm (kp/mm ²) | Rm (MPa) | Am (%) | Ar (%) | |
|-----------------------------|--------------------------|----------|----------|--------|-------|
| SECCIÓN ESTIMADA RESISTENTE | Máximo | 108,82 | 1.067,51 | 12,19 | 14,35 |
| | Media | 85,65 | 840,28 | 8,45 | 10,92 |
| | Mínimo | 69,94 | 686,12 | 4,33 | 7,93 |
| | | | | | |
| SECCIÓN ESTIMADA CON ÓXIDO | Máximo | 80,80 | 792,66 | 10,99 | 12,72 |
| | Media | 67,43 | 661,49 | 7,50 | 9,69 |
| | Mínimo | 54,84 | 538,02 | 3,92 | 6,99 |
| | | | | | |
| ENSAYOS TOTALES DE ALAMBRE | Máximo | 108,82 | 1.067,51 | 12,19 | 14,35 |
| | Media | 76,54 | 750,88 | 7,97 | 10,30 |
| | Mínimo | 54,84 | 538,02 | 3,92 | 6,99 |
| | | | | | |

Nota: Resistencia máxima a tracción (**Rm**), Alargamiento porcentual bajo carga máxima (**Am**), Alargamiento porcentual de rotura (**Ar**).

La palpable reducción de las características mecánicas en el alambre degradado, puede deberse principalmente a la corrosión del material por su exposición a la atmósfera y a la tensión de tracción permanente que ha estado soportando a lo largo de los años de uso. Esta hipótesis corroboraría lo afirmado por [3], que afirma que un material con una picadura producida por corrosión, experimenta una concentración de tensiones

en la zona afectada si se le aplica algún esfuerzo. Dicho efecto conduce a una rotura del metal más temprana, que la esperada para el mismo material sin corroer. Además, el hecho de que el alambre se encuentre sometido a una tensión permanentemente, aumenta los efectos nocivos de la corrosión [3], [4].

Tabla II. Comparación entre las características mecánicas del alambre acerado y del alambre degradado, según los ensayos de tracción realizados sobre ambos materiales.

| PARÁMETROS | Rm (kp/mm ²) | Rm (MPa) | Am (%) | Ar (%) | |
|-------------------|--------------------------|----------|----------|--------|-------|
| ALAMBRE ACERADO | Máximo | 141,54 | 1.388,54 | 21,81 | 60,55 |
| | Media | 138,41 | 1.357,84 | 16,38 | 52,83 |
| | Mínimo | 135,96 | 1.333,74 | 13,90 | 47,29 |
| ALAMBRE DEGRADADO | Máximo | 108,82 | 1.067,51 | 12,19 | 14,35 |
| | Media | 85,65 | 840,28 | 8,45 | 10,92 |
| | Mínimo | 69,94 | 686,12 | 4,33 | 7,93 |

Nota: Igual que en la Tabla I.

De las dos formas de calcular los parámetros mecánicos en el alambre degradado, se ha escogido la que tiene en cuenta la sección estimada sin óxido, ya que la herrumbre superficial no proporciona resistencia al material y distorsiona la comprobación decisión lo explicado por [3], el cual aclara que la corrosión paralela a la superficie de un acero laminado provoca el aumento de volumen del material, efecto que se ha manifestado en el alambre degradado al efectuar las medidas de los diámetros con óxido y sin óxido, resultando éstos últimos más parecidos a los diámetros nominales originales.

3.2.1 Evolución de las características mecánicas dentro de la estructura.

Los resultados indicaron que la máxima resistencia a la tracción (**Rm**) es el único parámetro que no se ve afectado por la orientación del alambre, ya que tanto la deformación bajo carga máxima como la de rotura varían dependiendo de este parámetro. Las muestras orientadas longitudinalmente (con dirección Este-Oeste) soportaron mayores deformaciones en los ensayos que las orientadas transversalmente (con dirección Norte-Sur).

La línea de muestreo ha influido sobre todas las características mecánicas del material, si se consideran todas las muestras, por lo que podría deducirse que entre las líneas de recogida hay diferencias para todas las propiedades debido sólo a este factor. Sin embargo esto no es del todo cierto en el caso de las deformaciones, ya que si se analizan las muestras separando las orientadas transversalmente de las orientadas longitudinalmente, no se establecen diferencias entre las distintas líneas

para los dos tipos de alargamiento (deformación bajo carga máxima y en rotura). Esto hace pensar que la variación de las deformaciones entre las filas de muestreo se debe solo a la orientación de los alambres, puesto que dicho factor si influyó en las propiedades indicadas, y hay que tener en cuenta que en cada línea se recogieron muestras orientadas en las dos direcciones.

La posición de la muestra en la línea de recogida únicamente ha influido en las deformaciones bajo carga máxima y en rotura. Es muy importante el hecho de que las diferencias entre las distintas posiciones, sólo se han observado al analizar exclusivamente las muestras transversales, lo cual indica que hay desigualdades entre los diversos hilos transversales de alambre (con dirección Norte-Sur). También se deduce por esto, que no existe heterogeneidad entre las distintas posiciones de un mismo hilo longitudinal de alambre.

El estudio de las muestras separándolas según su orientación, es necesario para poner de manifiesto que, en el caso de la tensión máxima obtenida en los ensayos, existen diferencias entre las distintas porciones de un mismo hilo de alambre transversal, pero no sucede así a lo largo de un mismo hilo de alambre longitudinal, donde las tensiones han resultado ser más uniformes. Como los alambres transversales tenían cambios de dirección en la malla de cubierta del invernadero, pero los longitudinales no, el resultado de este análisis hace sospechar que la variación de inclinaciones del material incide sobre la máxima resistencia soportada por los diversos tramos de un mismo hilo de alambre.

4. BIBLIOGRAFIA.

- [1] DÍAZ, J.; PÉREZ, J. Curso superior de especialización sobre tecnología de invernaderos. p. 352, Ed. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA), Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Almería, 1994.
- [2] MATALLANA, A.; MONTERO, J. Invernaderos. Diseño, construcción y climatización, p. 209, 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1995.
- [3] EVANS, U. Corrosiones metálicas. p. 318, Editorial Reverté, Barcelona, 1987.
- [4] SMITH, W. F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. p. 715, 3ª edición. McGraw Hill, Buenos Aires, 1998.
- [5] DeGARMO, E.P.; BLACK, J.T.; KOHSE, R.A. Materiales y procesos de fabricación. p. 1255, 2ª edición. Editorial Reverté, Barcelona, 1994.
- [6] <http://www.atég.es/Propiedades.htm>. Asociación Técnica Española de Galvanización (ATEG)

[7] <http://www.moreda.com/esp/moreda.htm>. Trefilería Moreda S.A. (Gijón)

[8] BARROSO, S.; IBÁÑEZ, J. Introducción al conocimiento de materiales. p. 432, 1ª edición. Cuadernos de la U.N.E.D., Madrid, 1996.

[9] CALLISTER, W. D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. p. 459, 3ª ed. Editorial Reverté, Barcelona, 1995.

[10] UHLIG, H. Corrosión y control de corrosión. p. 393, Ediciones Urmo, Bilbao, 1979.

[11] UNE 7474-1. Parte 1. Materiales metálicos. Ensayo de tracción. Parte 1: Método de ensayo (a la temperatura ambiente). p. 36, Norma española AENOR, Madrid, 1992.