

# **EVALUACIÓN DE FACTORES QUE DETERMINAN EL CONFORMADO DE CABLE PLANO CON AISLANTE**

***Oscar Antonio Montero Sánchez***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*oscarmont92@hotmail.com*

***Horacio Orozco Mendoza***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*horacio.orozco@itcelaya.edu.mx*

## **Resumen**

El proceso de rolado de un cable plano metálico con recubrimiento de PVC, genera problemas específicos como el aumento en el espesor de su recubrimiento aislante así como el alabeo del material metálico con el que está fabricado. Para realizar dicho proceso pueden utilizarse varios métodos que ayudan a reducir los problemas ocasionados. Son los herramientas fijos de acero los más utilizados para llevar a cabo el conformado del cable, sin embargo, estos agudizan también los problemas mencionados anteriormente. En este artículo se evalúan los factores que afectan la estructura total del cable para, con base a este sustento experimental, demostrar la factibilidad de uso de los herramientas móviles. Los factores estudiados a lo largo de este artículo son: el espesor de los herramientas, la rugosidad de las placas y los herramientas, el espaciamiento entre las placas y la presión de trabajo. Con los resultados obtenidos es perceptible que algunos de los factores estudiados tienen poco o nada que ver con los efectos producidos por el proceso de rolado, y el estudio se dirige entonces únicamente sobre aquellos factores que pudieran eliminar por completo los problemas presentados.

**Palabras clave:** cable plano, herramientas, rolado, doblado.

## Abstract

*The rolling process of a metal flat cable with PVC, generates specific problems such as increase in the thickness of its insulating coating and warpage of the metal material with which it is manufactured. For this process several methods that help reduce problems caused can be used. They are fixed the steel tooling used to perform the wire shaping, however, these also exacerbate problems mentioned above. This article discusses the factors that affect the overall structure of cable, based on this experimental support, demonstrate the feasibility of using mobile tooling are evaluated. The factors studied throughout this article are: the thickness of the tooling, the roughness of the plates and tooling, the spacing between the plates and the pressure. With the results it is noticeable that some of the factors studied have little or nothing to do with the effects produced by the rolling process, and the study is then directed solely on those factors that could completely eliminate the problems presented.*

**Keywords:** flat cable, tooling, rolled, folded.

## 1. Introducción

En un proceso de conformado de un cable plano recubierto con aislante para obtener una geometría definida, se pueden utilizar diferentes mecanismos que permitan rolar y doblar, a distintos ángulos y distancias, la estructura del cable. En las figuras 1 y 2 se muestran los procesos de rolado y doblado de un cable plano.



Figura 1 Proceso de rolado del cable y vista frontal de los herramientas y el cable.



Figura 2 Proceso de doblado del cable y vista frontal de los herramientas y el cable.

Los herramientas fijos poseen una serie de ventajas sobre los móviles, entre las cuales se encuentran: menores componentes del mecanismo, facilidad de fabricación de los mismos así como menores costos de fabricación. Sin embargo, el problema principal de estos herramientas es el excesivo aumento del espesor del recubrimiento y el alabeo del aluminio.

Los herramientas fijos para rolado consisten básicamente en dos ensambles de acero (corazón de la matriz y punzón) que son accionados por pistones que aprisionan y dan al cable la forma requerida. En este proceso, debido a diferentes factores, el aluminio sufre pequeñas deformaciones que se traducen en un “levantamiento” del recubrimiento de aislante que podría terminar rompiendo por completo al cable y afectando la configuración total del arnés.

En este artículo se evalúan algunos factores que intervienen en el proceso de rolado (espaciamiento entre las placas, presión de trabajo, rugosidad de los herramientas y placas, etc.) en base a los resultados de distintas pruebas. El estudio permite también evaluar el desempeño de los herramientas fijos y de evaluar la alternativa de emplear herramientas móviles. Los factores estudiados se enumeran a continuación:

- Efecto de los espesores de los herramientas.
- Efecto de la variación del espaciamiento y presión de trabajo.
- Efecto de la rugosidad  $R_a$  de los herramientas y placas de acero.

El proceso de doblado en general no genera daños en el material, debido a que por su forma y naturaleza no es un proceso agresivo, por lo cual no se incluyó en este

estudio. El estudio presentado se refiere básicamente al proceso de rolado realizado con herramientas fijas, empleando para ello punzones y corazones de la matriz fabricados con tres diferentes materiales: acero, nylamid y delrin.

## 2. Métodos

El proceso inicia con la fabricación de punzones y corazones de la matriz con tres diferentes materiales y de geometrías iguales: acero, nylamid y delrin.

### Espesores de los herramientas

Para el herramental de rolado se midieron los espesores del punzón y del corazón de la matriz para los tres materiales. Las mediciones de este parámetro se realizaron a lo largo de la parte de contacto de los herramientas con el cable (6 puntos para el punzón y la matriz, figura 3) con ayuda de un vernier.

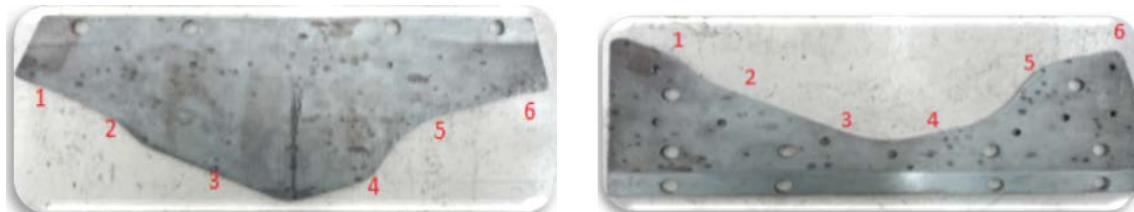


Figura 3 Punzón y Matriz de acero medidos.

### Espaciamiento entre las placas de la matriz y fuerza de formado

Las placas laterales de la matriz no están rígidamente fijas al corazón de la misma. Es necesario dejar cierto juego en este ensamble para permitir la extracción del cable formado. Por otro lado, este juego no puede ser demasiado, dado que facilitaría el alabeo del cable. Este juego se controló mediante el torque de los tornillos de sujeción de placas (6 en total). En todos los experimentos la fuerza de formado se empleó mediante una prensa hidráulica, por lo tanto, la fuerza aplicada tiene una relación directa con la presión de trabajo de la prensa hidráulica, la cual fue monitoreada a través de su manómetro integrado. Las presiones fueron de los 50 a 250  $\frac{kg}{cm^2}$  con incrementos de 50  $\frac{kg}{cm^2}$ .

## Rugosidad $R_a$ de los herramientales y placas de acero

Mediante un rugosímetro digital se midió la rugosidad del punzón y el corazón de la matriz en los puntos críticos de contacto con el cable. La matriz y el punzón se colocaron entre dos placas metálicas sujetas con una prensa, manteniendo en posición vertical cada herramienta con la parte de contacto con el cable hacia arriba. Para los diferentes materiales de los herramientales se tomaron 18 medidas en diferentes puntos para el punzón y 21 para la matriz de rugosidad  $R_a$ , siendo estos puntos aquellos donde existía un cambio de forma del herramienta (de línea curva a línea recta) como lo muestra la figura 4.



Figura 4 Puntos de medición de rugosidad en el herramientales de acero: Punzón y Matriz.

Los puntos críticos fueron suavizados (pulidos) para observar el efecto del cambio de la rugosidad en la integridad y calidad del producto.

También se llevaron a cabo mediciones de rugosidad en las caras internas de las placas de la matriz (que sujetan a los herramientales) antes y después de pulir. En total, seis mediciones de rugosidad en cada placa fueron realizadas (figura 5).



Figura 5 Puntos de medición de la rugosidad de las placas de acero del herramientales.

## Pruebas con herramientales de acero

En este apartado se describen con más detalle las pruebas con herramientales de acero. Las pruebas realizadas con los herramientales de nylamid y delrin en

general no se describen con detalle, porque los resultados de formado fueron de menor calidad debido a la poca rigidez de estos materiales.

Con los herramentales de acero se empleó una presión y un par aplicado a los tornillos de  $100 \frac{kg}{cm^2}$  y  $30 lb \cdot ft$ , respectivamente. Las muestras utilizadas durante las pruebas fueron cinco, de aproximadamente cada una  $54 cm$ . Se emplearon estos valores ya que dieron un mejor resultado en el formado. Para estas pruebas se emplearon la presión y el par aplicado a los tornillos encontrados en la Prueba 2:  $100 \frac{kg}{cm^2}$  y  $30 lb \cdot ft$  respectivamente. Las muestras utilizadas durante las pruebas fueron cinco, de aproximadamente  $54 cm$ . cada una, obtenidas de un segmento de cable plano de  $271 cm$ .

Se midió el espesor de cada una de las muestras del cable en tres puntos distintos (dos al extremo y uno al centro) para determinar así el promedio espesor del cable. La medición del espaciamiento entre las dos placas de acero se obtuvo posterior a la colocación del cable dentro del herramental y una vez aplicado el torque de  $30 lb \cdot ft$  en los seis tornillos.

El herramental con la muestra de cable dentro se colocó en la parte inferior de la prensa hidráulica y en la parte superior de la misma el punzón. Cada una de las pruebas fue detenida hasta observar la presión de  $100 \frac{kg}{cm^2}$  (figura 6).



Figura 6 Prueba con la prensa mecánica, empleando los herramentales de nylamid.

Una vez concluidas las pruebas se promediaron seis mediciones de la variación del espesor en todas las muestras del cable. Los puntos de medición corresponden a

los puntos de cambio de dirección del cable. Cada variación obtenida corresponde al espesor del cable, como se muestra en la figura 7.



Figura 7 Puntos para la medición de la variación de espesor en las muestras de cable.

### **Medición de los alabeos del cable con herramentales de acero**

Esta actividad está relacionada con la anterior, ya que después de rolar el cable con ayuda de la prensa hidráulica se procedió a medir el alabeo de cada uno de los cables utilizados. Las mediciones del alabeo se obtuvieron restando cada una de las deformaciones del espesor promedio. Cada alabeo obtenido corresponde al espesor del cable en los cambios de dirección (de una sección curva a una recta).

## **3. Resultados**

### **Efecto de los espesores de los herramentales**

Como puede apreciarse en figura 8, el espesor del corazón de la matriz fue mayor en todos los casos que el espesor del punzón, lo cual es necesario para que al introducir el punzón dentro de la matriz, se reduzca el desgaste al reducir la fricción entre la matriz y el punzón. Los herramentales de acero presentaron, en promedio, el menor espesor. La diferencia mayor fue entre los herramentales de acero y nylamid, siendo esta de  $0.8 \text{ mm}$ . Se consideró que esta diferencia no es relevante en el desempeño de los herramentales.

### **Espaciamiento entre las placas de la matriz y fuerza de formado**

En la figura 9 (izquierda) se muestra el resultado del rolado bajo la acción de una presión de trabajo máxima. Desde  $50$  a  $250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  con incrementos de  $50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ . En base a una inspección visual puede apreciarse que empleando una presión de

$100 \frac{kg}{cm^2}$  se obtienen los mejores resultados. En la figura 9 (derecha) se muestra el resultado para un torque máximo de apriete, empleando la presión de  $100 \frac{kg}{cm^2}$  definida anteriormente. El uso de un torque de  $30 lb \cdot ft$  obtiene los mejores resultados.

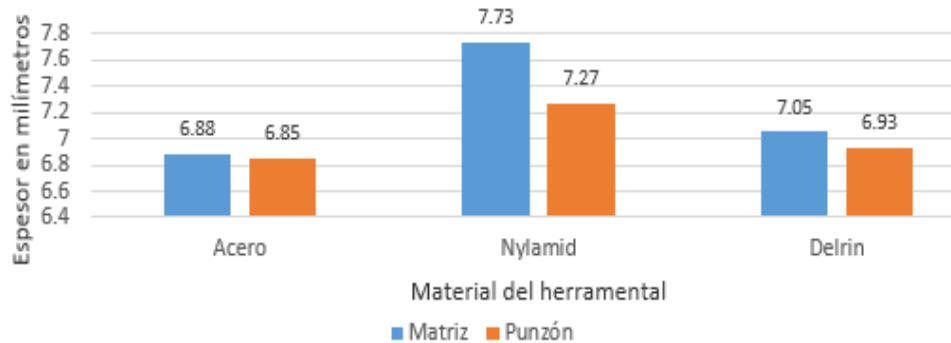


Figura 8 Espesores de los herramentales.



a) Maltratado a  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

b) Rotura con  $30 \text{ lb} \cdot \text{ft}$ .

Figura 9 Recubrimiento maltratado y con rotura.

### Rugosidad $R_a$ , de los herramentales y placas de acero

En la figura 10 se muestran los valores de la rugosidad del corazón de la matriz y del punzón, antes y después de pulirlos, para los tres materiales. Como se puede observar, si se disminuyó la rugosidad en el herramental de acero pero la rugosidad de los herramentales de nylamid y delrin aumentó, esto es debido a la dificultad para pulir estos materiales (en algunos casos se desprendían pequeñas tiras del material). En el nylamid y delrin se disminuyeron los cambios abruptos en los perfiles del punzón y del corazón de la matriz.



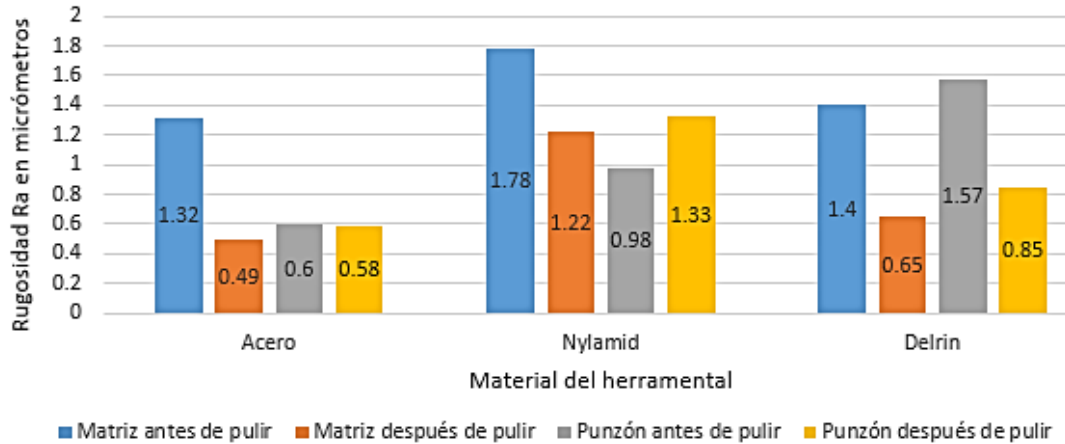


Figura 10 Comparación de las rugosidades promedio de los herramentales.

Una de las desventajas principales del delrin consiste en su deformación presente antes y después de las pruebas. Dicha deformación resulta en un “pandeo” excesivo de la matriz y punzón, la cual puede solucionarse momentáneamente al aplicar el torque de  $30 \text{ lb} \cdot \text{ft}$ . Aunado a lo anterior debe considerarse también la dificultad de maquinar placas de nylamid y delrin con espesor uniforme.

En la gráfica de la figura 11 se observan los valores de la rugosidad de las placas antes y después de pulir.

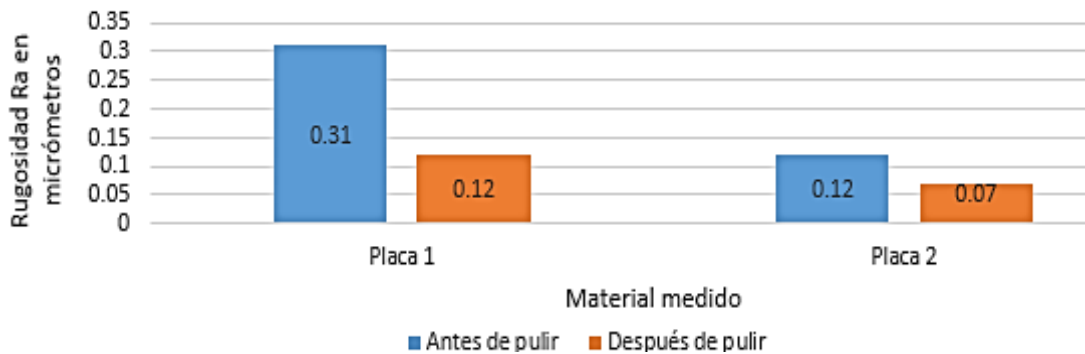


Figura 11 Comparación de las rugosidades promedio de las placas.

## Pruebas con herramentales de acero

Los herramentales de acero fueron los únicos que lograron reducir el alabeo en el cable, siendo de  $0.49 \text{ mm}$  la disminución máxima de este parámetro, en la Muestra 1. Las muestras de cable con marcas menos notorias sobre la superficie

fueron los realizados con estos herramientas. Durante las pruebas utilizando los herramientas de acero, al igual que con el delrin, se presentó el inconveniente de que resultaba imposible retirar el punzón de manera sencilla, por lo cual era necesario desatornillar las placas para poder retirarlo y eso provocaba una pérdida de tiempo importante para el proceso.

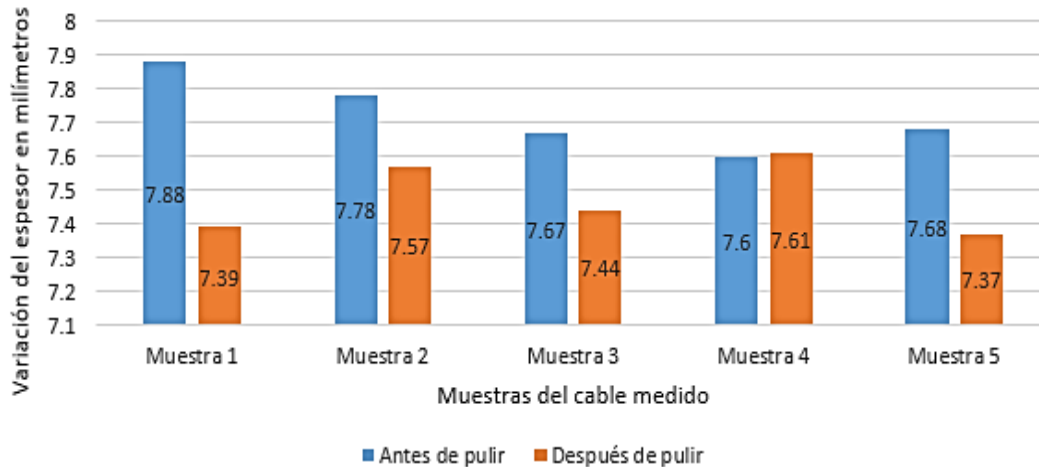


Figura 12 Variación promedio del espesor antes y después de pulir (acero).

## Medición de los alabeos del cable con herramientas

La figura 13 contiene la comparación del alabeo promedio de cable rolado con los tres tipos de herramientas. El alabeo promedio aumentó en las muestras de nylamid y delrin después de haber pulido los herramientas. En el caso del nylamid fue de  $0.12\text{ mm}$  y en el delrin  $0.41\text{ mm}$ . Por su parte, el alabeo disminuyó por  $0.14\text{ mm}$  en las pruebas con herramientas de acero.

## 4. Discusión

De los resultados es posible concluir que el aumento en el espesor del punzón y del corazón de la matriz genera un aumento en el espesor y el alabeo del espesor del cable.

El aumento en el espesor del cable se debe a la deformación del recubrimiento aislante. Es posible reconocer que un espesor mayor en los herramientas, tanto de la matriz como del punzón, genera mayores variaciones de espesor y un alabeo

significativo. Si el espesor del herramental aumenta, la relación existente entre ese espesor y el del cable se pierde y el cable tiende a “deformarse” con mayor facilidad. De ahí el por qué los herramentales de acero, que presentan la menor relación de espesores, son efectivos en el momento de disminuir los problemas mencionados.

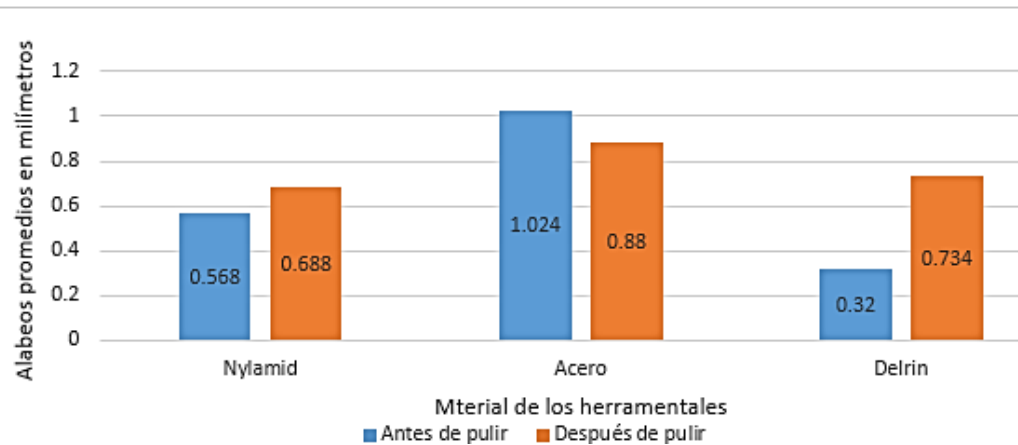


Figura 13 Comparación de alabeos promedios.

Es importante también mantener una relación adecuada de espesores entre la matriz y el punzón, que el primero sea más grande que el segundo, para facilitar la entrada y salida de este último. Adicionalmente es importante considerar la rigidez de los materiales por lo cual los herramentales de acero son los más apropiados. Si el espaciamiento es menor a 0.16 m se genera una disminución en el alabeo del cable. Luego entonces, tanto el espaciamiento entre las placas como la presión utilizada si son factores que deben considerarse para estudiar el alabeo del cable. Los herramentales de acero presentan mayor ventaja en su uso debido a la facilidad con la cual se pueden pulir y a que no presentan desprendimiento de material. El factor rugosidad no se vuelve importante en el proceso de rolado, pero sí el “suavizar” cada una de los cambios abruptos de geometría del herramental. La rugosidad de las caras internas de las placas es un factor importante, ya que disminuyendo su valor hace posible que el cable sea retirado de una manera fácil y rápida lo que elimina completamente la deformación causada cuando el proceso termina y se retira el cable del herramental.

## 5. Bibliografía y Referencias

- [1] Chura Uruchi, Víctor. *Conformado de una pieza de aluminio: moldeo en arena verde, fundición y colada*. Revista Tecnológica, 1-7. 2014.
- [2] Hinojosa Rivera, Moisés & Reyes Melo, Martín Edgar. *La rugosidad de las superficies: Topometría*. Ingenierías Volumen IV No. 11, 27-33. 2010.
- [3] Kallewaard E., Valentina & González R., Hernán Antonio. *Estudio de las variables que afectan la rugosidad superficial en el torneado de piezas esbeltas bajo*. Scientia Et Technica, 256-261. Diciembre 2008.
- [4] Rodríguez Grasso, Juan Manuel, Torres Valhuerdi, Antonio & González Alonso, Alonso. *Rugosidad superficial*. Proyectos de la Facultad de Química-Mecánica, 12-15. 2008.