

# Efecto del tensionivelado sobre el fenómeno del envejecimiento en la lámina de acero galvanizada en los espesores de 0.46 y 0.60 mm

Jorge Luis Bris Cabrera\*, Alejandro Vargas Cardona\*\*,  
Bleyder Martínez García\*\*

---

## Resumen

*En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la investigación sobre la incidencia del proceso de tensionivelado sobre el fenómeno de envejecimiento de la lámina de acero galvanizada en espesores de 0.46 y 0.60 mm, tomando en cuenta la evolución de las propiedades mecánicas de la lámina presentadas en los cinco meses siguientes a su procesamiento en la línea de galvanización.*

*Se puede destacar que el tensionivelado no elimina el fenómeno de envejecimiento en la lámina de acero, pero sí afecta los valores de la dureza, resistencia máxima, resistencia a la fluencia y porcentaje de elongación; por consiguiente, presenta nuevas curvas de evolución de las propiedades mecánicas en el tiempo. Además, se pudo comprobar que la tensión continua y los esfuerzos de flexión alternados aplicados por el tensionivelador sobre la lámina galvanizada eliminan el defecto conocido como «bandas de Lüders» o «fluting».*

**Palabras clave:** Envejecimiento del acero, tensionivelado, «fluting», «bandas de Lüders», lámina de acero galvanizada, tensión continua y esfuerzos de flexión alternados.

## Abstract

*Results obtained from investigating the influence of the tensionlevelling process on the aging phenomenon of the galvanized steel sheet galvanized in the 0.46 and 0.60 mm thickness, taking into account the evolution of the mechanical properties of the sheet in the following five months are presented.*

*It was noticed that the tensionlevelling process does not eliminate the aging phenomenon in the steel sheet, but it affects the values of the hardness, maximum strength, yielding strength and elongation; curves of the evolution of the mechanical properties with the time. It could be proven that the continuous tension and the alternate flexion stress applied by the tensionleveller on the galvanized sheet eliminate the defect know as «Lüders bands or fluting».*

**Key words:** Aging of the steel, tensionlevelling, «fluting», «Lüders bands», galvanized steel sheet, continuous tension and alternate flexion stress.

Fecha de recepción: 27 de julio del 2001

---

\* Ingeniero Mecánico, Universidad del Norte; Minor en Gestión de Proyectos de Ingeniería de la misma universidad; M.Sc. en Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes; Jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte. (jbrix@uninorte.edu.co).

\*\* Estudiantes de último semestre del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte y autores de la tesis base para la formulación de este artículo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En investigaciones anteriores hechas en una compañía de aceros de la ciudad de Barranquilla se ha estudiado la lámina de acero galvanizada, y de esta forma se ha obtenido un mayor conocimiento sobre su comportamiento mecánico después de procesada y las variables con mayor incidencia sobre ésta. Se determinó que la lámina galvanizada presenta envejecimiento a temperatura ambiente que se manifiesta como un aumento de la dureza en el tiempo, siendo más severo en los espesores de 0,45 mm a 0,90 mm [1]. Además, el material presenta acostillamientos al momento de conformarlo, fenómeno conocido como «bandas de Lüders» o «fluting»; lo cual genera rechazos y reclamos por parte de los clientes y consumidores por la pobre apariencia de los productos elaborados con esta lámina [2].

Con el propósito de eliminar los acostillamientos presentados en el material, y a su vez darle una planitud óptima a la lámina galvanizada, un proceso de tensionivelado fue agregado al tren de galvanización en diciembre de 1999.

En vista de lo anterior se decidió investigar el efecto del tensionivelado sobre las propiedades mecánicas (resistencia máxima, resistencia a la fluencia, dureza y porcentaje de elongación) de la lámina galvanizada frente al fenómeno de envejecimiento.

## 2. GENERALIDADES

El envejecimiento es un proceso de endurecimiento producido por un precipitado finamente disperso en la aleación. Este precipitado impide el movimiento de las dislocaciones durante la deformación, forzándolas a pasar a través de las partículas de precipitado o a rodearlas. Por esta restricción del movimiento impuesta a las dislocaciones, la aleación se endurece [3]. El proceso descrito anteriormente es el que presenta la lámina galvanizada, lo que repercute al momento de conformarla plásticamente en la aplicación de una fuerza mayor a la requerida en una lámina sin envejecimiento y en la aparición del acostillamiento en la superficie.

El propósito del proceso de tensionivelado es producir una lámina totalmente plana sin el defecto llamado «fluting». El tensionivelador utiliza una combinación de alta tensión continua y fuerzas alternativas de flexión que permiten estirar y aplanar la banda metálica, además de eliminar las irregularidades como: ondulaciones y tensiones residuales, que son causadas por los diferentes procesos de fabricación a los que es sometida previamente la banda de metal [4]. La deformación plástica que se produce en la totalidad de la sección del material durante las flexiones alternadas elimina todas las tensiones inherentes y produce nuevas tensiones residuales uniformes en el plano

superficial de la banda. Otra característica notable es la mejora del perfil de la lámina debido a la corrección de las variaciones de espesor sobre la anchura del material [5].

El objetivo de esta investigación fue determinar los parámetros óptimos de operación del tensionivelador, con el fin de prevenir la presencia del envejecimiento en la lámina de acero galvanizada, así como determinar la correlación entre las variables del tensionivelador y las propiedades mecánicas de la lámina. Las variables analizadas fueron: el porcentaje de elongación sufrido por el material, la velocidad de la línea y la penetración de los rodillos (E).

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología desarrollada en esta investigación fue de tipo experimental, debido a que a la lámina de acero galvanizada se le practicaron pruebas de laboratorio con el fin de determinar su comportamiento frente a la respuesta al envejecimiento. El punto de partida fue comparar los resultados de los ensayos realizados en el transcurso del tiempo contra las propiedades iniciales de la lámina galvanizada, así como comparar las propiedades de la lámina tensionivelada con la no tensionivelada.

Se realizaron ensayos de dureza y de tensión de acuerdo con las Normas ASTM E10-78 y E8-76, respectivamente; también se llevaron a cabo ensayos de curvatura (*blending*) y análisis espectrométrico mensualmente sobre la lámina de acero galvanizada durante los cinco meses siguientes a su procesamiento en el tensionivelador, a fin de obtener curvas del comportamiento de las propiedades mecánicas en el tiempo.

### 4. RESULTADOS

El total de las muestras recolectadas se dividió en dos grupos: (M1) y (M2) para cada uno de los dos espesores, dado que M1 posee porcentajes de deformación de tensionivelado inferiores y velocidades de procesamiento superiores a M2, tal como se muestra en las tablas 1 y 2; esta variación permite medir la influencia de las variables del tensionivelador sobre las propiedades mecánicas de la lámina de acero.

En las figuras 1 y 2 se puede observar que todas las propiedades mecánicas en la lámina galvanizada con tensionivelado (CT) son superiores frente a la no tensionivelada (ST) en cada uno de los ensayos. Aunque el material tensionivelado presentó una dureza superior a la del material sin tensionivelar, su conformabilidad no disminuyó considerablemente y, por el contrario, también se mantuvo en un valor superior. Además se observa que el material tensionivelado sigue presentando envejecimiento con el transcurso del tiempo, y su máximo valor se da en el tercer mes de envejecimiento para los valores de dureza, resistencia a la fluencia y resistencia máxima, y presenta el mínimo valor para el porcentaje de elongación.



**Tabla 1**  
Condiciones de operación del tensionivelador sobre la lámina  
para el espesor de 0.46 mm.

	ROLLO N°	DEFORMACIÓN (%)	VEL. LÍNEA (m/min)	BRIDA 3 (rpm)	BRIDA 2 (rpm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)
MATERIAL 1	22059	0.25	45.2	670.7	381.6	105.6	99.1	62.8
	22112	0.28	42.8	668.6	382.7	108.0	101.3	64.1
	22852	0.23	43.7	669.6	380.4	103.3	96.8	61.4
MATERIAL 2	28381	0.71	41.2	666.8	386.8	110.9	103.2	65.7
	28461	0.66	40.7	665.3	388.1	110.7	103.4	65.1
	28454	0.58	41.5	667.2	386.0	109.4	102.6	65.0

**Tabla 2**  
Condiciones de operación del tensionivelador sobre la lámina  
para el espesor de 0.60 mm.

	ROLLO N°	DEFORMACIÓN (%)	VEL. LÍNEA (m/min)	BRIDA 3 (rpm)	BRIDA 2 (rpm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3s (mm)
MATERIAL 1	24836	0.19	36.2	557.2	318.4	105.3	98.8	62.17
	24841	0.15	37.5	558.4	315.2	101.3	95.1	61.4
	24843	0.16	35.8	556.9	317.6	103.4	98.4	61.6
MATERIAL 2	28382	0.58	29.9	460.2	262.9	109.8	103.3	65.4
	28422	0.61	29.6	455.6	260.4	109.8	103.4	65.4
	28832	0.56	29.4	452.5	258.6	109.8	103.2	65.3

En las figuras 3 y 4 se evidencia el comportamiento del espesor de 0.46 y 0.60 mm con el transcurso del tiempo; además se observa el comportamiento de las propiedades mecánicas de la lámina con el aumento del porcentaje de deformación en su paso por el tensionivelador.

Para poder medir la incidencia que tuvo el cambio de las variables de operación del material uno (M1) frente al material dos (M2) en cada uno de los espesores estudiados, se graficó la evolución de cada una de las propiedades mecánicas en las figuras 5 y 6. Para el espesor de 0.60 mm (figura 6) no hubo un cambio apreciable para el esfuerzo de fluencia, resistencia máxima y ductilidad; por el contrario, en el espesor de 0.46 mm (figura 5) las variables de operación afectaron el comportamiento de M2. En la condición inicial se presenta una diferencia a favor de M2 de 25 MPa en la resistencia a la fluencia y 30 MPa en la resistencia máxima, mientras la ductilidad disminuye en 1.6 %. La diferencia que presentan estas tres propiedades en el tercer mes se ve reducida drásticamente hasta el punto de presentar valores similares en el quinto mes. Por otro lado, la dureza entre M1 y M2, para los dos espesores en la condición inicial, presenta una diferencia de 3 HRB a favor de M2, y a pesar de esto su dureza no supera los 60 HRB, valor

aceptado por los estándares de calidad de la empresa en sus láminas de acero galvanizadas. Algo que tienen en común todas estas gráficas es que el comportamiento de M2 es más uniforme que el de M1 en cuanto a que la diferencia entre los valores de las propiedades desde la condición inicial al tercer mes son inferiores. Obsérvese también en las figuras 5 y 6 que en el tercer mes después de galvanizadas cada una de las propiedades mecánicas intentan converger en el mismo valor, independientemente del valor que hallan tenido al momento de ser tensioniveladas.

Dentro del comportamiento del material tensionivelado se debe destacar la no aparición del «fluting» transversal<sup>1</sup> o «bandas de Lüders» en el transcurso de todos los ensayos de curvatura practicados a la totalidad del material. Por el contrario, en ambos espesores el «fluting» longitudinal<sup>2</sup> presentó sus primeros vestigios desde el segundo y tercer mes. Aunque el objetivo aquí no es determinar o cuantificar la severidad de las «bandas de Lüders» presentadas longitudinalmente, se puede decir que éstas son tenues en comparación con las presentadas en la totalidad del material sin tensionivelado, el cual presenta el ya mencionado defecto, tanto transversal como longitudinalmente, desde el momento de ser galvanizado.

En cuanto al porcentaje de carbono, éste se mantiene en un promedio de 0.035% para todo el material, lo que indica que la composición química mantiene una igualdad de condiciones para toda la investigación; por lo tanto, esta variable no se tiene en cuenta para correlacionar la evolución del material frente al envejecimiento.

## CONCLUSIONES

- Cuando se procesen en la línea de galvanización los espesores de 0.46 mm y 0.60 mm, se debe operar el tensionivelador con rangos de porcentajes de deformación y velocidades de línea de 0.30% a 0.50% y de 41 m/min a 43 m/min, para el espesor de 0.46 mm, y para el espesor de 0.60 mm, de 0.25% a 0.45% y con velocidades de 31 m/min a 35 m/min. Si se rebasan estos valores de porcentaje de deformación, los cambios que se obtendrán en las propiedades mecánicas no serán apreciables, y de esta manera se estará forzando la unidad niveladora y el material innecesariamente.
- Las propiedades mecánicas de la lámina galvanizada estudiadas en esta investigación presentan variaciones con el tiempo, sin importar que ésta sea tensionivelada o no, lo cual se debe a que el problema del envejecimiento es causado por la tendencia

<sup>1</sup> Se le llama *fluting transversal* a aquel que aparece perpendicular a la dirección del laminado.

<sup>2</sup> Se le llama *fluting longitudinal* a aquel que aparece en paralelo a la dirección del laminado.

del material a precipitar carburos y nitruros en su estructura base o matriz. Aunque la lámina galvanizada sea sometida a una tensión elevada durante el proceso de nivelación, el fenómeno de envejecimiento no se detendrá simplemente se atenuará o se disminuirá.

- El mayor cambio en las propiedades mecánicas se presenta durante los tres primeros meses después de la galvanización, y luego comienzan a estabilizarse en un valor mayor que el inicial. A su vez, las propiedades mecánicas de una lámina tensionivelada siempre presentan un valor superior a las que no fueron sometidas a dicho proceso.
- El porcentaje de deformación proporcionado por el tensionivelador es la variable con mayor incidencia sobre las propiedades mecánicas de la lámina tensionivelada, tales como: dureza, resistencia a la fluencia, resistencia máxima y porcentaje de elongación. Para el espesor de 0,46 mm, las variaciones más significativas se presentaron en la resistencia a la fluencia y la resistencia máxima, donde se obtuvieron diferencias de 10 MPa para la fluencia y valores similares para la resistencia máxima en el material uno (M1) y de 25 y 13 Mpa, respectivamente, en el material dos (M2). Para el espesor de 0.60 mm, se presentaron aumentos en las propiedades anteriores de 18 y 6 MPa en el material uno (M1) y de 20 y 8 MPa en el material dos (M2). De lo anterior puede afirmarse que el porcentaje de deformación tiene mayor influencia en el espesor de 0.46 mm, y que las propiedades mecánicas más afectadas por esta variable de operación son: la resistencia a la fluencia seguida de la resistencia máxima para ambos espesores. En la dureza del material uno (M1) se presentaron valores similares para ambos espesores, mientras que en el material dos (M2) se presentaron diferencias de hasta 3 HRB. A pesar de este último aumento, la ductilidad no disminuye, debido a que el trabajo en frío realizado sobre el material no rebasa la zona de fluencia no uniforme ni se supera el 1% en deformación (esta cantidad no es significativa en cuanto a la alteración de la dureza y la resistencia máxima del material).
- En cuanto al fenómeno de la elongación del punto de fluencia, éste no ha sido suprimido, sólo se ha reducido en las láminas galvanizadas con tensionivelado, y se nota una reducción en la amplitud del límite elástico en la zona de fluencia no uniforme por la cual el material pasa más rápido que en una lámina no tensionivelada. En la lámina de acero tensionivelada con espesores de 0.46 mm y 0.60 mm, los acostillamientos transversales o «bandas de Lüders» en el sentido descrito no se presentan. Sin embargo, el «fluting» longitudinal aparece a partir del segundo mes, sin importar que sea leve o severo, lo cual se debe a que la tensión sólo es aplicada en el sentido de avance de la lámina.



## Referencias

- [1]. JIMÉNEZ, Daniel. Estudio del fenómeno de envejecimiento en la lámina de acero galvanizada producida por ACESCO S.A. (Tesis). 2000. 132 p.
- [2]. VARGAS, Alejandro & MARTÍNEZ, Bleyder. Efecto del tensionivelado sobre el fenómeno de envejecimiento en la lámina acero galvanizada de ACESCO S.A. en los espesores de 0.46 y 0.60 mm. (Tesis). 2001.
- [3]. LAMINACIONES LESACA S.A. Estudio sobre el aplanado de bandas laminadas en frío. 1998.
- [4]. BRONX INTERNATIONAL. *Manual del fabricante del tensionivelador*. 1999.
- [5]. THE ROYAL UNITED SERVICES INSTITUTE LONDON. *Tension and roller levelling of flat products*. 1999.

## Direcciones de Internet relacionadas con el tema

1. [http://www.proeco.com/public/docs/ten\\_t46.html](http://www.proeco.com/public/docs/ten_t46.html)
2. <http://www.edu/dept/chem-eng/biotechEnviron/COAG/fastppt/html>
3. [http://www.me.iastate.edu/me322b\\_s99/ME%20322/Class%20Notes/deformation/strainaging.html](http://www.me.iastate.edu/me322b_s99/ME%20322/Class%20Notes/deformation/strainaging.html)

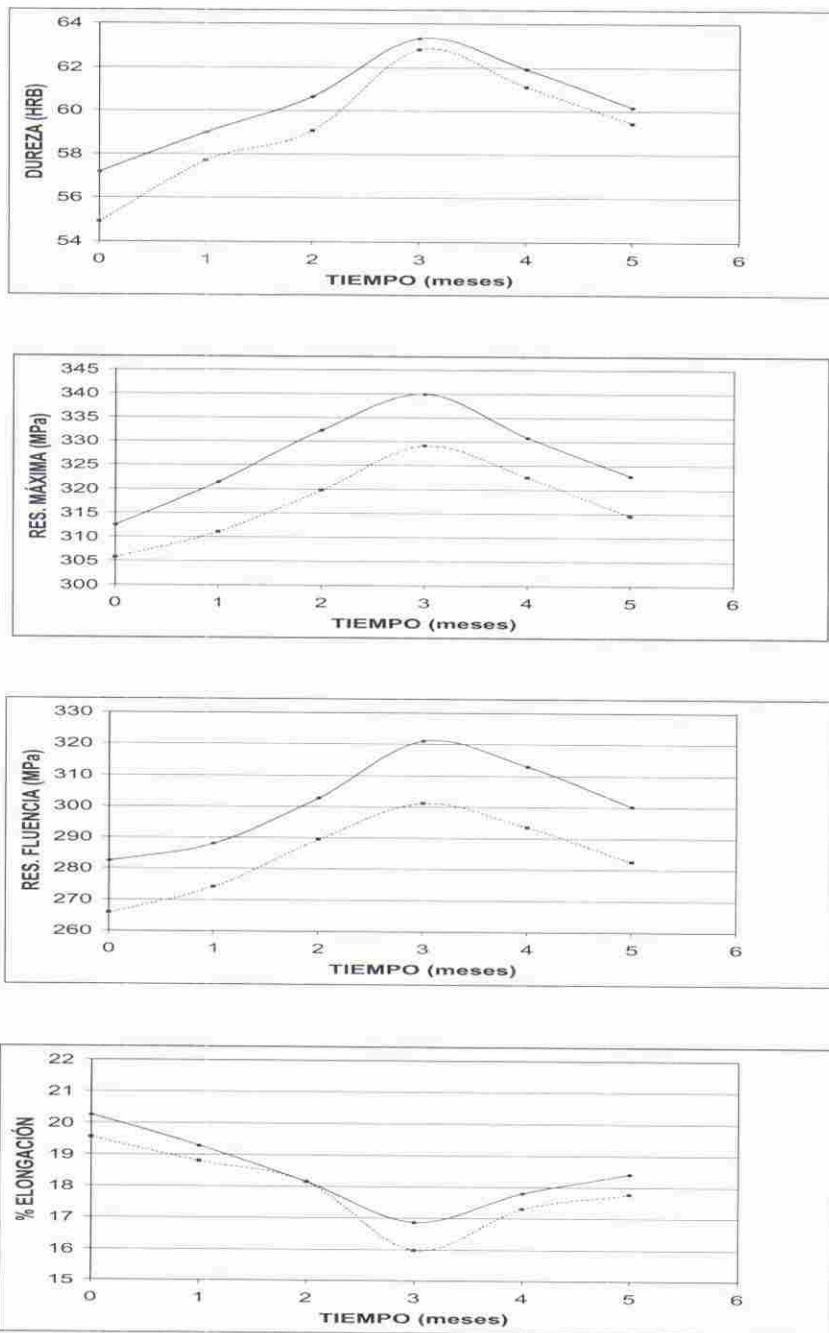


Figura 1. Evolución de las propiedades mecánicas en el espesor de 0.46 mm.



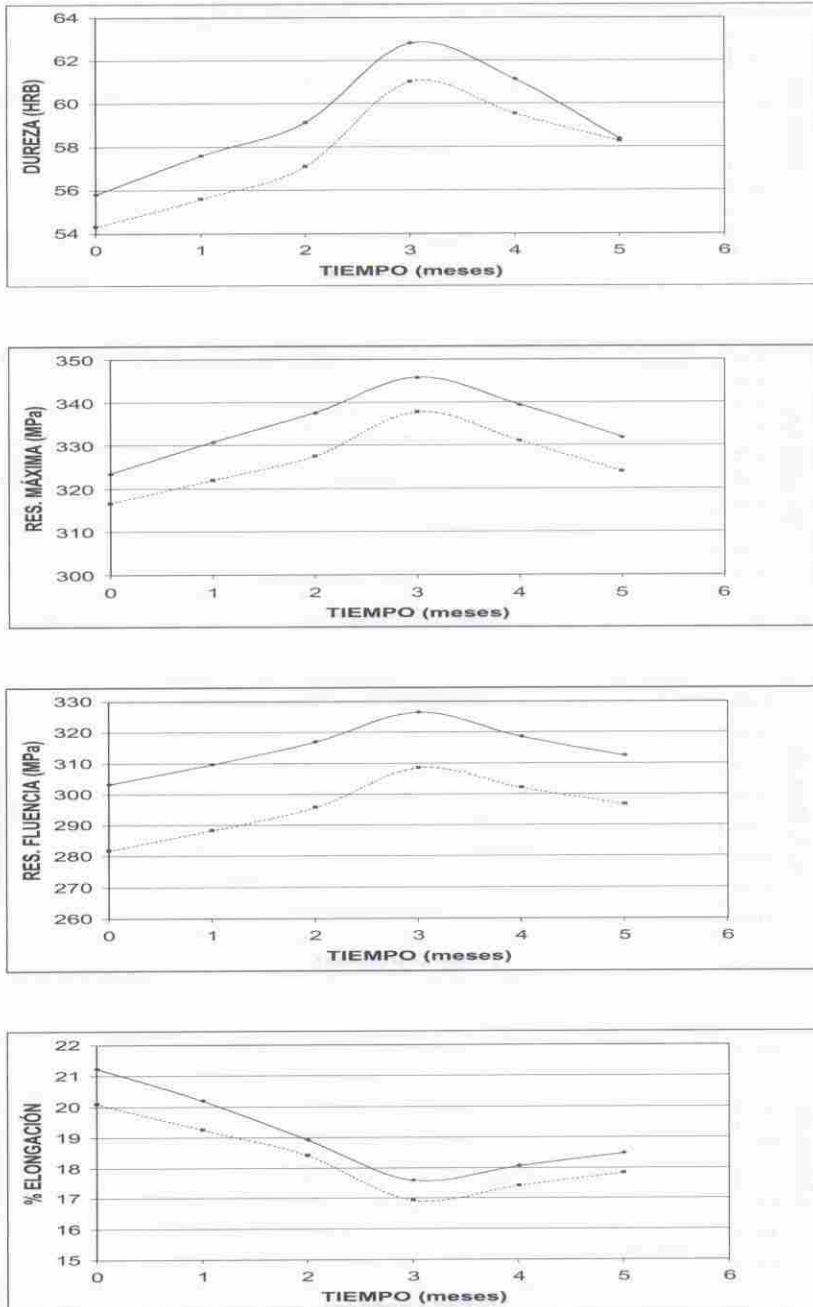


Figura 2. Evolución de las propiedades mecánicas en el espesor de 0.60 mm.

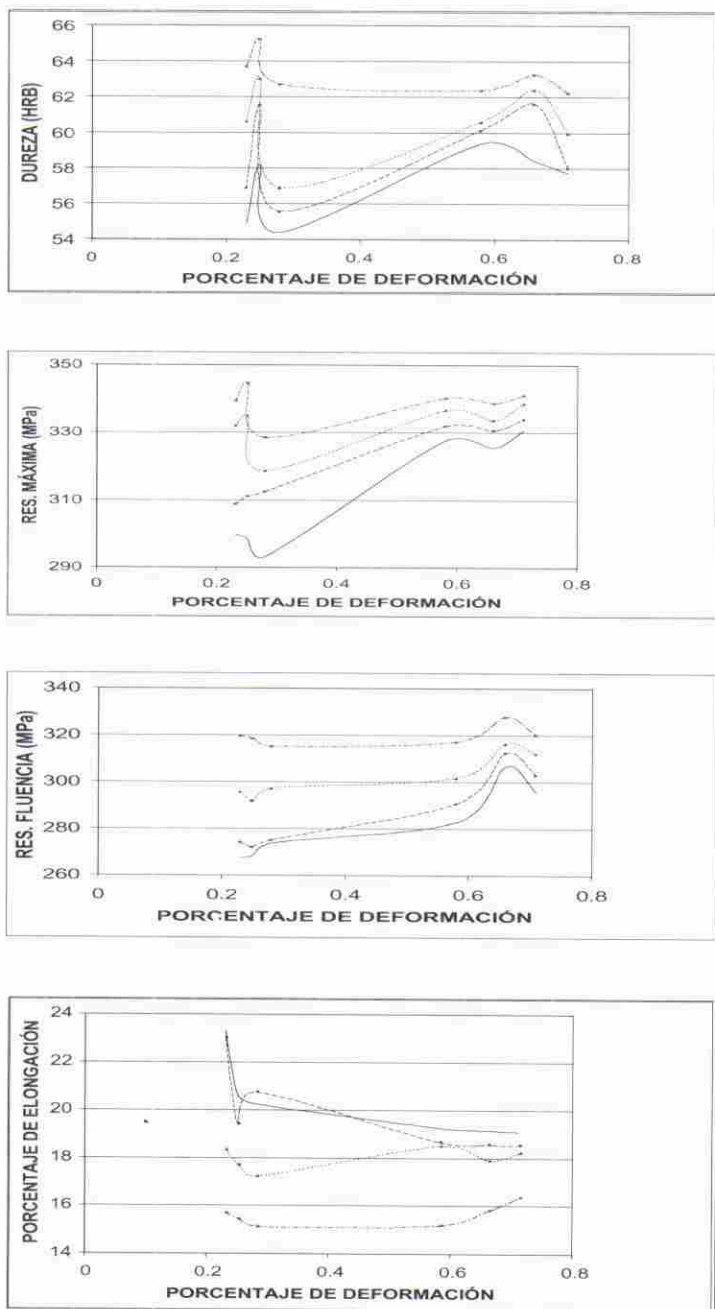
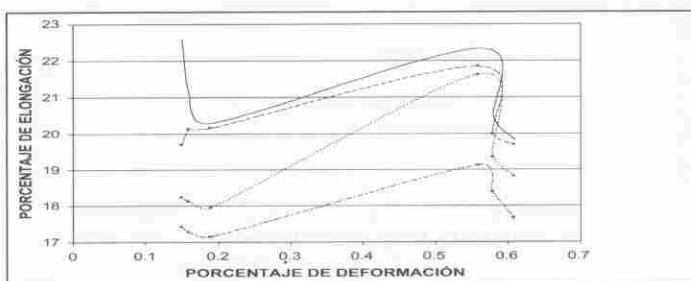
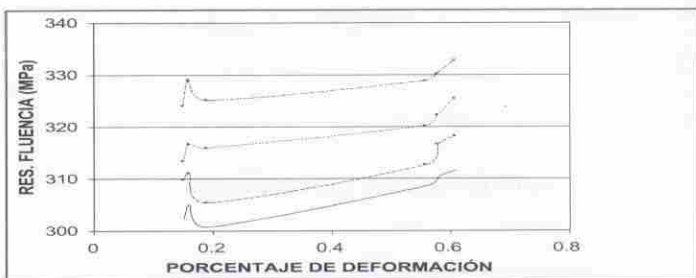
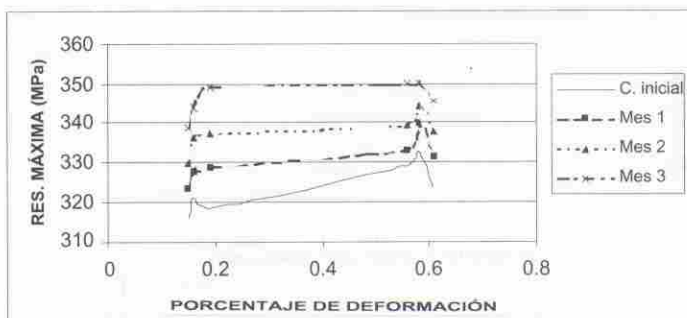
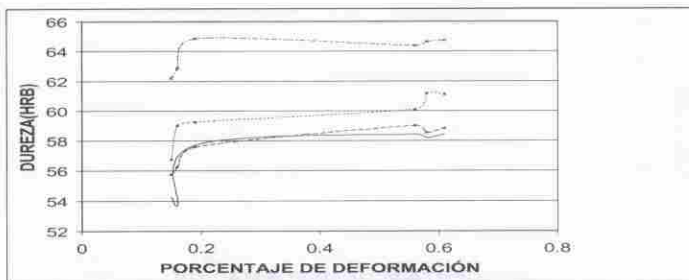


Figura 3. Comportamiento a diferentes porcentajes de deformación de las propiedades mecánicas para el espesor de 0.46 mm con tensionivelado



**Figura 4.** Comportamiento a diferentes porcentajes de deformación de las propiedades mecánicas para el espesor de 0.60 mm con tensión nivelado



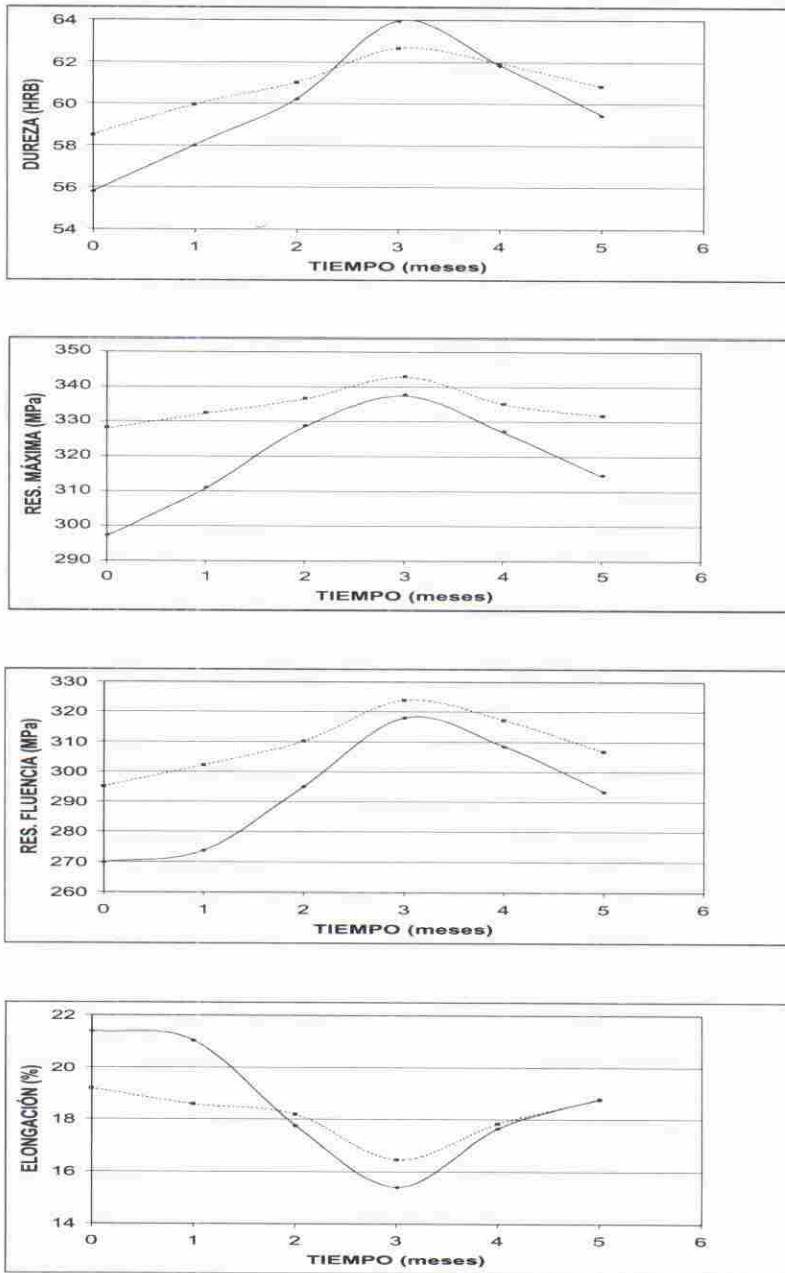


Figura 5. Evolución comparativa de las propiedades mecánicas de M1 frente a M2 para el espesor de 0.46 mm con tensionivelado

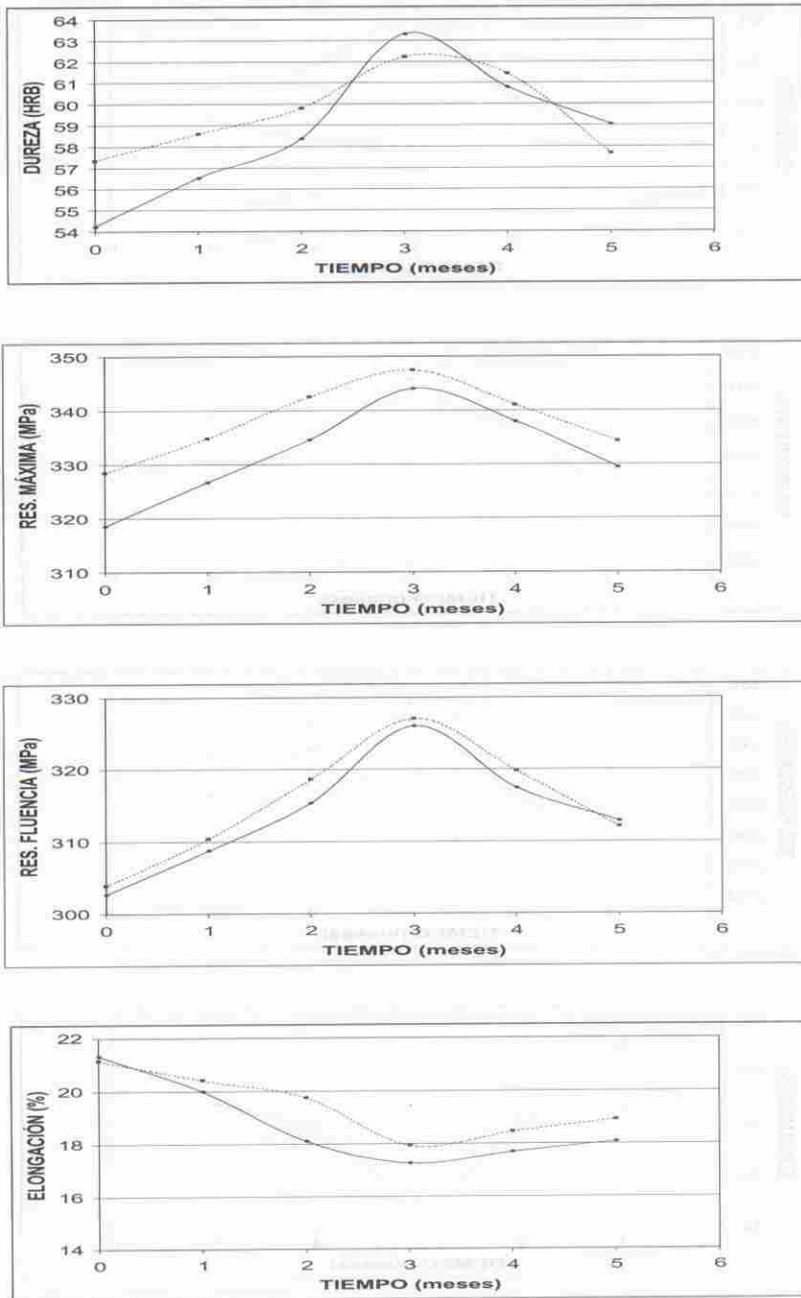


Figura 6. Evolución comparativa de las propiedades mecánicas de M1 frente a M2 para el espesor de 0.60 mm con tensionivelado