



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## DETERMINACION Y ANÁLISIS DE DEFORMACIONES Y TENSIONES RESIDUALES EN UN PRODUCTO LAMINADO DE ALEACION DE ALUMINIO AA 6082 – T6

F.N. Rosso <sup>1</sup>, A.C. Walker <sup>1</sup>, F.V. Díaz <sup>\*1,2</sup>, C.A. Mammana <sup>1</sup>, y A.P.M. Guidobono <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Electromecánica – Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad Regional Rafaela, Universidad Tecnológica Nacional, Acuña 49 (2300) Rafaela, Argentina  
correo-e: felipe.diaz@frra.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

<sup>3</sup> División Metrología Dimensional, Centro Regional Rosario, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Ocampo y Esmeralda (2000) Rosario, Argentina

### RESUMEN

Los estados de deformación y tensión residual, que se generan en la superficie de una placa laminada de aleación de aluminio AA 6082-T6 durante su manufactura, fueron exhaustivamente analizados a partir de datos obtenidos usando un método de micro-indentas. Una de las ventajas de utilizar este método, el cual requiere una máquina de medir universal, es que prescinde tanto de equipos específicos como de operadores altamente calificados, y además, el error absoluto de medición es muy pequeño ( $\pm 0.9$  MPa). Los resultados obtenidos a partir del análisis de círculos de Mohr revelan componentes normales compresivas prevaleciendo en los estados de deformación y tensión residual resultantes. Un aspecto muy importante es que la dirección inherente al valor máximo compresivo se encontró muy cercana a la dirección de laminado. Este hecho estaría definiendo la importancia de dicho proceso, el cual es previo al proceso de endurecimiento térmico T6, en los estados finales de deformación y tensión residual obtenidos. Finalmente, el estado de tensión residual de la superficie evaluada, el cual es cuasi-isotrópico, fue comparado con la tensión de falla del material a partir de la utilización del criterio de von Mises para materiales dúctiles.

**Palabras Claves:** Tensiones residuales, Aleación de aluminio, Laminado, Método de indentas.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando se adquiere un producto laminado de aleación de aluminio, las tensiones residuales generadas durante su manufactura son desconocidas. En primer lugar, es importante determinar el signo de las mismas, ya que si son de tracción pueden generar y propagar fisuras en la superficie de dicho producto [1]. En cambio, si las mismas son compresivas no generan estos problemas. Luego, es muy importante determinar los valores que alcanzan las componentes normales de la tensión residual, tanto de un signo como de otro. Esto se debe a que estas componentes deben sumarse a las generadas por las cargas de servicio. Si esta suma es desconocida y se acerca a la tensión máxima admisible del material, es posible que el colapso de la componente se produzca en el inicio de su vida útil [2].

Recientemente, un método basado en la modificación de distancias entre micro-indentas ha sido desarrollado para determinar tensiones residuales [3]. La modificación de estas distancias ocurre cuando las tensiones son relajadas a través de un procedimiento de distensión térmica. Este método de micro-indentas tiene la ventaja de ser simple y de fácil implementación ya que el mismo no requiere de equipamiento específico. Para medir desplazamientos residuales, esta técnica solo requiere una maquina de medir universal (MMU) [4], un micro-durómetro y un pequeño horno, los cuales pueden encontrarse en diversos talleres y laboratorios.

El propósito de este trabajo es determinar y evaluar exhaustivamente las deformaciones y tensiones residuales en la superficie de un producto laminado de aleación de aluminio AA 6082-T6, usando el mencionado método de micro-indentas. Cabe señalar que esta aleación es relativamente nueva y que, en la literatura, hay muy pocos estudios acerca de las deformaciones y tensiones residuales generadas durante los diferentes tipos de procesamiento a los que está sometido este material [5-7]. En cuanto al método de micro-indentas, un dispositivo de indentación se incorpora a la MMU, el cual permite reducir el error absoluto de medición hasta un rango de  $\pm 0.9$  MPa [5]. Debido a que el error absoluto inherente a las técnicas más utilizadas, como el método de *hole-drilling* [8] o la difracción de rayos X [9], es aproximadamente  $\pm 25$  MPa, el presente estudio no podría haber sido posible usando estas técnicas. Los resultados obtenidos para la aleación estudiada revelan que las componentes normales son compresivas independientemente de la dirección evaluada, y a la vez, bastante mayores que las componentes tangenciales, las cuales son muy pequeñas. Un detallado análisis de estos resultados fue posible empleando la herramienta gráfica denominada círculo de Mohr [10]. Esta herramienta posibilitó detectar que la dirección asociada a la componente principal de la tensión residual más compresiva se halla muy



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

cercana a la dirección original de laminado del material evaluado. Por lo tanto, a pesar del ulterior proceso de endurecimiento térmico T6, el laminado jugaría un importante rol en la generación de los estados finales de deformación y tensión residual. Finalmente, usando el criterio de la máxima energía de distorsión de von Mises [11], se pudo comparar el estado de tensión residual de la superficie medida con la tensión de falla del material. A través de este procedimiento fue posible advertir que el valor obtenido para la tensión residual de comparación representa una fracción apreciable de dicha tensión de falla, lo cual podría generar serias dificultades tanto en el servicio como en ulteriores operaciones de maquinado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como se menciona más arriba, el presente estudio de deformaciones y tensiones residuales se llevó a cabo en un producto laminado (placa) de aleación de aluminio AA 6082-T6. El espesor de este producto es de 4 mm. En cuanto al procedimiento T6, este consistió de tres fases: solubilización (550 °C, 2 horas), temple en agua a temperatura ambiente, y envejecimiento artificial (175 °C, 8 horas). Debido a una fina distribución de partículas precipitadas de AlMg<sub>2</sub> en la matriz de aluminio, esta aleación tiene muy buena resistencia mecánica, la más alta de las aleaciones de la serie 6000. Cabe destacar que este material es principalmente usado en la fabricación de maquinaria industrial, moldes, matrices, y en diferentes clases de estructuras. En relación a sus principales características, estas incluyen buenas propiedades mecánicas y muy buena resistencia a la corrosión. Los valores de composición química de dicha aleación, junto a sus propiedades mecánicas, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición química y propiedades mecánicas de la aleación investigada

Composición química (% peso)								Res. tracción	Lim. elástico	Elongación	Dureza
Al	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Zn	Cu	$\sigma_u$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	A (%)	HV0.5
Base	0.91	0.87	0.58	0.5	0.22	0.2	0.16	290	250	11	108

Las dimensiones de la muestra evaluada fueron de 30 x 30 x 4 mm. Con respecto al método de medición previamente mencionado, el mismo consiste, en primer lugar, en realizar una distribución de micro-indentas sobre la superficie a evaluar. Luego, las coordenadas de dichas micro-indentas se miden ópticamente, antes y después de un tratamiento térmico de distensión (300 °C, 80



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

minutos), usando una MMU (GSIP MU-314). En este trabajo, una distribución de micro-indentas alargadas fue introducida usando un dispositivo mecánico, el cual se integra a la mencionada MMU [5]. A partir de este dispositivo, es posible conseguir una mayor precisión tanto en la generación como en la posterior localización óptica de cada micro-indenta. La Figura 1 muestra dicha distribución, la cual consistió en ubicar dos micro-indentas ortogonales en cada uno de los vértices de un cuadrado imaginario centrado en una de las caras de la muestra.

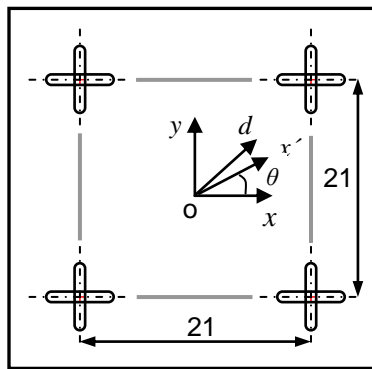


Figura 1 Distribución de micro-indentas. Las medidas se dan en mm

A partir de esta distribución es posible determinar las componentes normales de la deformación residual en tres direcciones. Dos de estas (inherentes a  $\varepsilon_x$  y  $\varepsilon_y$ ) son perpendiculares. La restante (inherente a  $\varepsilon_d$ ) corresponde a la bisectriz de las anteriores. Dichas componentes pueden ser expresadas como

$$\varepsilon_x = \frac{l_x - l'_x}{l'_x} \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{l_y - l'_y}{l'_y} \quad (2)$$

$$\varepsilon_d = \frac{l_d - l'_d}{l'_d} \quad (3)$$

donde  $l_x$  y  $l'_x$  son los valores medios de los lados horizontales del cuadrado (Figura 1) y  $l_y$  y  $l'_y$  los valores medios de los lados verticales del mismo, en ambos casos, antes y después de la distensión, respectivamente. A su vez,  $l_d$  y  $l'_d$  corresponden a la diagonal de pendiente positiva de



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

dicho cuadrado, también antes y después de la distensión. Luego, la componente angular de la deformación residual puede ser obtenida a partir de estas componentes normales usando

$$\gamma_{xy} = 2 \cdot \varepsilon_d - \varepsilon_x - \varepsilon_y \quad (4)$$

Finalmente, si se considera que la superficie evaluada se halla bajo condiciones de tensión plana [10], las componentes normal y tangencial de la tensión residual para el caso de un material elástico lineal, homogéneo e isótropo pueden ser expresadas como

$$\sigma_x = (\varepsilon_x + \nu \cdot \varepsilon_y) \cdot k \quad (5)$$

$$\sigma_y = (\varepsilon_y + \nu \cdot \varepsilon_x) \cdot k \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} \quad (7)$$

donde  $k = E/(1-\nu^2)$ ,  $\nu$  es la razón de Poisson y,  $E$  y  $G$  son los módulos de elasticidad longitudinal y tangencial, respectivamente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se llevó a cabo una serie de tres mediciones de distancias relativas entre micro-indentas antes del tratamiento de distensión. Luego, se realizaron tres mediciones a posteriori de dicho tratamiento, con el material ya relajado. A partir de las Ecuaciones (1) a (7) fue posible obtener las componentes de la deformación y tensión residual para el sistema de referencia original (ejes  $x$  e  $y$ ). La combinación de tres mediciones antes y tres después del tratamiento de distensión posibilita obtener nueve valores para cada una de las mencionadas componentes. Estos valores y los promedios correspondientes se muestran en la Tabla 2.

En cuanto a las componentes de la tensión residual, el error absoluto propio del presente método de micro-indentas es de  $\pm 0.9$  MPa. Este error puede ser considerado muy pequeño al tomar en cuenta los valores obtenidos para las componentes normales (menor al 3%). En cambio, el mismo puede ser considerado como elevado para el caso de las tensiones tangenciales (del orden del 40%). Sin embargo, debe tomarse en cuenta que las tensiones tangenciales obtenidas en este trabajo son extremadamente pequeñas.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

Tabla 2 Componentes de la deformación (%) y tensión residual (MPa)

Medición	$\varepsilon_x$	$\varepsilon_y$	$\gamma_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$
1	-0.04682	-0.02233	0.00475	-42.8	-29.7	1.3
2	-0.04368	-0.02868	0.00215	-41.8	-33.9	0.6
3	-0.04947	-0.02139	0.00180	-44.4	-29.6	0.5
4	-0.04657	-0.02610	0.01010	-43.4	-32.6	2.7
5	-0.04344	-0.03244	0.00750	-42.6	-36.8	2.0
6	-0.04923	-0.02516	0.00715	-45.2	-32.5	1.9
7	-0.04657	-0.02586	0.01412	-43.3	-32.4	3.7
8	-0.04344	-0.03221	0.01152	-42.5	-36.6	3.0
9	-0.04923	-0.02492	0.01117	-45.2	-32.4	2.9
Promedio	-0.04649	-0.02655	0.00781	-43.4	-32.9	2.1

Por otra parte, se debe notar que los valores que alcanzan las componentes de la deformación residual (Tabla 2) se modificaran en la medida que se altere la orientación de sus direcciones. A partir de esto, es posible expresar las componentes asociadas a una dirección arbitraria en función de las componentes inherentes a los ejes ortogonales de referencia  $x$  e  $y$  [10]

$$\varepsilon_{x'} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \quad (8)$$

$$\gamma_{x'y'} = (\varepsilon_y - \varepsilon_x) \cdot \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cdot \cos 2\theta \quad (9)$$

donde  $\theta$  es el ángulo que forma la mencionada dirección arbitraria y el eje de referencia  $x$  (ver Figura 1). Luego, la componente tangencial puede ser expresada como

$$\varepsilon_{x'y'} = \gamma_{x'y'} / 2 \quad (10)$$

Para el mismo ángulo  $\theta$ , las componentes normal y tangencial de la tensión residual pueden ser expresadas como

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \cdot \sin 2\theta \quad (11)$$



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cdot \cos 2\theta \quad (12)$$

Las componentes de la deformación y tensión residual, las cuales varían en forma continua conforme lo hace el ángulo  $\theta$ , pueden ser representadas en forma gráfica por medio de un trazado conocido como círculo de Mohr [10]. Esta representación es de gran utilidad ya que permite visualizar las relaciones entre las componentes normales y tangenciales que corresponden a las diferentes orientaciones. Además, dicha representación también posibilita observar claramente los intervalos de variación de las mencionadas componentes.

La Figura 2 muestra los círculos de Mohr obtenidos, para la superficie evaluada, a partir de los valores medios (ver Tabla 2). Es importante notar que las coordenadas de cada punto de cada círculo representan las componentes correspondientes a un elemento infinitesimal cuyos ejes están rotados un ángulo  $\theta$  con respecto a los ejes de referencia  $x$  e  $y$  [10]. Además, el pequeño segmento de cada círculo define el punto correspondiente a la dirección de referencia ( $\theta = 0$  en la Figura 1).

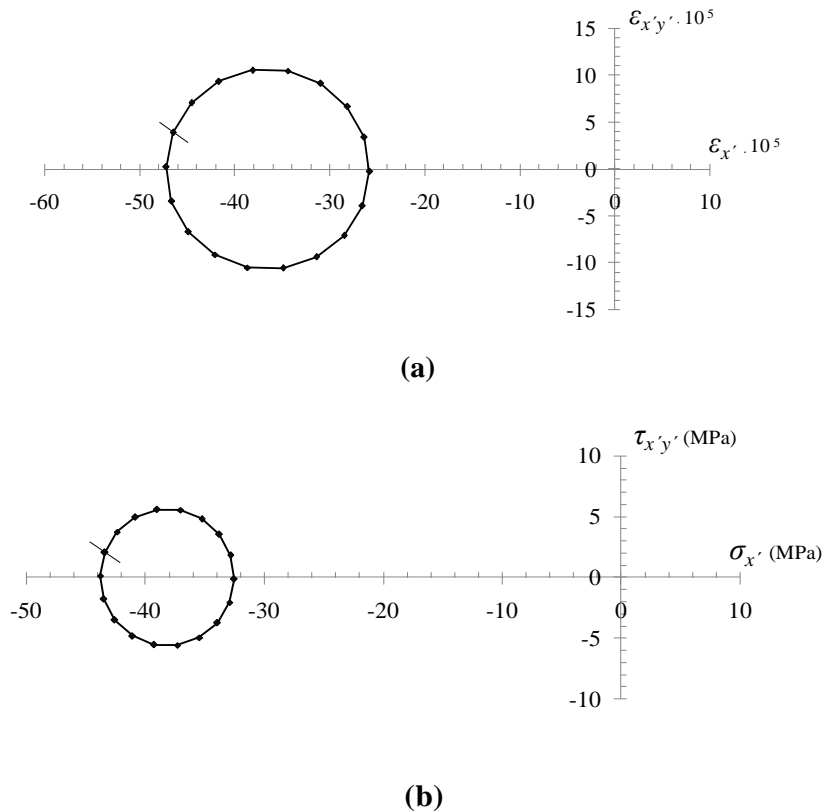


Figura 2 Círculos de Mohr inherentes a las componentes de la (a) deformación y (b) tensión residual



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

En cuanto al círculo que muestra la Figura 2 (b), se advierte una gran diferencia entre componentes normales y tangenciales (estado cuasi-isotrópico). En este círculo, la componente tangencial máxima alcanza un valor de 5.87 MPa, lo cual reduce el error relativo de medición con respecto al obtenido para el sistema de referencia original (ejes  $x$  e  $y$ ). A su vez, los valores que corresponden a las componentes compresivas máximas y mínimas son -43.54 MPa y -32.34 MPa, respectivamente. Es importante destacar que dichos valores fueron hallados para direcciones ortogonales que están rotadas un ángulo de aproximadamente  $10^\circ$  en sentido anti-horario respecto de los ejes de referencia  $x$  e  $y$ , respectivamente. También es de destacar que, para círculos de deformaciones y tensiones homólogos, los ángulos principales deben coincidir. En nuestro caso, debido a que los tensores de deformaciones y tensiones se obtuvieron promediando nueve tensores para cada caso, los ángulos son ligeramente diferentes. Los valores obtenidos fueron  $10.7^\circ$  y  $10.2^\circ$  para los círculos de deformaciones y tensiones, respectivamente. La diferencia entre ambos valores, menor al 5%, indicaría que el análisis llevado a cabo a partir de valores medios es apropiado.

La Figura 3 muestra la importancia de la mencionada rotación angular de aproximadamente  $10^\circ$  en sentido anti-horario respecto de los ejes de referencia. Esta rotación indica que la dirección asociada a la componente principal más compresiva se encuentra muy próxima al eje  $x$ , dirección en la cual se ha realizado el proceso de laminado del material.

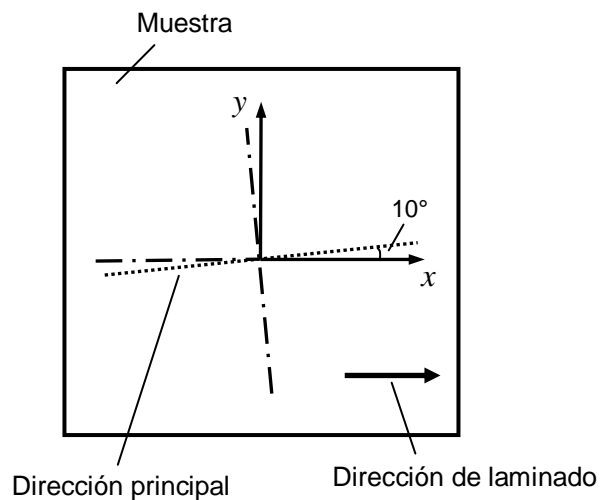


Figura 3 Direcciones de laminado y principal más compresiva de la tensión residual



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL ÁREA  
MECÁNICA  
DE LAS  
INGENIERÍAS

FoDAMI

Este hecho indicaría que la deformación plástica generada durante el proceso de laminado es la causa más importante en cuanto a las tensiones residuales introducidas en el presente material, el cual luego sería endurecido a partir de un proceso térmico de tres fases (T6). Este proceso térmico ayudaría a transformar el estado de tensión residual original en un estado cuasi-isótropico ya que el valor de la componente normal en dicha dirección de laminado resultó ser 32% mayor que el valor obtenido para la dirección perpendicular a la misma. En otro estudio llevado a cabo en un acero para resortes 55 Cr 3 laminado con asistencia de una esfera (sin ulterior endurecimiento) [12], la componente de la tensión residual medida en la dirección de laminado resultó ser 200% más alta que la componente medida en la dirección perpendicular.

Por otra parte, si la superficie medida es considerada estar sujeta a un estado de tensión plana, no se puede predecir si el material fallará o no a partir de la comparación entre los valores de tensión residual obtenidos y los correspondientes a un ensayo de tracción uniaxial. Por lo tanto, algún criterio acerca del mecanismo de falla del material debería ser aplicado. Esto haría posible comparar los efectos de ambos estados de tensiones en el material. El criterio que más se ajusta al material evaluado en este trabajo es el de von Mises o de máxima energía de distorsión [11]. Este criterio expresa que una componente es segura siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen del material tensado permanezca por debajo de la energía de distorsión por unidad de volumen requerida para hacer fluir una probeta del mismo material bajo sollicitación axial. En términos de tensiones, este requerimiento equivale a obtener el valor que alcanza la tensión de comparación de von Mises

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (13)$$

y luego compararla con la tensión de fluencia de tracción  $\sigma_e$

$$\sigma_c \leq \sigma_e \quad (14)$$

ya que para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería es común usar el mismo límite de fluencia para casos de tracción o compresión. Empleando los valores medios de las componentes de la tensión residual correspondientes al sistema de referencia original (ver Tabla 2), la tensión  $\sigma_c$  alcanzó un valor de 40 MPa. Es posible advertir que la tensión de comparación inherente al estado de tensión plana de la superficie evaluada se encuentra lo suficientemente por debajo del valor de falla del material (250 MPa). Sin embargo, teniendo en cuenta el origen residual, la tensión de comparación es importante. Cabe notar que el peor caso para la placa evaluada en este trabajo es aquel que proponga tensiones de servicio compresivas, ya que estas se sumarán a las de origen



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

residual que tienen el mismo signo. Por lo tanto, para evitar riesgos, la tensión de comparación debería ser usada para calcular la tensión de trabajo. Finalmente, los niveles obtenidos para las componentes de la tensión residual podrían generar distorsión geométrica y dimensional en el caso de que el material estudiado sea sometido a ulteriores operaciones de maquinado. .

## 4. CONCLUSIONES

El método de micro-indentas utilizado en este trabajo resultó ser muy práctico y útil para determinar, con gran precisión, componentes normales y tangenciales, y consecuentemente los tensores de la deformación y tensión residual generados durante el proceso de fabricación de la aleación evaluada. Las componentes tangenciales de dicha tensión residual se hallaron en un entorno muy reducido, alrededor de cero. En cuanto a las componentes normales, las mismas mostraron ser de carácter compresivo, y además, bastante mayores que las tangenciales. Vale aclarar que la dirección principal (dirección en la cual se obtuvieron las componentes máximas compresivas) coincide prácticamente con la dirección del eje  $x$  del sistema de referencia original, lo cual se debe a que en esta dirección se efectuó el laminado del material. Esto último demuestra la relevancia del proceso de laminado previo al procedimiento T6, en cuanto al estado final de la tensión residual. Luego, dicho procedimiento T6 tendería a homogeneizar los valores de la componente normal en las diferentes direcciones. Si bien la diferencia entre componentes normales máximas y mínimas resultó ser muy pequeña (11 MPa), la sensibilidad del método de medición propuesto en este trabajo posibilitó detectarla. Aplicando el criterio de von Mises se pudo comparar el estado de tensión plana de la superficie medida con la tensión de falla bajo sollicitación axial. Si bien el valor de la tensión de comparación obtenido a partir de este criterio fue de 40 MPa, debido al origen residual de esta tensión, es apropiado tomar en cuenta su valor en el cálculo de la tensión de trabajo a fin de evitar fallas prematuras cuando el material este sometido a cargas de servicio. Finalmente, el valor de la tensión de comparación obtenida también sugiere llevar a cabo un tratamiento de distensión térmica para evitar cualquier tipo de distorsión dimensional o geométrica en el caso de subsecuentes operaciones de maquinado. .

## 5. REFERENCIAS

[1] D.W. Schwach, and Y.B. Guo, A Fundamental Study on the Impact of Surface Integrity by Hard Turning on Rolling Contact Fatigue. Int. J. Fatigue, 28(12), pp. 1838-1844, 2006.



# IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO  
DOCENTE  
DEL AREA  
MECANICA  
DE LAS  
INGENIERIAS

FoDAMI

- [2] P.J. Withers, Residual Stress and its Role in Failure, Rep. Prog. Phys., 70(12A), pp. 2211- 2264, 2007.
- [3] J.E. Wyatt, and J.T. Berry, A New Technique for the Determination of Superficial Residual Stresses Associated with Machining and Other Manufacturing Processes, J. Mater. Proc. Tech., 171(1), pp. 132-140, 2006.
- [4] M. A. Curtis, and F. T. Farago, Handbook of Dimensional Measurement, Industrial Press Inc., New York, 2007.
- [5] F.V Díaz, R.E. Bolmaro, A.P.M. Guidobono, and E.F. Girini, Determination of Residual Stresses in High Speed Milled Aluminium Alloys Using a Method of Indent Pairs, Exp. Mech., 50(2), pp. 205-215, 2010.
- [6] C.A Mammana, F.V. Díaz, A.P.M. Guidobono, and R.E. Bolmaro,. Study of Residual Stress Tensors in High-speed Milled Specimens of Aluminium Alloys Using a Method of Indent Pairs, Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol., 2(8), pp. 749-756, 2010.
- [7] F.V. Díaz, C.A. Mammana, and A.P.M. Guidobono, Evaluation of Residual Stresses Induced by High Speed Milling Using an Indentation Method, Modern Mech. Eng., 2(4), pp. 143-150, 2012.
- [8] N.J. Rendler, I. Vigness, Hole-drilling Strain-gage Method of Measuring Residual Stresses, Exp. Mech., 6(12), pp. 577-586, 1966.
- [9] I.C. Noyan, and J.B. Cohen, Residual stress measurement by diffraction and interpretation, Materials Research and Engineering, Springer Verlag, Berlin,1987.
- [10] J.M. Gere, Mechanics of Materials, 5th ed., Brooks/Cole, Pacific Grove, CA, 2001.
- [11] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th ed., McGraw-Hill, New York, NY, 2008.
- [12] E. Müller, Evolution of the Residual Stresses by Stress Rolling, 9th International Conference and Exhibition on Shot Peening, Sept. 6-9, 2005 (Paris), Institute for Industrial Technology Transfer, pp. 436-441, 2005.