



*II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010*

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE DE LA CHAPA EN ENSAYOS DE ACOPOADO HIDRÁULICO CON MÁSCARA ELÍPTICA

L.G. Bergé, J. Insausti, A. Lucaioli, D. Ziegler y L. Iurman

*Laboratorio de Metalurgia, Departamento de Ingeniería
Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253 - Bahía Blanca - Argentina
E-mail: insausti@criba.edu.ar*

RESUMEN

Para evaluar la aptitud de las chapas de acero en procesos de conformado, se emplean actualmente, entre otros métodos, los Diagramas Límites de Conformado (DLC). Estos diagramas muestran las capacidades de deformación que tienen las chapas cuando son sometidas a diferentes caminos de deformación. La determinación de cada punto del diagrama implica emplear ensayos que produzcan distintos caminos de deformación abarcando entre la tracción simple y la tracción biaxial equilibrada para luego medir las deformaciones sufridas por las chapas en las dos direcciones principales, en puntos cercanos a la zona de rotura. Las zonas de deformaciones positivas se pueden obtener empleando máscaras elípticas y circulares en un ensayo de acopado hidráulico.-

En trabajos anteriores, cuando se han empleado máscaras elípticas, se ha detectado que la relación de deformaciones del punto final de la trayectoria tiene mucha dispersión respecto de la relación impuesta por la geometría de la elipse. Se observó que dicha dispersión puede deberse a la deformación del material desde el amarre hasta el borde del orificio elíptico en el eje de su menor diámetro. Con la finalidad de tratar de evitar este problema, se ha modificado el sistema de anclaje de las probetas para impedir la deformación del material en dicha zona.

En este trabajo se describe el diseño, la construcción y puesta a punto de una matriz elíptica para el equipo de acopado biaxial existente en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur.

La metodología utilizada fue diseñar y mecanizar con control numérico un dentado sobre la placa de sujeción e incorporar un o´ring para impedir la fuga de aceite del cabezal de ensayo y lograr que la zona deformada de la chapa se circunscriba al área de la elipse.

Con estas modificaciones se evitó el deslizamiento de la chapa en las regiones donde no debía producirse deformación, lo que fue corroborado con la técnica de grillado, corrigiendo el defecto que presentaba el amarre anterior.

Palabras Claves: Acopado Hidráulico, Máscara Elíptica, Diagrama Límite de Conformado, Chapas de acero, Conformado.

1. INTRODUCCIÓN

Una forma de evaluar la aptitud al conformado de una chapa metálica consiste en determinar el Diagrama Límite de Conformado (DLC) en el cual se grafican las deformaciones principales naturales ε_1 y ε_2 que sufre la chapa con diferentes trayectorias de deformación. Estas trayectorias están identificadas con la relación de deformaciones β , definida por la Ecuación (1). [1,2]

$$\beta = \varepsilon_2 / \varepsilon_1 \quad (1)$$

En la Figura 1, se muestra un DLC típico de una chapa metálica de acero, donde se ven las zonas correspondientes a piezas sanas y aquellas que producen la falla de la pieza.

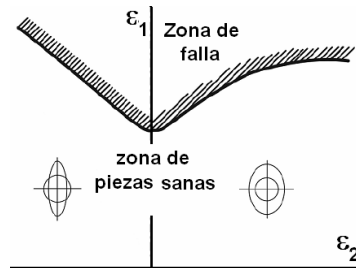


Figura 1. Diagrama Límite de Conformado

La obtención de estos diagramas obliga a realizar ensayos con distintos estados de tensiones que produzcan diferentes trayectorias de deformación β , y obtener las condiciones límites de cada una de ellas.

La determinación del DLC para deformaciones ε_1 y ε_2 positivas puede realizarse mediante acopado hidráulico con máscaras elípticas y circulares. En particular, las máscaras elípticas permiten obtener resultados para trayectorias de deformación con β mayores que cero y menores que uno. Con cada máscara elíptica de determinada relación de las dimensiones de sus ejes, se pueden obtener trayectorias β relacionadas con la misma, las que se producen por estirado mediante tracción biaxial no equilibrada.

El equipo desarrollado en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional del Sur, cuenta con dos máscaras elípticas correspondientes a dos geometrías distintas (relación entre diámetro menor y diámetro mayor de la elipse). Experiencias realizadas en un trabajo anterior [3], mostraron que el sistema de anclaje tenía deficiencias por cuanto el material ubicado debajo de la máscara, poseía deformaciones en las zonas en las que no debía hacerlo.

Con el objeto de mejorar esta situación se modificó el sistema de anclaje de la chapa de una de las máscaras elípticas y se verificó la efectividad de este cambio comprobando la ausencia de deformaciones en zonas no deseadas y la concordancia entre las relaciones de deformaciones obtenidas y la geometría de la máscara.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS MÁSCARAS ELÍPTICAS

En la Figura 2 se muestran las máscaras elípticas diseñadas anteriormente para ser empleadas en el

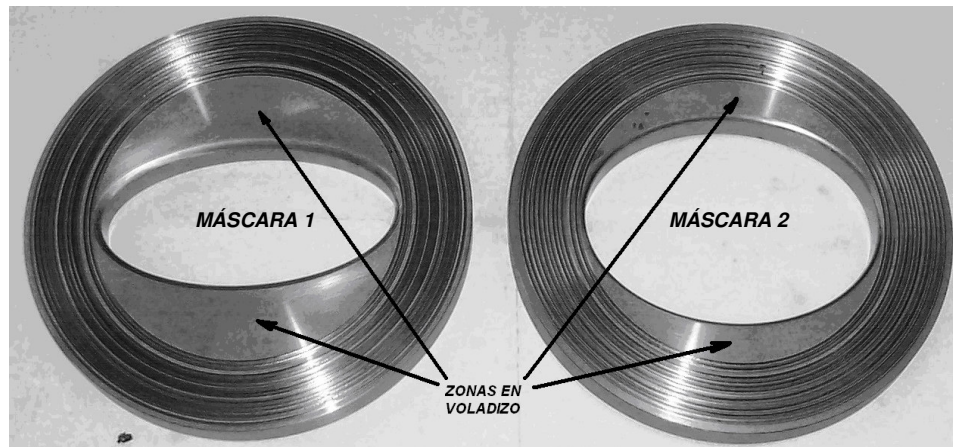


Figura 2. Máscaras elípticas originales

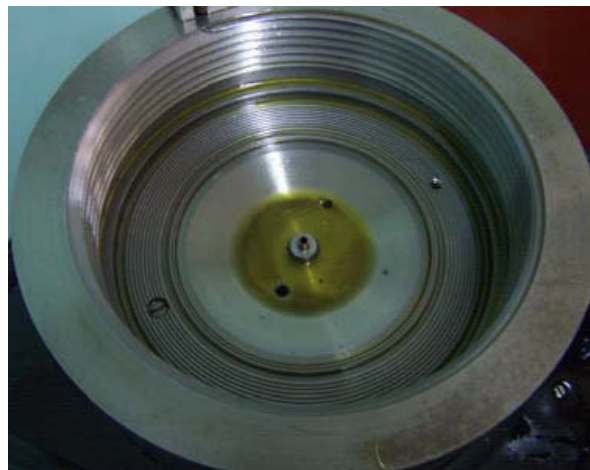


Figura 3. Cabezal de la máquina actual

cabezal de la máquina de acopado hidráulico de la Figura 3 que fuera diseñado originalmente para el acopado con máscara circular.

En la Figura 2 se ve la zona de dientes labrada en las máscaras en coincidencia con la zona de dientes existente en el fondo de la cámara de ensayo, mostrada en la Figura 3, para que entre ambos dentados se produzca el amarre de la probeta. En la Figura 2 se han indicado las zonas en las que el material no quedaba retenido con estas máscaras permitiendo la deformación en las mismas. Comparando las mismas se aprecia que la máscara 1, con diámetro menor de elipse más chico, es la que deja mayor cantidad de chapa sin amarrar y los valores de deformación medidos muestran mayor dispersión. Por esta razón los estudios se realizaron con esta máscara.

2.1. Adopción del espesor de la nueva máscara

Para realizar una fijación más efectiva de la probeta se pensó en colocar la chapa a ensayar entre dos placas elípticas que poseyeran un dentado que actuara hasta el borde de la máscara impidiendo la aparición de zonas liberadas. Este dentado debe ser elíptico para cumplir con dicha función.

L.G. Bergé, J. Insausti, A. Lucaioli, D. Ziegler y L. Iurman

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE DE LA CHAPA EN ENSAYOS DE ACOPADO HIDRÁULICO CON MÁSCARA ELÍPTICA

Como durante el ensayo la cámara debe mantenerse estanca, se decidió colocar la máscara anterior de forma que en la parte inferior se enfrenten los dentados circulares y sobre la cara superior de dicha máscara mecanizar los dentados elípticos. La segunda placa, colocada encima de esta es la que posee la abertura para realizar el acopado elíptico. En esta placa, en la cara enfrentada con la máscara anterior se mecanizó el dentado con forma elíptica para conseguir el amarre hasta el borde.

Para ello se adoptó una placa con el mismo espesor que las ya empleadas, que habían sido calculadas y ensayadas con éxito desde el punto de vista resistivo. La nueva placa se construyó con un acero SAE 4140 templado y revenido, con una dureza de 30 HRc y una tensión de fluencia de 800 MPa.

El borde de la elipse de la nueva máscara se construyó con un radio de empalme de 3 mm ya usado en la máscara anterior.

2.2. Verificación de la resistencia del cabezal

El hecho de intercalar una placa adicional modifica la altura de roscado del sujetador, por lo que debió verificarse si la nueva altura de roscado disponible tenía la resistencia necesaria para soportar la fuerza que la presión de aceite desarrolla en el ensayo.

En el esquema de la Figura 4 se puede apreciar que la intercalación de dos placas (la máscara anterior u original más la nueva) más la probeta, sumado al espesor de 1 mm correspondiente a la chapa de aluminio que actúa como sello inferior, alcanzan una altura máxima de 34 mm para un espesor de chapa a ensayar de hasta 2,3 mm (muy superior al máximo permitido por la capacidad del equipo).



Figura 4 . Esquema del montaje de las máscaras elípticas original y nueva en el cabezal.

Dado que la altura total de la rosca original del cabezal es de 74 mm, esta nueva situación permite al sujetador roscar en una altura $h = 40$ mm.

Si se tiene en cuenta que la presión máxima P que se puede desarrollar en el cabezal es de 300 Kg/cm^2 , la fuerza F que debe soportar el sujetador resulta

$$F = P \cdot S \quad (2)$$

En esta ecuación, S es el área circular sobre la que actúa la presión del aceite sobre el sujetador, que coincide con el área de la chapa expuesta a deformación biaxial con matriz circular. De acuerdo al esquema de la Figura 4 resulta:

$$S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot 6,5^2 = 131,72 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

Es decir que la fuerza F que actúa sobre el sujetador es:

$$F = P \cdot S = 300 \cdot 132,72 = 39818 \text{ Kg} \quad (4)$$

La superficie de corte S_c de los filetes de la rosca que contiene al sujetador puede calcularse como:

$$S_c = D \cdot \pi \cdot h \cdot \eta \quad (5)$$

Donde: D es el diámetro de la rosca

h es la altura de roscado

η es un coeficiente menor que uno para tener en cuenta la porción del filete que presenta sección al corte.

Cuando se calcula la resistencia al corte de roscas efectuadas en aceros al carbono la verificación se realiza con un τ admisible de 800 Kg/cm^2 . Este valor resulta muy conservativo respecto de la resistencia que posee un acero SAE 2335, que fue el empleado en la construcción del cabezal y al cual le corresponde una tensión de rotura de 6690 Kg/cm^2 [4]. Realizando el cálculo con la tensión de corte correspondiente a un acero al carbono resulta un valor de la fuerza admisible F_{ad}

$$F_{ad} = S_c \cdot \tau_{ad} = D \cdot \pi \cdot h \cdot \eta \cdot \tau_{ad} \quad (6)$$

Adoptando un coeficiente de seguridad $\eta = 0,8$, resulta:

$$F_{ad} = 19,3 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 800 = 155215 \text{ Kg} \quad (7)$$

El valor de la fuerza admisible de resistencia de la rosca, calculada por defecto, cubre ampliamente los requerimientos de $F = 39818 \text{ Kg}$. Con esto la resistencia del cabezal queda verificada.

2.3. Diseño del sello de la nueva máscara elíptica

Para la ejecución de este trabajo se construyó una nueva máscara 1 que posee una relación de diámetros de 0,50 siendo el diámetro mayor de 125 mm y el menor de 62,5 mm con un nuevo sistema de anclaje.

La estanqueidad entre la máscara anterior y la base de la cámara de ensayo se logró intercalando entre ambas una chapa de aluminio A5"O" de 1 mm de espesor. De esta forma, dicha chapa, de baja dureza, permite un sello estanco.

Para evitar la fuga de aceite entre la cara superior de la máscara 1 anterior y la cara inferior de la nueva máscara 1 se diseñaron dentados con forma elíptica como se muestra en la Figura 5

Ante la posibilidad de que el aceite a presión pudiera ingresar entre ambas máscaras permitiendo el deslizamiento de la chapa, se utilizó un o'ring ubicado lo más cercano posible al perímetro interior de la elipse de la máscara 1 anterior. El alojamiento de este o'ring fue tallado sobre la cara superior de la máscara 1 anterior.

Las espigas removibles que se aprecian en la Figura 5 tienen por objeto alinear las dos máscaras de forma tal que los dentados de ambas coincidan.

Para dimensionar los dientes de la zona de contacto entre ambas máscaras, se emplearon las mismas dimensiones que en el anclaje original, que ya probaron su efectividad en trabajos anteriores [3].

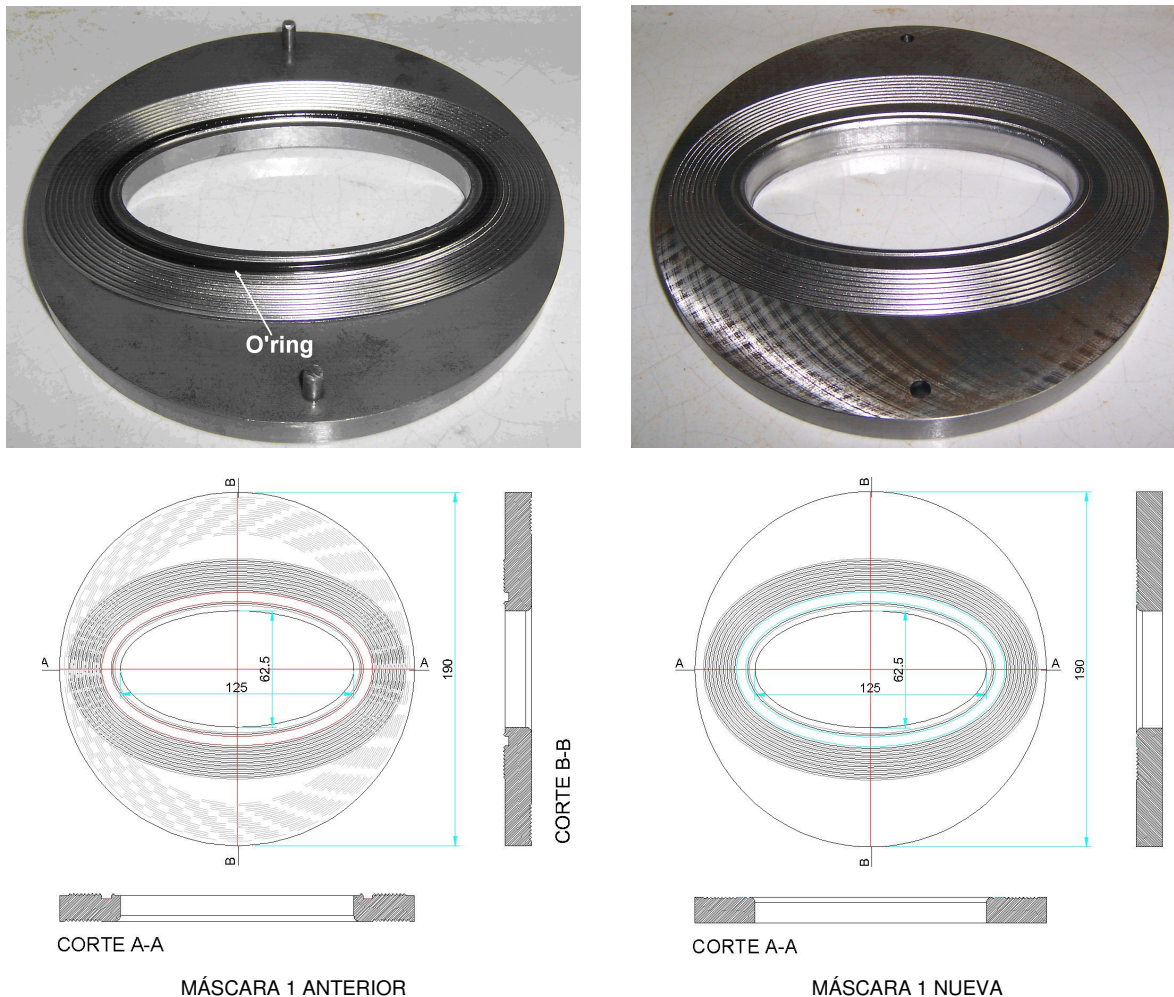


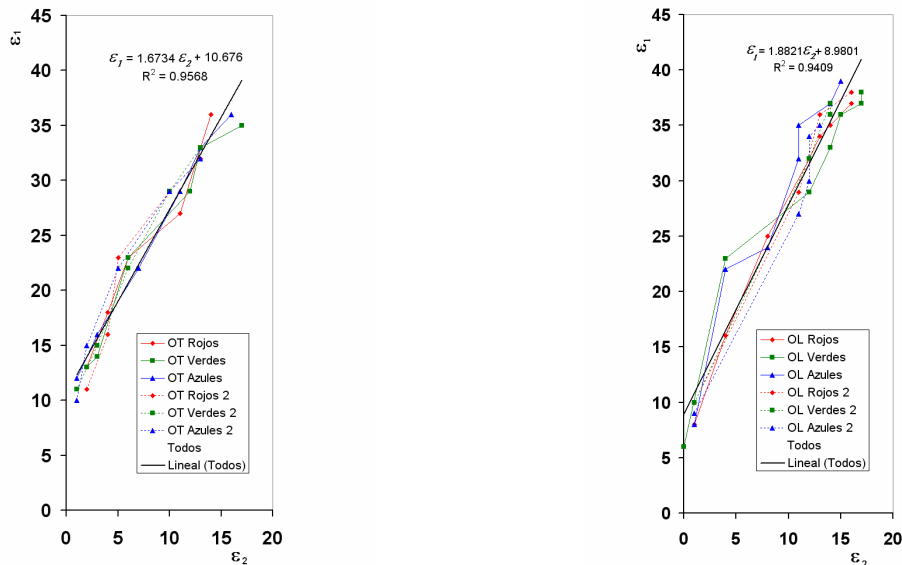
Figura 5. Fotos y planos de las máscaras 1 anterior y nueva.

Teniendo en cuenta la altura del diente, el espacio disponible y las dimensiones del alojamiento para el o'ring, se consideró un diámetro de cordón de 3,53 mm como el más apropiado ya que con este valor no resulta un canal de alojamiento demasiado grande y el sello permite ser apretado

Las dimensiones del alojamiento de este o'ring se adoptaron de acuerdo a lo indicado en el catálogo de Parker para el correcto funcionamiento del mismo en lo que hace a profundidad y ancho del canal, y se buscó en el catálogo la medida más adecuada de diámetro. Esta acanaladura se posicionó de forma tal de dejar un primer diente al borde del orificio, seguido del alojamiento del sello y luego el resto de los dientes de anclaje.

En la Figura 6 se muestran los cortes B-B de las máscaras 1, original y nueva, donde pueden apreciarse cómo se ubican y las dimensiones de los dentados y el alojamiento del o'ring respecto del borde interior de la elipse, los que fueron tallados con mecanizado de CNC.

El aro cuyo desarrollo ajusta bien en el alojamiento corresponde al o'ring Parker N° 2-280 con un $w = 3,53$ mm, un diámetro interior de 355,19 mm y un diámetro exterior de 362,25 mm.



ENSAYO EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL CON LA MÁSCARA 1 ORIGINAL

ENSAYO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL CON LA MÁSCARA 1 ORIGINAL

Figura 7. Deformación final de puntos ubicados a distintas distancias del borde y en la dirección del eje menor sobre las tres líneas adoptadas para la medición de las probetas ensayadas con máscara original.

Mientras que las ensayadas con la nueva máscara elíptica modificada, se denominaron MT y ML también para las respectivas direcciones transversal y longitudinal.

Las mediciones efectuadas en cada probeta se grafican en las Figuras 7 y 8.

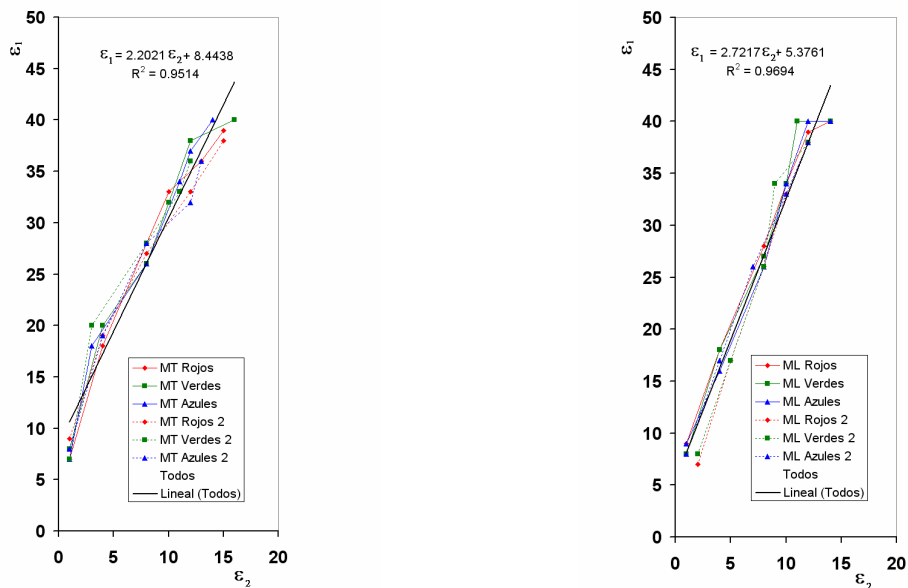
En estas Figuras se han representado con el mismo color las mediciones efectuadas para los distintos puntos ubicados sobre cada línea y de cada lado de la probeta, correspondiéndole a un lado la línea llena y al otro la línea punteada. Debe tenerse en cuenta que las deformaciones graficadas se corresponden con la deformación final de distintos puntos de la chapa y no con la trayectoria de los mismos. La ecuación mostrada en estas figuras corresponde a la relación entre los valores de ϵ_1 y ϵ_2 para todos los puntos medidos, ajustada por cuadrados mínimos y representada con la recta negra.

Los puntos elegidos para las mediciones fueron tomados de los círculos completos del grillado, por lo que, el primer punto no corresponde, en todos los casos, exactamente a la misma distancia del borde. Esto impide medir la deformación ϵ_2 sobre el borde, la que debería ser nula de lograrse un anclaje perfecto.

De cualquier forma, a partir de la fractura, a medida que los puntos se acercan al borde, ambas deformaciones decrecen y el valor de ϵ_2 tiende a un valor nulo.

Con el nuevo anclaje, para los puntos ubicados a igual distancia del borde, existe una menor dispersión del valor ϵ_2 y una variación más lineal de los valores de β de cada uno de ellos.

El comportamiento del nuevo anclaje se determina por observación del grillado en la zona que no debe deformar. En la fotografía de la Figura 9, se aprecia que las líneas del grillado paralelas al eje mayor correspondientes al ala, en la zona adyacente al borde, muestran una curvatura índice del deslizamiento de la chapa en las zonas del borde no amarradas, mientras que esta deformación se mantiene ausente con el



ENSAYO EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL CON LA MÁSCARA 1 NUEVA

ENSAYO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL CON LA MÁSCARA 1 NUEVA

Figura 8. Deformación final de puntos ubicados a distintas distancias del borde y en la dirección del eje menor sobre las tres líneas adoptadas para la medición de las probetas ensayadas con máscara nueva.

nuevo anclaje (Figura 10). Por otra parte, la observación visual de la superficie de las probetas con ambas máscaras, permite ver la mayor deformación producida por el deslizamiento de la chapa sobre el radio de la matriz original,

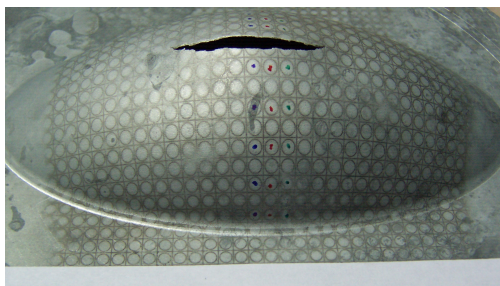


Figura 9. Ensayo con máscara original

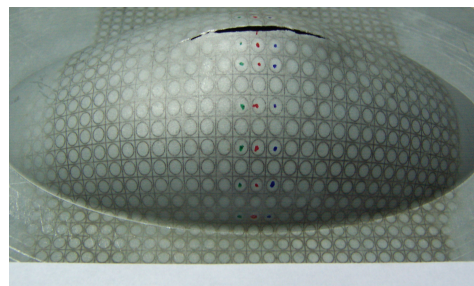


Figura 10. Ensayo con máscara nueva.

En la Tabla 1 se resumen los valores de β promedio correspondientes a los puntos cercanos a la fractura.

Tabla 1. Valores de β promedio de los puntos más deformados

ENSAYO	PUNTO	CANTIDAD DE PUNTOS	β PROMEDIO
OT	6	3	0,44
	5	6	0,40
OL	7	3	0,42
	6	6	0,40
MT	6	3	0,38
	5	6	0,35
ML	6	3	0,35
	5	6	0,30

L.G. Bergé, J. Insausti, A. Lucaioli, D. Ziegler y L. Iurman

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ANCLAJE DE LA CHAPA EN ENSAYOS DE ACOPADO HIDRÁULICO CON MÁSCARA ELÍPTICA

De acuerdo a los valores indicados en la Tabla 1, para puntos ubicados a la misma distancia del borde, los valores de β obtenidos con el nuevo anclaje (0,30 - 0,38) son menores que con el anclaje original (0,40 - 0,44). Además, con los dos sistemas de anclaje, la relación β es mayor para la dirección transversal.

5. CONCLUSIONES

El nuevo anclaje permite conseguir la estanqueidad de la cámara requerida en el ensayo.

El análisis de las líneas de grillado ha permitido establecer que con la nueva mordaza, se consigue mejorar el anclaje de la chapa hasta el borde de la elipse.

Si se tienen en cuenta los valores β correspondientes a los puntos más deformados, se observa que son mayores para las direcciones transversales y para el sistema de anclaje original.

El nuevo anclaje cumple la función para el que fue diseñado.

Ante los resultados obtenidos está clara la influencia, tanto de la orientación del desarrollo de la chapa, como de los frenos impuestos por el herramental para fijar la trayectoria de deformación.

6. REFERENCIAS

- [1] W. F. Oxford and J. L. Duncan. *Sheet Metal Forming: A Review*. Journal JOM, 51(11)(1999), pp. 39-44.
- [2] Marciniak Z., Duncan J. L., Hu S. J., *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Butterworth Heinemann, 2002.
- [3] G. Bergé, A. Lucaioli, D. Ziegler, J. Insausti, L. Iurman. *1º Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica. "Diseño y construcción de una máscara elíptica para ensayos de acopado biaxial"*. Bahía Blanca. 2008.
- [4] A. Cariac, A. Lucaioli, F. Fernandez Long, L. Iurman, D. Ziegler. CIDIM'99 *"Diseño y Construcción de un Equipo Hidráulico Para Ensayo Biaxial de Chapas Metálicas"*. V.3. Santiago, Chile, 1999.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la SGCyT de la Universidad Nacional del Sur por subsidiar el proyecto en el que se enmarca el presente trabajo.