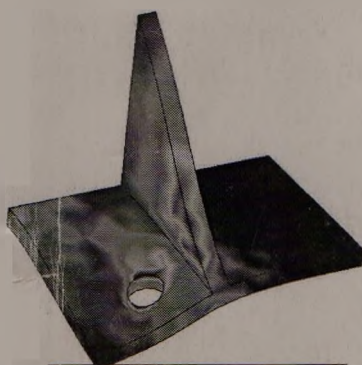


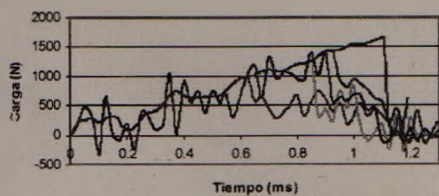
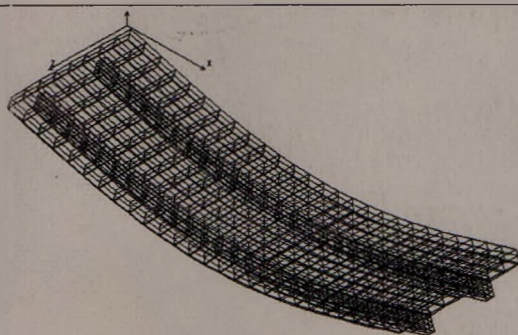


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

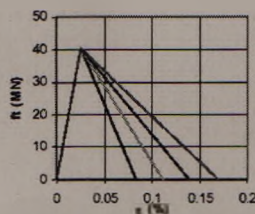


Contour Plot of NODAL V. MISES
 (Deformation (MAG): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

2^{DA} JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



— $Gf = 2160 \text{ N/m}$ — $Gf = 3240 \text{ N/m}$ — $Gf = 5400 \text{ N/m}$
 — $Gf = 4250 \text{ N/m (DF)}$ — Ens. Laboratorio



— $Gf = 2160$ — $Gf = 3240$
 — $Gf = 5400$ — $Gf = 4250$

“Estudio Paramétrico y Calibración del Método de los Elementos Discretos sobre un Material Polimérico Utilizando un Ensayo de Impacto”

- *Autores:* Kostaschi Luis E., Barrios D'Ambra Ricardo, Iturrioz Ignacio.

- *Lugar de trabajo donde se desarrolla la actividad:*

Departamento de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería - UNNE.

Av. Las Heras 727 - (3500) Resistencia - Chaco - Argentina.

Tel./Fax: +54 (03722) 425064 int. 124

E-mail: luiskostaschi@hotmail.com, rbarrios@ing.unne.edu.ar

- *Antecedentes:*

En el área de estudio de polímeros existen distintos tipos de ensayos, entre ellos el ensayo de impacto es ampliamente utilizado para la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos. Este tipo de ensayo provee respuestas carga-deformación bajo condiciones de deformación multiaxial, permitiendo conocer las propiedades de punzonado y de sensibilidad al impacto del material. Puede resultar de interés el realizar la simulación numérica del ensayo mencionado pues el mismo permite explorar la sensibilidad de diversas variables geométricas y propiedades del material sobre comportamiento del disco. Además, ante la posibilidad de realizar ensayos a distintas velocidades de impacto, la simulación numérica podría indicar cuáles serían las velocidades más recomendadas, disminuyendo la cantidad de ensayos a realizar.

- *Materiales y Métodos.*

Los trabajos experimentales realizados por Fasce [1] consisten en ensayos de impacto efectuados sobre probetas circulares planas construidas en un homopolímero de polipropileno, identificado como *PPH*, sobre la cual impacta una barra de acero con extremo hemisférico a una velocidad controlada. La altura de caída de la barra de acero varía en función del tipo del material estudiado. Para el material ensayado la altura de caída fue de $h = 0.225$ m y el peso del impactador de 5.49 Kg.

En la figura 1 se muestra la vista superior y el corte a lo largo del diámetro del disco, donde los símbolos D y t indican el diámetro y espesor respectivamente. La zona rayada esquematiza el aro metálico de sujeción de diámetro exterior D y diámetro interior S .

Descripción del Modelo Teórico Utilizado:

Debido a la simetría, se realizó la discretización espacial con el MED de un cuarto de círculo, con una dimensión para el elemento cúbico de $L_c = 0.64$ mm., con 70 módulos en el radio y 5 módulos en el espesor. La zona de impacto corresponde al círculo de diámetro d .

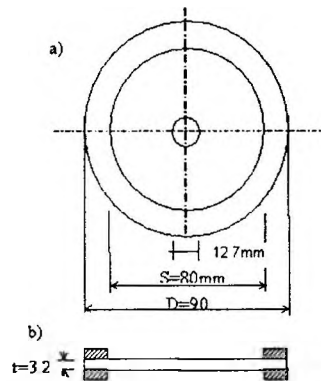


Figura 1 – Esquema del disco analizado – a) Planta, b) corte

Es necesario realizar un estudio sobre el modelo sin considerar simetría para verificar que la consideración de la misma no influye sensiblemente, pero por razones de limitación computacional esto no fue realizado todavía.

Se realizó un estudio paramétrico para conocer la influencia de las siguientes variables sobre el comportamiento del disco frente a la carga de impacto: **Amortiguamiento, Discretización, Velocidad de carga, Tenacidad a la fractura y deformación de carga crítica.**

- *Discusión de Resultados:*

Para el cálculo del caso patrón se consideró una velocidad de aplicación del impactador de 5.7m/s y de un amortiguamiento proporcional a masa de $Df = 1000$ 1/s. En todos los casos se observaron las respuestas en términos de la curva carga desplazamiento, del balance energético y del patrón de ruptura del disco.

- **Amortiguamiento:** Para estudiar la sensibilidad de la respuesta al impacto frente a cambios en el amortiguamiento, se consideraron tres valores de amortiguamiento. En la figura 2, se indican los valores de carga tiempo para los tres casos analizados y se los compara con los resultados experimentales.

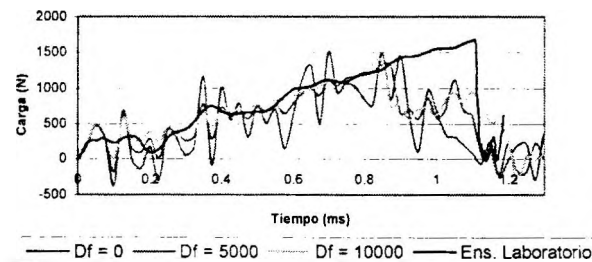


Figura 2 – Curva Carga – Tiempo para distintos valores de Amortiguamiento (D_f)

En los Balances energéticos se observó que los elementos comienzan a romperse cuando la energía elástica llega a su valor máximo, y el disco se rompe totalmente cuando se igualan las energías elástica y la disipada por el efecto de strain softening en la RCE. También se puede ver que a mayor amortiguamiento el disco tarda más en romperse.

En la figura 3 a) y b) se muestran los patrones de ruptura y detalles de los mismos para amortiguamientos de 0 y 10000. La figura 5 a) es la configuración de ruptura para el modelo patrón, es decir para un amortiguamiento de 1000. En todos los casos se consideró que el amortiguamiento es constante a lo largo de todo el ensayo.

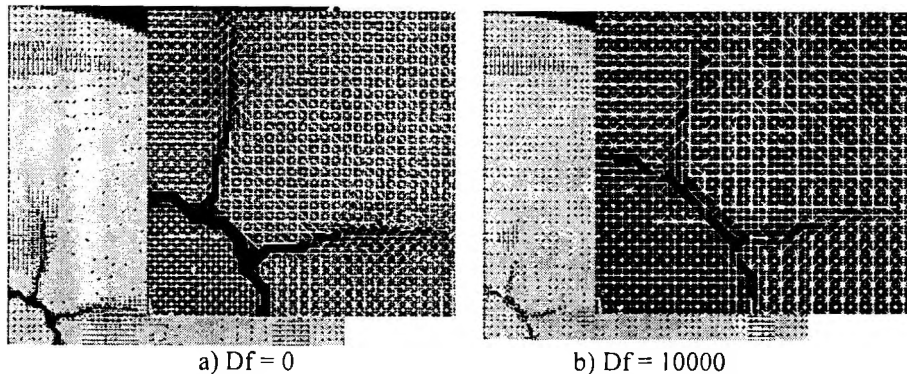


Figura 3 – Configuración final y detalle para modelos con amortiguamientos extremos.

- **Discretización:** Para ilustrar la influencia de la discretización se realizaron tres simulaciones con L_{co} (tamaño del módulo básico) diferentes. En la figura 4 se presenta la comparación de las tres simulaciones con los valores experimentales obtenidos así como la forma de la RCE para cada uno de los casos, en las curvas carga-tiempo, los valores han sido filtrados para mejorar la visualización.

En la figura 5 la comparación entre las tres configuraciones finales.

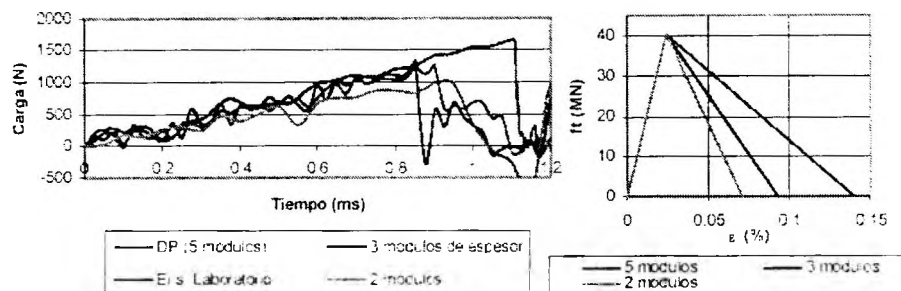
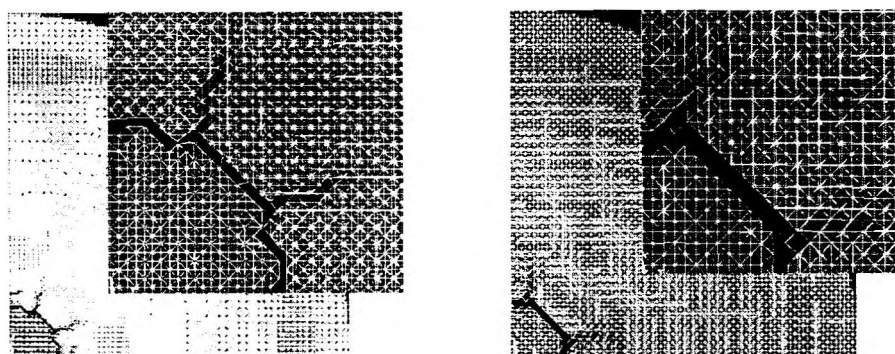
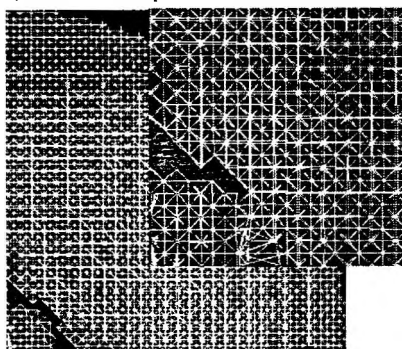


Figura 4 – Curvas Carga –Tiempo y relación constitutiva elemental de modelos con distinto Lco.



a) Modelo Patrón, DP (5 mód. de esp.) b) Modelo con 3 mód. en el espesor.



c) Modelo con 2 mód. en el espesor.

Figura 5 – Configuración final y detalle de las discretizaciones realizadas.

Observando las configuraciones de la figura 5 queda evidente que en los tres casos es capturado la misma forma de colapso y esta es por punzonamiento. Es importante destacar que cuando se cambia el L_{co} , el valor del k_r cambia, de forma que las propiedades del modelo relacionadas directamente con el material no cambien (G_c , ϵ_p , E).

- **Velocidad de Carga:** Según estudios anteriores se adoptó una velocidad de carga de 5.7 m/seg. que es la que utilizó en el modelo patrón. Para ver la influencia de la velocidad de carga, se tomaron tres velocidades distintas, 4.0, 5.7 y 7.0 m/seg. En la figura 16 se indican las curvas carga – tiempo para los distintos casos analizados y se los compara con los datos experimentales.

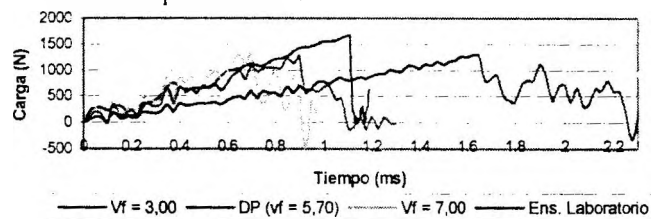


Figura 6 – Curva Carga – Tiempo filtrada para distintos valores de Velocidad de carga (V_f).

La figura 7 muestra los balances energéticos para las distintas velocidades analizadas.

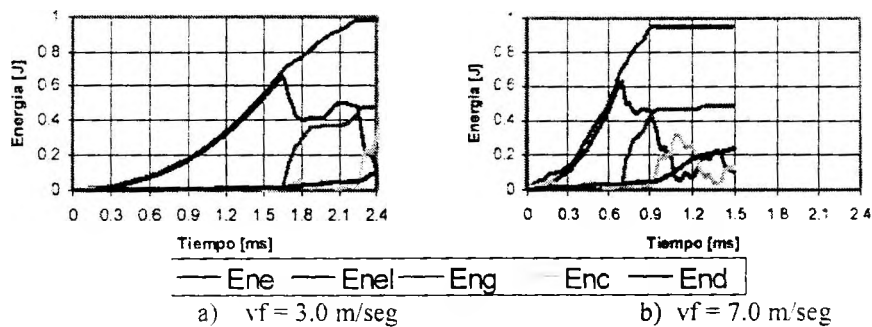


Figura 7 – Curvas de Energía – Tiempo para distintos valores extremos de Velocidad de carga (V_f). ENEL, ENCN, ENGD, ENEX y ENDP representan respectivamente las energías elástica, cinética, disipada por daño, externa y energía disipada por amortiguamiento.

En las figuras anteriores podemos notar que a mayor velocidad de carga el disco rompe antes, y que para una velocidad de carga de 5.70 m/seg., el tiempo de rotura coincide con el del ensayo de laboratorio, cosa que se había notado en estudios anteriores.

- **Tenacidad a la fractura (G_f):** Se dejó constante E y ϵ_p y se cambiaron los valores de G_f , y por consiguiente se modificaron los de R_{fc} , siendo todos los otros parámetros los mismos que los del modelo patrón.

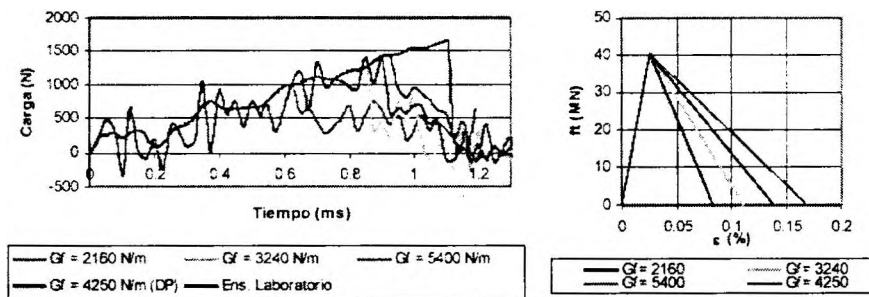


Figura 8 – Curva Carga – Tiempo y variación de la RCE para distintos valores de G_f .

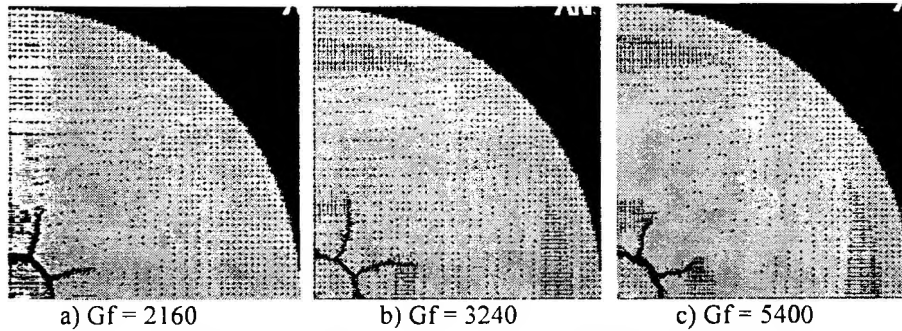


Figura 9 – Configuración final para distintos valores de G_f .

Los tiempos de rotura del disco varían al cambiar G_f , así como también el tiempo en el cual comienzan a romperse los elementos constitutivos del disco, esto indicaría que a mayor G_f el disco tiene un comportamiento más dúctil. Si aumentamos el G_f conseguiríamos calibrar el modelo numérico con los resultados experimentales, pero el valor de tenacidad del material ensayado era de 1080 N/m, esta anomalía aparente se ha presentado en la simulación de otros materiales.

- **Deformación de carga crítica (ϵ_p):** Siguiendo el mismo procedimiento se dejaron constantes los valores de E y G_f y ahora se varió ϵ_p y por consiguiente R_{fc} . En la figura

10 se muestra la influencia de la variación de ϵ_p en las curvas carga-tiempo, así como la RCE para los distintos valores de ϵ_p .

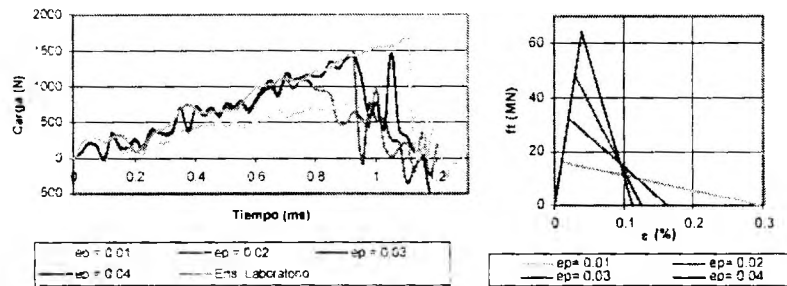


Figura 10 – Curva Carga – Tiempo y variación de la RCE para distintos valores de ϵ_p .

En la figura 11 se indican las configuraciones de ruptura para los casos analizados.

En función de las configuraciones de rotura se puede observar que al aumentar el ϵ_p disminuyen las barras dañadas (color rojo en las figuras anteriores) y las fisuras tienden a dirigirse en dirección radial. esto muestra que a menor ϵ_p el mecanismo de ruptura es de punzonamiento, y cuando el ϵ_p es mayor el comportamiento es de ruptura por flexión.

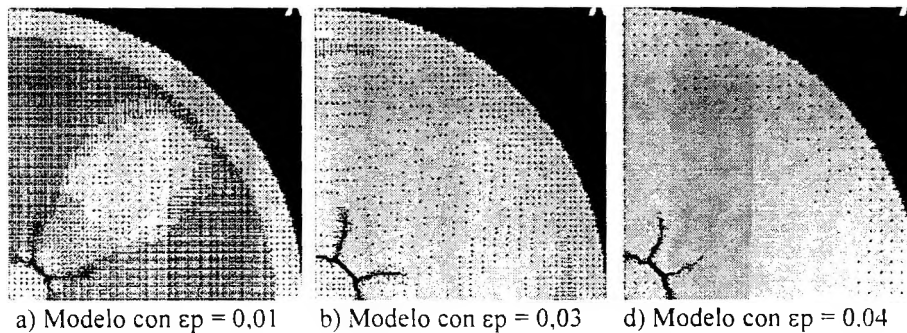


Figura 11 – Configuración final y detalles para distintos valores de ϵ_p que figuran en la tabla 5.

- Conclusiones:

- **Influencia del amortiguamiento:** Las curvas carga tiempo son similares para distintos valores del amortiguamiento, a mayores amortiguamientos se reducen las oscilaciones en la respuesta produciéndose además un incremento en el tiempo de rotura. Las configuraciones de ruptura son muy parecidas para los distintos casos analizados, sin embargo para valores de amortiguamientos muy elevados, disminuye la longitud de las fisuras radiales.

- **Influencia de la discretización:** Las curvas carga-tiempo disminuyen su pendiente a medida que la discretización es más grosera. En las configuraciones de ruptura, para tamaños del módulo cúbico (L_{co}) menores, aumenta la longitud de la fisura, cambiando inclusive la zona dónde se inicia la misma, otro factor que puede influenciar y que está indirectamente relacionado con la discretización es el error cometido en la región de aplicación de las cargas.

- **Influencia de la velocidad de carga:** A mayores velocidades aumenta la pendiente de las curvas carga tiempo, disminuyendo los tiempos de rotura. El caso de $v_f = 5.7$ m/seg es el que más se aproxima a los valores experimentales. Las configuraciones de rotura son similares, variando únicamente la longitud de las fisuras a medida que disminuye la velocidad. La zona de las barras dañadas es la misma, destacándose que existen mayores concentraciones de estas en las puntas de las fisuras a menores velocidades.

- **Influencia de G_f :** Existe un cierto tiempo para el cual, el cambio en G_f no influye en la forma de las curvas carga tiempo, de hecho las mismas coinciden. Para valores mayores de dicho tiempo (0.65 mseg) a mayor G_f , las curvas siguen creciendo al tener la probeta mayor tenacidad. Al aumentar el G_f la zona de barras dañadas también aumenta y la configuración de las fisuras, cambia. En cuanto al balance energético a mayor G_f , aumenta el valor de la máxima energía elástica acumulada, además aumenta el valor de la máxima energía disipada por daño. Sin embargo a valores menores de G_f , comienza a disiparse energía por daño prematuramente.

- **Influencia de ϵ_p :** Existe un cierto tiempo para el cual, el cambio en ϵ_p no influye en la forma de las curvas carga tiempo, de hecho las mismas coinciden. Para valores mayores de dicho tiempo a mayor ϵ_p , las curvas siguen creciendo al tener la probeta mayor elasticidad. Al aumentar ϵ_p se observa que las fisuras tienden a ser más radiales y la zona de barras dañadas disminuye notablemente. La longitud de las fisuras parece ser la misma en todos los casos. También se pudo observar que cuando se aumenta el valor de ϵ_p disminuye el tiempo entre el comienzo y fin de la rotura del disco.

- Bibliografía.

[1] Fasce, Laura A. 2002. "Comportamiento mecánico de polipropileno modificado con una poliolefina elastomérica", Tesis doctoral, INTEMA, UNMdP, (2002).

[2] Riera, J.D. and Iturrioz, I., "Discrete element dynamic response of elastoplastic shells subjected to impulsive loading", *Communications in Numerical Methods in Engineering*, Vol. 11, pp 417-426, (1995).

[3] Barrios D'Ambra, R., Iturrioz, I., Fasce, Laura A, Frontini, P., Cisilino, Adrián P, "Simulación numérica del ensayo de impacto en probetas de polímeros utilizando el método de los elementos discretos", *Cilamce 2003*, (2003).