

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1980

04.80.11

CNEA-NT 12/80

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
CENTRO ATOMICO BARILOCHE

CALCULO DE TENSIONES EN VAINAS DE BARRAS COMBUSTIBLES TIPO
CNA EN LA ZONA DE LAS ARANDELAS DE DILATACION

G. Sánchez Sarmiento y María E. Oliveto

Buenos Aires
1980

RESUMEN

Mediante un código en elementos finitos, se han evaluado los campos de tensiones y deformaciones termoelásticas de las vainas de elementos combustibles Atucha en la zona adyacente a las arandelas de dilatación, en base a las distribuciones de temperatura obtenidas en un trabajo anterior. Se han considerado cuatro situaciones diferentes de presiones y gradientes de temperatura en la vaina, que se presentan comúnmente durante la irradiación en el reactor.

A. INTRODUCCION

En un trabajo anterior /1/, se realizó un análisis de la distribución espacial de la temperatura en la zona de las arandelas de dilatación (de Zry-4) existentes dentro de las barras combustibles de la Central Nuclear en Atucha (ver figura 1). El estudio tuvo por objetivo determinar las máximas temperaturas alcanzadas por las arandelas en una diversidad de situaciones de interés durante su irradiación dentro del reactor, así como la influencia que la presencia de éstas tiene sobre la distribución de la temperatura en las vainas. Para tal fin se resolvió la ecuación de conducción del calor no lineal en dicho sistema, empleando un código en elementos finitos. Se llegó a conclusiones relevantes en cuanto a la temperatura alcanzada por la arandela en algunas situaciones críticas.

Se observó que las temperaturas interiores de la vaina no parecen alterarse significativamente por la presencia de las arandelas, salvo en la situación en que ellas se consideran "soldadas" a la vaina a los efectos de la conducción térmica. Se pensó que en este último caso el gradiente térmico calculado en la vaina podría tener aparejado incrementos apreciables de las tensiones térmicas en la misma, respecto de las que normalmente son inducidas fuera de las zonas de las arandelas en condiciones de trabajo del reactor.

En un estudio crítico posterior /2/ en que se analizaron comparativamente los resultados de /1/, realizado en la División Fenómenos de Transporte, Grupo de Gases, de la Gerencia de Desarrollo, se consideró conveniente efectuar la evaluación

de la distribución de tensiones en dicha zona de la vaina a los fines de su comparación ulterior con los respectivos valores mínimos necesarios para movilizar los átomos del hidrógeno disuelto (en solución sólida diluida), o para reorientar hidruros preexistentes. "De confirmarse tal posibilidad, podría postularse un mecanismo de ruptura primaria para la región circundante a cada una de las arandelas en cuestión" /2/.

Por este motivo, se ha llevado a cabo la evaluación de los campos de tensiones termoelásticas en dicha región, asociados a los gradientes de temperatura calculados en /1/ para algunas de las situaciones allí analizadas. Se empleó para tal fin el código en elementos finitos ELASTE4, previamente desarrollado /3/, para la resolución de problemas de termoelasticidad en medios bidimensionales anisotrópicos. Se describen en el presente informe las situaciones analizadas, los datos de cálculo adoptados y los resultados obtenidos.

B. SITUACIONES ANALIZADAS Y DATOS DE CALCULO

Se consideraron cuatro situaciones diferentes, todas ellas suponiendo concavidad ("dishing") nula en las pastillas y que la arandela está totalmente aplastada. Cada una de ellas está definida por las siguientes características:

- a) Arandela "soldada" a la vaina a los efectos de la conducción térmica; potencia lineal de 454 w/cm; He a 1.7 MPa (16.83 Atm) en el espacio entre las pastillas y la vaina (situación IV de /1/).

- b) Transferencia térmica entre arandela y vaina dada por el modelo de Ross y Stoute /4/ (ver Sección D.1.4.2. de /1/); potencia lineal de 457w/cm; mezcla de He, Kr y Xe con presión total de 7.0 MPa a la temperatura de trabajo, en el espacio entre las pastillas y la vaina (Situación VII de /1/).
- c) Igual que b), pero con una potencia lineal de 520 w/cm (Situación VIII de /1/).
- d) Igual que c), pero suponiendo la arandela "soldada" a la vaina a los efectos de la conducción térmica.

En /1/ se describen detalladamente los modelos y datos geométricos y de propiedades de los materiales adoptados para el cálculo de la distribución de la temperatura.

Se supuso que para ninguna de las situaciones existe interacción mecánica entre las pastillas y la vaina y tampoco entre la arandela y la vaina, aún en los casos a) y d) en que hay resistencia térmica nula entre estas últimas. De esta manera, el problema se reduce a analizar únicamente la vaina con las distribuciones de temperatura obtenidas en /1/ y con dimensiones de fabricación (radio interno de 0.54 cm y radio externo de 0.595 cm).

Se considera entonces a la vaina sujeta al gradiente de temperatura mencionado y a las siguientes acciones externas:

- i) Presión interna P_i (de gases) igual a 1.7 MPa en la situación a) y a 7.0 MPa en las situaciones b), c) y d);
- ii) Presión externa P_e (del refrigerante) igual a 12.0 MPa en todas las situaciones;

iii) Una tensión longitudinal proveniente de la diferencia entre dichas presiones interna y externa, que por tratarse de un tubo cerrado resulta:

$$\sigma_z^o = \frac{P_i R_i^2 - P_e R_e^2}{R_e^2 - R_i^2}$$

Dado que posteriormente se verificó que las tensiones en ningún punto alcanzaban el límite de fluencia, se realizaron los cálculos únicamente en el rango elástico lineal. Además, en ausencia de datos realistas sobre la anisotropía elástica de estas vainas, se supuso al material perfectamente isotrópico. Las únicas tres constantes que intervienen en el problema mecánico involucrado son entonces:

Módulo de Young (constante): $E = 98000$. MPa.

Factor de Poisson (constante): $\nu = 0.40$

Coeficiente térmico de expansión lineal (constante):

$$\alpha = 6.3 \times 10^{-6}.$$

Se tomó para el cálculo una porción cilíndrica de la vaina limitada entre el plano de simetría de la arandela y otro plano transversal a una distancia suficiente como para considerar allí nula la influencia de la arandela (1.20 cm).

C. RESOLUCION DEL PROBLEMA TERMOELASTICO POR EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS

Como se indicó en la Introducción, se resolvió el problema termoelástico bidimensional involucrado mediante el código en

elementos finitos ELASTE4 /3/. Se emplearon elementos toroidales (dada la simetría de revolución del material) de sección triangular, con variación lineal de ambas componentes (según las direcciones radial y longitudinal) de los corrimientos dentro de cada elemento.

En la figura 2 se muestra una sección longitudinal de la red de elementos finitos empleada, consistente en 600 elementos con 341 nodos, y la discretización correspondiente de las condiciones de contorno impuestas.

Los resultados de interés se muestran en las figuras 3, 4 y 5. Allí están graficadas respectivamente las componentes axial (σ_z) y circunferencial (σ_θ) del tensor de tensiones, y la tensión equivalente de von Mises

$$\sigma_{\text{equi}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 \right]}$$

(donde σ_r es la componente radial del tensor de tensiones), sobre ambas superficies exterior e interior de la vaina. El eje de abscisas representa la dimensión longitudinal de la vaina, tomando como origen del sistema de coordenadas a la intersección del eje de la vaina con el plano transversal de simetría de la arandela. Dado que, por las condiciones de contorno impuestas sobre ambas superficies, σ_r es constante e igual respectivamente a $-P_i$ y $-P_e$ sobre las mismas y varía monótonamente dentro de la vaina, no se ha considerado de interés su graficación. Por su parte, σ_z , σ_θ y σ_{equi} también varían en forma monótona en el interior de la vaina entre sus respectivos valores sobre ambas superficies.

En la figura 5 se observa que aún en la situación más desfavorable (caso a) en cuanto a la sollicitación del material, se está muy lejos de alcanzar el límite de fluencia ($\sigma_{0.2} \approx 350$ MPa a 350°C/5/), lo que justifica nuestra hipótesis de comportamiento elástico lineal para los cálculos presentes.

Como conclusión relevante de este trabajo, es de destacar que para ambos casos en que se consideró resistencia térmica nula entre la vaina y la arandela, según se observa en la figura 5, el incremento de la tensión equivalente en la superficie interna de la vaina motivado por la presencia de la arandela es de unos 28 MPa. Por consiguiente, sólo en situaciones en que la tensión equivalente sobre dicha superficie esté muy cerca del límite de fluencia, puede tener alguna incidencia la arandela sobre la respuesta mecánica de la vaina (bajo el punto de vista sólo de las tensiones térmicas provocadas). Por otra parte, de las figuras 3, 4 y 5 se desprende que la influencia de la arandela sobre el aspecto estudiado es prácticamente despreciable cuando se considera que no hay contacto térmico entre la arandela y la vaina (situaciones b) y c)).

REFERENCIAS

1. G.Sánchez Sarmiento, E.J.Savino y S.Harriague: "Distribución de la temperatura en la zona de las arandelas de dilatación de una barra combustible tipo CNA", CNEA-NT 2/79 (febrero de 1979).
2. E.Zuzek y E.Forlerer: "Evaluación de las posibles causas de rotura de las vainas de los elementos combustibles CNA. Estudio comparativo de los cálculos de temperatura presentados en los Informes GT-I/78 y CNEA-NT 2/79". (5-Sept.de 1979).

3. G.Sánchez Sarmiento y C.M.Slutzky: "ELASTE^F, Un sistema de programas en elementos finitos para termoelasticidad en medios anisotrópicos bidimensionales:. A imprimirse como Informe CNEA-NT.
4. A.M. Ross y R.L. Stoute: "Heat transfer coefficient between UO_2 and Zircaloy-2". AECL 1552 (Junio 1962).
5. R.Bordoni, J.A.Casario, G.Coroli y F.Póvolo: "Comportamiento en tracción de vainas de Zircaloy 4 del tipo MZFR". Dpto. Combustibles Nucleares, Gcia. de Desarrollo, CNEA. Informe Interno 1/79.

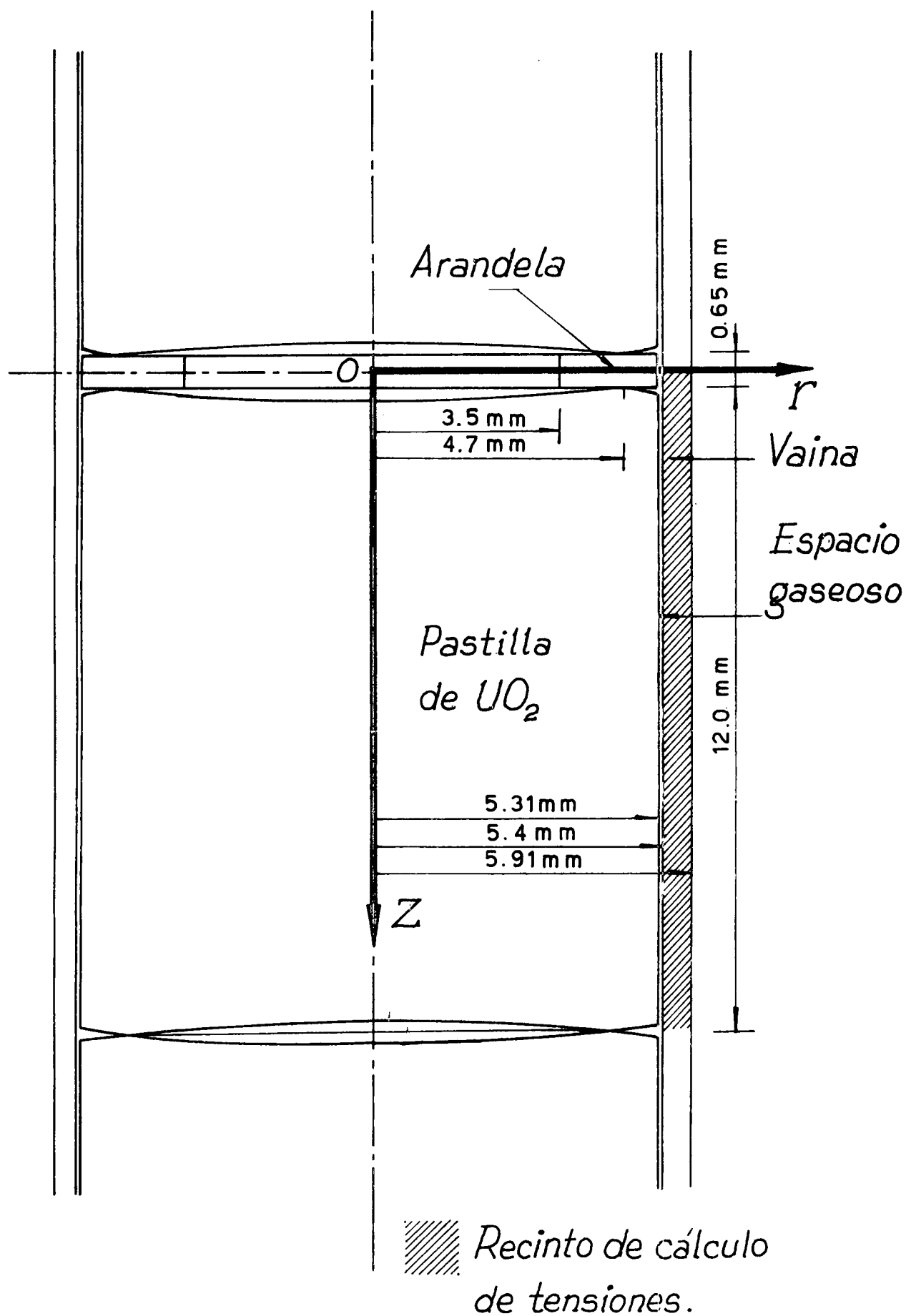


Figura 1: Barra combustible de la Central Nuclear en Atucha, mostrando una de las arandelas de dilatación.

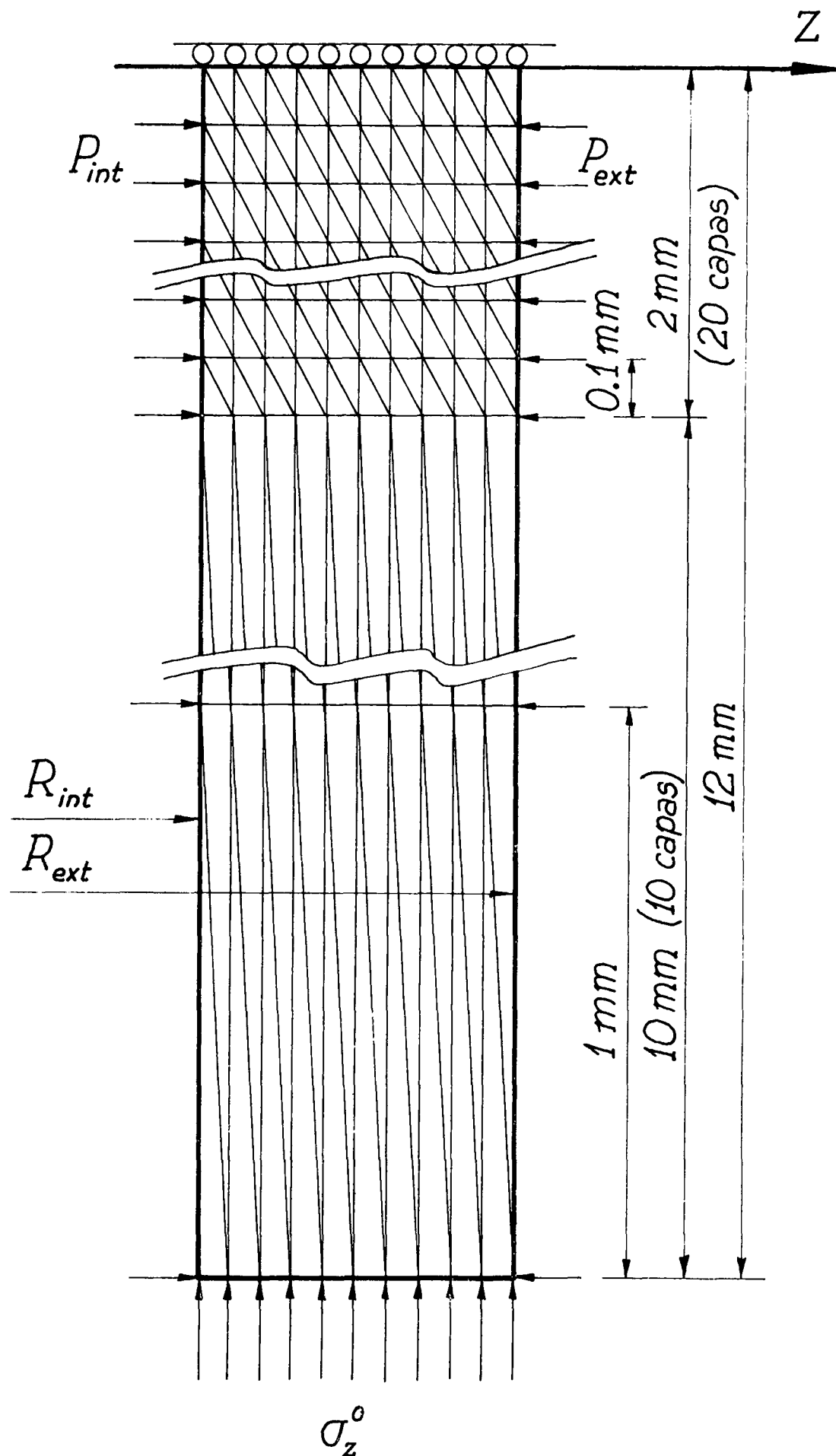


Figura 2: Red de elementos finitos y discretización de las condiciones de contorno para el cálculo de tensiones.

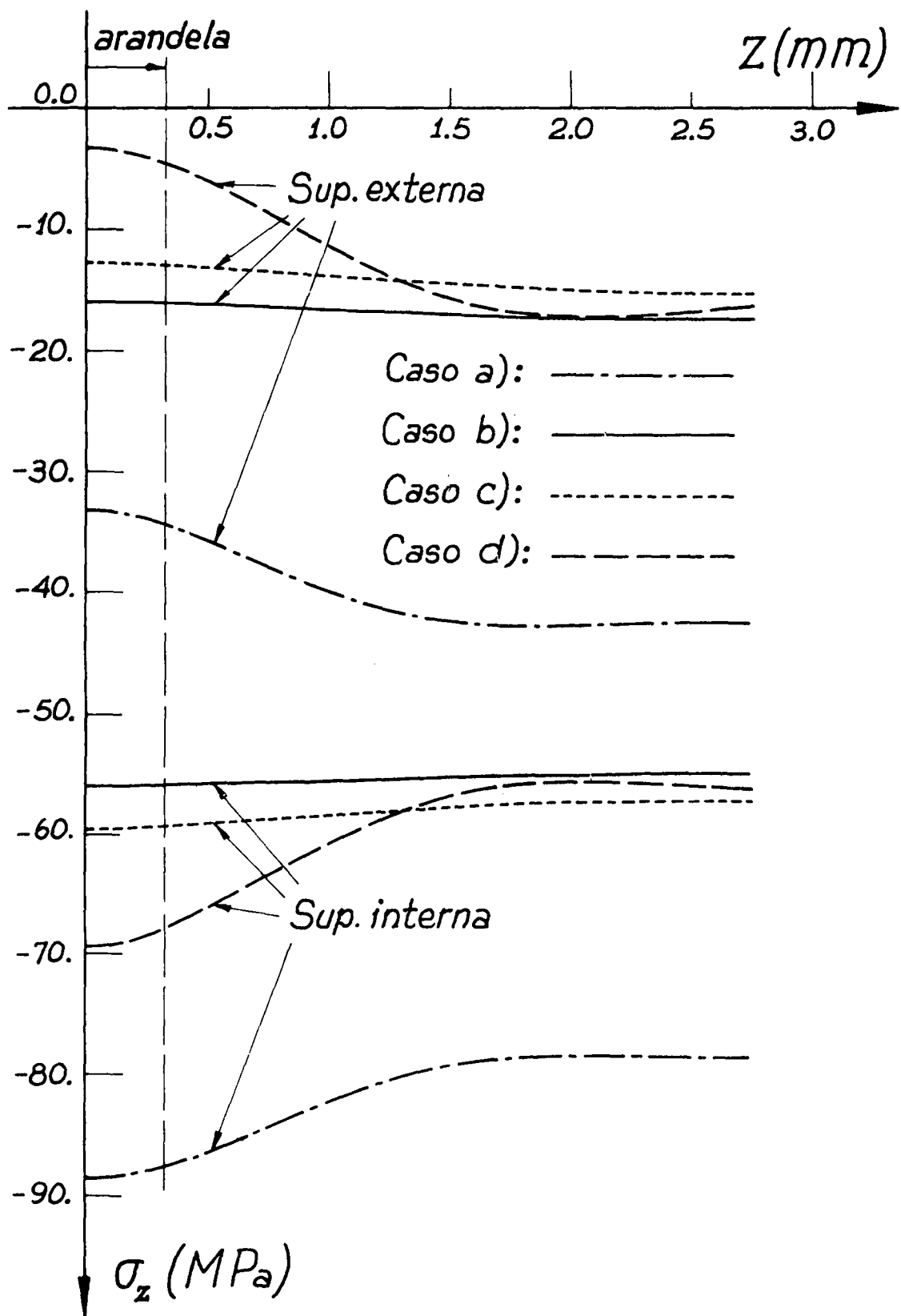


Figura 3: Tensiones longitudinales σ_z sobre las superficies interna y externa de la vaina para los cuatro casos analizados. La coordenada Z es la indicada en Figura 1.

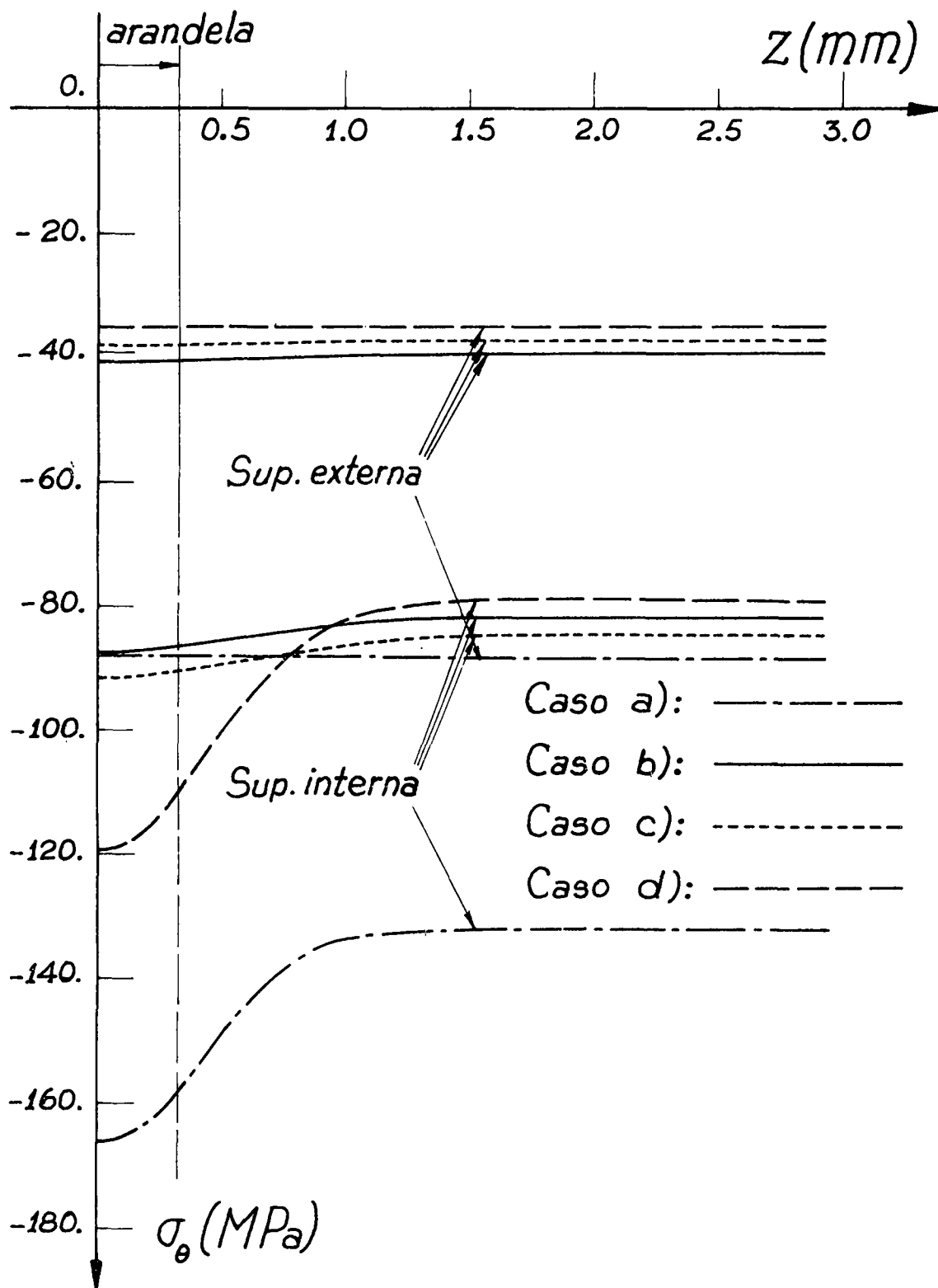


Figura 4: Tensiones circunferenciales σ_θ sobre las superficies interna y externa de la vaina para los cuatro casos analizados. La coordenada Z es la indicada en Figura 1.

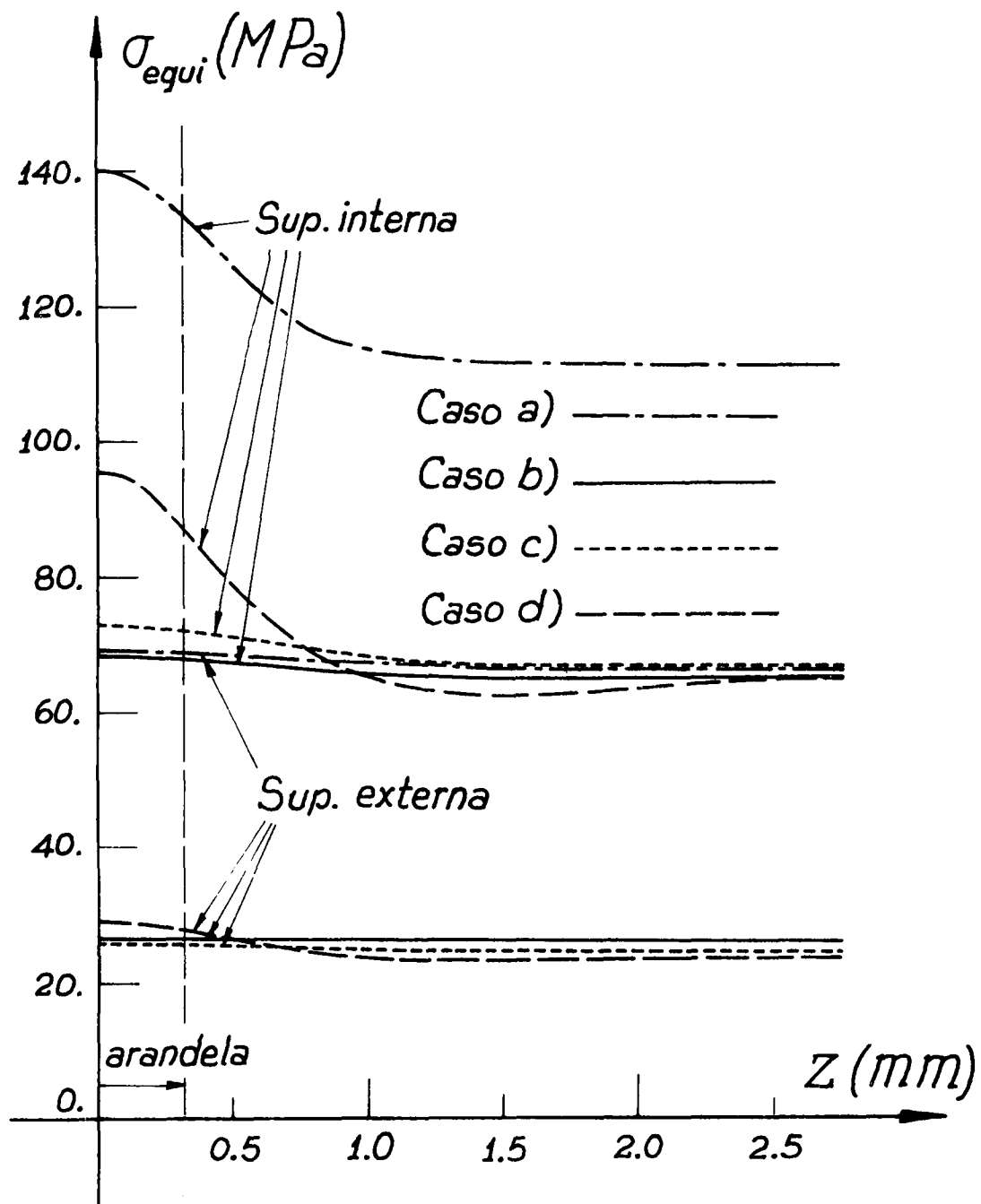


Figura 5: Tensiones equivalentes σ_{equi} sobre las superficies interna y externa de la vaina para los cuatro casos analizados. la coordenada Z es la indicada en Figura 1.