

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES.....	1
ANEXO B. FOTOS DE LAS FALLAS DE ESPECÍMENES ENSAYADOS.....	16
ANEXO C. CURVAS DE FUERZA-ALARGAMIENTO – ENSAYO DE TRACCIÓN....	29
ANEXO D. CÁLCULOS REALIZADOS MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO.....	32
ANEXO E. RESULTADOS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS – LAMINADOS [0/90/45/-45]s y [0/90/0/90]s.....	47
ANEXO F. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	65



ANEXO A. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

A continuación se describirán los pasos que se siguieron para la fabricación de los especímenes. Se obtuvo un acabado aceptable, sin embargo algunos especímenes (unos más que otros) presentaron burbujas.

1. Se cortaron los tejidos de fibra de vidrio (Figura A1) para cada laminado a partir de rollos (Figura A2), debido a que el tejido de fibra de vidrio es bidireccional este se asumió como un compuesto, es decir, por ejemplo para el primer laminado de caracterización de $[0/90/90/0]$ este estaría compuesto en un principio por 4 láminas unidireccionales (una lámina a 0° , dos a 90° y una a 0°), pero para el presente trabajo serían 2 tejidos bidireccionales (láminas) de fibra de vidrio, ya que un tejido representaría el $[0/90]$, o el $[90/0]$ (Figura A3). Para los casos donde esté presente la lámina $[45/-45]$ simplemente con la ayuda de un transportador se girará 45° el tejido simple de $[0/90]$, para luego cortarlo y formar la lámina $[45/-45]$ (Figura A4). Se resume en la Tabla A1 el número de tejidos cortados para cada laminado y las dimensiones de cada uno para luego darle las dimensiones finales recomendadas según norma.



Figura A1: Corte de tejido de fibra de vidrio



Figura A2: Rollos de Tejido de Fibra de Vidrio

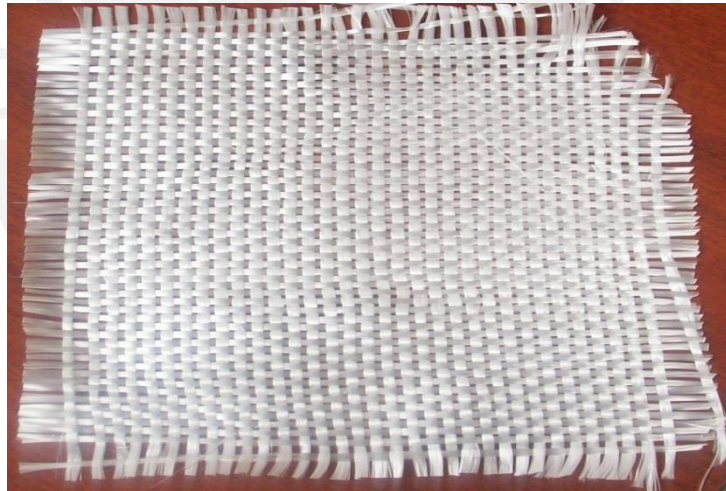


Figura A3: Tejido de fibra de vidrio [0/90] cortado

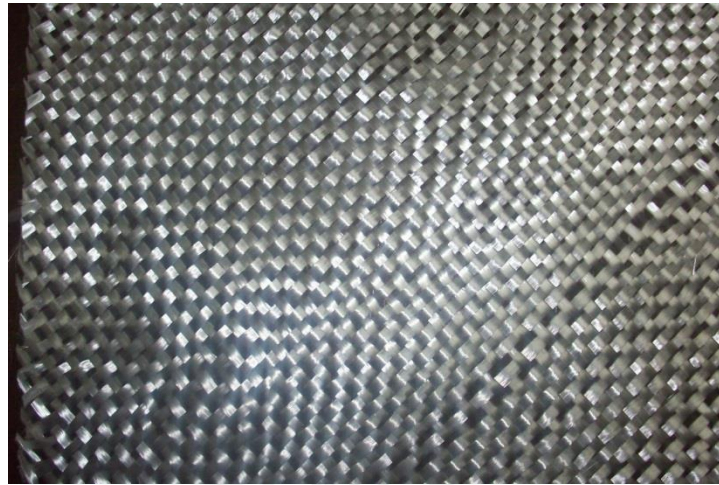


Figura A4: Tejido de fibra de vidrio [45/-45] cortado

Orientación	Cantidad de Tejidos Cortados	L x W (mm)
[0/90/90/0]	2	300 x 180
[45/-45]2s	4	300 x 180
[0/90/0/90]s	4	300 x 180
[0/90/45/-45]s	4	300 x 180
[0/90/0/90]s	4	150 x 130
[0/90/45/-45]s	4	150 x 130

Tabla A1: Dimensiones y cantidad de tejidos cortados por cada laminado

2. Se mezcló el catalizador M-50 (Figura A5) con la resina de poliéster isoftálica (Figura A7) en una proporción de 7 mg de catalizador / 0.25 kg de resina. A esta mezcla se le llamará resina en lo que resta de este procedimiento, ya que prácticamente la proporción es pequeña pero importante para el curado del material.



Figura A5: Catalizador M-50



Figura A6: Tanque de almacenamiento de resina de poliéster isoftálica



Figura A7: Resina de poliéster isoftálica



Figura A8: Mezcla catalizador/resina

3. Sobre una superficie plana de trabajo limpia, con una brocha se esparció la resina (Figura A8) en el área necesaria (antes de colocar el primer tejido) como se muestra en la Figura A9.



Figura A9: Esparcimiento de la resina en la superficie de trabajo

4. Se colocó el primer tejido y esparció la resina con la brocha (Figura A10), luego se empleó un rodillo metálico (1/2 x 3/4 pulg.) para facilitar la eliminación de excesos de la resina y del aire atrapado en el laminado como se muestra en la Figura A11. Se repitió este paso cada vez que se necesitó colocar un tejido encima.

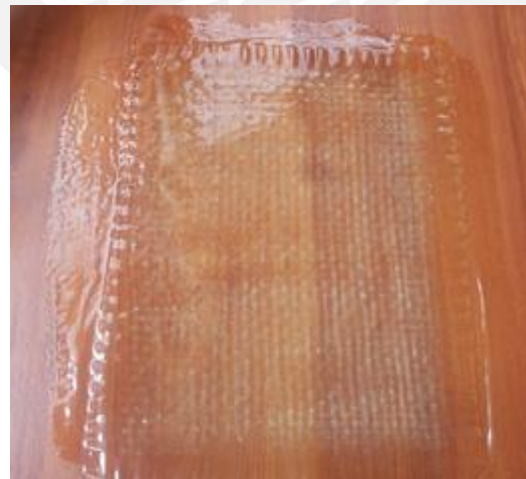


Figura A10: Tejido con resina esparcida



Figura A11: Eliminación de exceso de resina y aire mediante rodillo metálico (1/2 x 3/4 pulg.)

Durante este paso se pudo observar la presencia de una especie de pelusa en el laminado como se muestra en la Figura A12, la cual se tuvo que retirar cuidadosamente para que no afecte las propiedades finales de este compuesto.

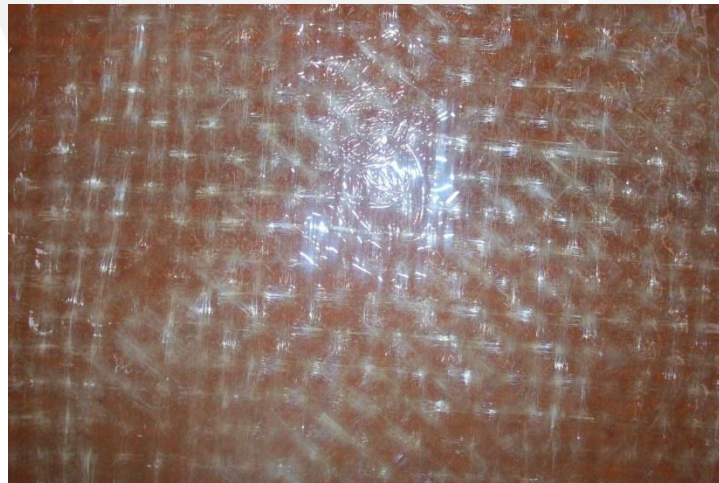


Figura A12: Pelusa dentro del laminado



Figura A13: Laminado antes del curado

5. Con otra superficie plana se aplastó el laminado, de manera que quede “prensada” y cure por una hora (Figura A14).



Figura A14: Curado del laminado

6. Se retiraron las superficies en contacto (el laminado entre ellas) y se dejó el laminado a temperatura ambiente por treinta minutos como se muestra en la Figura A15.

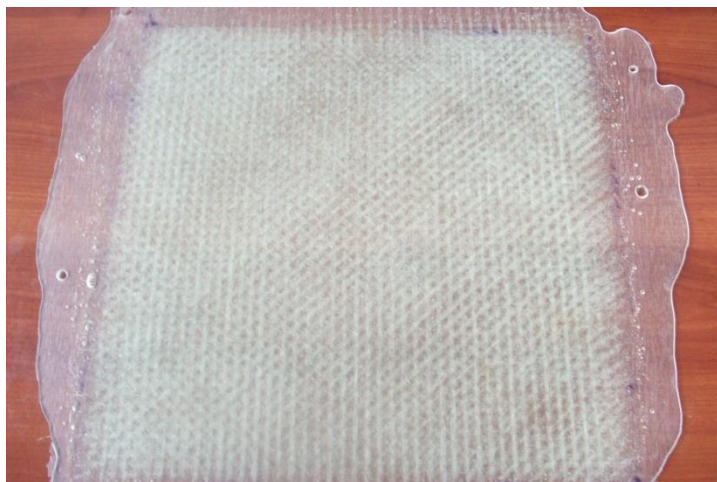


Figura A15: Laminado Curado

7. Se trazaron las divisiones necesarias de acuerdo a las dimensiones finales de los laminados como se muestran en las Figuras A16 y A17.



Figura A16: Trazo de las divisiones de cada laminado

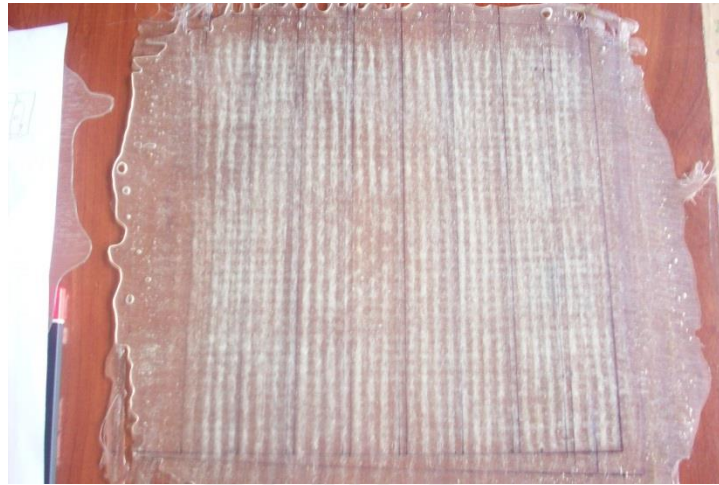


Figura A17: Laminado con divisiones realizadas

8. Se realizó el corte de cada división trazada con una sierra de disco de 1mm como se muestra en la Figura A18.



Figura A18: Corte del Laminado con sierra de disco DEWALT

Durante este paso se pudo observar que ciertos bordes del laminado presentaban delaminación como se muestra en la Figura A19. se tuvo que lijar cuidadosamente para tener un buen acabado final.



Figura A19: Presencia de delaminación después del corte

9. Los especímenes cortados se lijaron hasta su dimensión final mediante una lija acoplada a la sierra de disco y un papel de lija como se muestran en las Figuras A20 y A21.



Figura A20: Lijado del espécimen



Figura A21: Papel de Lija

Finalmente en las siguientes figuras se muestran los especímenes fabricados.



Figura A22: Especímenes fabricados de [0/90/90/0]



Figura A23: Especímenes fabricados de $[45/-45]_2s$



Figura A24: Especímenes fabricados de $[0/90/0/90]_s$



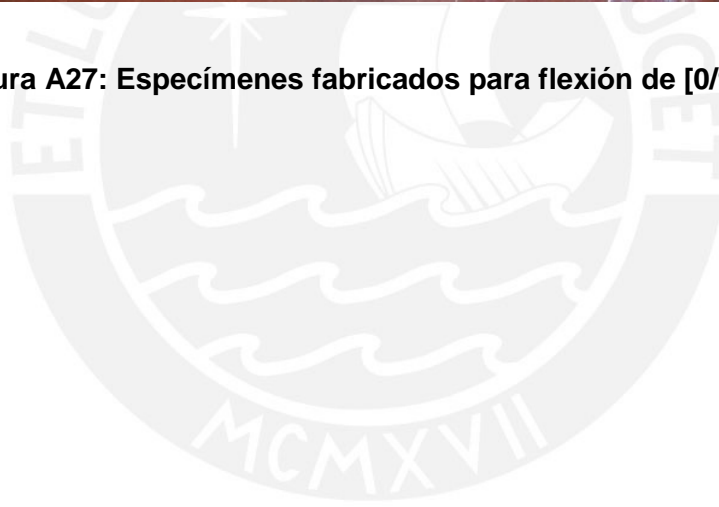
Figura A25: Especímenes fabricados de $[0/90/45/-45]_s$



Figura A26: Especímenes fabricados para flexión de $[0/90/0/90]_s$



Figura A27: Especímenes fabricados para flexión de [0/90/45/-45]_s



ANEXO B. FOTOS DE LAS FALLAS DE ESPECÍMENES ENSAYADOS

ENSAYOS DE TRACCIÓN

LAMINADO [0/90/90/0]



Figura B1: Laminados [0/90/90/0] ensayados



Figura B2: Fractura – Ensayo #1



Figura B3: Presencia de pequeñas burbujas

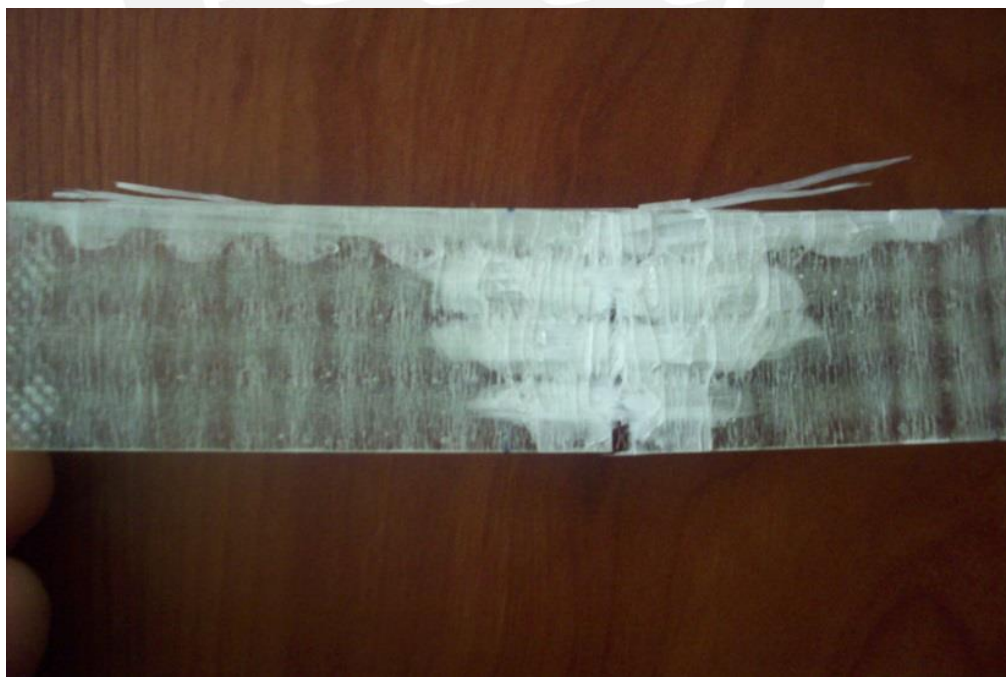


Figura B4: Fractura – Ensayo #2



Figura B5: Vista de perfil de la fractura – Ensayo #2



Figura B6: Fractura – Ensayo #3

LAMINADO [45/-45]2s



Figura B7: Laminados [45/-45]2s ensayados



Figura B8: Fractura – Ensayo #1



Figura B9: Vista de perfil de la fractura – Ensayo #1



Figura B10: Fractura – Ensayo #2



Figura B11: Fractura – Ensayo #3

LAMINADO [0/90/0/90]s



Figura B12: Laminados [0/90/0/90]s ensayados



Figura B13: Fractura – Ensayo #1



Figura B14: Fractura – Ensayo #2



Figura B15: Fractura – Ensayo #3

LAMINADO [0/90/45/-45]s



Figura B16: Laminados [0/90/45/-45]s ensayados



Figura B17: Fractura – Ensayo #1



Figura B18: Vista de perfil de la fractura – Ensayo #1



Figura B19: Fractura – Ensayo #2



Figura B20: Fractura – Ensayo #3



Figura B21: Vista de perfil de la fractura – Ensayo #3

ENSAYOS DE FLEXIÓN

LAMINADO [0/90/0/90]s



Figura B22: Laminados [0/90/0/90]s ensayados

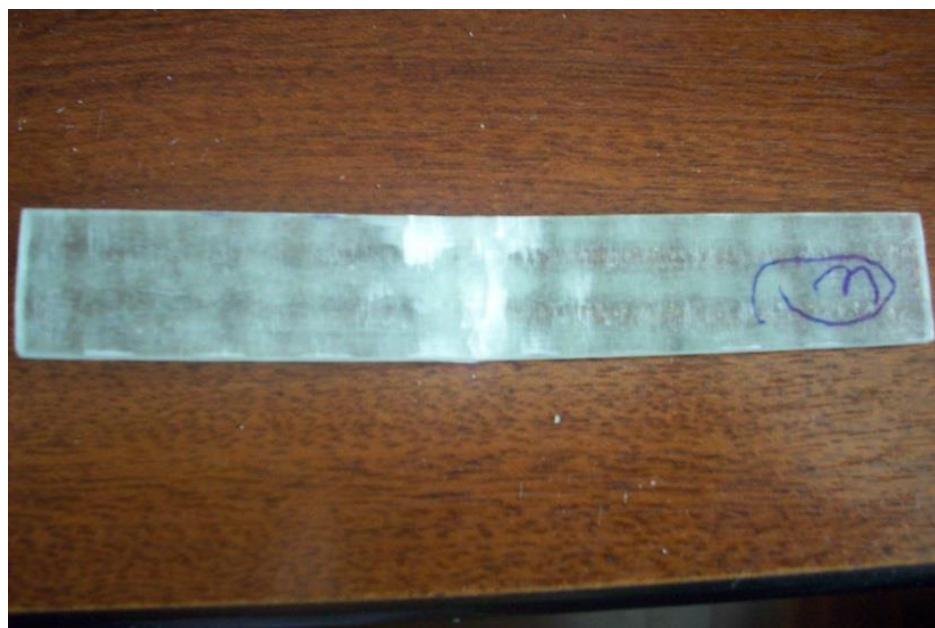


Figura B23: Fractura – Ensayo de flexión

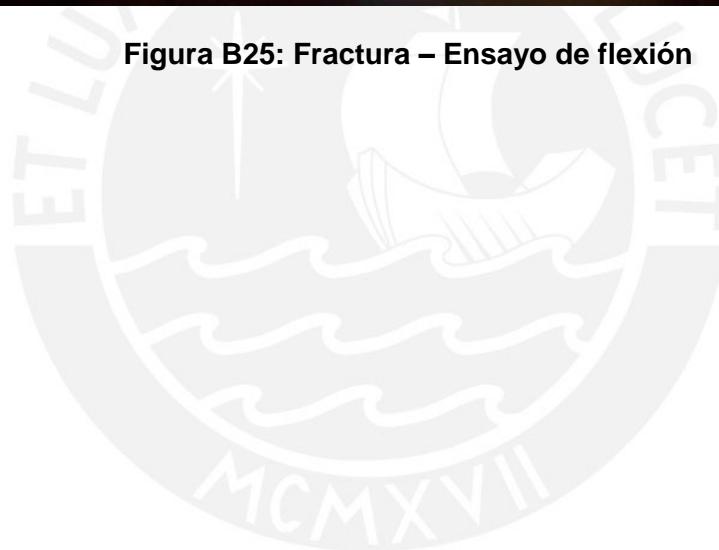
LAMINADO [0/90/45/-45]s



Figura B24: Laminados [0/90/45/-45]s ensayados



Figura B25: Fractura – Ensayo de flexión



ANEXO C. CURVAS DE FUERZA-ALARGAMIENTO – ENSAYO DE TRACCIÓN

La máquina Zwick SP-600, donde se realizaron los ensayos de tracción, proporcionó las gráficas Fuerza (N) vs. Alargamiento (mm) como se muestran en la Figura C1, Figura C2 y Figura C3.

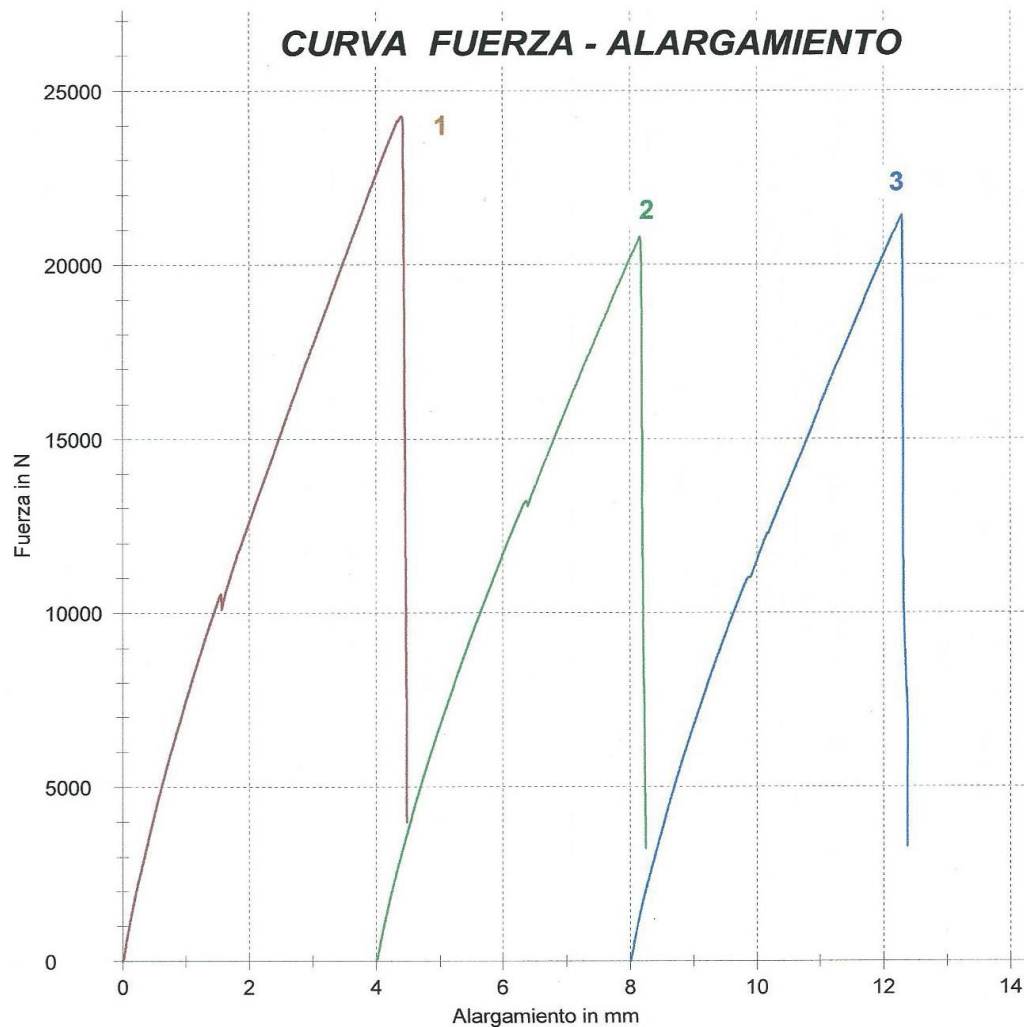


Figura C1: Curvas de Fuerza-Alargamiento del espécimen de [0/90/0/90]_s

Zwick / Roell

Standard test report

29.10.2013

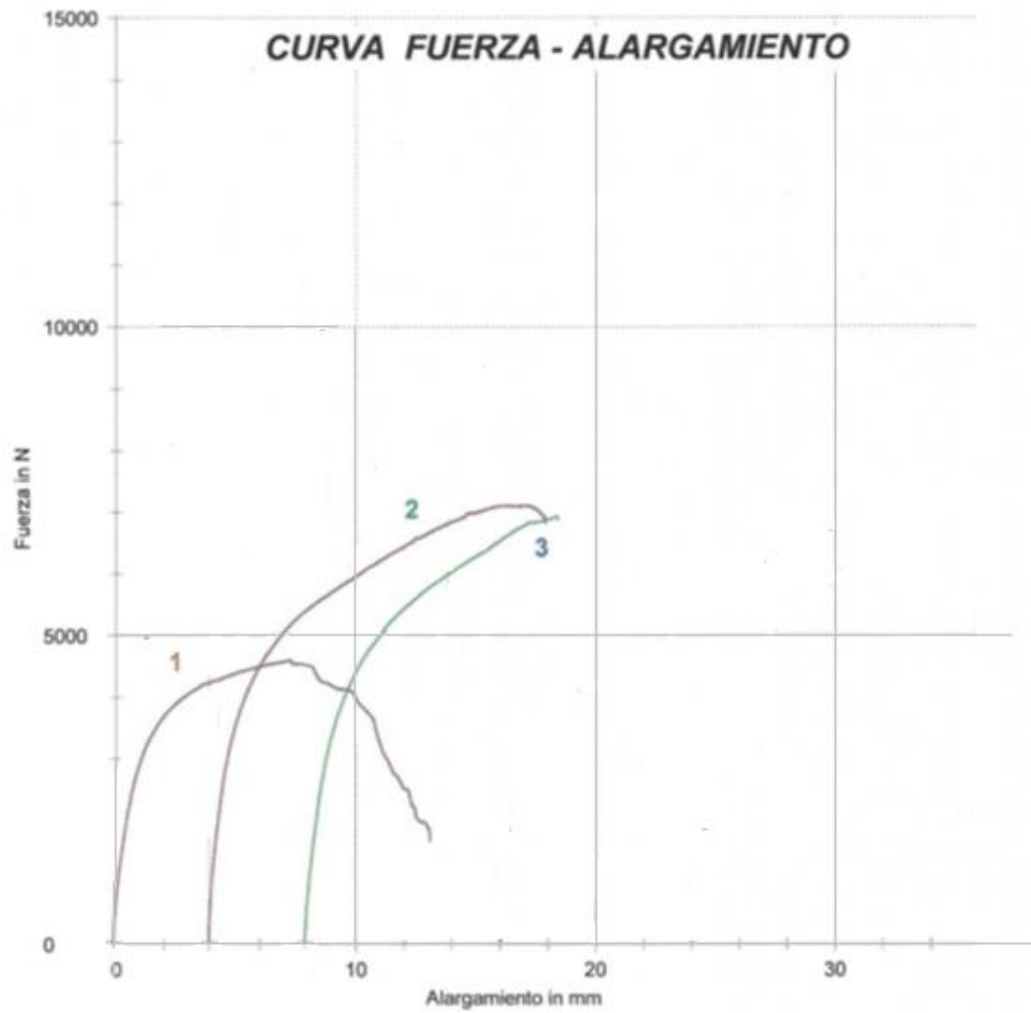


Figura C2: Curvas de Fuerza-Alargamiento del espécimen de [45/-45]_{2s}

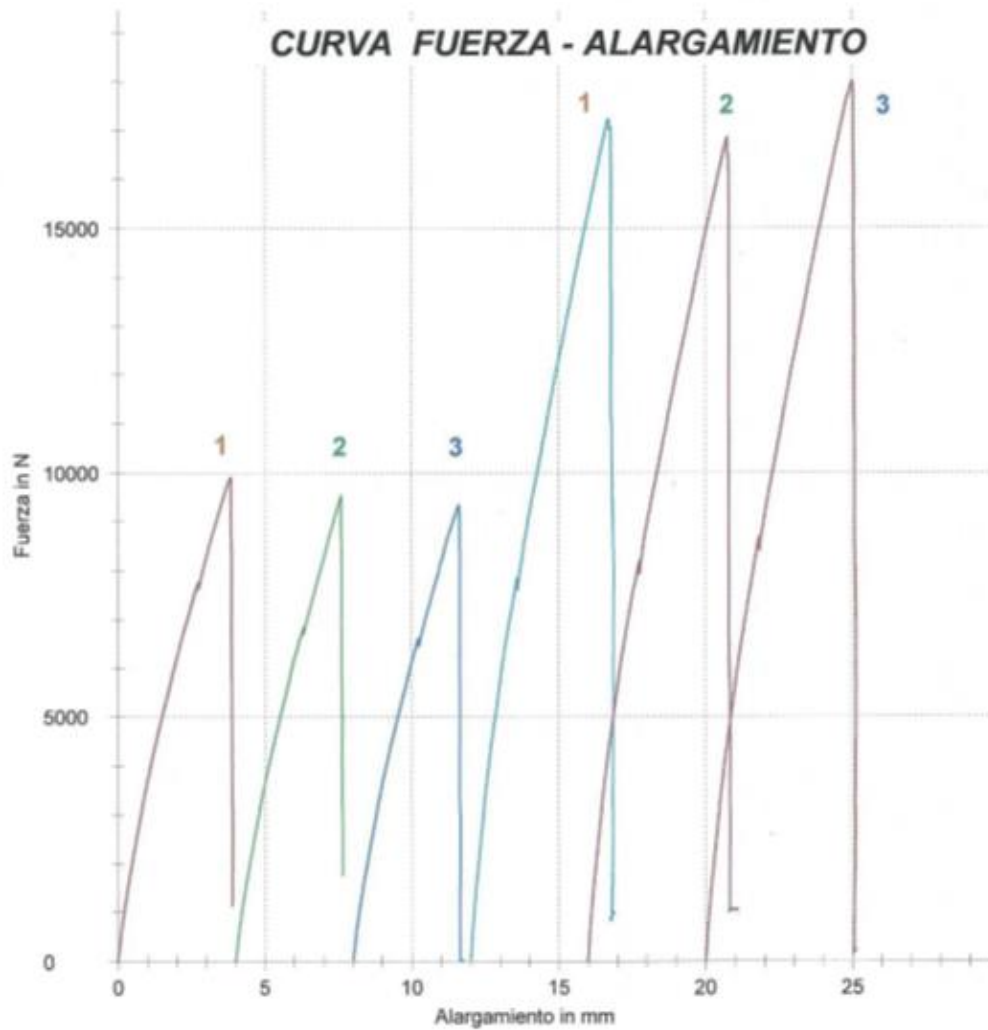


Figura C3: Curvas de Fuerza-Alargamiento de los especímenes de [0/90/90/0] y [0/90/45/-45]_s

ANEXO D. CÁLCULOS REALIZADOS MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO

MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA LÁMINA

Se usó la ecuación (2.16) para poder hallar la matriz de rigidez de la lámina [0/90] y de [45/-45] respecto a sus ejes principales.

MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA LÁMINA [0/90]

$$Q_{11}^{[0/90]} = Q_{xx}^{[0/90]} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} = \frac{15.53}{1 - (0.2)(0.2)} = \mathbf{16.18 \text{ GPa}}$$

$$Q_{12}^{[0/90]} = Q_{xy}^{[0/90]} = \frac{\nu_{21} \cdot E_1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} = \frac{\nu_{12} \cdot E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} = \frac{(0.2) \cdot (15.53)}{1 - (0.2) \cdot (0.2)} = \mathbf{3.24 \text{ GPa}}$$

$$Q_{22}^{[0/90]} = Q_{yy}^{[0/90]} = \frac{E_2}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} = \frac{15.53}{1 - (0.2) \cdot (0.2)} = \mathbf{16.18 \text{ GPa}}$$

$$Q_{66}^{[0/90]} = Q_{ss}^{[0/90]} = G_{12} = \mathbf{3.18 \text{ GPa}}$$

La matriz de rigidez de la lámina [0/90] se muestra a continuación:

$$[Q]_{12}^k = [Q]_{xy}^{[0/90]} = \begin{bmatrix} 16.18 & 3.24 & 0 \\ 3.24 & 16.18 & 0 \\ 0 & 0 & 3.18 \end{bmatrix} \text{ GPa}$$

(D.1)

MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA LÁMINA [45/-45]

La matriz de rigidez transformada de la lámina [45/-45] se calcula por las ecuaciones (2.17) y se obtiene lo siguiente:

$$\theta = 45^\circ$$

$$m = \cos \theta = \cos 45^\circ = 0.7071$$

$$n = \text{sen } \theta = \text{sen } 45^\circ = 0.7071$$

$$\begin{aligned} Q_{xx}^{[45/-45]} &= m^4 \cdot Q_{11}^{[0/90]} + n^4 \cdot Q_{22}^{[0/90]} + 2m^2n^2 \cdot Q_{12}^{[0/90]} + 4m^2n^2 \cdot Q_{66}^{[0/90]} \\ &= \mathbf{12.89 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{yy}^{[45/-45]} &= n^4 \cdot Q_{11}^{[0/90]} + m^4 \cdot Q_{22}^{[0/90]} + 2m^2n^2 \cdot Q_{12}^{[0/90]} + 4m^2n^2 \cdot Q_{66}^{[0/90]} \\ &= \mathbf{12.89 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{xy}^{[45/-45]} &= m^2n^2 \cdot Q_{11}^{[0/90]} + m^2n^2 \cdot Q_{22}^{[0/90]} + (m^4 + n^4) \cdot Q_{12}^{[0/90]} - 4m^2n^2 \cdot Q_{66}^{[0/90]} \\ &= \mathbf{6.53 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{xs}^{[45/-45]} &= m^3n \cdot Q_{11}^{[0/90]} - mn^3 \cdot Q_{22}^{[0/90]} + (mn^3 - m^3n) \cdot Q_{12}^{[0/90]} \\ &\quad + 2(mn^3 - m^3n) \cdot Q_{66}^{[0/90]} = \mathbf{0 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ys}^{[45/-45]} &= mn^3 \cdot Q_{11}^{[0/90]} - m^3n \cdot Q_{22}^{[0/90]} + (m^3n - mn^3) \cdot Q_{12}^{[0/90]} \\ &\quad + 2(m^3n - mn^3) \cdot Q_{66}^{[0/90]} = \mathbf{0 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ss}^{[45/-45]} &= m^2n^2 \cdot Q_{11}^{[0/90]} + m^2n^2 \cdot Q_{22}^{[0/90]} - 2m^2n^2 \cdot Q_{12}^{[0/90]} + (m^2 - n^2)^2 \cdot Q_{66}^{[0/90]} \\ &= \mathbf{6.47 \text{ GPa}} \end{aligned}$$

La matriz de rigidez de la lámina [45/-45] se muestra a continuación:

$$[Q]_{xy}^{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 12.89 & 6.53 & 0 \\ 6.53 & 12.89 & 0 \\ 0 & 0 & 6.47 \end{bmatrix} \text{ GPa}$$

(D.2)

MATRICES DE RIGIDEZ DEL LAMINADO [0/90/45/-45]_s

MATRICES DE RIGIDEZ A TRACCIÓN

Para poder hallar las matrices de rigidez del laminado [0/90/45/-45]_s se necesita definir un sistema de referencia, el cual es similar al que se presenta en el trabajo de tesis pero acá se detalla más como se muestra en la Figura D.1. En este sistema definido se observa que los ejes definidos se encuentran en el medio del laminado, además de que la cota correspondiente a cada lámina parte desde el eje x, tomando en cuenta la orientación del eje z.

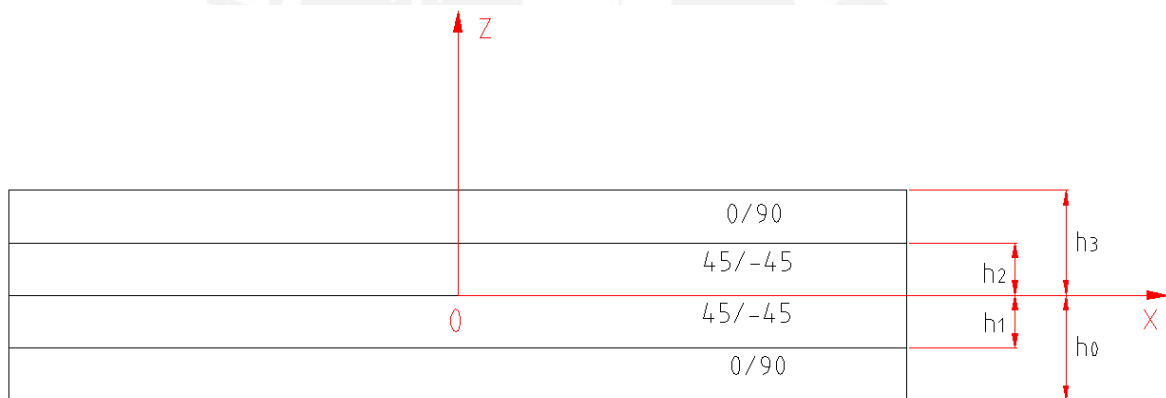


Figura D.1: Sistema de referencia del laminado, indicando las cotas correspondientes de cada lámina

El espesor del laminado analizado es de 2.7 mm, cada lámina tiene el mismo espesor, por lo tanto las cotas que se muestran en la Figura D.1 son las siguientes: $h_0 = -1.35$ mm, $h_1 = -0.675$ mm, $h_2 = 0.675$ mm y $h_3 = 1.35$ mm.

Se calcularon las matrices de rigidez del laminado según la ecuación (2.18). Para cada uno de los componentes (A_{ij}) de la matriz $[A]_{xy}$ se calcularon del mismo modo con cada valor correspondiente de la matriz Q_{ij} de cada lámina de la siguiente manera:

$$A_{xx} = Q_{xx}^{[0/90]} \cdot (h_3 - h_2) + Q_{xx}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{xx}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{xx}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

$$A_{yy} = Q_{yy}^{[0/90]}(h_3 - h_2) + Q_{yy}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{yy}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{yy}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

$$A_{xy} = Q_{xy}^{[0/90]}(h_3 - h_2) + Q_{xy}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{xy}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{xy}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

$$A_{xs} = Q_{xs}^{[0/90]}(h_3 - h_2) + Q_{xs}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{xs}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{xs}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

$$A_{ys} = Q_{ys}^{[0/90]}(h_3 - h_2) + Q_{ys}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{ys}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{ys}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

$$A_{ss} = Q_{ss}^{[0/90]}(h_3 - h_2) + Q_{ss}^{[45/-45]} \cdot (h_2 - 0) + Q_{ss}^{[45/-45]} \cdot (0 - h_1) + Q_{ss}^{[0/90]} \cdot (h_1 - h_0)$$

Al reemplazar los valores de Q_{ij} respectivos en las unidades de GPa y los valores de las cotas h_i en mm como se indicó, se obtiene la siguiente matriz:

$$[A]_{xy} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xs} \\ A_{xy} & A_{yy} & A_{ys} \\ A_{xs} & A_{ys} & A_{ss} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 39.24 & 13.18 & 0 \\ 13.18 & 39.24 & 0 \\ 0 & 0 & 13.03 \end{bmatrix} \text{ kN/mm}$$

(D.3)

Para el cálculo de la matriz de rigidez $[B]_{xy}$ se procedió de la siguiente manera para cada componente de esta:

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \{Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_3^2 - h_2^2) + Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (h_2^2 - 0^2) + Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (0^2 - h_1^2) + Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_1^2 - h_0^2)\}$$

(D.4)

Dónde: $i, j = x, y, s$

Se observa en (D.4) lo siguiente:

$$Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_3^2 - h_2^2) + Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_1^2 - h_0^2) = 0$$

$$Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (h_2^2 - 0^2) + Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (0^2 - h_1^2) = 0$$

Por lo tanto se observa que la que cada componente B_{ij} es nulo por lo tanto la matriz $[B]_{xy} = 0$, esto demuestra que el laminado es simétrico.

Al ser la matriz $[B]_{xy}$ nula, la matriz $[a]_{xy}$ de la ecuación (2.19) depende solamente de la matriz inversa de la ecuación (D.3). Entonces tenemos:

$$[a]_{xy} = [A]_{xy}^{-1} = \begin{bmatrix} 2.8728 (E - 08) & -9.64904 (E - 09) & 1.35452(E - 21) \\ -9.64904 (E - 09) & 2.8728 (E - 08) & -1.35452(E - 21) \\ 1.35452(E - 21) & -1.35452(E - 21) & 7.67541 (E - 08) \end{bmatrix} m/N$$

(D.5)

MATRICES DE RIGIDEZ A FLEXIÓN

Las dimensiones del espécimen de $[0/90/45/-45]_s$ ensayado a flexión fueron de 100 mm de longitud, 15 mm de ancho y 2 mm de espesor. Al cambiar las dimensiones del espécimen las matrices del laminado cambiaron, pero se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente. Se puede observar que lo único que no cambia es la matriz de rigidez de la lámina $[Q]_{xy}$. Para el sistema de referencia del laminado (Figura D.1) se tomaron los siguientes valores en este caso ($h_0 = -1.00$ mm, $h_1 = -0.50$ mm, $h_2 = 0.50$ mm y $h_3 = 1.00$ mm.).

Se calcularon las matrices de rigidez del laminado según la ecuación (2.18). La matriz $[A]_{xy}$ queda de la siguiente manera:

$$[A]_{xy} = \begin{bmatrix} 29.06 & 9.76 & 0 \\ 9.76 & 29.06 & 0 \\ 0 & 0 & 9.65 \end{bmatrix} kN/mm$$

(D.6)

La matriz de rigidez $[B]_{xy}$ es nula.

Para el cálculo de la matriz $[D]_{xy}$ se procedió de la siguiente manera para cada componente de esta:

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \cdot \{Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_3^3 - h_2^3) + Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (h_2^3 - 0^3) + Q_{ij}^{[45/-45]} \cdot (0^3 - h_1^3) + Q_{ij}^{[0/90]} \cdot (h_1^3 - h_0^3)\}$$

Al reemplazar los valores de Q_{ij} respectivos para cada componente y los valores de las cotas como se indicó, se obtiene la siguiente matriz:

$$[D]_{xy} = \begin{bmatrix} 10.51 & 2.43 & 0 \\ 2.43 & 10.51 & 0 \\ 0 & 0 & 2.39 \end{bmatrix} kN.mm$$

(D.7)

Al ser la matriz $[B]_{xy}$ nula, la matriz $[d]_{xy}$ de la ecuación (2.19) depende solamente de la matriz inversa de la ecuación (D.7). Entonces tenemos:

$$[d]_{xy} = [D]_{xy}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1005 & -0.0232 & 0 \\ -0.0232 & 0.1005 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4184 \end{bmatrix} 1/Nm$$

(D.8)

DEFORMACIONES DEL LAMINADO [0/90/45/-45]_s

DEFORMACIONES POR TRACCIÓN

Para hallar las deformaciones del plano de referencia del laminado se utiliza la ecuación (2.20), sin embargo como se dijo anteriormente la matriz $[B]_{xy}$ es nula (esto también se cumple en los demás laminados analizados en el presente trabajo), por lo tanto dicha ecuación toma la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_s^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} & a_{xs} \\ a_{yx} & a_{yy} & a_{ys} \\ a_{sx} & a_{sy} & a_{ss} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_s \end{bmatrix}$$

(D.9)

Al ensayar el espécimen de [0/90/45/-45]_s a tracción se vio que el esfuerzo último promedio que soportó este material fue de 257.19 MPa, sin embargo en la ecuación anterior, la carga introducida debe ir por unidad de longitud, entonces se tiene:

$$N_x = \sigma_x * h = (257.19 \times 10^6) * (0.0027) = 694\,400 \text{ N/m}$$

(D.10)

El valor de h que aparece en la ecuación anterior es el espesor en metros del espécimen ensayado. La ecuación (D.9) toma la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_s^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.8728 (E - 08) & -9.64904 (E - 09) & 1.35452(E - 21) \\ -9.64904 (E - 09) & 2.8728 (E - 08) & -1.35452(E - 21) \\ 1.35452(E - 21) & -1.35452(E - 21) & 7.67541 (E - 08) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 694\ 400 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_s^0 \end{bmatrix}_{[0/90/45/-45]_s} = \begin{bmatrix} 0.01995 \\ -0.00670 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(D.11)

Al no estar sometido a momentos el espécimen descrito en este caso, no existe curvaturas en el laminado, por lo tanto se cumple lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_s^0 \end{bmatrix}_{[0/90/45/-45]_s} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 0.01995 \\ -0.00670 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(D.12)

La deformación que presenta el par de láminas de [0/90] respecto a sus ejes principales son las mismas que las del plano de referencia, como se muestra en la ecuación (D.13)

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_s^0 \end{bmatrix}_{[0/90/45/-45]_s} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} 0.01995 \\ -0.00670 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(D.13)

Para hallar las deformaciones referidos a los ejes principales (1,2) del par de láminas [45/-45], se debe emplear la ecuación (2.23), a continuación se calcula la matriz [T]:

$$[T] = \begin{bmatrix} m^2 & n^2 & 2mn \\ n^2 & m^2 & -2mn \\ -mn & mn & m^2 - n^2 \end{bmatrix}$$

$$m = \cos \theta = \cos 45^\circ = 0.7071$$

$$n = \sin \theta = \sin 45^\circ = 0.7071$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & -1 \\ -0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

(D.14)

Entonces:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = [T] \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{1}{2}\gamma_s \end{bmatrix}_{[45/-45]}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & -1 \\ -0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.01995 \\ -0.00670 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0066 \\ 0.0066 \\ -0.0133 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 0.0066 \\ 0.0066 \\ -0.0266 \end{bmatrix}$$

(D.15)

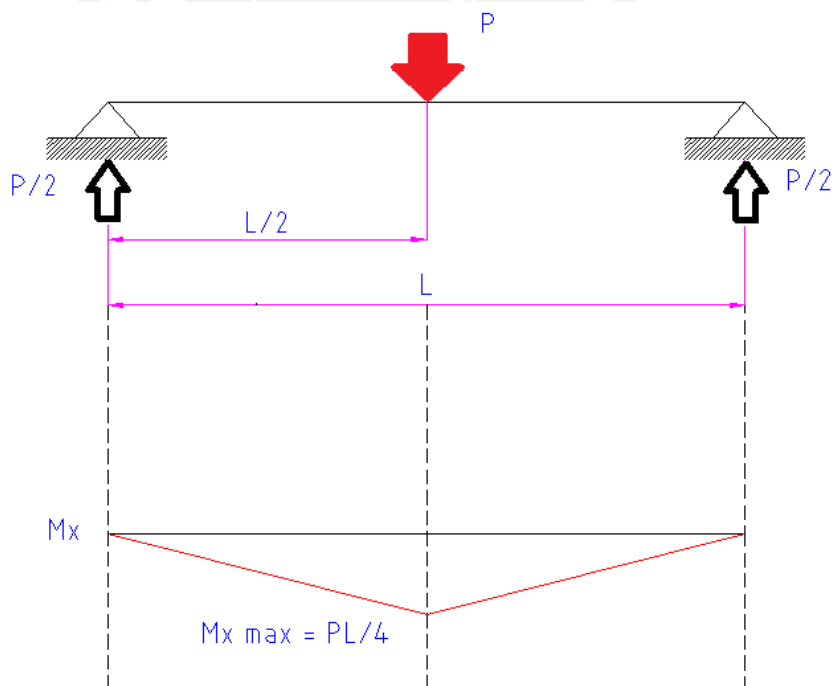
DEFORMACIONES POR FLEXIÓN

Para el laminado [0/90/45/-45]_s bajo flexión, al no haber ninguna fuerza en el plano el espécimen está sometido solo a momento flector en el eje x. Las deformaciones del plano de referencia del laminado que están dadas por la ecuación (2.20), son nulas, por lo tanto este laminado [0/90/45/-45]_s presentará curvaturas, y se cumple lo que indica la ecuación (2.21). Sin embargo, según la ecuación (2.19) la matriz inversa $[c]_{xy}$ depende de la matriz $[B]_{xy}$, que al ser esta última nula, la matriz inversa $[c]_{xy}$ también lo es, entonces se tiene:

$$\begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xs} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{ys} \\ d_{sx} & d_{sy} & d_{ss} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_s \end{bmatrix}$$

(D.16)

Para hallar el valor de M_x , se calcula el momento flector máximo por unidad de longitud a partir de la fuerza máxima promedio hallada en los ensayos de flexión. La fuerza promedio máxima (P) hallada en los ensayos de flexión para el laminado [0/90/45/-45]s fue de 275 N y la longitud entre soportes (L) fue de 50 mm. Se muestra un esquema a continuación:



$$M_{x-max} = \frac{PL}{4} = \frac{(-275)(0.05)}{4} = -3.4375 \text{ Nm}$$

(D.17)

Como en el caso de tracción el momento flector M_x debe estar por unidad de longitud. Entonces se divide el valor en (D.17) entre el ancho (w) de la probeta ensayada a flexión.

$$M_x = \frac{M_{x-max}}{w} = \frac{-3.4375}{0.015} = -229.16 \text{ N}$$

(D.18)

Entonces la ecuación (D.16) queda de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1005 & -0.0232 & 0 \\ -0.0232 & 0.1005 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4184 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -229.16 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -23.04 \\ 5.33 \\ 0 \end{bmatrix} 1/m$$

(D.19)

Las deformaciones de cada lámina en los ejes (x,y) está dada por la ecuación (2.22) , y esta queda de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_k = z_k \cdot \begin{bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{bmatrix}$$

(D.20)

Como se dijo anteriormente, la coordenada z fue medida a partir del plano medio del laminado hasta la coordenada superior de cada lámina (tomando como referencia la Figura D.1). De esta manera se obtiene las máximas deformaciones que se presentarían en cada lámina en los ejes (x,y) y por lo tanto también a lo largo de sus ejes principales.

LÁMINA [0/90]1

Según la ecuación (D.20) para la lámina [0/90]1 se tiene:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[0/90]1} = (-0.001) \begin{bmatrix} -23.04 \\ 5.33 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[0/90]1} = \begin{bmatrix} 0.0230 \\ -0.0053 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_6 \end{bmatrix}_{[0/90]1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \frac{1}{2}\gamma_s \end{bmatrix}_{[0/90]1} = \begin{bmatrix} 0.0230 \\ -0.0053 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(D.21)

LÁMINA [45/-45]2

Según la ecuación (D.20) para la lámina [45/-45]2 se tiene:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[45/-45]2} = (-0.0005) \begin{bmatrix} -23.04 \\ 5.33 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_s \end{bmatrix}_{[45/-45]2} = \begin{bmatrix} 0.0115 \\ -0.0027 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(D.22)

Se usa la ecuación (2.23) para hallar las deformaciones principales en la lámina de [45/-45]2

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & -1 \\ -0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0115 \\ -0.0027 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \frac{1}{2}\gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} 0.0044 \\ 0.0044 \\ -0.0071 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} 0.0044 \\ 0.0044 \\ -0.0142 \end{bmatrix}$$

(D.23)

Para hallar las deformaciones principales de las láminas [45/-45]₃ y [0/90]₄, estas se calculan de manera similar que en las láminas de [0/90]₁ y [45/-45]₂ tomando en consideración la cota superior respectiva de cada lámina.

ESFUERZOS EN EL LAMINADO [0/90/45/-45]_s

ESFUERZOS DE TRACCIÓN

Se debe calcular ahora el estado de esfuerzos principales que se presentan en cada lámina del laminado analizado utilizando la ecuación (2.24).

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[0/90]}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} 16.18(10^3) & 3.24(10^3) & 0 \\ 3.24(10^3) & 16.18(10^3) & 0 \\ 0 & 0 & 3.18(10^3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.01995 \\ -0.00670 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]} = \begin{bmatrix} 301.03 \\ -43.85 \\ 0 \end{bmatrix} MPa$$

(D.24)

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 16.18(10^3) & 3.24(10^3) & 0 \\ 3.24(10^3) & 16.18(10^3) & 0 \\ 0 & 0 & 3.18(10^3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.0066 \\ 0.0066 \\ -0.0266 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]} = \begin{bmatrix} 128.59 \\ 128.59 \\ -84.74 \end{bmatrix} MPa$$

(D.25)

ESFUERZOS DE FLEXIÓN

El estado de esfuerzos principales que se presentan en cada lámina del laminado [0/90/45/-45]s analizado debido a la flexión, se calcula usando la ecuación (2.24) a partir de las deformaciones principales obtenidas de cada lámina.

LÁMINA [0/90]₁

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]_1} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[0/90]_1}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]_1} = \begin{bmatrix} 16.18(10^3) & 3.24(10^3) & 0 \\ 3.24(10^3) & 16.18(10^3) & 0 \\ 0 & 0 & 3.18(10^3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0230 \\ -0.0053 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[0/90]_1} = \begin{bmatrix} 355.42 \\ -11.63 \\ 0 \end{bmatrix} MPa$$

(D.26)

LÁMINA [45/-45]2

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} 16.18(10^3) & 3.24(10^3) & 0 \\ 3.24(10^3) & 16.18(10^3) & 0 \\ 0 & 0 & 3.18(10^3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0044 \\ 0.0044 \\ -0.0142 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_6 \end{bmatrix}_{[45/-45]_2} = \begin{bmatrix} 85.95 \\ 85.95 \\ -45.10 \end{bmatrix} MPa$$

(D.27)

RESULTADOS OBTENIDOS DEL LAMINADO [0/90/0/90]s

Para hallar los valores de esfuerzos y deformaciones principales de este laminado se procede de manera similar como se explicó anteriormente para el laminado [0/90/45/-45]s.

ANEXO E. RESULTADOS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS – LAMINADOS [0/90/45/-45]_s y [0/90/0/90]_s

CARGA A TRACCIÓN

Para los laminados de [0/90/45/-45]_s y [0/90/0/90]_s que fueron sometidos a tracción, se modeló en ANSYS de la siguiente manera:

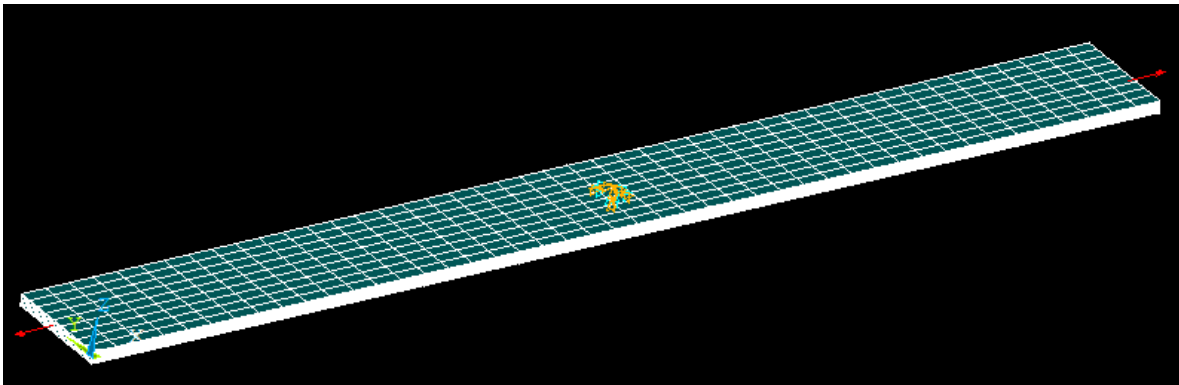


Figura E1: Laminado sometido a tracción

Se restringe el desplazamiento en nodos, en el medio del laminado, con un soporte simple, restringiendo todos los grados de libertad en ese punto. La carga se aplica en el medio de las caras laterales del laminado como se muestra en la Figura E1.

LAMINADO [0/90/45/-45]_s

Los resultados obtenidos de cada par de láminas [0/90] y [45/-45], se muestran a continuación, cabe indicar que los resultados obtenidos de los esfuerzos o deformaciones a lo largo de los ejes principales que fueron despreciables no se muestran. Los valores que se muestran en el cuadro rojo resaltado en cada figura indican los valores máximos y mínimos de esfuerzos o deformaciones a lo largo de los ejes principales de la lámina. SMX indica un valor máximo y SMN indica un valor mínimo. Los valores de esfuerzo

hallados se muestran en unidades SI, es decir en Pascales, y los valores de deformaciones son adimensionales.

LÁMINAS [0/90]

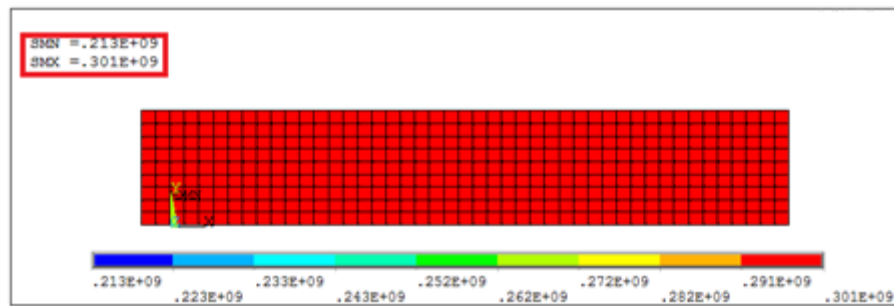


Figura E2: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Láminas [0/90]



Figura E3: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Láminas [0/90]

LÁMINAS [45/-45]

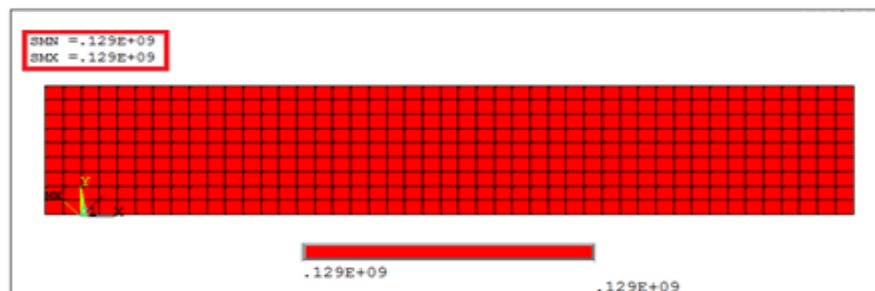


Figura E4: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Láminas [45/-45]

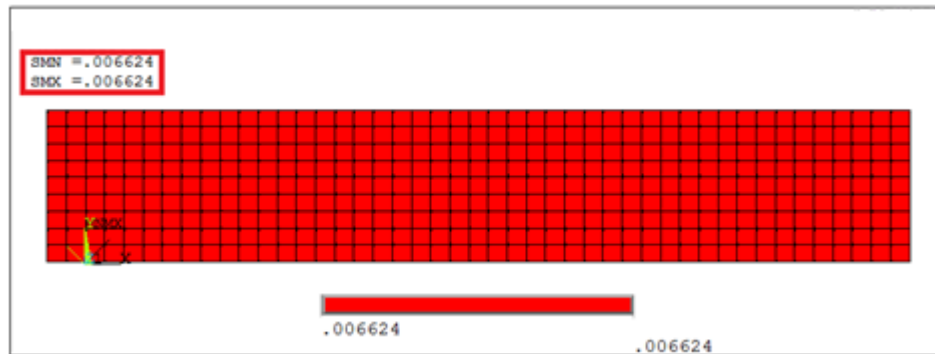


Figura E5: Deformación en el principal (ϵ_1) – Láminas [45/-45]

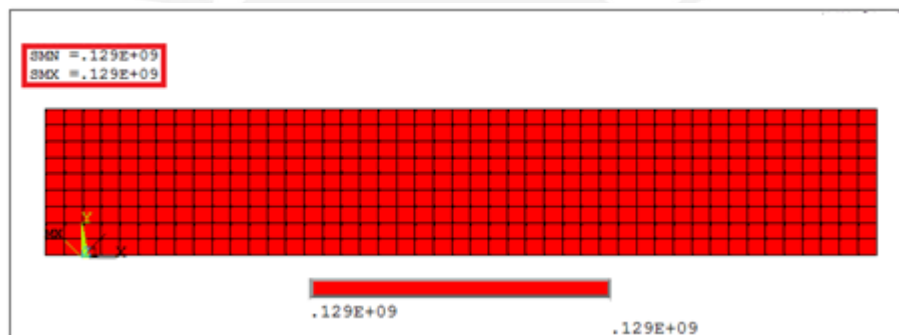


Figura E6: Esfuerzo en el eje principal (σ_2) – Láminas [45/-45]

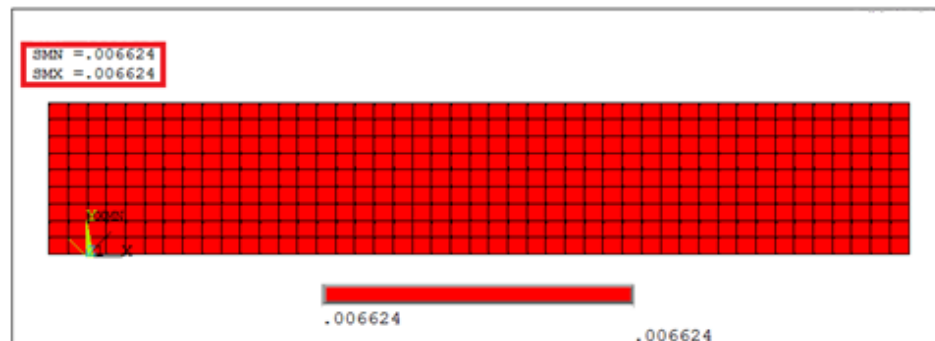


Figura E7: Deformación en el eje principal (ϵ_2) – Láminas [45/-45]

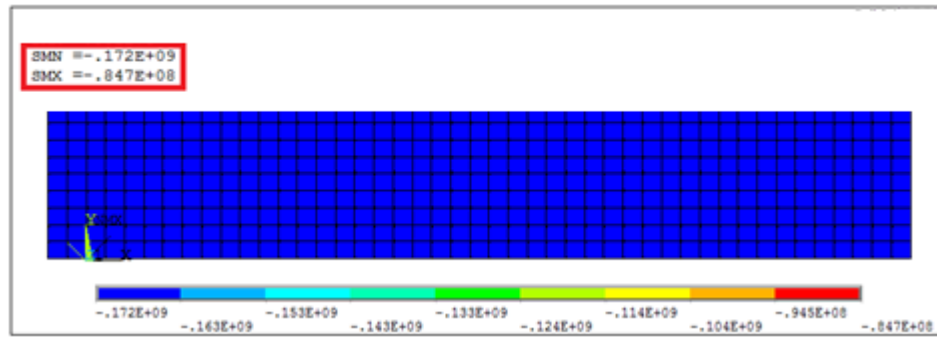


Figura E8: Esfuerzo cortante en el plano (τ_6) – Láminas [45/-45]

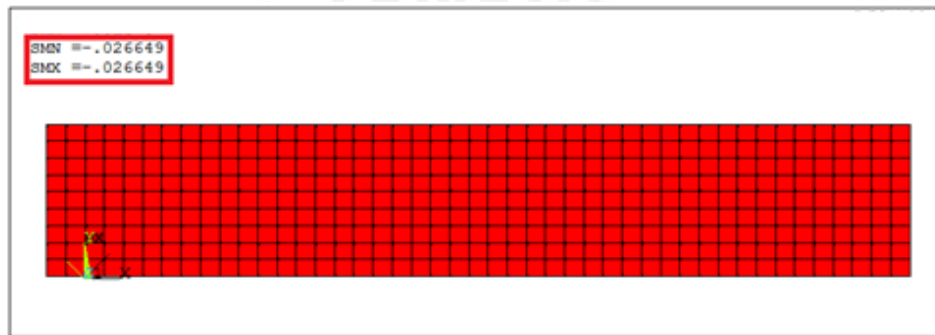


Figura E9: Deformación cortante en el plano (γ_6) – Láminas [45/-45]

LAMINADO [0/90/0/90]s

En este laminado se obtuvieron los mismos resultados en cada lámina. Se muestra a continuación dichos valores:

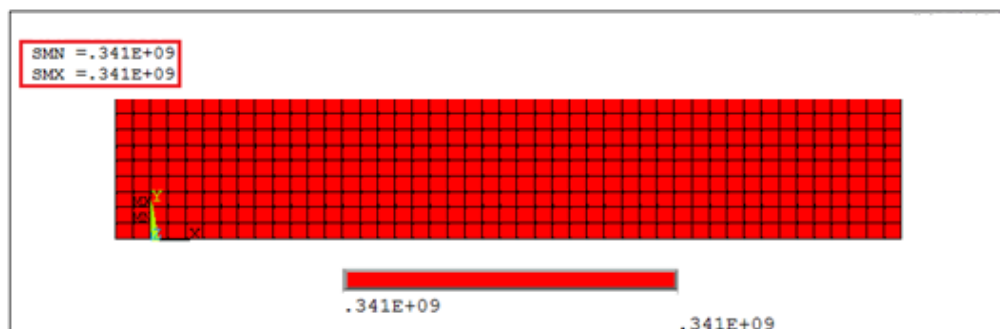


Figura E10: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Láminas [0/90]

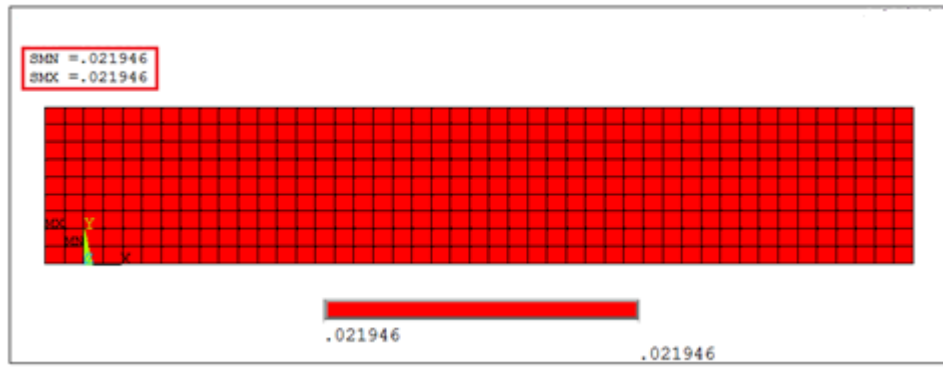


Figura E11: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Láminas [0/90]

CARGA A FLEXIÓN

Para este estado, se consideró despreciable los valores referentes al eje z, tales como el módulo de elasticidad, el modulo cortante y coeficiente de poisson. Los datos de entrada fueron los mismos valores que para la simulación en tracción. Para ambos laminados sometidos a flexión se modeló en ANSYS como se muestra en la Figura E12.

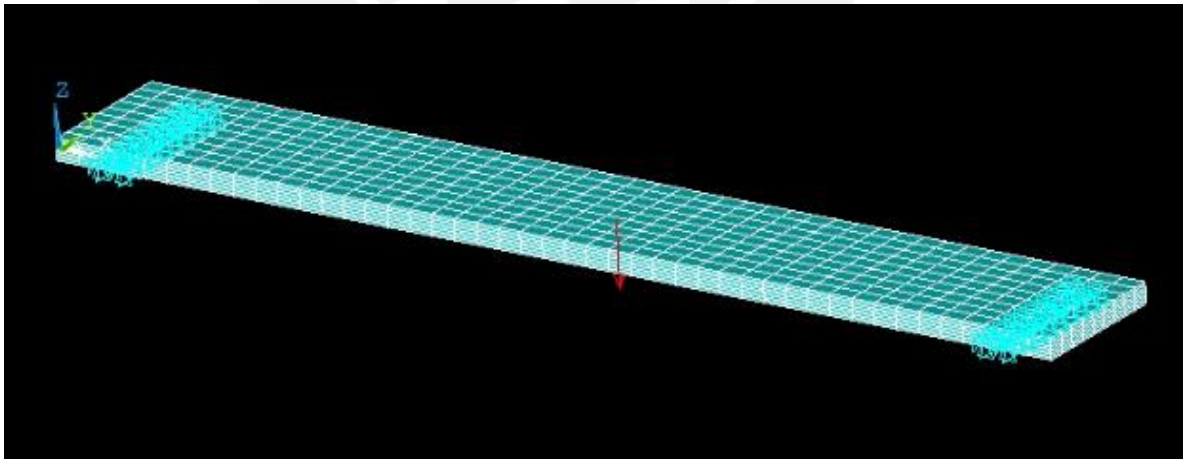


Figura E12: Laminado sometido a flexión

En los resultados que se muestran a continuación los subíndices de cada lámina indican el orden en que se encuentran las láminas dentro del laminado, es decir, la lámina con el subíndice 1 se encuentra en la parte inferior y la lámina con el subíndice 4 en la parte superior como se muestra en la Figura 4.1.

LAMINADO [0/90/45/-45]_s

Se puede observar para este laminado y también se verá para el de [0/90/0/90]_s que los valores hallados de deformaciones a lo largo de los ejes principales de cada par de láminas son distintos, a diferencia de cómo se comportaban estos a tracción. Sin embargo estos valores son simétricos respecto al plano medio del laminado con signo contrario. A continuación se podrá observar los resultados obtenidos mediante ANSYS de cada lámina.

LÁMINA [0/90]₁

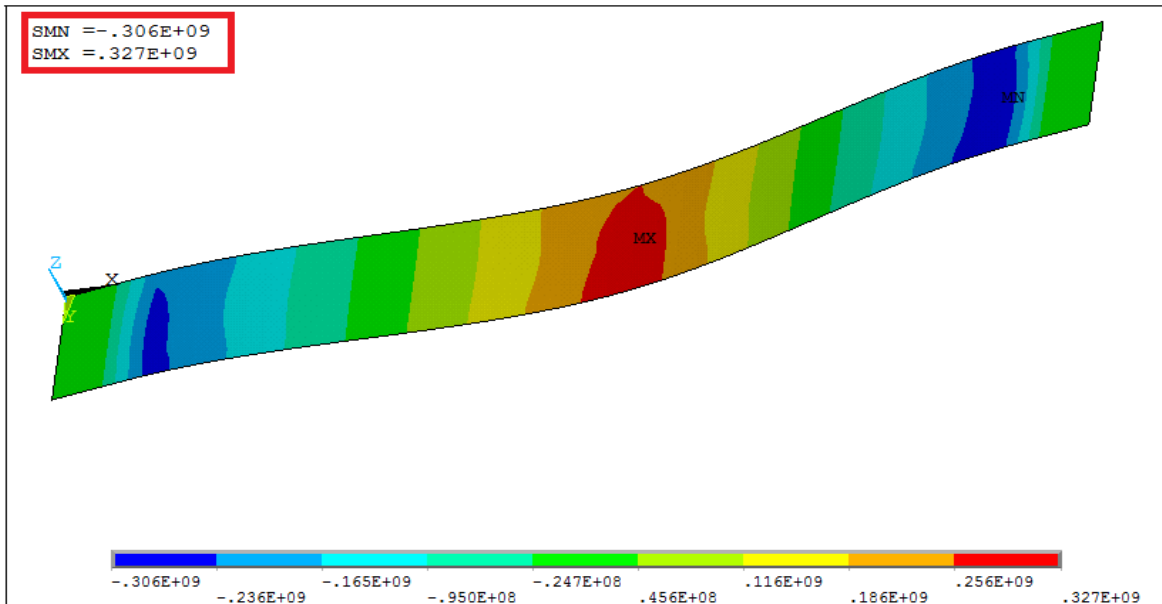


Figura E13: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₁

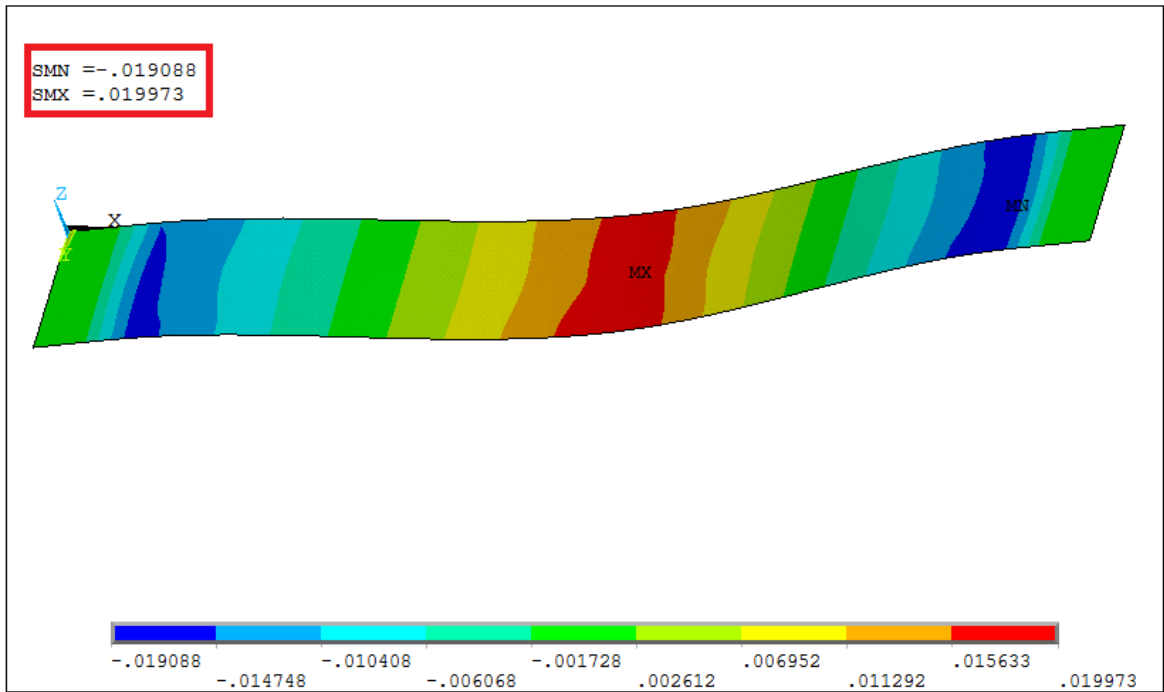


Figura E14: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₁

LÁMINA [45/-45]₂

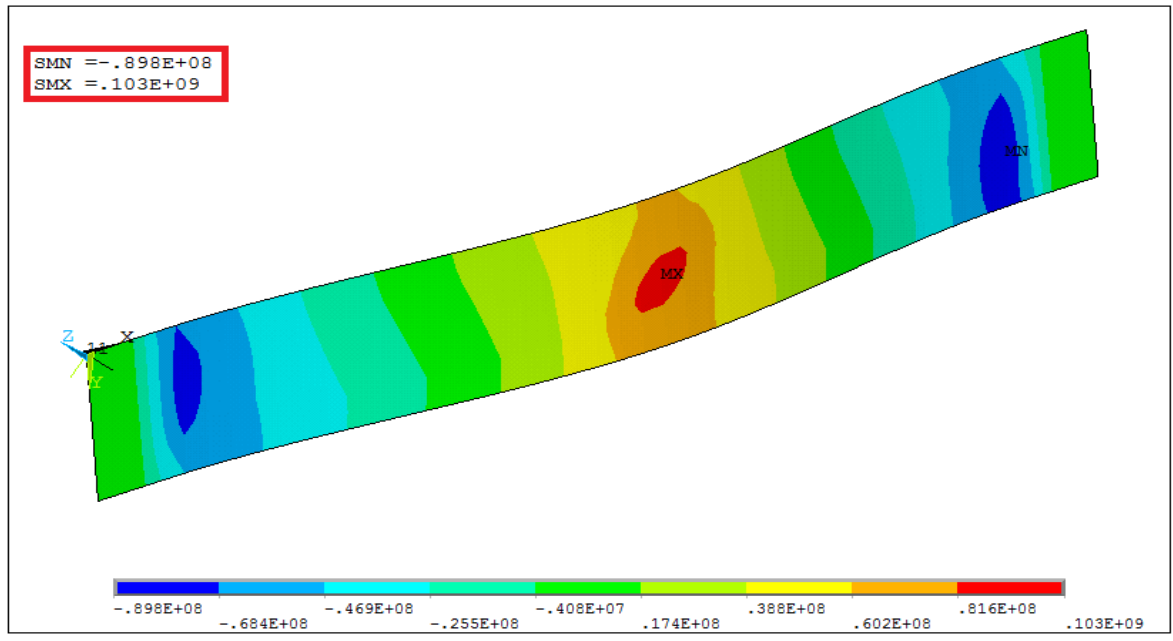


Figura E15: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [45/-45]₂

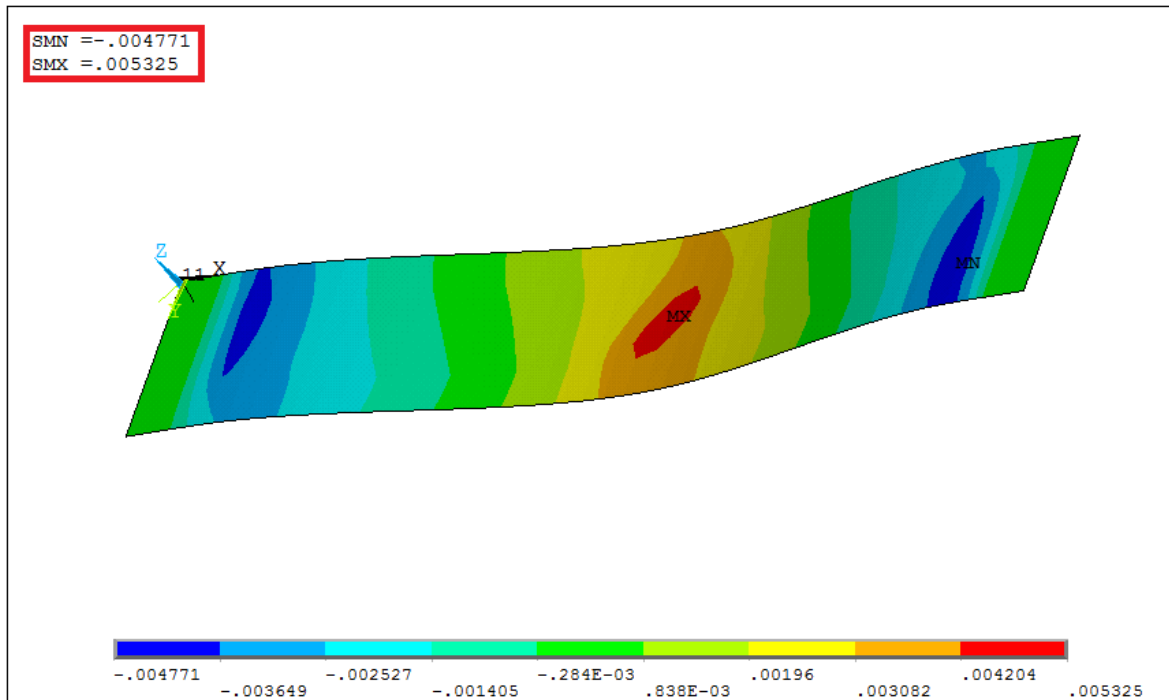


Figura E16: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [45/-45]₂

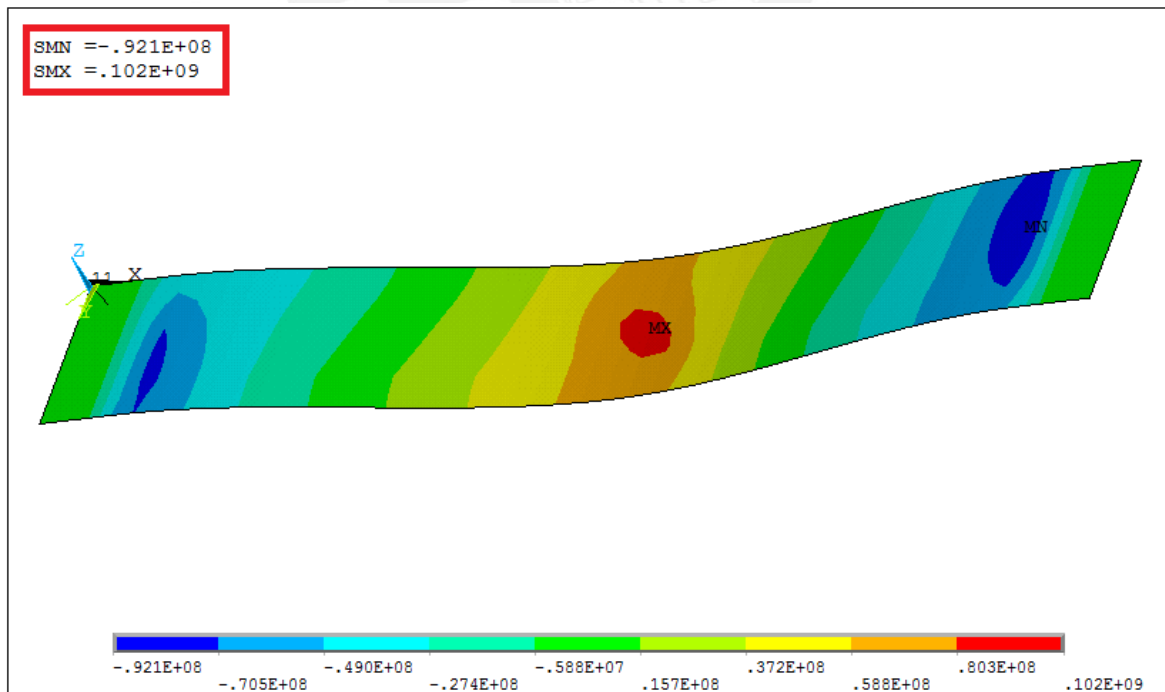


Figura E17: Esfuerzo en el eje principal (σ_2) – Lámina [45/-45]₂

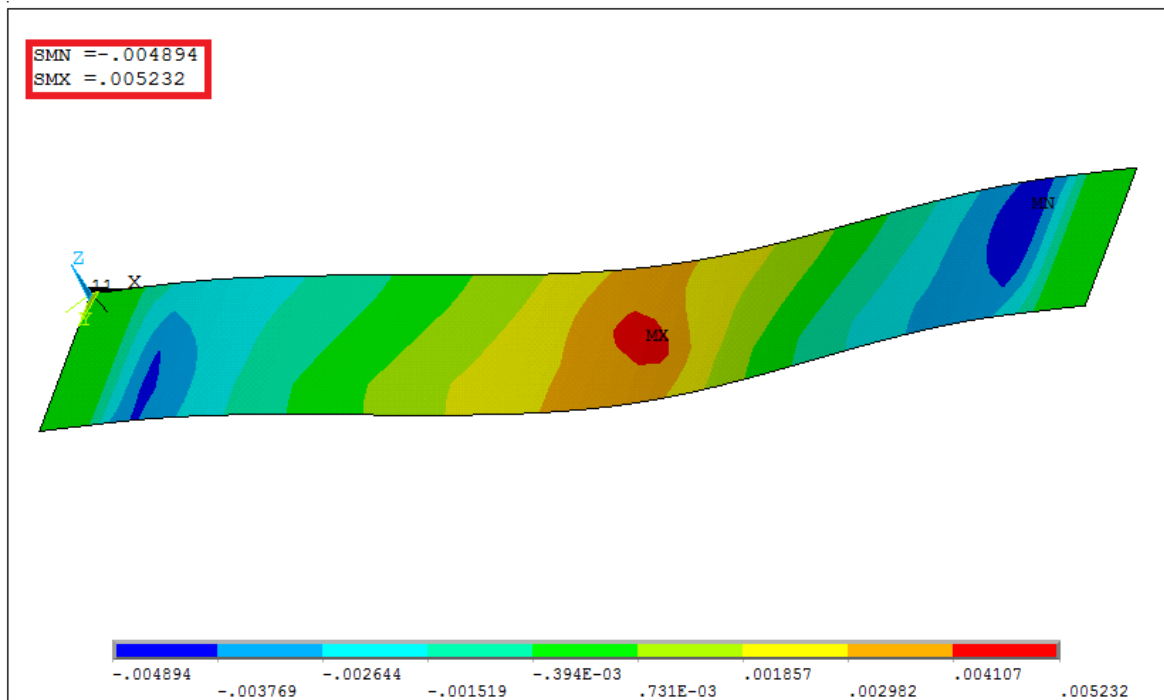


Figura E18: Deformación en el eje principal (ϵ_2) – Lámina [45/-45]₂

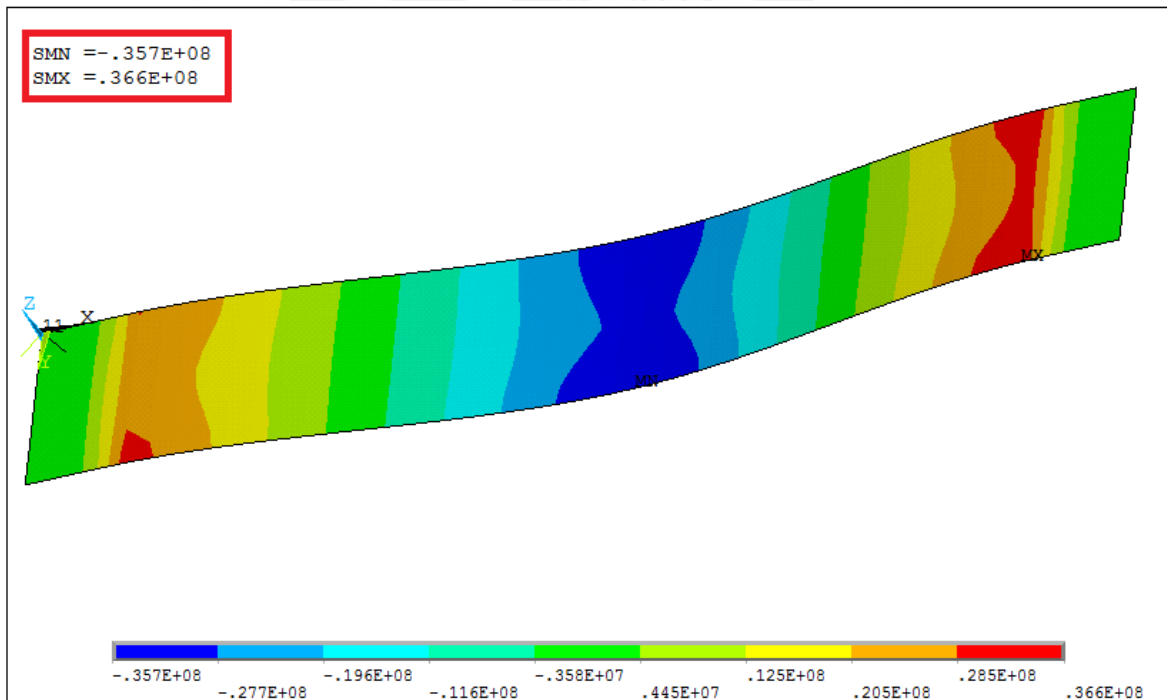


Figura E19: Esfuerzo cortante en el plano (τ_6) – Lámina [45/-45]₂

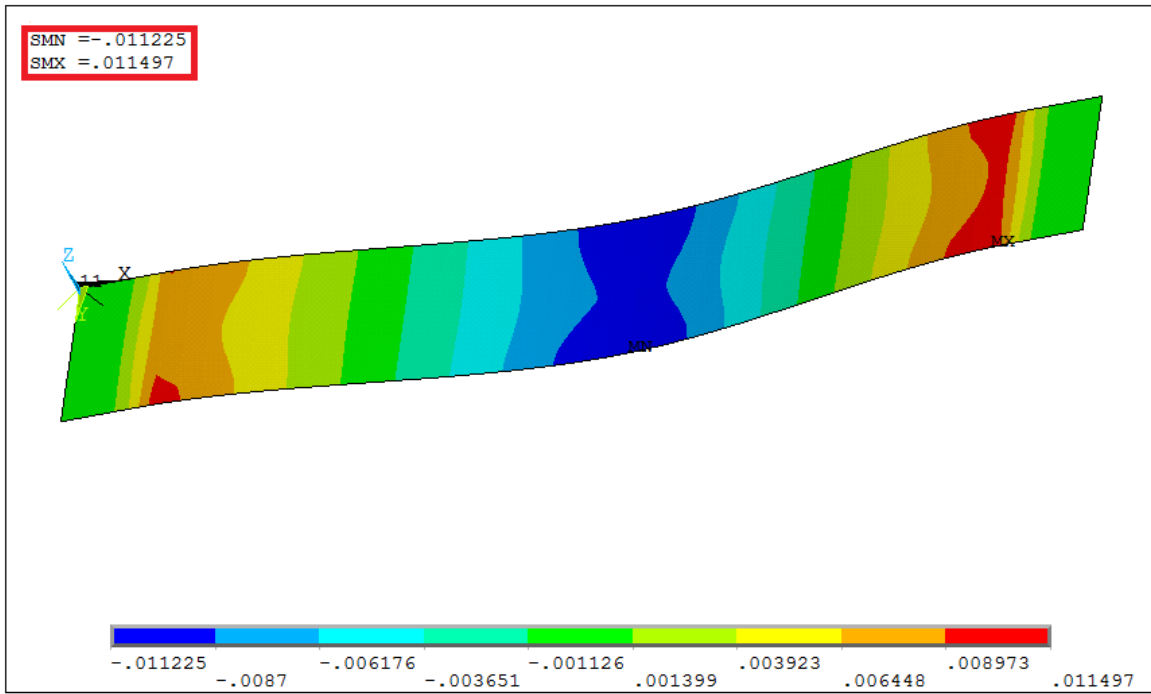


Figura E20: Deformación cortante en el plano (γ_6) – Lámina [45/-45]₂

LÁMINA [45/-45]₃

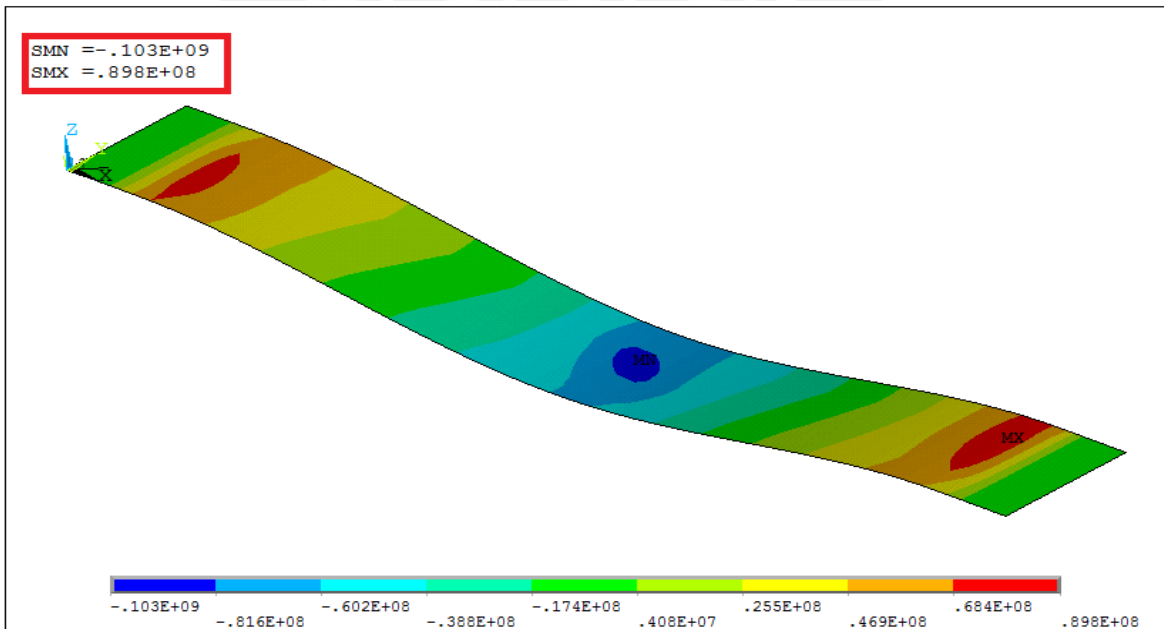


Figura E21: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [45/-45]₃

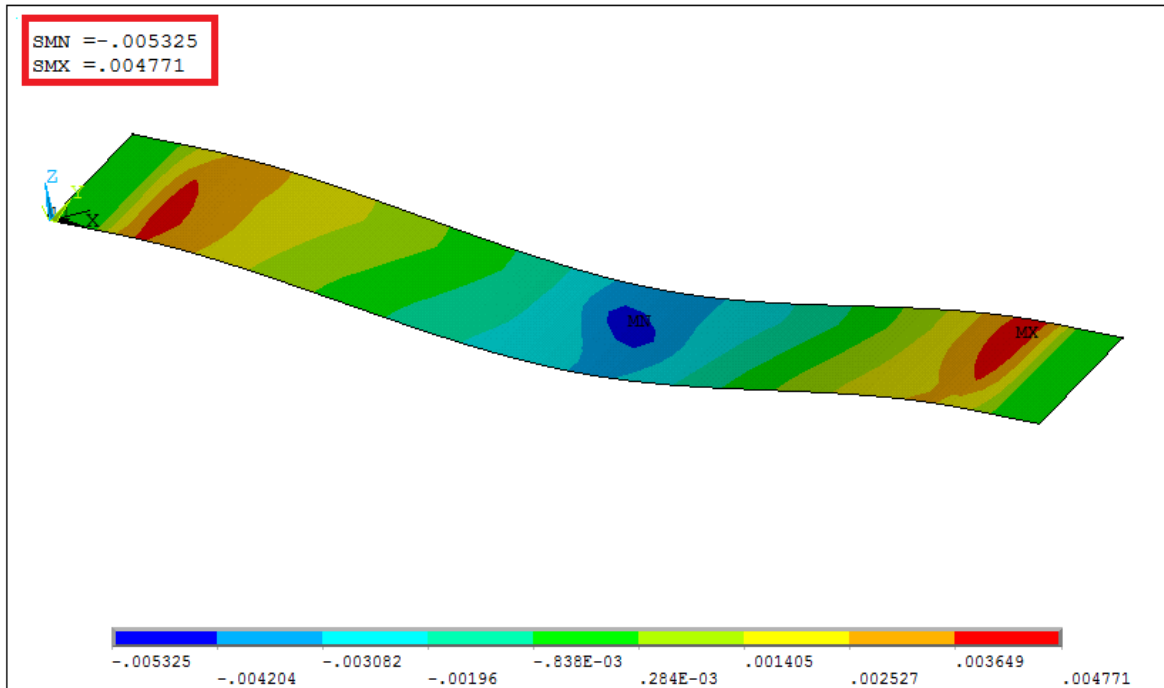


Figura E22: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [45/-45]₃

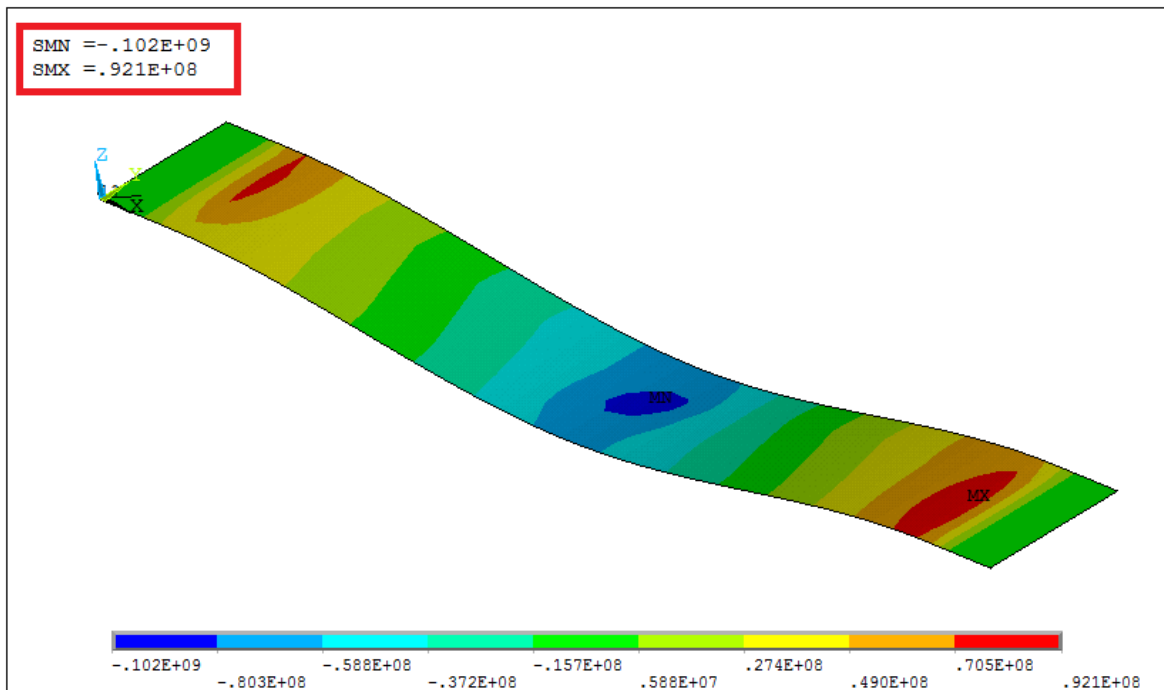


Figura E23: Esfuerzo en el eje principal (σ_2) – Lámina [45/-45]₃

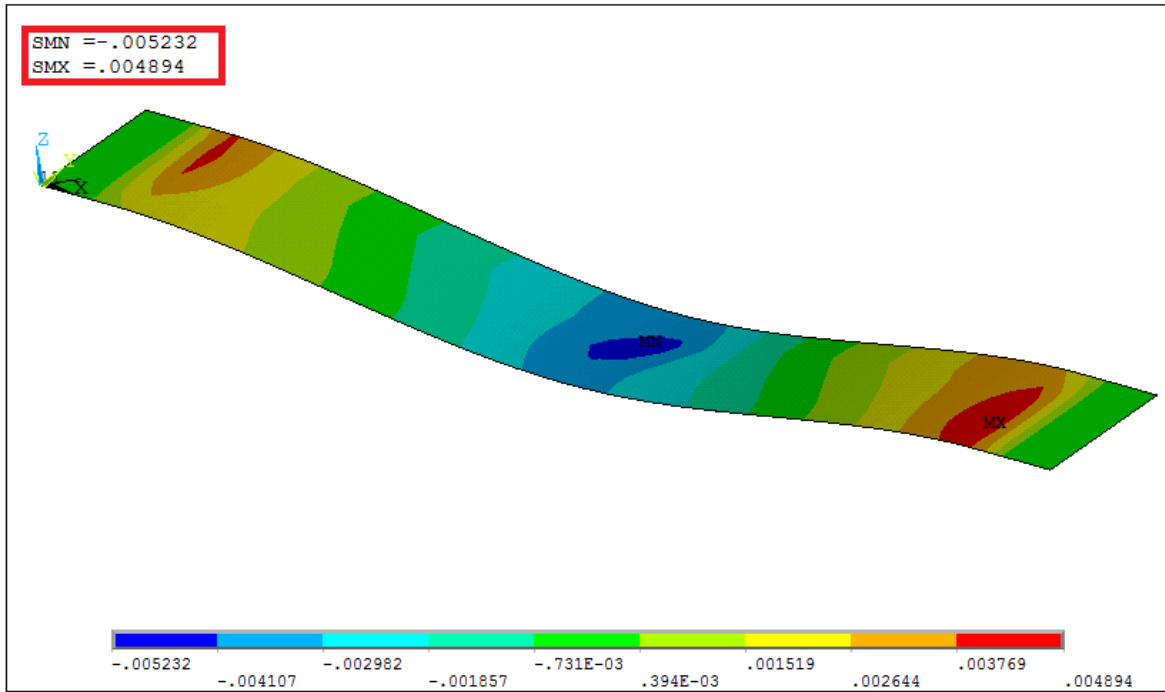


Figura E24: Deformación en el eje principal (ϵ_2) – Lámina [45/-45]₃

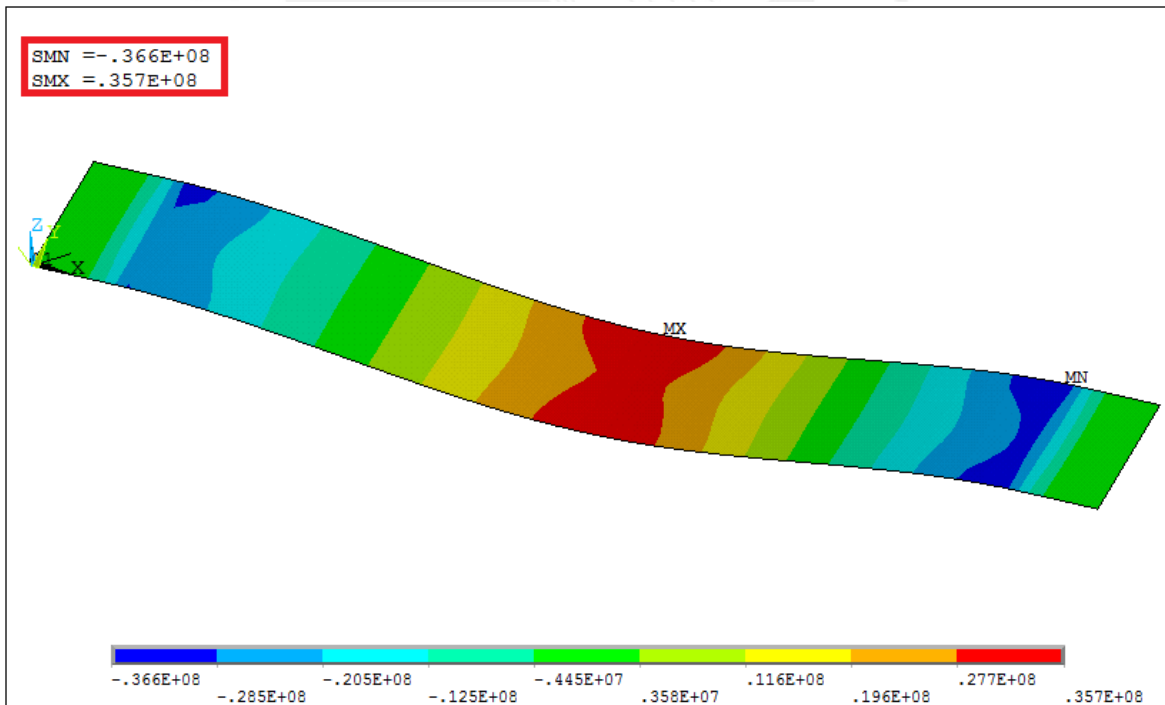


Figura E25: Esfuerzo cortante en el plano (τ_6) – Lámina [45/-45]₃

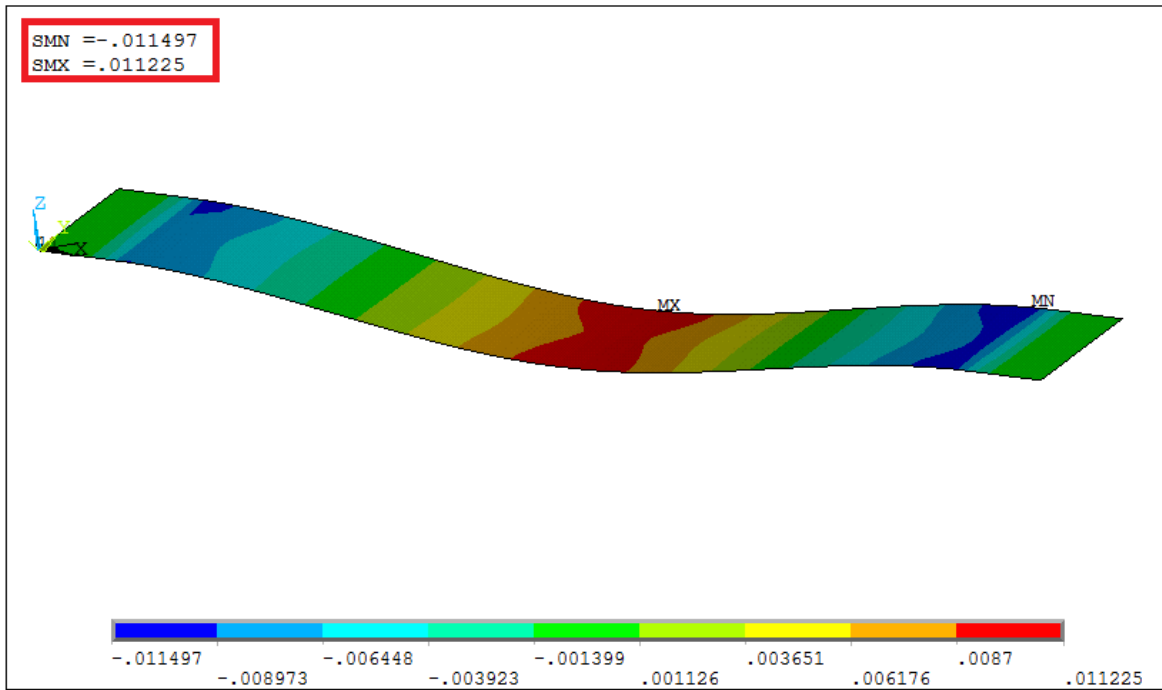


Figura E26: Deformación cortante en el plano (γ_6) – Lámina [45/-45]₃

LÁMINA [0/90]₄

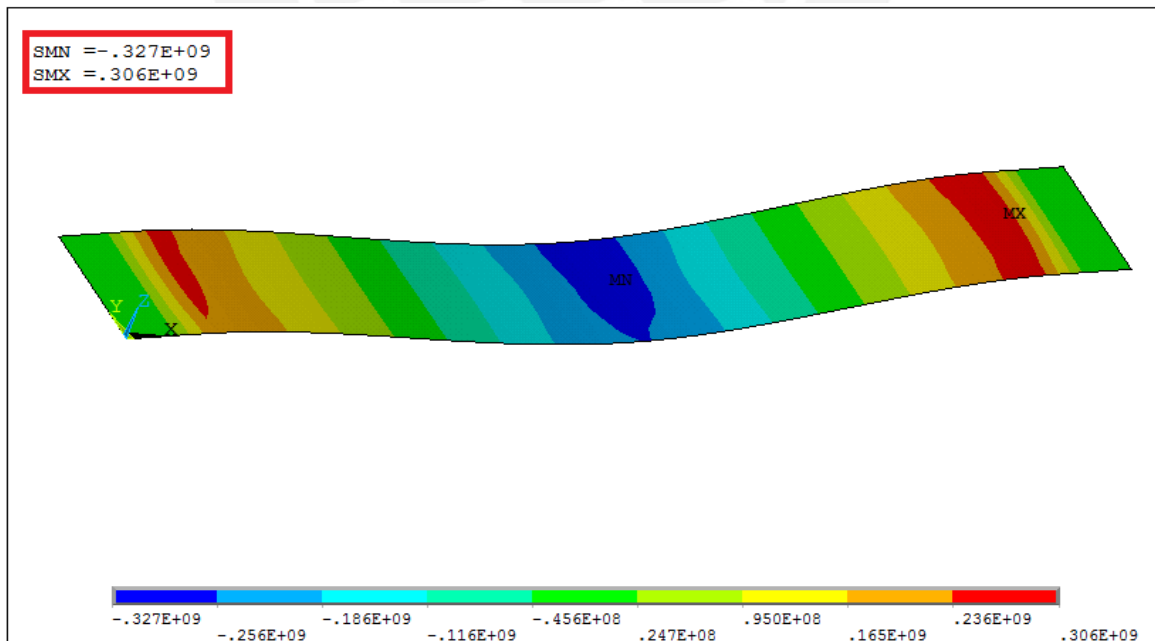


Figura E27: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₄

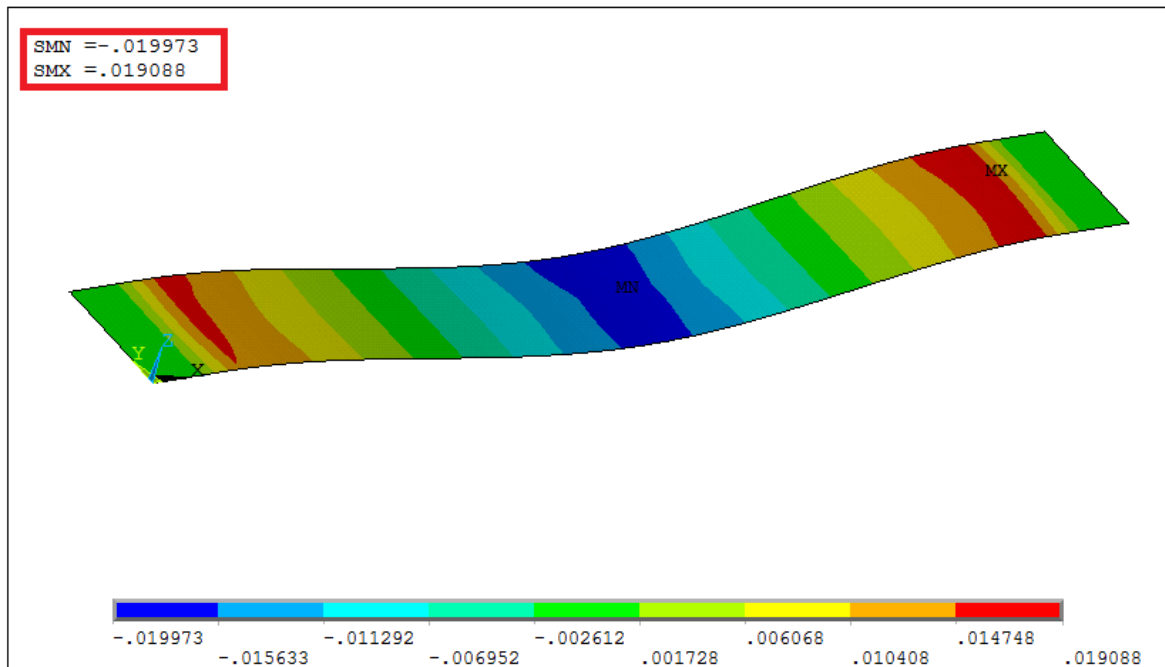


Figura E28: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₄

LAMINADO [0/90/0/90]_s

LÁMINA [0/90]₁

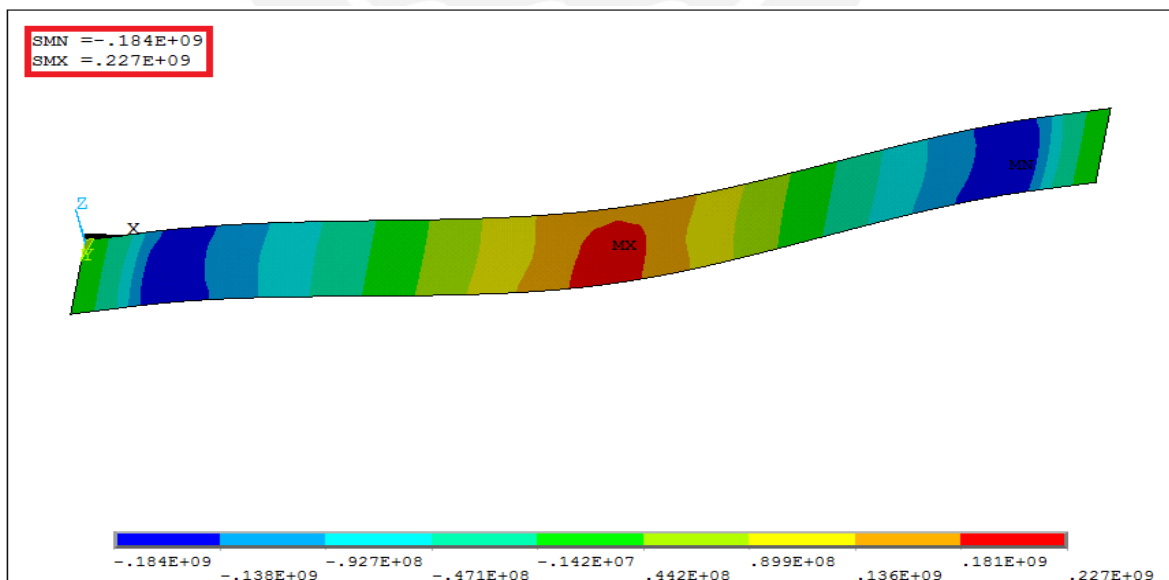


Figura E29: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₁

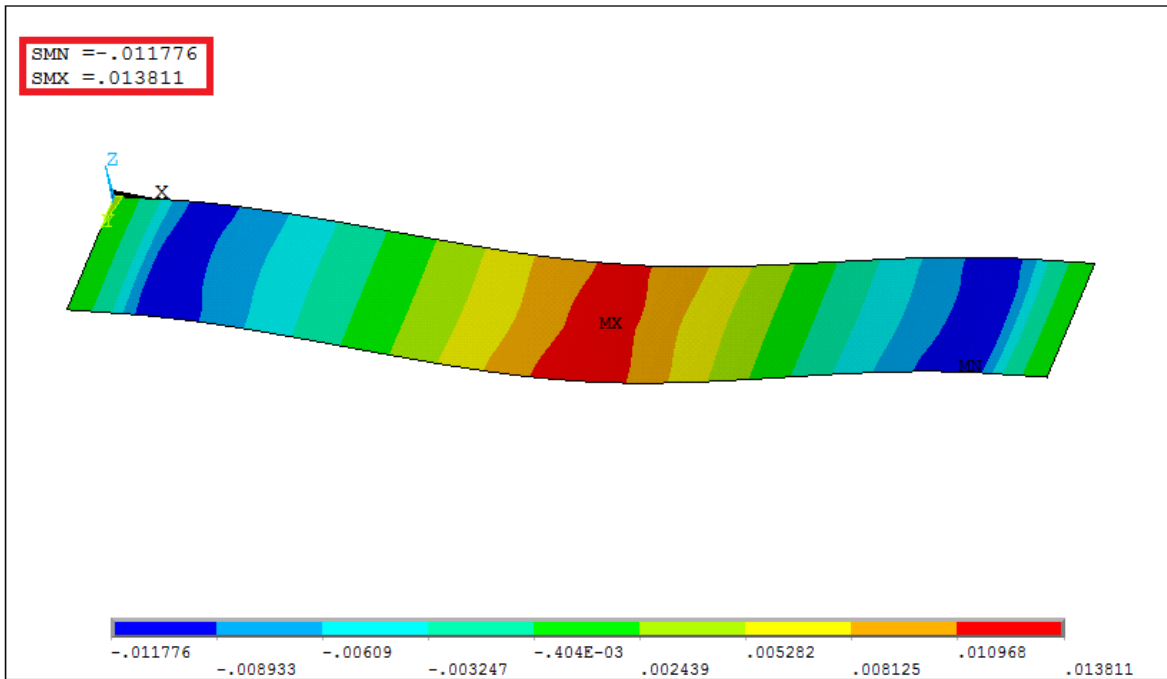


Figura E30: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₁

LÁMINA [0/90]₂

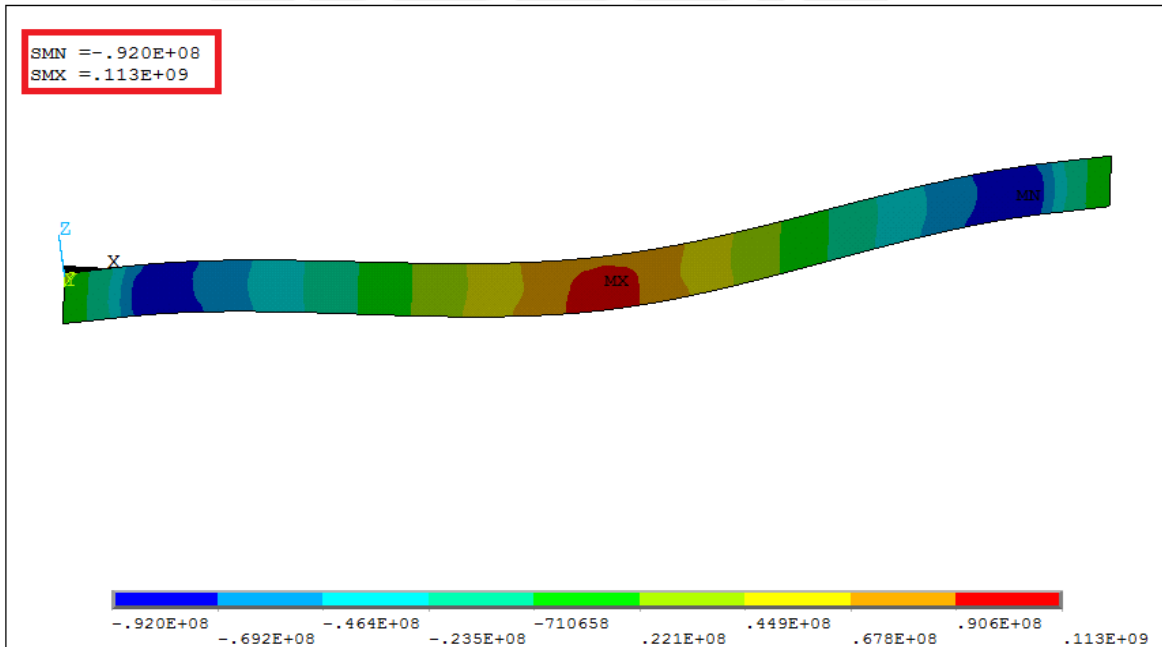


Figura E31: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₂

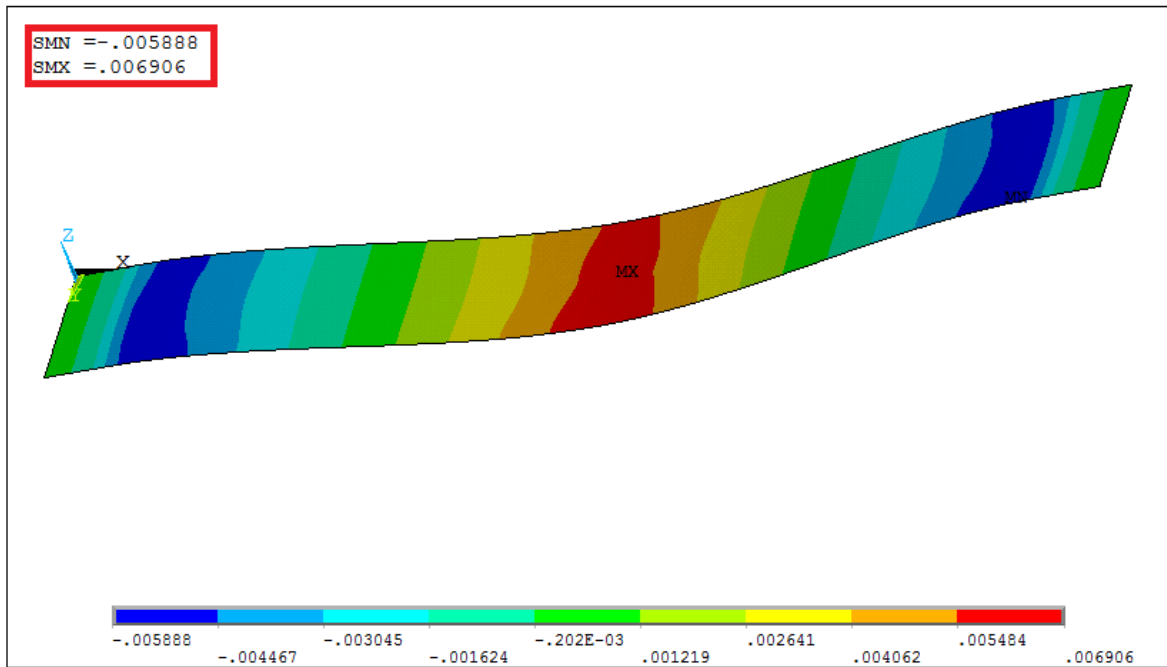


Figura E32: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₂

LÁMINA [0/90]₃

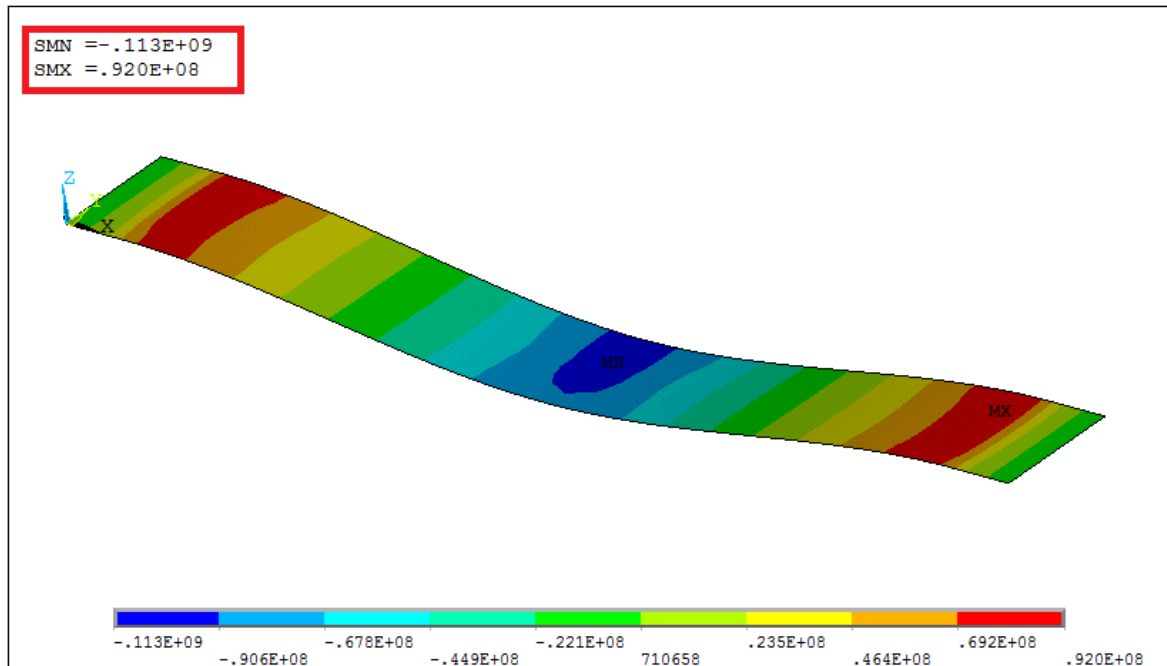


Figura E33: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₃

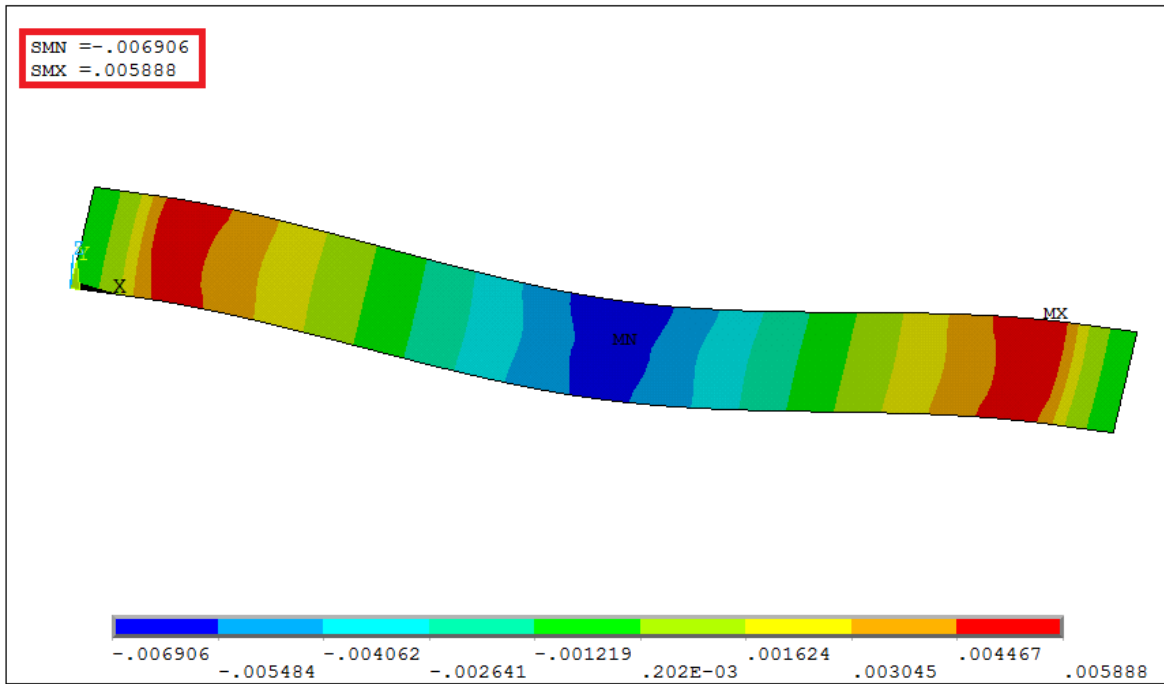


Figura E34: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₃

LÁMINA [0/90]₄

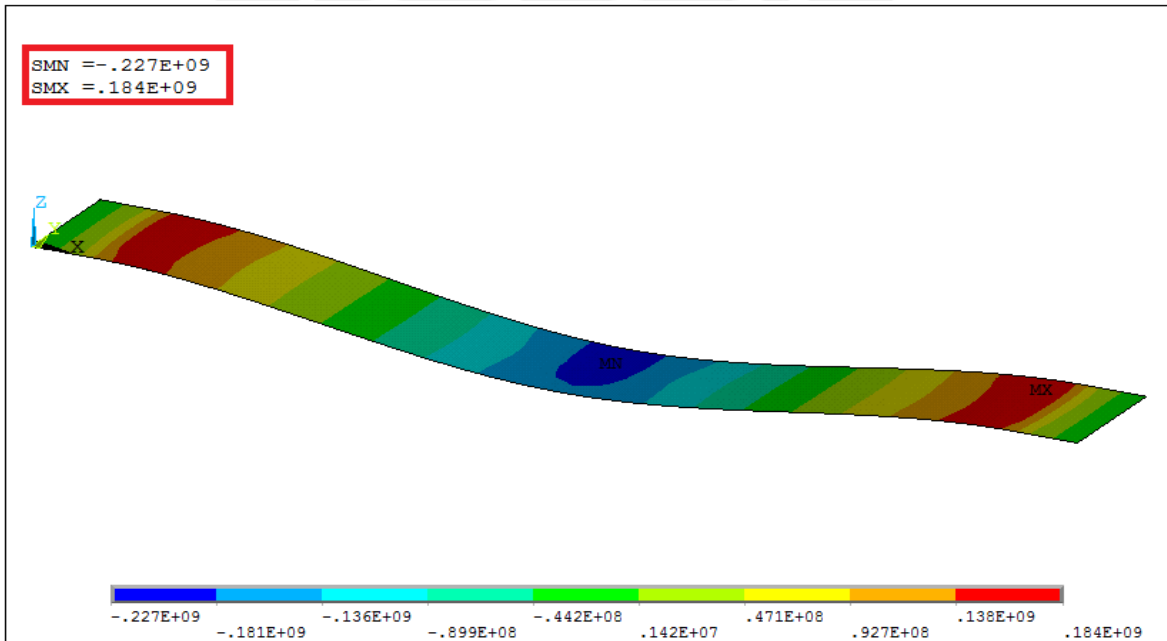


Figura E35: Esfuerzo en el eje principal (σ_1) – Lámina [0/90]₄

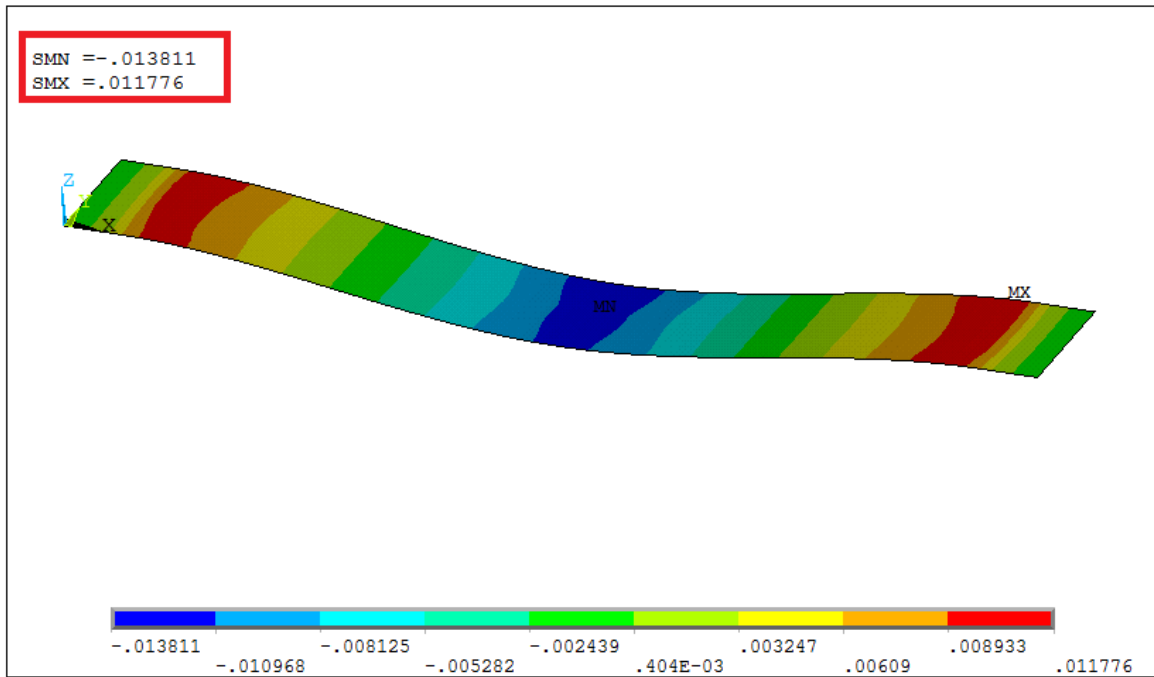


Figura E36: Deformación en el eje principal (ϵ_1) – Lámina [0/90]₄

ANEXO F. ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

RESINA POLIÉSTER ISOFTÁLICA



Ficha Técnica

CRISTALAN® 870

Resina poliéster isoftálica no preacelerada

USOS SUGERIDOS

- Sistemas reforzados para el almacenamiento y/o transporte de ambientes químicos agresivos.
- Elementos para almacenamiento y/o trasiego de alimentos como cerveza, vino, leche, agua potable entre otros.
- Artículos para la industria sanitaria.
- Embarcaciones

CONDICIONES DE CURADO

Para curado a temperatura ambiente (Temperatura recomendada entre 20 - 25°C, no se recomienda trabajar por debajo de los 15°C), se sugiere la siguiente formulación:

Partes en peso	
CRISTALAN® 870	100 g
Estireno ⁽¹⁾	—
Octoato de Cobalto (6% Co)	0.2 a 0.5
MEK peróxido (9 % oxígeno activo)	1.0 a 2.5

(1) La adición de estireno modifica las propiedades físicas, mecánicas y químicas. No deberá exceder el 15%.

La temperatura ambiente y la cantidad de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina CRISTALAN® 870. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación.

Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas y químicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto.

Sin embargo cuando se requieren óptimas propiedades mecánicas, resistencia al calor y al medio ambiente, se deben postcurar los laminados. Después de desmoldarlos, se dejan "madurar" por 24 horas a temperatura ambiente y luego se postcura por un mínimo de tres horas a 80°C o más tiempo a menos temperatura (v.g. 15 horas a 50°C).

Cuando los laminados han de soportar en servicio, temperaturas entre 50 y 80°C, deben postcurarse al menos a la temperatura de operación. El postcurado es más efectivo si se realiza inmediatamente después del período de "maduración".

APLICACIÓN EN ALIMENTOS

Para esta aplicación debe asegurarse una completa homogeneización del catalizador (peróxido) en la resina porque de lo contrario el curado puede ser dispáreo, obteniéndose áreas subcuradas, las cuales son fuentes potenciales de contaminación. Se recomienda, así mismo, utilizar un MEK peróxido con bajo contenido de peróxido de hidrógeno residual.

Todas las partes deben ser postcuradas según las recomendaciones dadas en "CONDICIONES DE CURADO" y luego se deben limpiar con vapor húmedo durante al menos una hora antes de ser puestas en servicio. Si la limpieza con vapor es difícil y la pieza es un recipiente, o tiene forma apropiada se puede llenar con agua caliente (60 - 80°C) que contenga un detergente no perfumado y dejar en reposo durante dos horas. Luego se vacía y se lava varias veces con agua caliente limpia.

Estas precauciones son esenciales para evitar contaminación de los alimentos. Se recomienda a los fabricantes consultar a andercol s.a. información detallada sobre aplicaciones específicas.

Fecha de actualización: Enero 2009

1



www.andercol.com.co



Ficha Técnica

CARACTERÍSTICAS Y RECOMENDACIONES DE PROCESO

La resina CRISTALAN® 870 es apropiada para laminación manual o moldeo a máquina por enrollado de filamento (filament winding), estático o continuo. Los laminados son resilientes, tienen alta resistencia mecánica, buena rigidez y excelente resistencia al impacto.

La resina CRISTALAN® 870 reduce el tiempo de humectación e impregnación de la fibra de vidrio hasta en un 20%. Debido a la facilidad de impregnación del refuerzo, permite obtener reducciones en el consumo de resina hasta de un 10% sobre los sistemas convencionales de laminación, además de la aplicación de varias capas consecutivas de resina y refuerzo, una mayor tasa de producción y un menor tiempo en el ciclo completo de moldeo.

La resina CRISTALAN® 870 se puede pigmentar hasta con 5% de nuestras pastas pigmento CRISTALAN®, también se le puede adicionar de 10% a 20% de nuestra pasta retardante al fuego 31190 y puede cargarse hasta con 20% de carbonato de calcio u otra carga mineral. Debe tenerse en cuenta el efecto que cualquier aditivo tiene sobre las características de manejo de las resinas y sobre las propiedades finales del producto terminado antes de implementar la producción a nivel industrial.

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LÍQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX	Método
Apariencia	Amarilla transparente			ASTM D2090
Viscosidad ⁽¹⁾ Brookfield	cps @ 25°C	800	1200	ASTM D2196
Sólidos	% nvm	65.5	69.5	ASTM D1259
Peso específico @ 25°C			1.16	ASTM D1963
Acidez	mg KOH/g		33	ASTM D1639
Tiempo de gel ⁽²⁾	min @ 25°C	4	8	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermia	min @ 25°C	10	20	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermia	°C	155	175	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	

(1) VISCOSÍMETRO RVF A 25°C, AGUJA 2, 20 RPM, 1 MINUTO.
(2) SISTEMA DE CATALIZACIÓN A 25°C: 100 GR DE 30870, MAS 0.28 ML DE 30706 AL 6%, MAS 2.0 ML DE MEK-P.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Sin reforzar)⁽¹⁾

Propiedad	Método	Sistema		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	75	psi	10,878
Módulo	ASTM D638	GPa	3.50	Kpsi	508
Deformación	ASTM D638	%	3.80	%	3.80
Otras propiedades					
Contracción volumétrica		%	8.30	%	8.30
HDT	ASTM D648	°C	75	°F	167
Dureza	ASTM D2583	Barcol	40	Barcol	40
Absorción de agua (24h a 23 °C)	ASTM D570	mg	16		

(1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Reforzada)^(1, 2, 3)

Propiedad	Método	Sistema		Sistema Ingles	
		Unidad	Valor	Unidad	Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	132	psi	19,145
Módulo	ASTM D638	GPa	8.2	Kpsi	1,189
Deformación	ASTM D638	%	2	%	2
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	193	psi	27,992
Módulo	ASTM D790	GPa	6.4	Kpsi	928

(1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.
(2) Estructura de refuerzo: 4 capas de Mat 450 g/m².
(3) Contenido de fibra de vidrio: 34%

Fecha de actualización: Enero 2009

2



www.andercol.com.co

Ficha Técnica



SEGURIDAD Y MANEJO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

La resina CRISTALAN® 870 está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

La resina CRISTALAN® 870 tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenar el producto en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad. Se suministra en tambores metálicos de 230 Kg.

LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión de andercol s.a. Los consumidores deberán hacer sus propias pruebas para determinar el comportamiento de estos productos en sus objetivos específicos. andercol s.a. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las especificaciones estándar del producto. andercol s.a. se reserva el derecho de modificar esta literatura técnica sin previo aviso.

CONTACTOS

ANDERCOL, S.A.
 Dirección: Carrera 64C No. 95-84
 Medellín, Colombia
 Teléfono: 57 (4) 470 0700
 Página Web: www.andercol.com
 Fax: 57 (4) 267 8135
 Apartado Aéreo: 2065

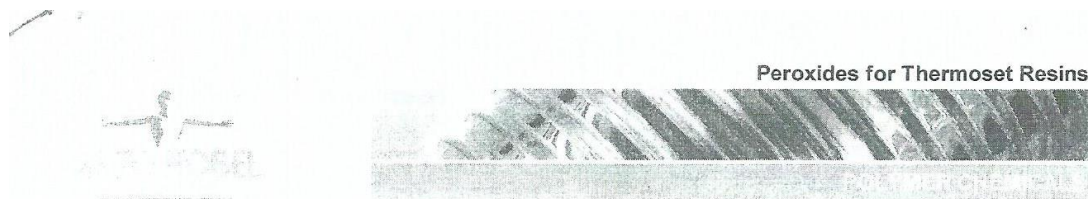
Fecha de actualización: Enero 2009

3



www.andercol.com.co

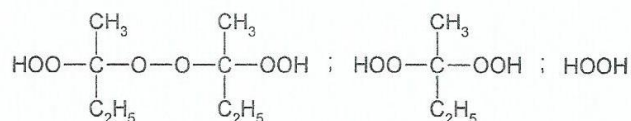
CATALIZADOR BUTANOX M-50



Butanox[®] M-50 *(para polieste)*

Product description

Methyl ethyl ketone peroxide in dimethyl phthalate



Specification

Peroxide content : 33%
 Balance : 63% DMP, 4% MEK + water
 CAS No. : 1338-23-4; 131-11-3;
 78-93-3
 Einecs : 2156612; 2050116;
 2011590
 TSCA : registered

Physical properties

Appearance : clear and colorless liquid
 Total active Oxygen : 8.8-9.0%
 Density, 20°C : 1180 kg/m³
 Viscosity, 20°C : 24 mPa.s

Safety characteristics

Flash point : above the SADT*
 SADT : 60°C
 Auto ignition temperature : 260°C

Solubility

Insoluble in water. Soluble in phthalates.

Hazardous reactions

Oxidizing agent. Decomposes violently under the influence of heat or by contact with reducing agents. Never mix with accelerators.

Major decomposition products

Carbon dioxide, water, acetic acid, formic acid, propionic acid, methyl ethyl ketone.

Toxicological Data

LD 50, acute oral (rat) : 1017 mg/kg (MEKP-40%)
 LD 50, acute inhalation (rat) : 17 mg/l (4 hours exposure)
 (MEKP-40%)
 Primary skin irritation : Corrosive (MEKP-33%)
 Eye irritation : Severely irritating/corrosive
 (MEKP-33%)
 Ames test : Not mutagenic

Packaging

Standard packaging size for Butanox M-50 is 30 kg net.
 Smaller packaging size available on request.

* SADT = Self Accelerating Decomposition Temperature

Applications

Butanox M-50 is a general purpose methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) for the curing of unsaturated polyester resins in the presence of a cobalt-accelerator at room and elevated temperatures.

The curing system Butanox M-50/cobalt accelerator is particularly suitable for the curing of gelcoat resins, laminating resins, lacquers and castings; moreover the manufacture of light resistant parts may be possible contrary to the curing system benzoyl peroxide/amine accelerator.

Practical experience throughout many years has proven that by the guaranteed low water content and the absence of polar compounds in Butanox M-50, this peroxide is very suitable in GRP products for e.g. marine applications.

For room temperature application it is necessary to use Butanox M-50 together with a cobalt accelerator (e.g. Accelerator NL-49P).

Dosage

Depending on working conditions, the following peroxide and accelerator dosage levels are recommended:

Butanox M-50	1 - 4 phr*
Accelerator NL-49P	0.5 - 3 phr

Cure Characteristics

In a high reactive standard orthophthalic resin in combination with Accelerator NL-49P (= 1% cobalt) the following application characteristics were determined:

Gel times at 20°C

2 phr Butanox M-50 + 0.5 phr Acc. NL-49P	12 minutes
2 phr Butanox M-50 + 1.0 phr Acc. NL-49P	7 minutes

Cure of 1 mm pure resin layer at 20°C

The speed of cure is expressed as the time to reach a Persoz hardness of respectively 30, 60 and 120 s.

	Persoz:	30	60	120	s
2 phr Butanox M-50 + 0.5 phr Acc. NL-49P		2.4	4.1	13	h
2 phr Butanox M-50 + 1.0 phr Acc. NL-49P		1.7	3.0	9.5	h

* phr = parts per hundred resin

Cure of 4 mm laminates at 20°C

4 mm laminates have been made with a 450 g/m² glass chopped strand mat. The glass content in the laminates is 30% (w/w).

The following parameters were determined:

- Time-temperature curve.
- Speed of cure expressed as the time to achieve a Barcol hardness (934-1) of 0-5 and 25-30 respectively.
- Residual styrene content after 24 h at 20°C and a subsequent postcure of 8 h at 80°C.

	Gel time min.	Time to Peak min.	Peak exotherm °C
2 phr Butanox M-50 + 0.5 phr Acc. NL-49P	13	36	44
2 phr Butanox M-50 + 1.0 phr Acc. NL-49P	8	26	64

	Barcol		Res. styrene	
	0-5 h	25-30 h	24 h 20°C %	+ 8 h 80°C %
2 phr Butanox M-50 + 0.5 phr Acc. NL-49P	3	15	6	0.3
2 phr Butanox M-50 + 1.0 phr Acc. NL-49P		1	5	0.1

Pot life at 20°C

Pot lives were determined of a mixture of Butanox M-50 and a non-preaccelerated UP resin at 20°C.

2 phr Butanox M-50	12 h
4 phr Butanox M-50	7 h

Colors

Butanox M-50 is available in the colors blue, yellow-A, red-YM and red-YM 1/6.

Butanox is a registered trademark of Akzo Nobel Chemicals bv.

Recommended Handling Procedures and First Aid

Protective equipment and handling instructions	<ul style="list-style-type: none"> - Use safety goggles or face shield and gloves. - Extra ventilation recommended. - Use clean equipment and tools of inert material, such as stainless steel, polyethylene, glass. - All equipment should be earthed. - Do not pipet by mouth. - Avoid contact with rust. - Never bring peroxide into direct contact with accelerators. - Never weigh out in the storage room.
Storage conditions	Keep container tightly closed in a well-ventilated place. Temperature max. +25°C. Keep away from reducing agents e.g. amines, acids, alkalis, heavy metal compounds (e.g. accelerators, driers, metal soaps). Never weigh out in the storage room.
Storage stability	Only when stored under these recommended storage conditions, the product will remain within the Akzo Nobel specifications for a period of at least three months after delivery.
Fire fighting	Extinguish a small fire with powder or carbon dioxide; then apply water to prevent re-ignition. Extinguish a big fire with large amounts of water, applied from a safe distance.
Spillage	Mix with e.g. vermiculite. Sweep up with dustpan and brush of inert material, flush the remainder with water. Remove the waste to a safe place. The waste should NOT be confined.
Disposal	According to local regulations.
Spillage on clothes	Remove contaminated clothes. Examine skin. If skin contact, wash or shower; apply a lanolin-based ointment. Launder clothes normally.
Eye contact	Rinse with plenty of water for at least 15 minutes. Seek medical advice.
Skin contact	Wash with plenty of water (and soap) or shower, afterwards apply a lanolin-based ointment. Seek medical advice.
Ingestion	Rinse mouth. Give water to drink. Seek medical advice. Do NOT induce vomiting.
Inhalation	Move to fresh air, rest, half-upright position. Loosen clothing. Seek medical advice.

For more detailed information reference can be made to the SDS of this product.

The information presented herein is true and accurate to the best of our current knowledge, but without any guarantee unless explicitly given. Since the conditions of use are beyond our control we disclaim any liability, including for patent infringement, incurred in connection with the use of these products, data or suggestions. The user may forward, distribute, and/or photocopy this document only if unaltered and complete, including all of its headers, footers, disclaimer, and other information. You may not copy this document to a website.



Akzo Nobel Polymer Chemicals bv
 P.O. Box 247
 3800 AE Amersfoort
 The Netherlands

Telephone +31 33 467 67 67
 Telefax +31 33 467 61 26

www.polymerchemicals.com

TC 65421 03/0000

FIBRA DE VIDRIO (TIPO E – WOVEN ROVING)

SICHUAN HUAYUAN FIBERGLASS CO.,LTD

NO.1 WEIBO ROAD,WEIYUAN COUNTY SICHUAN
 PROVINCE CHINA

TECHNICAL DATA SHEET

PRODUCT NAME:

E GLASS WOVEN ROVING 800G/M2-1450MM

PRODUCT CODE: E WR 800-1450

E — E GLASS
 WR — WOVEN ROVING
 800 — AREA WEIGHT (G/M²)
 1450 — WIDTH(mm)

Woven roving is a fabric made by interweaving rovings and is mainly used for hand lay-up of large, high-strength FRP products such as boats, railroad carriages, storage tanks and architectural structures, etc.. The size system of Woven Roving is silane and compatibility with polyester, Vinylester and Epoxy.

Properties

- Good wetting characteristics
- Excellent mechanical properties

Property	Unit	Specification	Standard
Area Weight	G/M ²	800 ± 64	ISO3374-2000
Width	mm	± 5mm	ISO5225-1997
Thickness(Indicative)	mm	0.8 ± 15%	ISO4603-1998
Moisture Content	%mass	<0.15	ISO3344- 1997
Finish Content	%mass	0.6 ± 0.2	ISO1887- 1995
Warp	Roving tex	2400TEX	ISO1889-1997
	Yarns/cm	1.8 ± 5%	ISO4602-1997
Weft	Roving tex	2400TEX	ISO1889-1997
	Yarns/cm	1.6 ± 5%	ISO4602-1997
Weave Pattern	N/A	Plain	N/A