

CAPÍTULO N°7: ANÁLISIS PARAMÉTRICO

- 7.1. INTRODUCCIÓN**
- 7.2. CONDICIONES DE CONTORNO**
- 7.3. CONFIGURACIÓN DE LAMINADOS**
- 7.4. PROPIEDADES**

7.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende ver la influencia de distintos parámetros en los resultados del modelo. Concretamente se va a ver cómo se afectan los modos de fallo críticos al variar factores como:

- Las condiciones de contorno
- El número de láminas de los distintos apilados
- La orientación de las láminas
- Las propiedades de las láminas, del núcleo y del macizado

Se va a comparar el valor del factor de reserva para el fallo a cortadura del núcleo, y para el fallo de las telas debido a cargas en el plano.

Se van a tener en cuenta sólo estos modos de fallo para el análisis paramétrico, ya que éstos son los críticos para cada uno de los componentes. Además, se supone que al variar las propiedades de rigidez del material también variarán las resistencias, y se desconocen los valores de las resistencias correspondientes a distintos valores de rigidez. Para el núcleo sí se conocen los admisibles a cortadura fuera del plano para ciertos valores de las rigideces (ref. AIMS 11-01-004), por lo que se puede calcular el RF de “core-shear” aunque se varíen las propiedades de rigidez del núcleo.

El fallo de las telas crítico sería el telegraphing, pero como los valores de los admisibles se desconocen si se varían las propiedades de los materiales, se va a aplicar el criterio de máxima deformación, pero tomando como admisible de deformaciones el 5 por mil ($5000 \mu\epsilon$) que se ha comentado se suele emplear en la práctica para el cálculo conservativo de piezas aeronáuticas.

7.2. CONDICIONES DE CONTORNO

La condición de contorno del modelo es la descrita en el apartado 5.5.5. Esta condición variará si varían propiedades del modelo, ya que al cambiar la rigidez global del modelo, u otras propiedades, pueden cambiar las zonas en contacto con las mordazas. Por ello, para los distintos análisis paramétricos que se van a realizar, se considera como condición de contorno el apoyo en dirección vertical de todos los nodos de la zona macizada, porque si se hiciese apoyando sólo los nodos que realmente están en contacto, habría que hacer el proceso iterativo descrito en el apartado 5.5.5 cada vez que se modificase algún parámetro.

En la siguiente gráfica se presenta una comparativa de las deflexiones máximas obtenidas de las dos formas comentadas de modelar las condiciones de contorno.



Figura 100. Deflexión máxima para distintas condiciones de contorno.

Donde:

“cc macizado” significa que la condición de contorno se ha modelado impidiendo el desplazamiento vertical en todos los nodos de la zona macizada.

“cc contacto” significa que la condición de contorno se ha modelado impidiendo el desplazamiento vertical en todos los nodos en contacto.

El modelo “cc contacto” es el que se ha analizado hasta ahora, pero para este capítulo se considerará la condición “cc macizado”.

De todas formas, como se puede observar en la gráfica inferior, los valores de los factores de reserva para el fallo a cortadura del núcleo y para el fallo de las pieles debido a tensión plana no varía nada de un modelo a otro. Y la deflexión máxima varía muy poco, de 10.9 mm a 10.6 mm, el error que se comete es de un 2% aproximadamente.

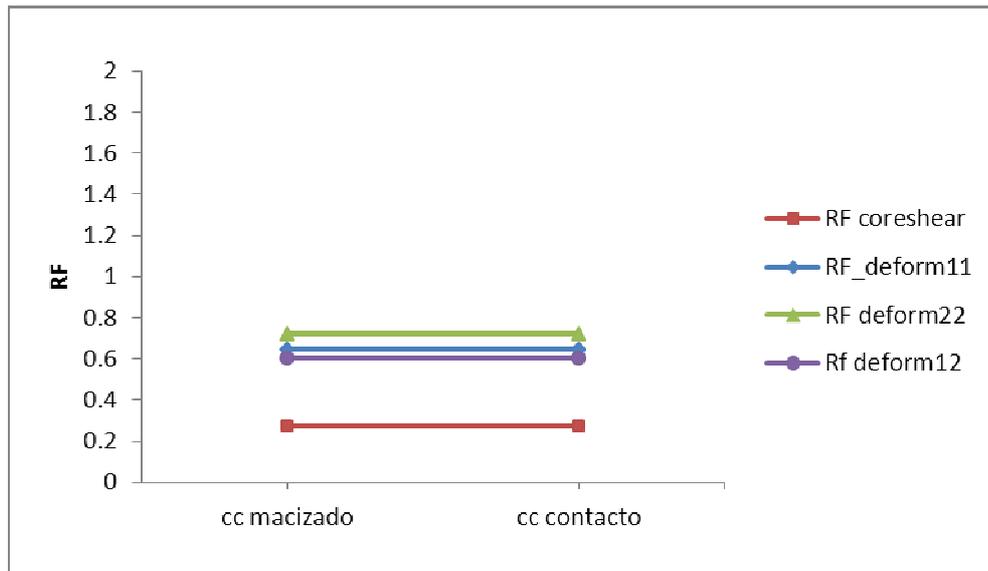


Figura 101. RFs modos fallo críticos para distintas condiciones de contorno.

7.3. CONFIGURACIÓN LAMINADOS

En este apartado se tienen en cuenta distintas configuraciones de los laminados, considerando la posibilidad de variar el número de telas de los laminados así como la orientación de los mismos.

7.3.1. NÚMERO DE LÁMINAS

- PISTA

El número de telas en la pista del modelo analizado es 12. Se podrían disminuir hasta 10, con lo que se experimentaría un aumento de la deflexión en torno al 13%.

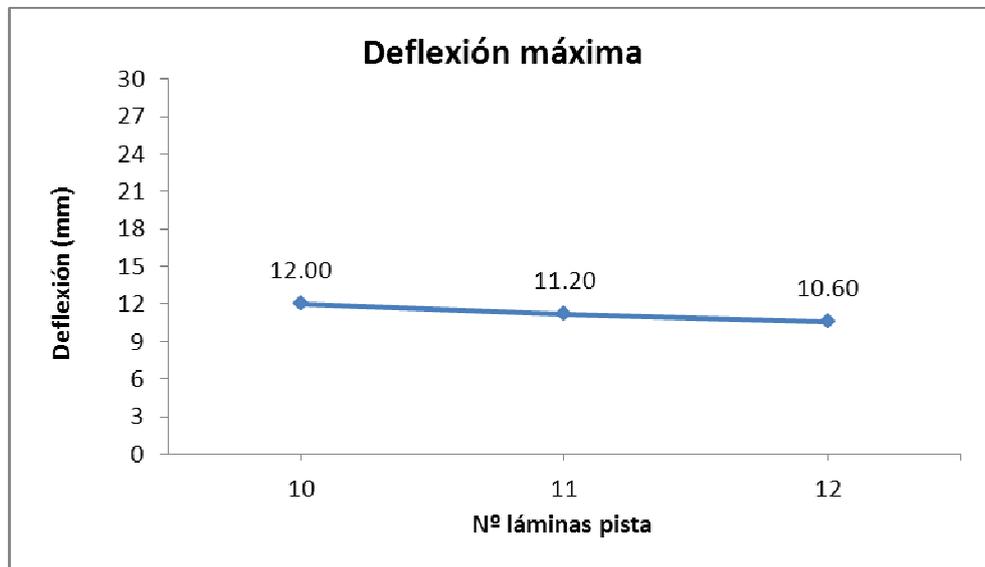


Figura 102. Deflexión máxima en función del número de láminas en pista.

En cambio los RFs de los modos de fallo críticos no varían casi nada, disminuyen su valor al disminuir el número de telas de la pista, siendo la mayor reducción de un 5% para el fallo de las láminas ante cargas en dirección 1.

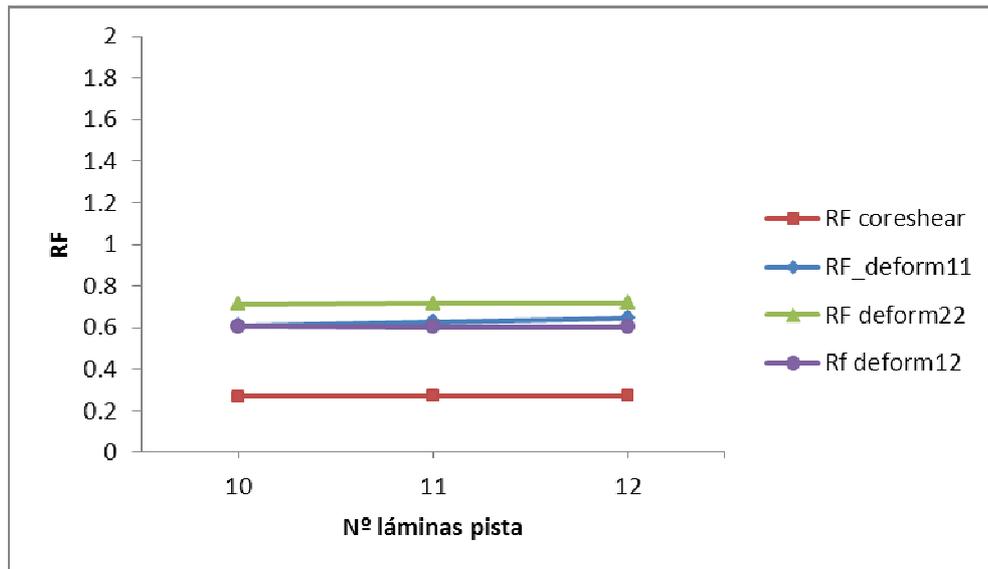


Figura 103. RFs modos fallo críticos en función del número de láminas en pista.

▪ RAMPA

Como se puede observar en las siguientes gráficas si se cambia el número de telas en la rampa los resultados varían de forma considerable.

La deflexión aumentaría mucho si en lugar de 4 telas en la rampa se tuviesen 2, y disminuye, aunque en menor medida, si se aumenta hasta 6.

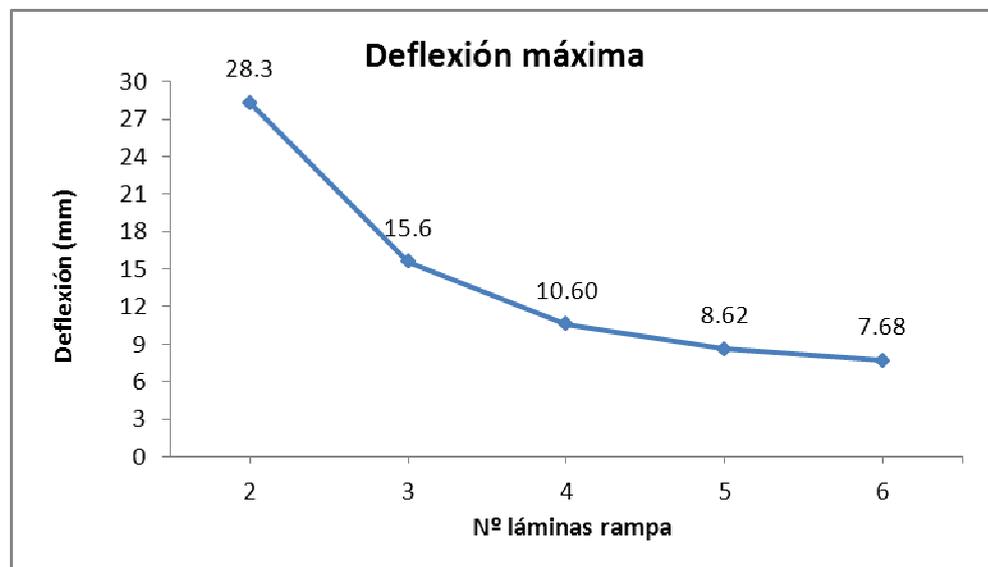


Figura 104. Deflexión máxima en función del número de láminas en rampa.

El valor de los RFs para los modos de fallo analizados aumenta considerablemente con el número de telas de rampa. El RF del fallo a cortadura aumenta en menor medida, y sigue siendo inferior a 1 incluso si se tuviesen 6 telas en la rampa.

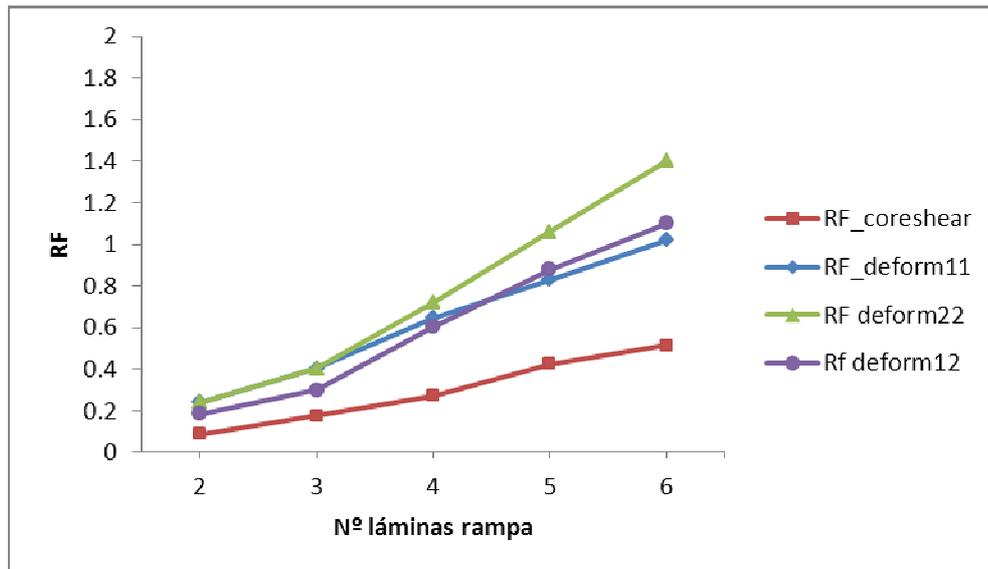


Figura 105. RFs modos fallo críticos en función del número de láminas en rampa.

La justificación de la influencia del número de telas en la rampa en los resultados es debido a que el fallo se produce en la rampa, por lo que los cambios que se hagan en dicha zona serán los que más afectarán a los resultados.

- BULK

Si se aumentan las telas en la zona bulk, hasta un máximo de 4 telas en cada revestimiento, se obtiene una disminución de la deflexión máxima de un 14%, aproximadamente.

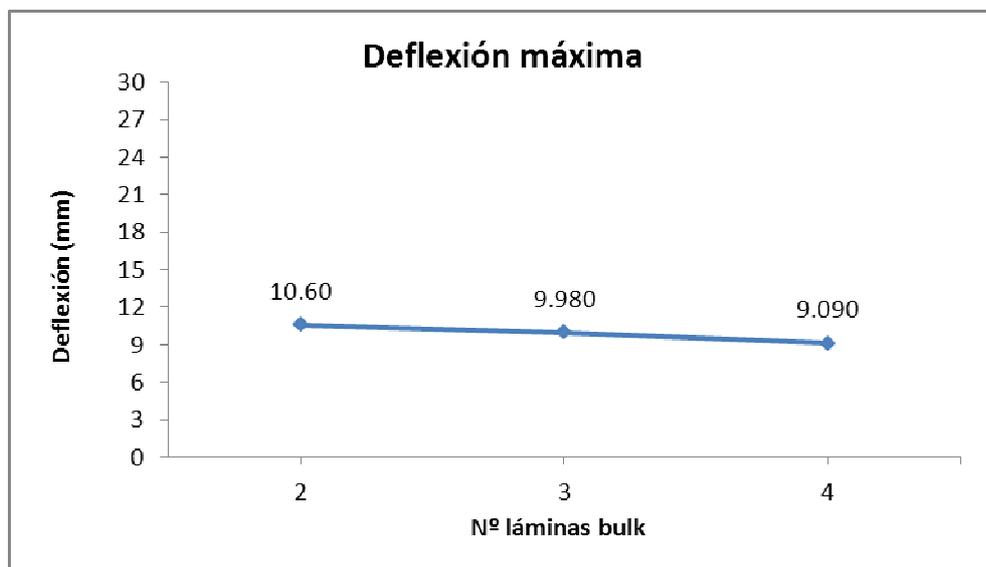


Figura 106. Deflexión máxima en función del número de láminas en bulk.

Se ha considerado un número máximo de 4 telas en la zona bulk, aunque pueden darse casos en los que sea necesario emplear más de 4 telas. En la práctica no se suelen poner muchas más, ya que aumentar el número de telas de la zona bulk, que

suele ocupar la mayor parte del panel, implicaría un aumento de peso considerable de la estructura.

Como se puede observar en la siguiente gráfica, los valores de los RFs para los modos de fallo analizados prácticamente no cambian al cambiar el número de telas en la zona bulk. Esto es debido a que el fallo se produce en la rampa, y por lo que se ha comprobado, no le afecta el número de telas que tengan los revestimientos en la zona bulk. Por tanto, se puede deducir que el número de telas que se deben emplear en la zona bulk debe ser el mínimo tecnológico permitido, ya que el aumentar el número de telas lo único que supondría sería un aumento de peso, pero no un aumento de la carga de fallo.

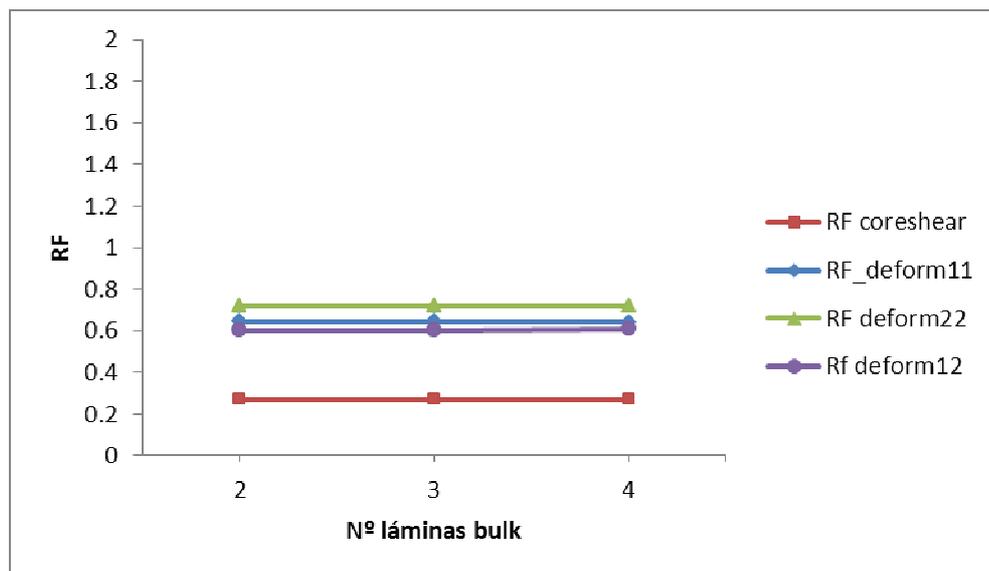


Figura 107. RFs modos fallo críticos en función del número de láminas en bulk.

7.3.2. ORIENTACIÓN DE LAS LÁMINAS

A continuación se presenta la comparativa para los resultados obtenidos de distintos modelos en los cuales el parámetro que se ha modificado ha sido la orientación de las láminas que constituyen las pieles del sándwich.

Las orientaciones tenidas en cuenta son las que se detallan a continuación. La orientación que tengan las telas en la pista condiciona la orientación de los laminados de rampa y bulk, aunque puede haber varias posibilidades en algunos casos.

Se han tomado esas configuraciones, pero puede haber otras posibilidades no contempladas. Comentar que no se suelen poner las láminas exteriores del panel a 0° , se ponen a 45° para proteger las láminas a 0° , que están orientadas en la dirección de la carga. Así, si el panel sufre algún impacto y se rompen las láminas exteriores, debajo existirán láminas a 0° que aguantan la carga. Además, al existir fibras a 45° , -45° , 0° y 90° , el laminado se comportaría de forma casi isotrópica.

La orientación 1 es la correspondiente al panel modelado, y en base a ella se harán las comparaciones. Se han indicado las orientaciones desde la lámina más externa a la más interna del panel.

Orientación	Laminado Pista	Laminado Rampa	Laminado Bulk
1	[45° 0° 45° 0° 0° 45°]S	[45° 0° 45° 0°]	[45° 0°]
2	[45° 0° 0° 0° 45° 45°]S	[0° 0° 0° 45°]	[0 ° 45°]
3	[45° 0° 0° 45° 45° 0°]S	[45° 0° 0° 45°]	[45° 45°]
4	[45° 0° 45° 0° 45° 0°]S	[0° 45° 0° 45°]	[0° 45°]

Tabla 8. Orientaciones tenidas en cuenta en el análisis.

La orientación que tengan los laminados afecta a la deflexión máxima que experimenta el panel. La orientación que da una menor deflexión es la 2, la cual tiene un porcentaje mayor de telas a 0° en la rampa, y en la pista presenta mayor número de láminas a 0° seguidas. En cambio, la orientación 3 es la que presenta una mayor deflexión, lo cual puede ser debido a que tiene un mayor número de telas a 45° en la zona bulk que el resto de configuraciones, y en la pista tiene dos telas pegadas a 45°.

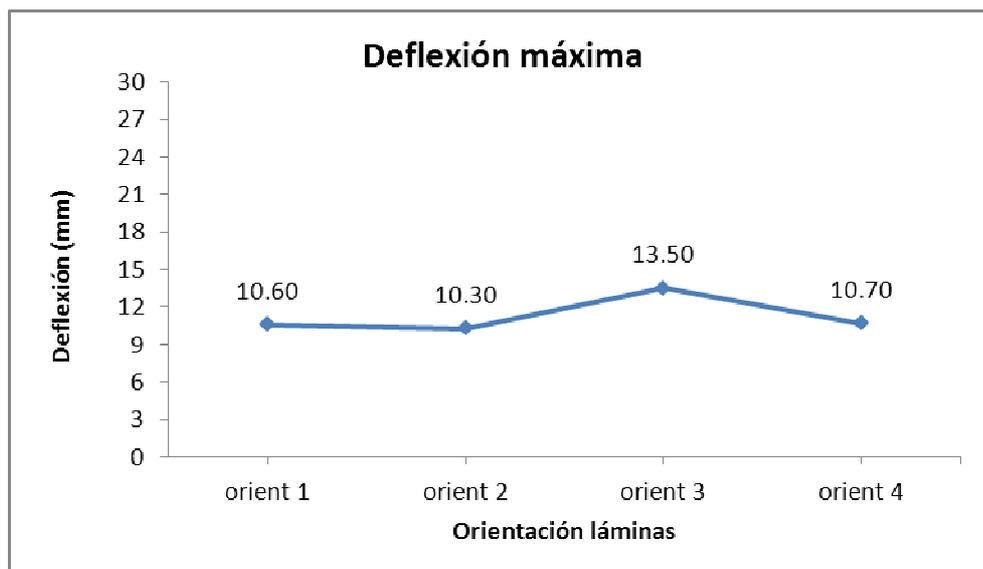


Figura 108. Deflexión máxima para distintas configuraciones de los apilados.

Los valores de los RFs también se ven afectados cuando se modifica la orientación de las láminas.

- Para la orientación 2 todos los RFs analizados son un poco mayores que los obtenidos para la orientación 1.
- Para la orientación 2 todos los RFs analizados son un poco menores que los obtenidos para la orientación 1.
- Para la orientación 3 casi todos los RFs analizados son mayores que los obtenidos para la orientación 1. Las diferencias en este caso son mayores que para el resto de orientaciones consideradas, sobre todo para el RF de máxima

deformación de las telas en dirección 2, que alcanza un valor superior a 2.

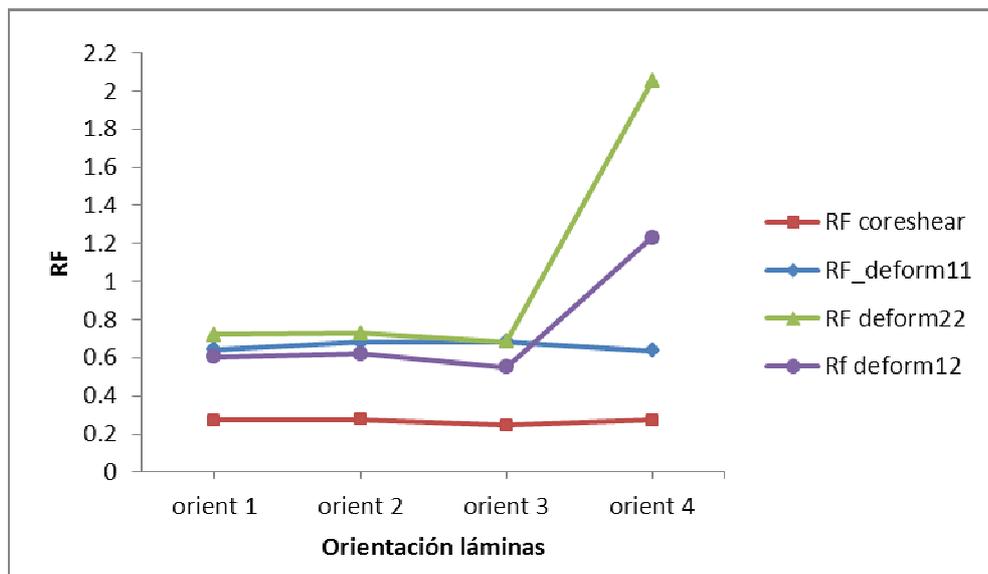


Figura 109. RFs modos fallo críticos para distintas configuraciones de los apilados.

7.3.3. ORIENTACIÓN DEL NÚCLEO

Cambiar la orientación del core a 90° quiere decir que las direcciones L y W estarán giradas 90° con respecto al que se ha modelado (core 0°). Por tanto, para el core a 90° se tiene que:

$$G_{xz} = G_W$$

$$G_{yz} = G_L$$

La deflexión máxima aumenta al girar las propiedades del core, como se puede observar en la siguiente gráfica.

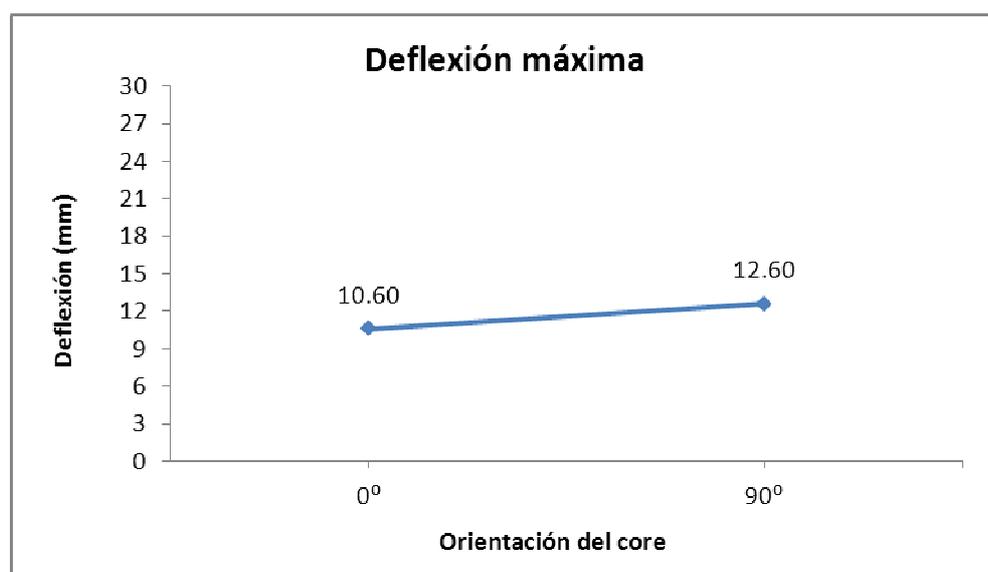


Figura 110. Deflexión máxima para distintas configuraciones del núcleo.

De los RFs analizados, los de las telas a máxima deformación disminuyen, porque aumentarán las deformaciones que se dan en las mismas, en cambio el RF a cortadura del núcleo aumenta, ya que al ser menos rígido el núcleo en la dirección en la que se deforma se cargará menos, aunque las deformaciones sean mayores.

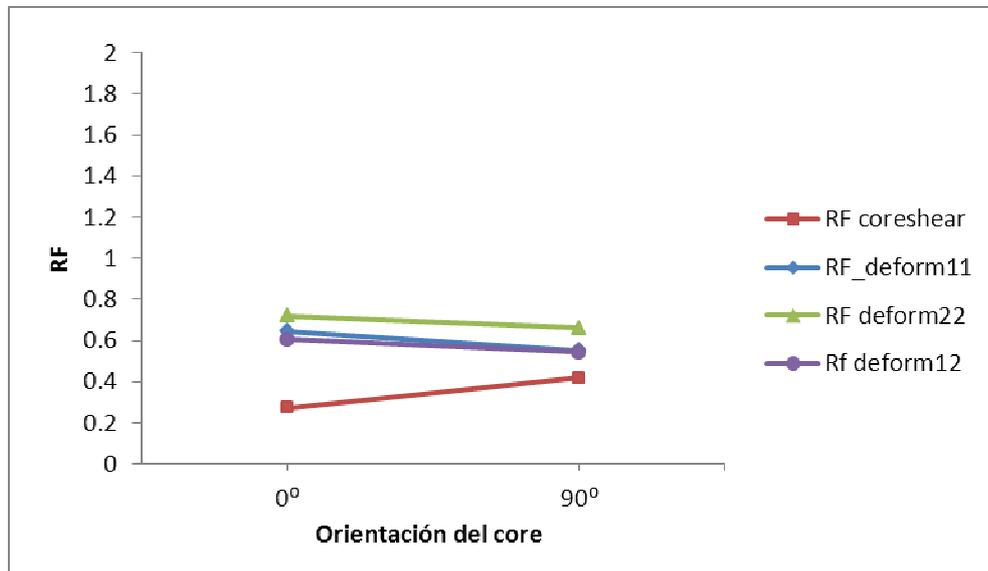


Figura 111. RFs modos fallo críticos para distintas configuraciones del núcleo.

7.4. PROPIEDADES

7.4.1. PROPIEDADES LÁMINAS

- RIGIDEZ E_{11} Y E_{22}

Las rigideces de las láminas en dirección 1 y 2 del material son iguales, por tratarse de un tejido. Se considera que puede variar entre 30000 y 60000 MPa. La deflexión máxima disminuye conforme aumenta E_{11} y E_{22} , desde 12.70 hasta 8.24 mm.

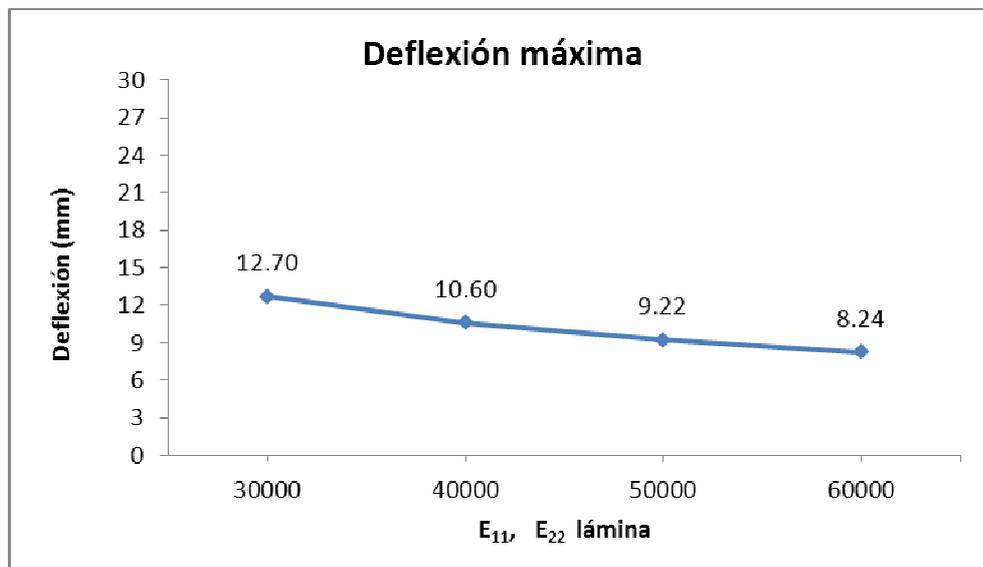


Figura 112. Deflexión máxima en función de las rigideces longitudinales de las láminas.

Los factores de reserva para los distintos modos de fallo analizados aumentan con la rigidez longitudinal de las láminas, ya que disminuyen las deformaciones que experimentan.

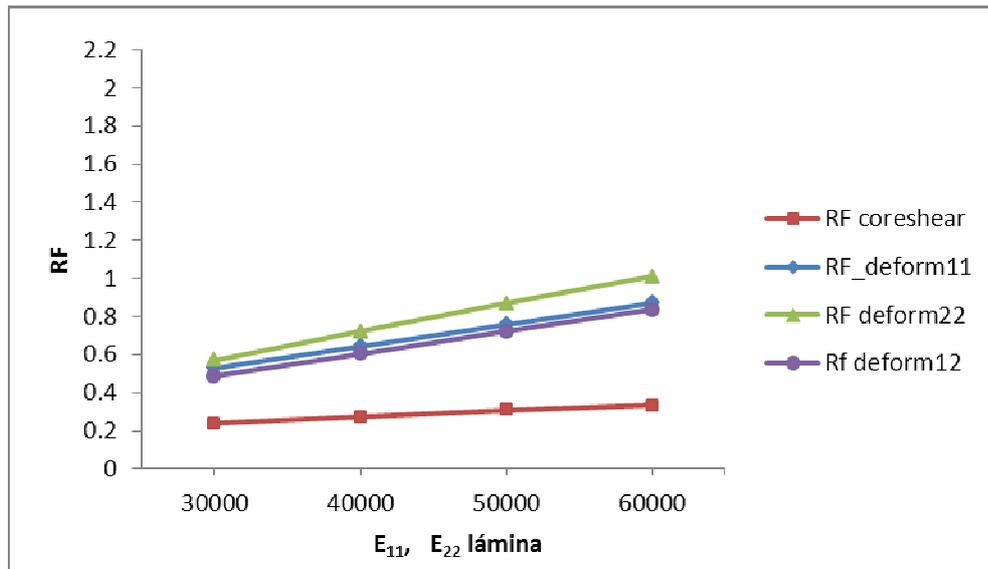


Figura 113. RFs modos fallo críticos en función de las rigideces longitudinales de las láminas.

▪ RIGIDEZ G_{12} , G_{13} Y G_{23}

Al aumentar las rigideces transversales de las láminas se obtiene una disminución de la deflexión máxima, aunque no tan notable como en el caso anterior.

Se ha hecho la siguiente hipótesis: $G_{13}=G_{23}=0.7 \cdot G_{12}$.

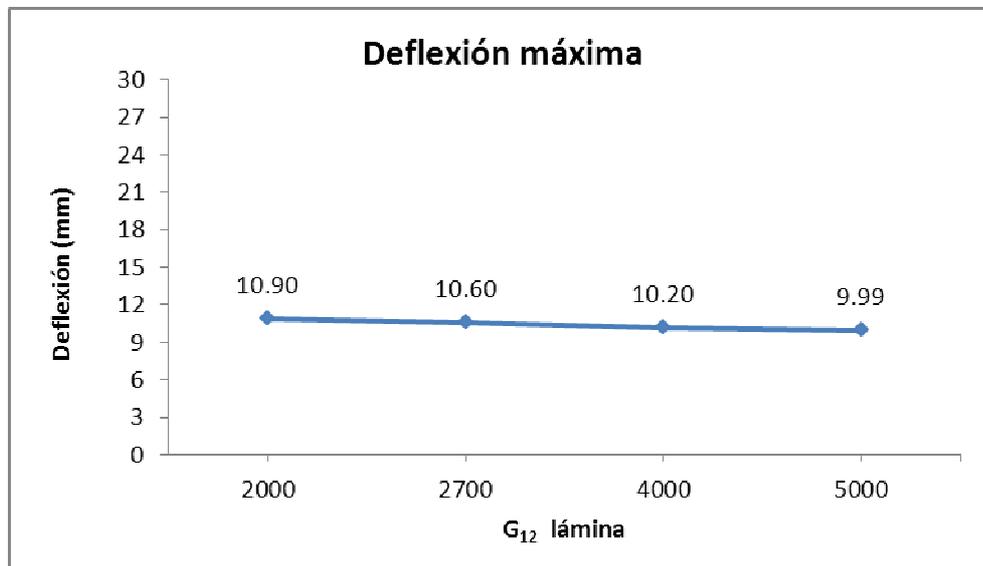


Figura 114. Deflexión máxima en función de la rigidez tangencial de las láminas.

Lo mismo ocurre con los factores de reserva analizados, aumentan conforme aumentan las rigideces transversales, pero en menor medida que si se aumentan las rigideces longitudinales.

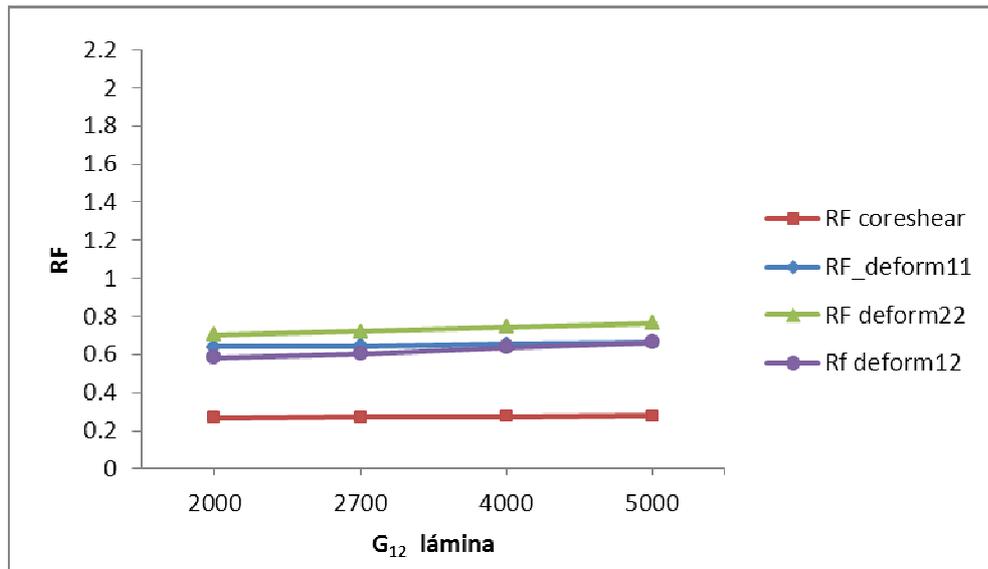


Figura 115. RFs modos fallo críticos en función de rigidez tangencial de las láminas.

7.4.2. PROPIEDADES NÚCLEO

- RIGIDEZ E_{33}

Conforme aumenta la rigidez en dirección z del núcleo la deflexión máxima experimentada en el panel disminuye, siendo menor la disminución para valores mayores de E_{33} . Para rigideces menores de 100 MPa la reducción de deflexión es de un 7% conforme aumenta la rigidez, mientras que para rigideces mayores de 100 MPa la deflexión experimenta una reducción de entorno al 1%.

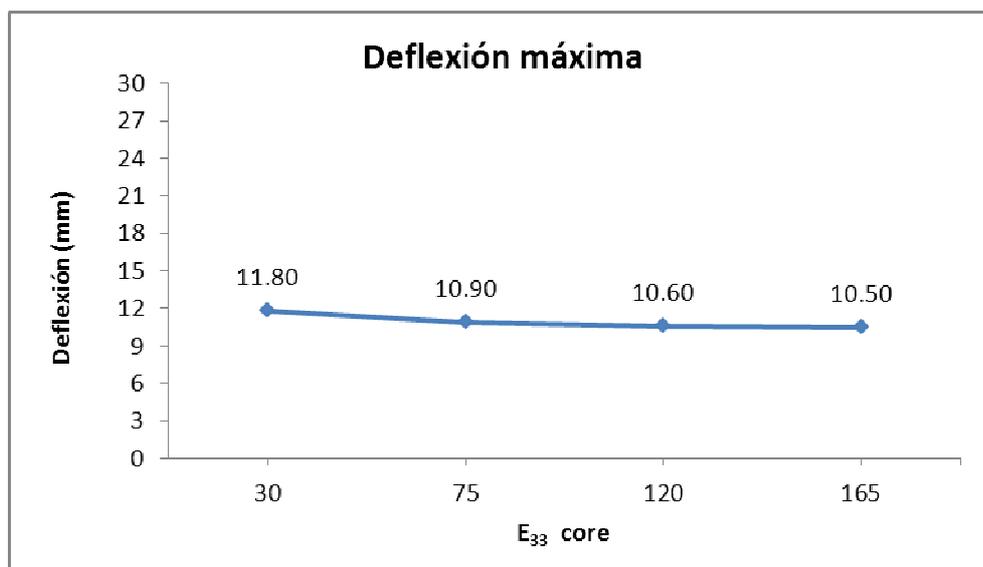


Figura 116. Deflexión máxima en función de la rigidez del núcleo en dirección z.

Al aumentar la rigidez del núcleo éste se lleva más carga, por eso disminuye el RF

del núcleo a cortadura y aumentan los RFs para la piel, aunque no en gran medida.

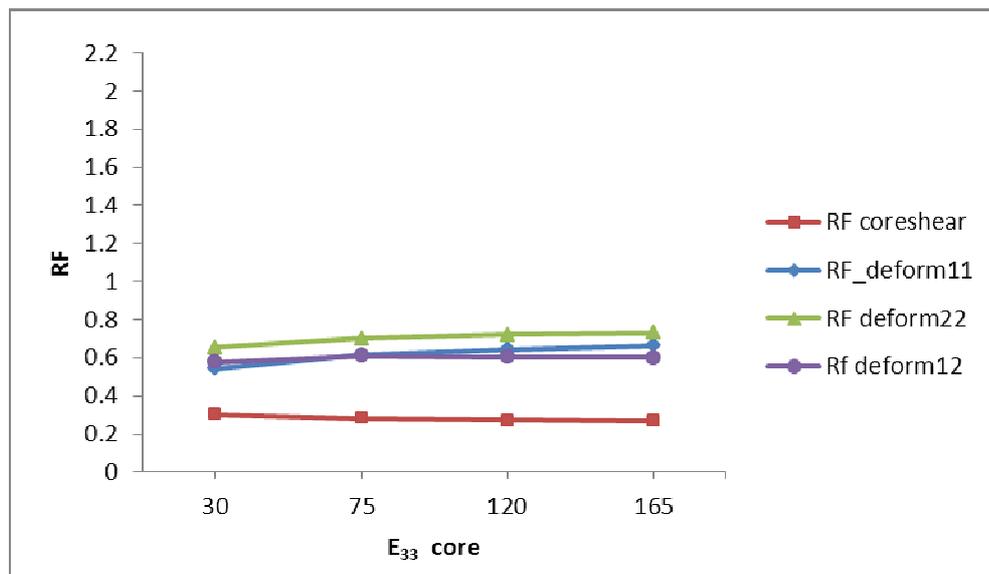


Figura 117. RFs modos fallo críticos en función de rigidez del núcleo en dirección z.

Este parámetro puede tener más influencia en el fallo a compresión del núcleo en dirección 3, no se puede comprobar porque se desconocen los valores de la resistencia a compresión para los distintos valores de E_{33} . Al aumentar la rigidez el núcleo se cargará más, pero la resistencia aumentará.

- RIGIDEZ G_{13} Y G_{23}

Los valores de los módulos de cortadura G_{13} y G_{23} , y de los admisibles se especificaron en el capítulo anterior para distintas densidades del núcleo.

En la siguiente gráfica se puede observar que para núcleos más densos la deflexión máxima experimentada en el panel es menor, disminuyendo un 6% si se emplea un núcleo de grado G en lugar del núcleo de grado B empleado en el panel analizado.

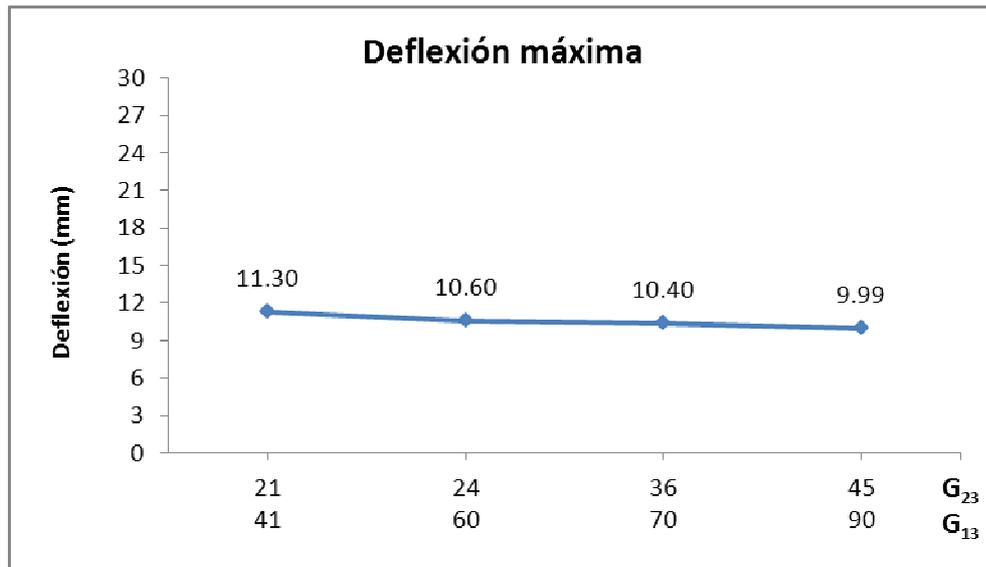


Figura 118. Deflexión máxima en función de los módulos de cortadura fuera del plano del núcleo.

El RF para el fallo a cortadura del núcleo aumenta considerablemente para núcleos de mayor densidad.

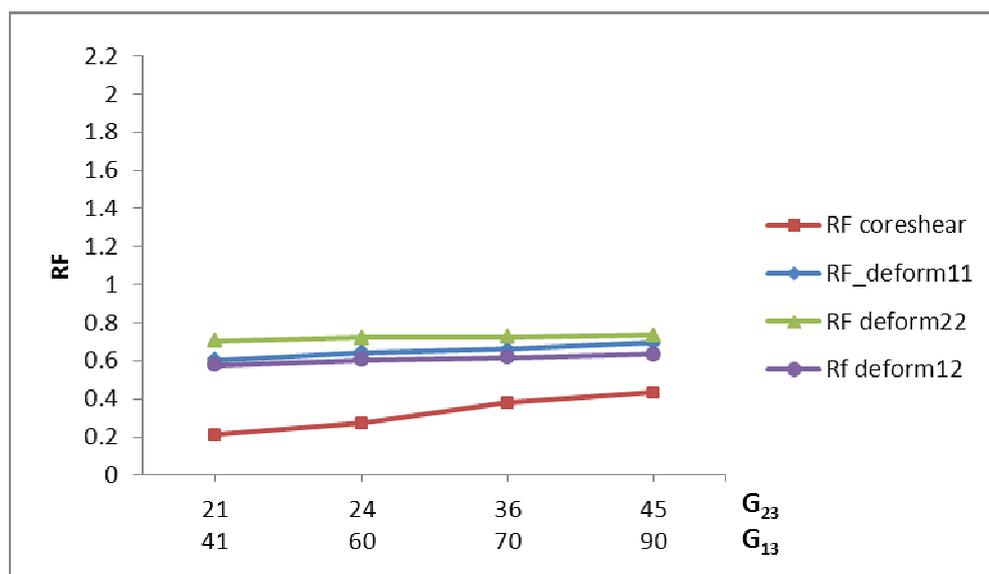


Figura 119. RFs modos fallo críticos en función de los módulos de cortadura fuera del plano del núcleo.

7.4.3. PROPIEDADES MACIZADO

- RIGIDEZ E

La rigidez E del material empleado para el macizado del núcleo (potting) influye en la deflexión máxima del panel, aunque no demasiado. En cuanto a los valores de los factores de reserva comprobados no se ven afectados.

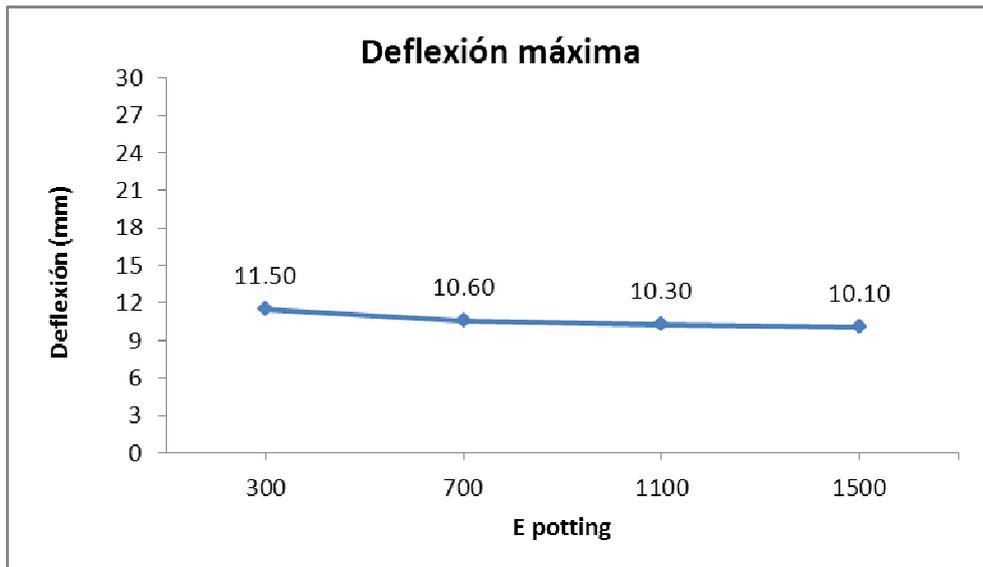


Figura 120. Deflexión máxima en función del módulo de elasticidad del potting.

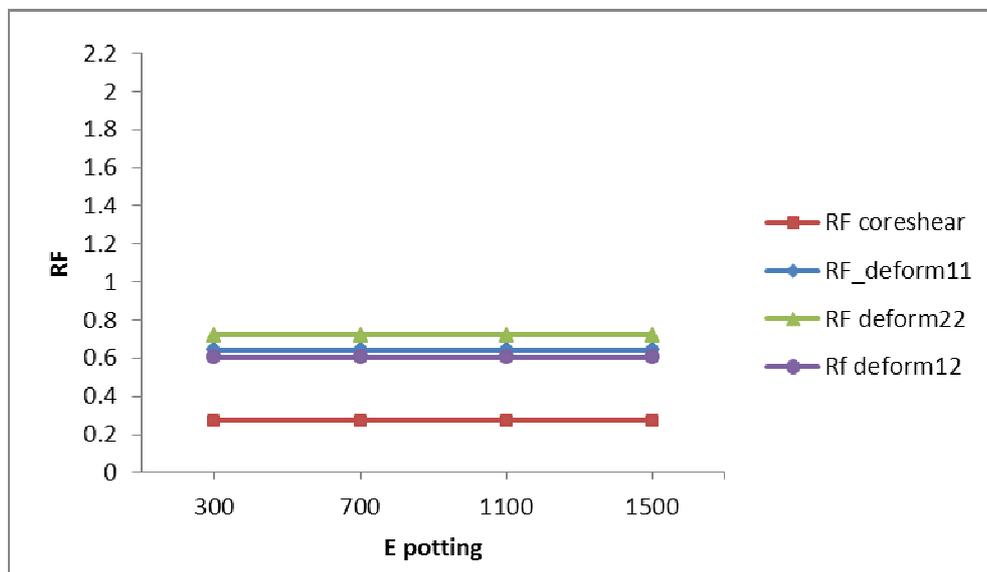


Figura 121. RFs modos fallo críticos en función del módulo de elasticidad del potting.

▪ RIGIDEZ G

La rigidez a cortadura no afecta nada a los resultados comprobados.

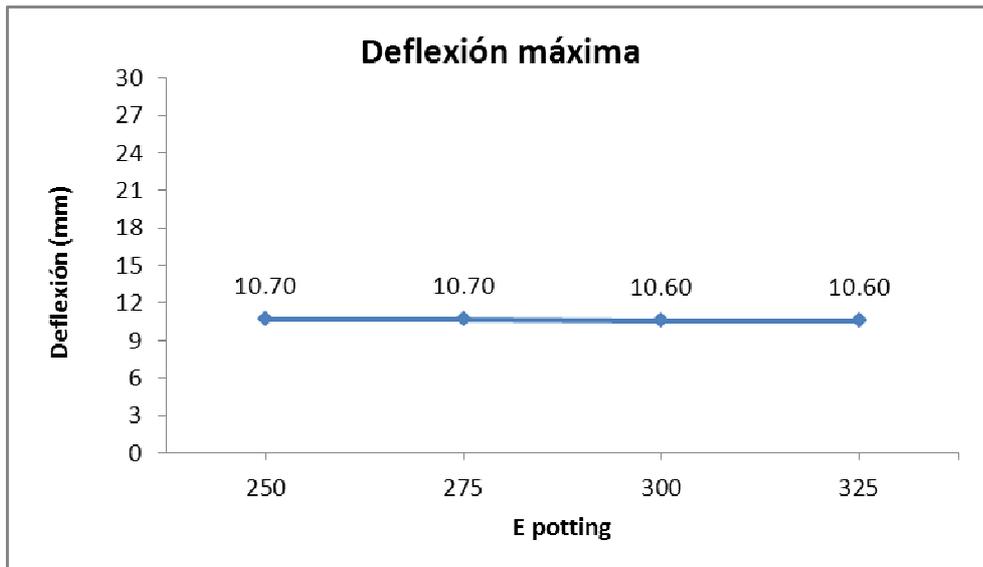


Figura 122. Deflexión máxima en función del módulo de elasticidad tangencial del potting.

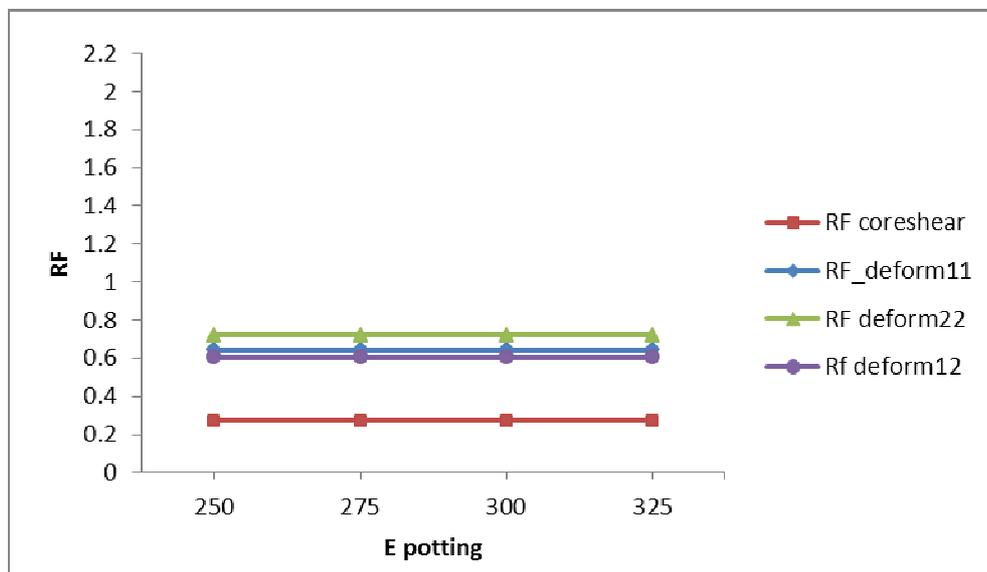


Figura 123. RFs modos fallo críticos en función del módulo de elasticidad tangencial del potting.