

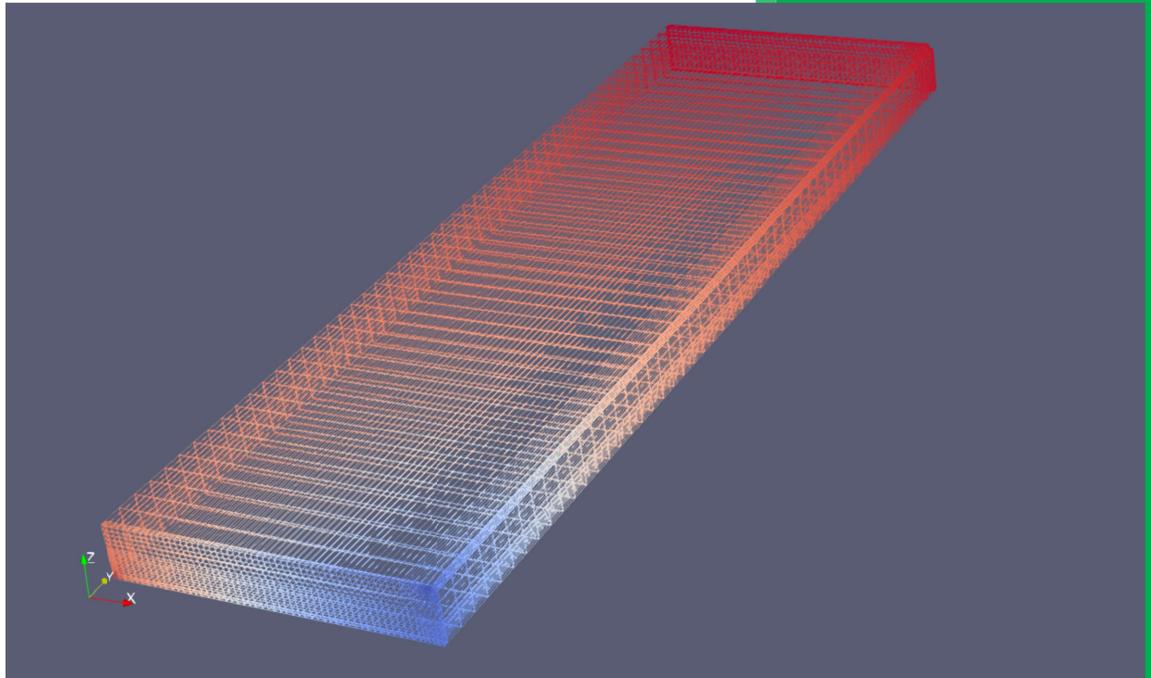
---

---

# UTN – LA PLATA

DTO. INGENIERÍA MECÁNICA.

Práctica Supervisada

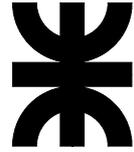


Ensayo Doble Torsión - Diseño óptimo , verificación y validación de probetas.

Alumno : Basiuk, Lucas Osvaldo.

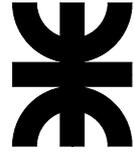
Docente tutor : Dr. Ing. Sánchez, Martín.

AÑO 2019



## Índice

Introducción .....	3
Marco de referencia	
Objetivos	
Alcance	
Desarrollo.....	7
Ingeniería básica	
Montaje y prueba de funcionamiento	
Análisis y determinación de parámetros que inciden en la probeta	
Modelado y verificación mediante elementos finitos.....	14
Resultados.....	17
Análisis de resultados	
Conclusión.....	48
Relación de la PS con materias de la carrera.....	49
Referencias.....	51
Anexo.....	52



## Introducción

En el presente trabajo se desarrollará el diseño de un dispositivo para realizar un ensayo de doble torsión así como también el estudio de la probeta para realizar el mismo.

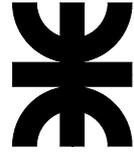
En cuanto a la probeta, se determinará una relación entre sus dimensiones y las tensiones y desplazamientos que la afectan al realizar el ensayo en condición elástica, sin llegar a la rotura. Este estudio de la muestra se realizará mediante volúmenes finitos y se justificará el efecto de la doble torsión.

## Marco de referencia

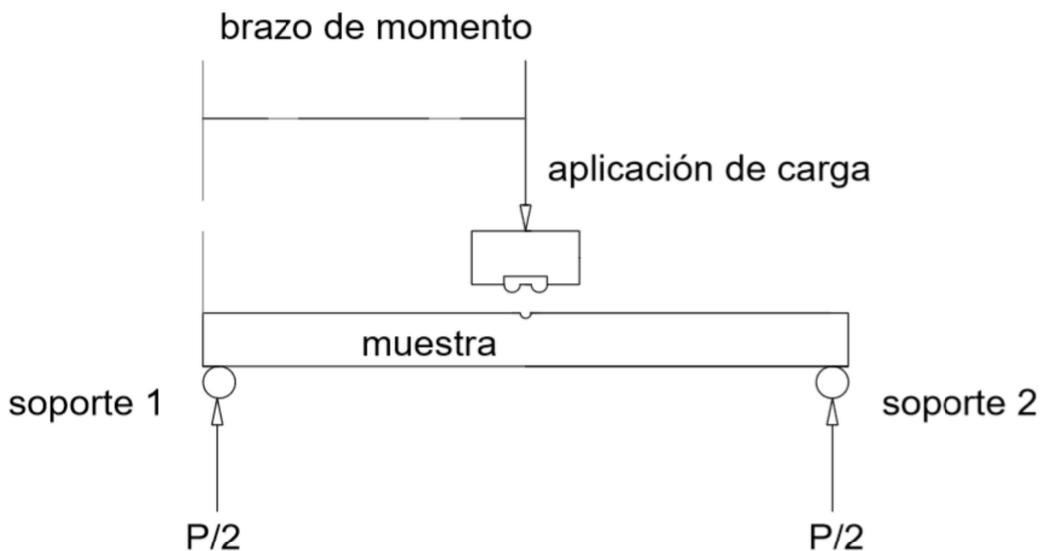
### Ensayo doble torsión, metodología

La prueba de doble torsión (DT) es una técnica potente, versátil y relativamente simple para la evaluación de propiedades en materiales frágiles. Dicha técnica se ha adoptado para estudiar las leyes de crecimiento de fracturas en las formaciones rocosas, el ensayo revela que las grietas en el material se propagan hasta la fractura, bajo la acción combinada de la carga aplicada y un medio corrosivo.

La configuración de la prueba DT, que se muestra en la Fig.1, comprende una placa rectangular, dicha placa o muestra, simplemente apoyada sobre cuatro puntos. Mientras que en un extremo de la placa se le aplica una carga y debe permanecer constante inicialmente para comenzar la dispersión de la grieta. Como resultado, las dos mitades de la placa están sujetas a deformaciones torsionales iguales debido a cargas simétricas.

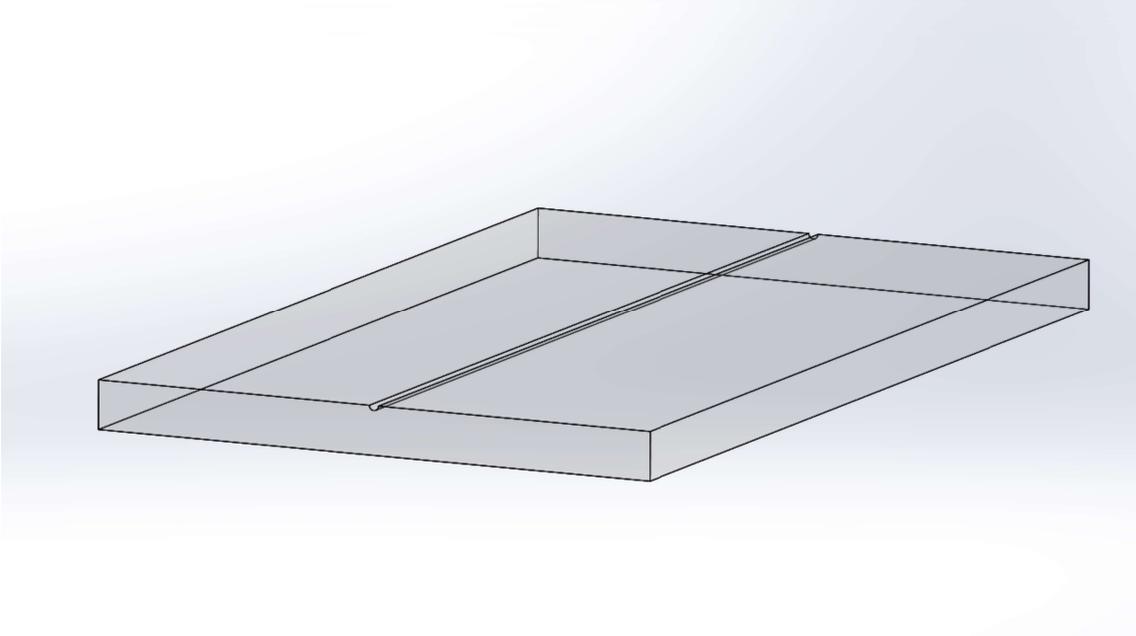
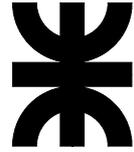


Hasta ahora, la metodología de prueba DT se aplica para caracterizar el comportamiento de fractura de una amplia gama de materiales, como materiales altamente quebradizos, cerámica por ejemplo, nitruro de silicio, carburos de silicio, gafas, materiales piezoeléctricos y materiales de celdas de combustible. Sin embargo, la metodología del ensayo no está aún normalizada (procedimiento de prueba y geometría del dispositivo y la muestra) por lo tanto, los resultados deben interpretarse y analizarse de acuerdo a la información disponible y aclaraciones apropiadas.



*Fig.1 - Configuración del dispositivo para el ensayo*

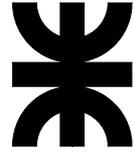
En lo que a las muestras respecta, deben ser planas, delgadas y rectangulares como se ve en la Fig.2.



*Fig.2 - Se aprecia en la figura un modelo 3D de la muestra de vidrio para el ensayo DT*

La misma cuenta con una ranura longitudinal, en donde, por un extremo, se va a aplicar la carga, se le realiza una ranura de manera que la fractura propague por la línea central de la muestra. Las dimensiones de la muestra varían entre :

	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>
<b>Largo</b>	100mm	75mm
<b>Ancho</b>	60mm	30mm
<b>Espesor</b>	5mm	3mm



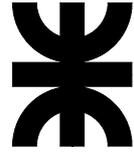
## Objetivos

- Diseñar el dispositivo para la realización del ensayo teniendo en cuenta las dimensiones de la prensa uniaxial en donde va a ser realizado.
- Armar y alinear el dispositivo, montaje en la prensa.
- En base a la información disponible, procedemos al estudio de los parámetros que inciden en la probeta.
- Verificar el efecto de doble torsión sobre la probeta mediante volúmenes finitos.
- Recomendaciones para el diseño final de probeta teniendo en cuenta los resultados del ítem anterior.

## Alcance

Encontrar una relación entre las dimensiones de la probeta y las dimensiones de la ranura longitudinal, de manera tal de concluir con la dimensión de ranura apropiada.

Se llevará a cabo ello mediante la muestra 1 y se establecerán tres medidas distintas de ranuras. Contrastando los resultados del estudio mediante volúmenes finitos se realizarán las recomendaciones.



## Desarrollo

### Ingeniería básica

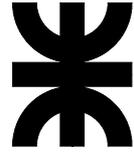
Como primer paso se pretende diseñar un dispositivo para ensayo de doble torsión que pueda utilizarse en una prensa uniaxial ubicada en el laboratorio de mecánica de rocas de Y-TEC. En la Fig.3 se aprecia la prensa de la que dispone el laboratorio.

Datos de la prensa:

- Marca TerraTek UCS TEST SYSTEM
- Serie 3596
- Máx carga de trabajo 100.000 lbs.

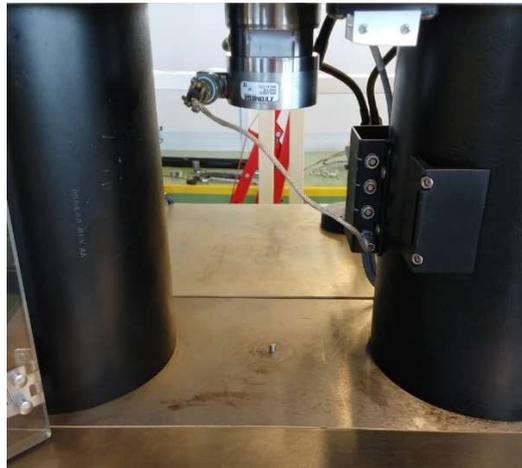


*Fig.3- Vista frontal de la prensa uniaxial*



Procedemos a tomar las medidas de la cavidad de la prensa. Estas son 200 mm de ancho, 250mm de profundidad y 400mm de altura. También definimos el punto de referencia de la herramienta, el cual debe estar en línea con los penetradores, los bloques donde se montan la probeta y la herramienta.

En la Fig.4 se muestra la cavidad de la prensa, el perno central de alineación y la celda carga utilizada para tomar los datos en la medida que se realiza el ensayo.

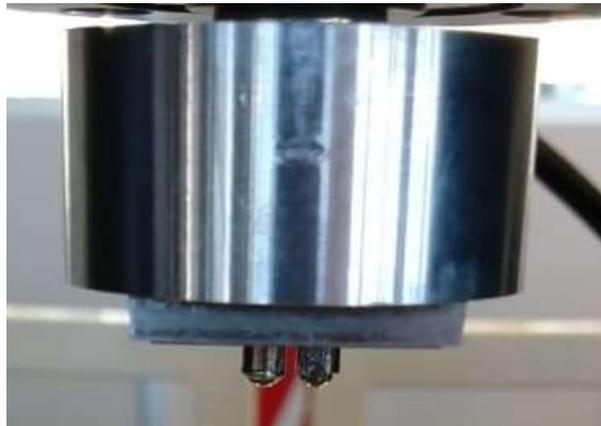


*Fig.4- Se puede apreciar el perno de alineación de la prensa respecto a los bloques*

El dispositivo a diseñar está compuesto por dos partes, por un lado un cilindro en el cual se montan los penetradores, y a su vez el cilindro va montado sobre una celda de carga que se coloca en el pistón de la prensa.

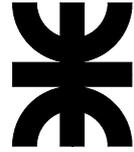


El material elegido fue aluminio “Ergal 50”, por su bajo peso facilitando el montaje, 1/3 aproximadamente del peso del acero, pensado como alternativa inicial. En la Fig.5 se muestra en detalle el cilindro colocado en la prensa.



*Fig.5- Cilindro que contiene a los penetradores para aplicación de carga*

Por otro lado se diseñan los bloques que deben tener una altura de 180 mm en conjunto, dado a que se tiene limitado el desplazamiento del pistón de la prensa, Fig.6.



*Fig.6- Vista frontal del dispositivo armado, los tres bloques, más los sujetadores acrílicos*

En la cara superior del bloque 1 se ubican las probetas y los sujetadores de acrílico. Sobre los orificios se ubicaran bolillas de acero de 7 mm de diámetro, que según el tamaño de la probeta, varía la posición de las bolillas.

Sobre la misma cara encontramos otros orificios donde se montan los pernos para ubicar los sujetadores de acrílico, que restringen el movimiento de la probeta. La cara inferior de este bloque contiene otros dos orificios inmovilizadores que se vinculan con la cara superior del bloque dos.

El bloque dos contiene dos orificios en cada cara donde se montan los pernos para inmovilizar el conjunto.



El bloque número tres contiene, sobre su cara superior los agujeros inmovilizadores que se vinculan con la cara inferior del bloque dos, y sobre su cara inferior contiene un agujero de diámetro 6.35 mm y de profundidad de 10 mm. Este orificio es la referencia del conjunto armado y debe quedar alineado con los penetradores.

Los penetradores utilizados son de acero, de 12 mm de largo y 5 mm de diámetro.

Las bolillas de estos tienen un diámetro de 3,5 mm.



*Fig.7 - Modelo 3D de los penetradores que se alojan en el cilindro*

*(Los croquis de cada una de las piezas mencionadas se encuentran en el anexo, pág. 52).*



Para la realización del ensayo se ha optado por muestras de vidrio plano, a las cuales se les practicó una ranura longitudinal en la cara superior para el direccionamiento de la propagación de la fractura, sin entalla.

Se escogió vidrio ya que es un material bien caracterizado y homogéneo.

### **Montaje y prueba de funcionamiento**

A la hora de montar el conjunto de bloques y el cilindro, se procedió a limpiar las superficies tanto del conjunto, como la mesa de la prensa y la rosca del cilindro.

Primero se roscó el cilindro sobre la celda de carga y para su alineación se utilizaron suplementos de acero.

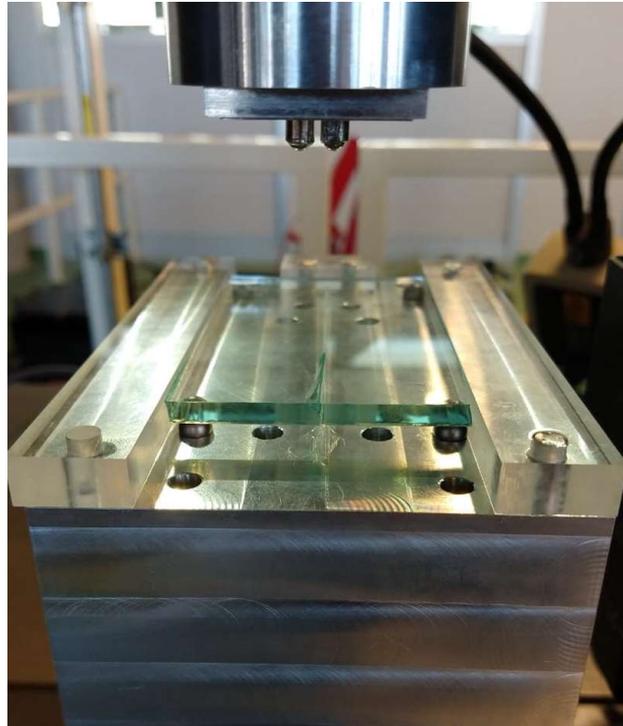
Luego se ubicaron los bloques de a uno, desde el bloque tres al bloque uno, y sobre ellos los pernos correspondientes.

Sobre el bloque uno se ubicaron las bolillas, en la posición de probeta grande, y los sujetadores de acrílico.

Por último se ubicó la probeta grande sobre las bolillas, se hizo descender el pistón y se examinó que apoyaran bien ambos penetradores. Con algún mínimo retoque se alinearon los mencionados penetradores y se continuó con la prueba del dispositivo para el ensayo.

Para este primer ensayo se cargó la probeta hasta su rotura y luego se verificó que la carga no haya afectado los componentes.

En la Fig.8 se muestra una imagen previa a la primera prueba de funcionamiento del dispositivo.

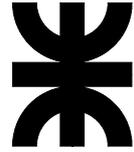


*Fig.8- Vista frontal del dispositivo armado. Se puede apreciar una muestra de vidrio colocada*

### **Análisis y determinación de parámetros para muestras**

Para un mejor uso de la técnica de prueba de DT, se realiza el análisis de los desplazamientos y tensiones que actúan sobre la muestra en la medida que se varían las dimensiones de la ranura longitudinal de la misma, siempre bajo la misma carga.

Se procede mediante un estudio paramétrico en periodo lineal elástico de la influencia de las dimensiones de la ranura en el estado torsional de la probeta.



Los parámetros a determinar son:

- Tensiones de corte en un plano paralelo y perpendicular a la ranura.
- Desplazamientos sobre la muestra.

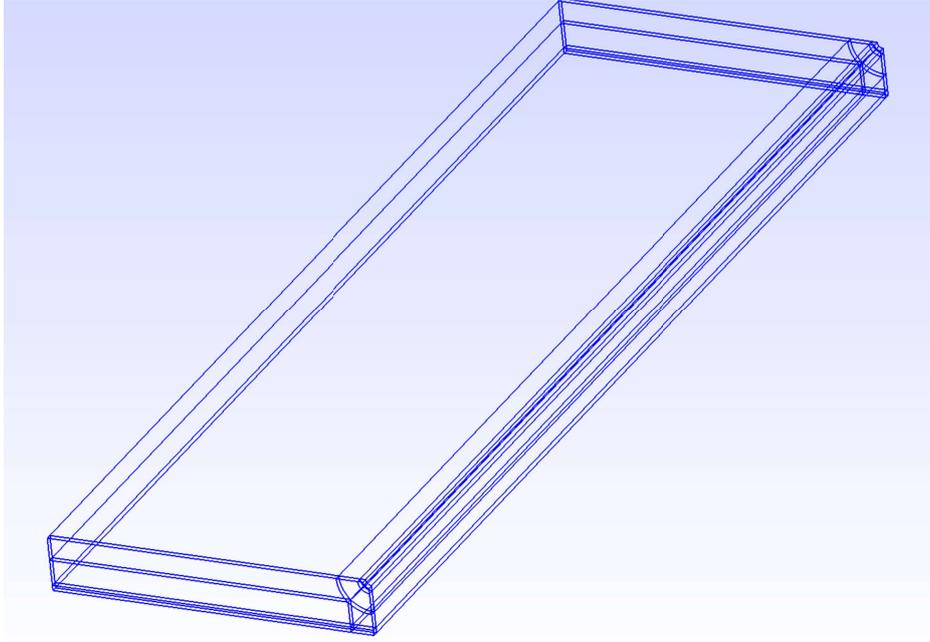
Una vez determinados, se llevarán a cabo los diagramas de corte que hacen a la torsión de la pieza y quedará verificado el efecto de DT.

## Modelado mediante elementos finitos

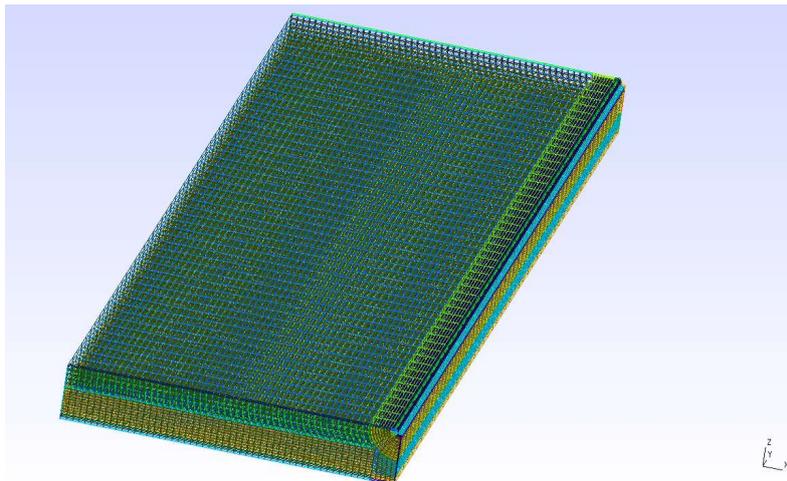
El modelado tridimensional de la muestra (Fig.9) se realizará mediante el software libre OpenFOAM que utiliza el método de volúmenes finitos. A través del mismo se verificará el efecto de doble torsión sobre la muestra de vidrio justificándolo mediante el relevamiento de datos de tensiones de corte y se analizará el desplazamiento sobre la muestra en sí.

Se modelará media probeta, de 100mm de largo, 60mm de ancho y 5mm de espesor (muestra1) con un mallado regular que se puede apreciar en la Fig.10 y en detalle en la Fig.11. El ancho de la muestra queda definido en el eje X, el largo en el eje Y y el espesor en el eje Z.

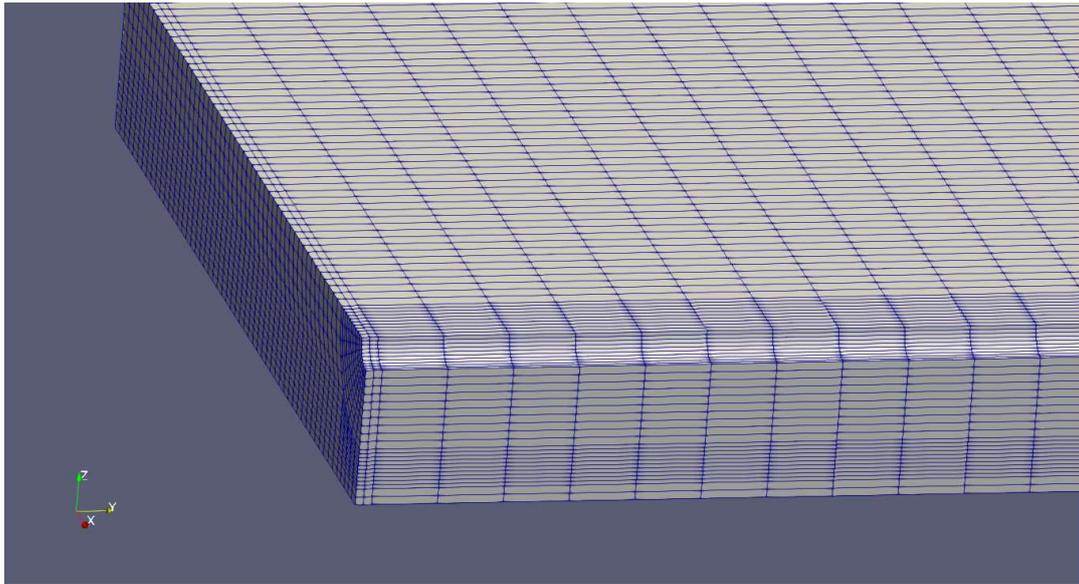
El centro de coordenadas se encuentra en la cara inferior, en el centro de la muestra, por lo que el ancho de la media muestra varía en el eje X (de -30mm a 0mm), el largo varía en el eje Y (de -50mm a 50mm) y el espesor varía en el eje Z (de 0mm a 5mm).



*Fig.9- Modelo 3D de la media probeta*



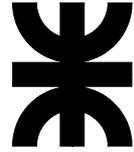
*Fig.10- Muestra con el mallado regular*



*Fig.11- Detalle del mallado regular*

Partiendo de un material con comportamiento elástico asignado al modelo, de solo media probeta (para simplificar, dado a la simetría que presenta respecto a la ranura), se imponen las siguientes condiciones de borde:

- Restricción de movimiento en sentido transversal (eje X) en los apoyos.
- Libertad de movimiento en la cara lateral, anterior, posterior, superior y ranura.
- Cara de simetría a mitad de ranura, de forma longitudinal.
- El penetrador ejerce una presión igual a la mitad del módulo de elasticidad del material.



Los datos del material utilizado, que en nuestro estudio corresponden al vidrio, son:

- Módulo de Young:  $E = 410e6$
- Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0,164$
- Densidad:  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

## Resultados

### Tensiones de corte

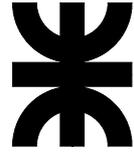
Mediante la función >post processing de OpenFOAM, el software realiza los gráficos de tensiones de corte correspondientes al plano YZ, tensiones de corte sobre planos paralelos a la ranura ( $\sigma_{XZ}$ ) y al plano XZ, tensiones de corte sobre planos paralelos a la cara frontal de la muestra, o sea perpendicular a la ranura ( $\sigma_{YZ}$ ). Variando la posición de dichos planos obtendremos los valores en los distintos puntos.

Los gráficos obtenidos relacionan las tensiones de corte respecto a la posición del plano y la cara que se está analizando.

En el plano paralelo a la ranura, se analizará un plano cada 10mm.

En el plano perpendicular a la ranura, se analizará un plano cada 3mm.

Las iteraciones (t) realizadas varían de 0 a 100. Considerando 100 al momento en el que la probeta converge y se estabiliza en un análisis elástico.



Aquí solo se pondrán en copia los planos más significativos para cada caso; los mismos son suficientes para apreciar el efecto.

Por último, se compararán tres medidas de radio de ranura, una de radio 0,5mm, otra de 0,75mm y finalizamos con una de 1mm.

### Tensiones de corte en el plano YZ (planos paralelos a la ranura, $\sigma_{XZ}$ )

Se verá en los gráficos, la tensión en ordenada al origen y la variación de la dimensión longitudinal de la muestra en abscisas a medida que variamos la posición del plano sobre el eje X.

En la Fig.12 se muestra una imagen de la variación de las tensiones de corte de acuerdo a una escala de colores de la media probeta analizada.

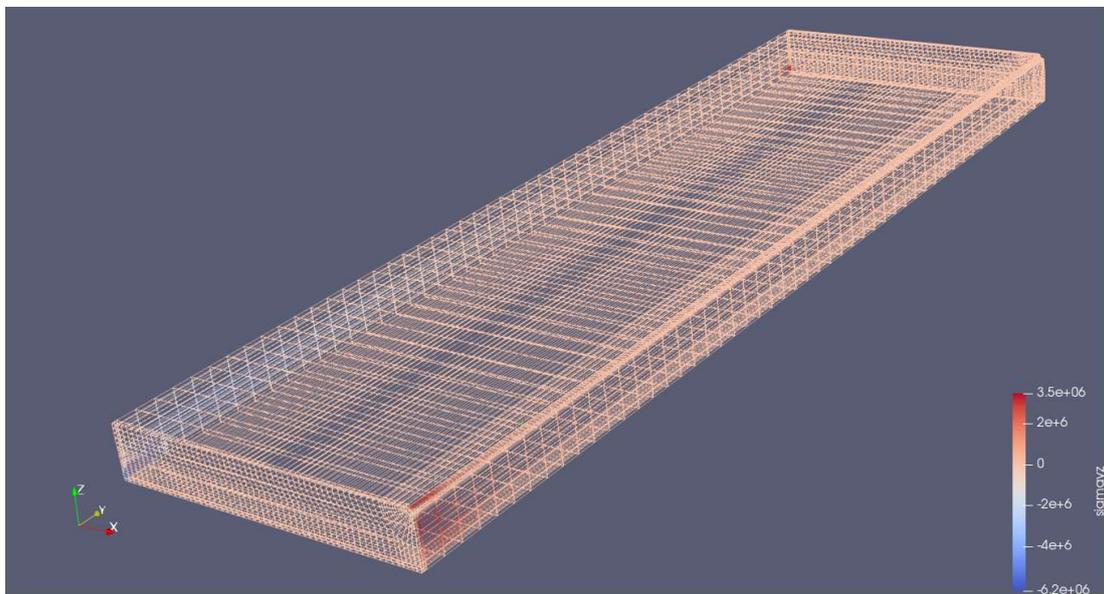
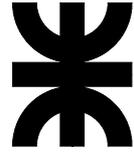


Fig.12- Modelo 3D de la muestra en el tiempo,  $t=100$ . Tensiones de corte  $\sigma_{xz}$



Comenzamos con una ranura de 0,5mm de radio. Establecemos una relación entre el radio de la ranura y el espesor de la muestra ( $r/b$ ), en este caso la relación es de 0,1.

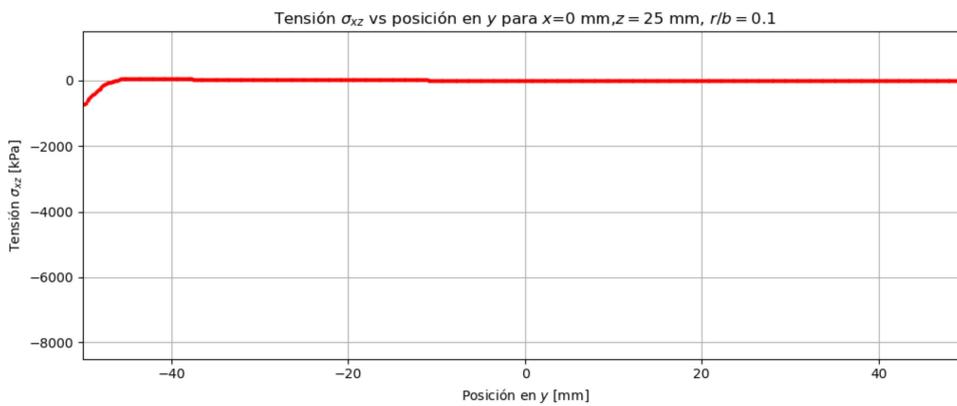


Fig.13 – Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=0$ ,  $Z=2,5$ mm,  $r/b=0,1$

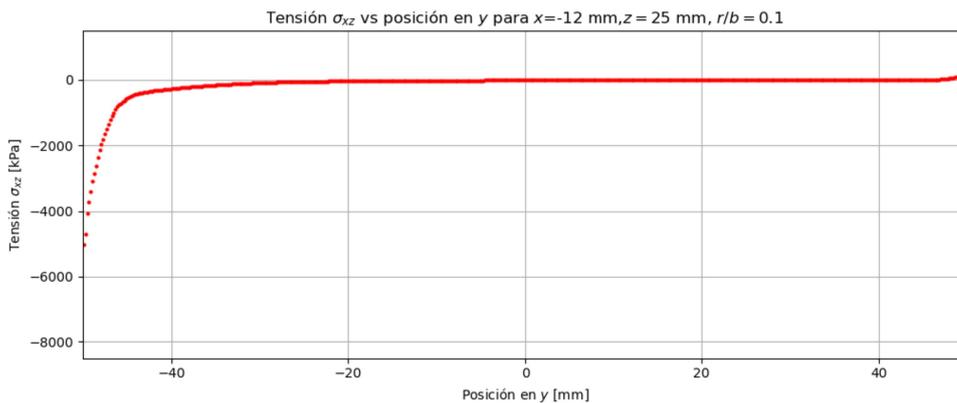


Fig.14 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=-12$ ,  $Z=2,5$ mm,  $r/b=0,1$

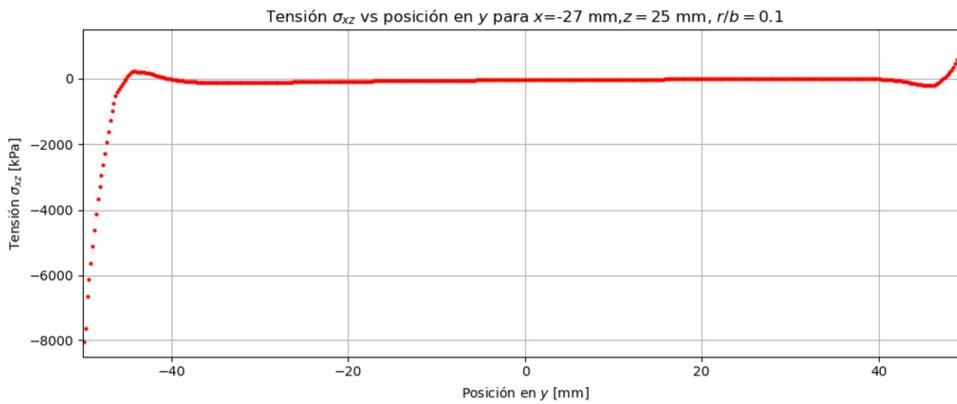


Fig.15 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=-27$ ,  $Z,2,5$ mm,  $r/b=0,1$

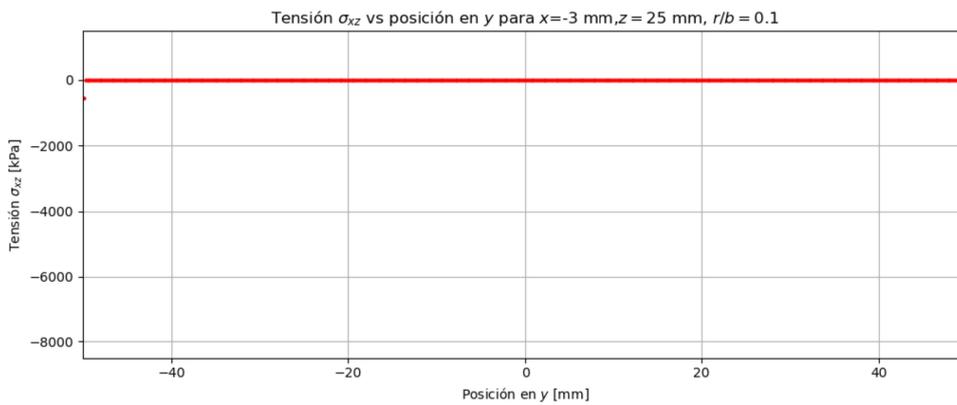


Fig.16 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=-30$ mm,  $Z,2,5$ mm,  $r/b=0,1$



Para una ranura de radio 0,75mm.  $r/b=0,15$  tenemos :

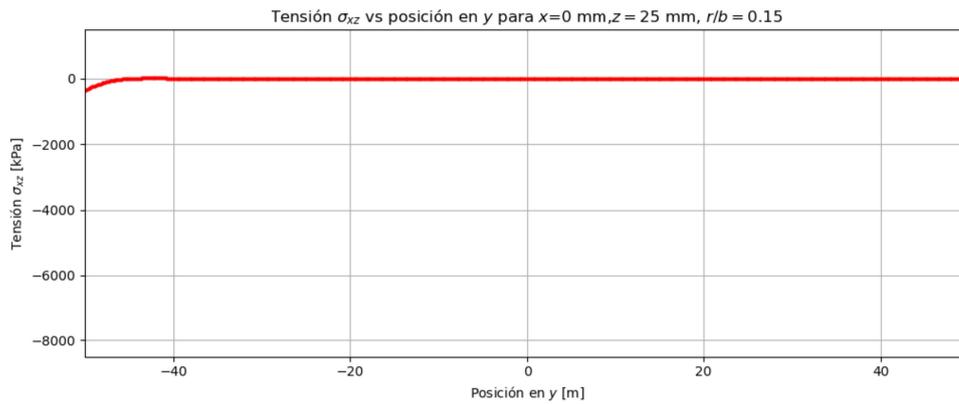


Fig.17 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=0\text{mm}$ ,  $Z=25\text{mm}$ ,  $r/b=0,15$

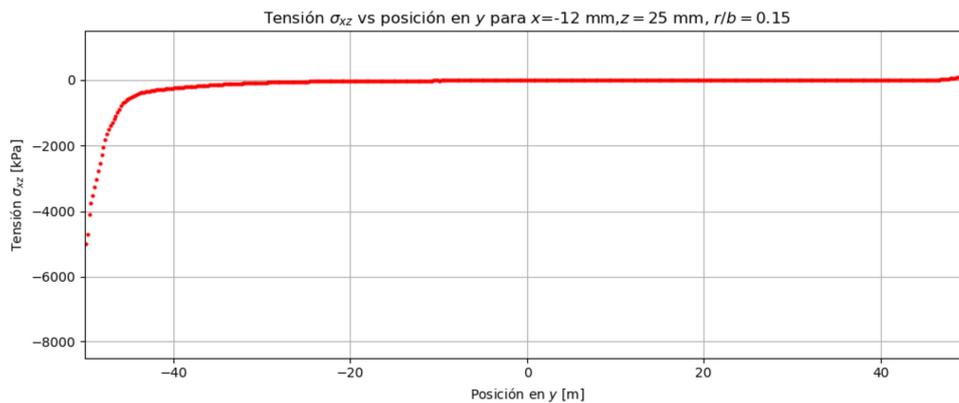


Fig.18 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X=-12\text{mm}$ ,  $Z=25\text{mm}$ ,  $r/b=0,15$

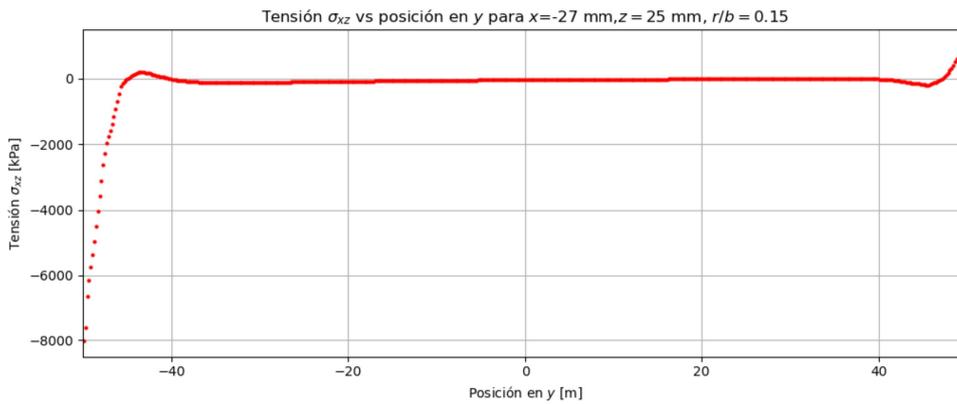


Fig.19- Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X= -27$ mm,  $Z,5$ mm,  $r/b=0,15$

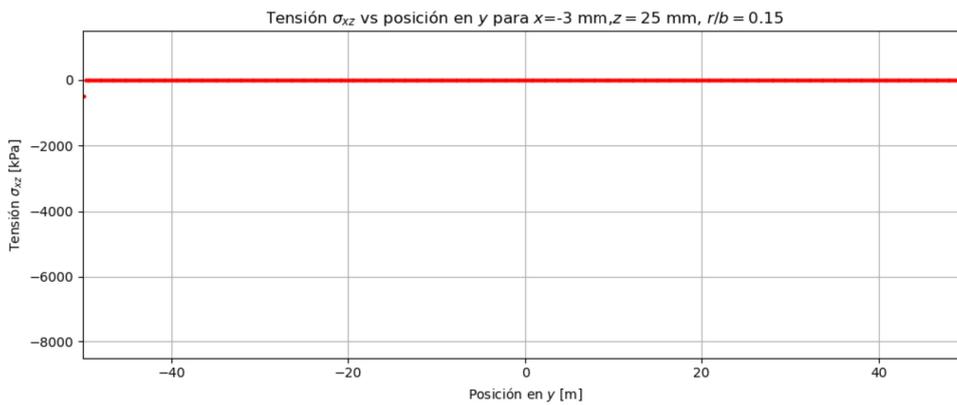
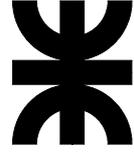
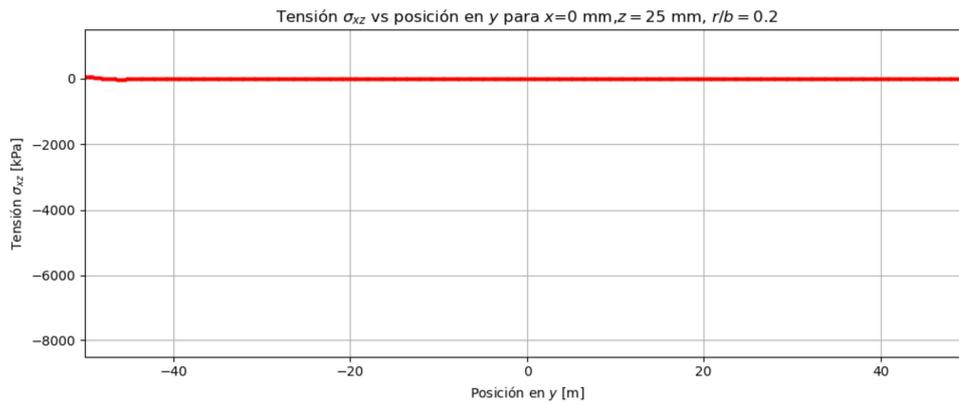


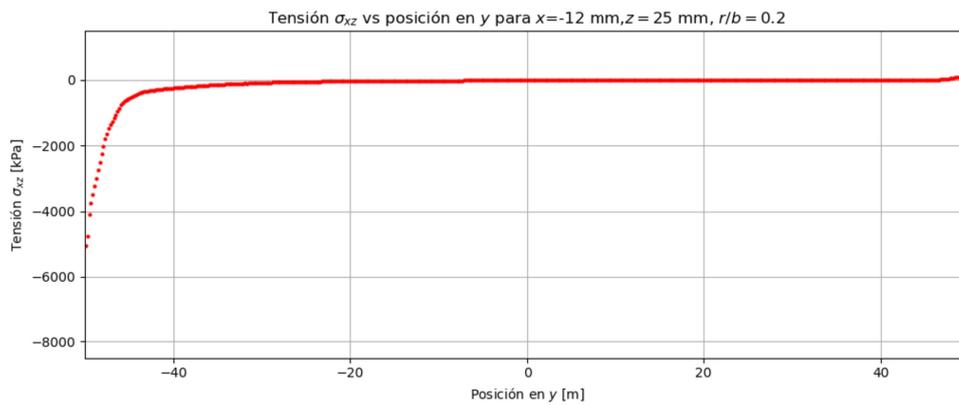
Fig.20 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X= -30$ mm,  $Z,5$ mm,  $r/b=0,15$



Para una ranura de radio 1mm.  $r/b=0,2$  tenemos :



*Fig.21 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para X= 0mm, Z2,5mm, r/b=0,2*



*Fig.22 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para X= -12mm, Z2,5mm, r/b=0,2*

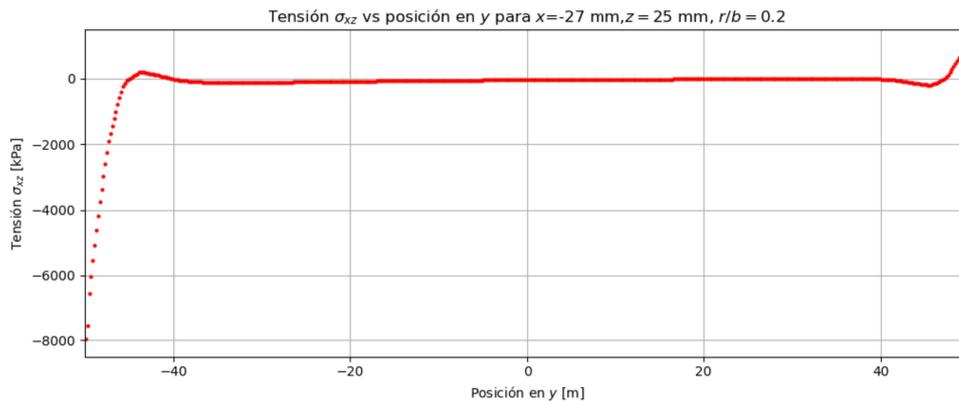
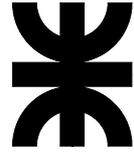


Fig.23 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X= -27$ mm,  $Z,2,5$ mm,  $r/b=0,2$

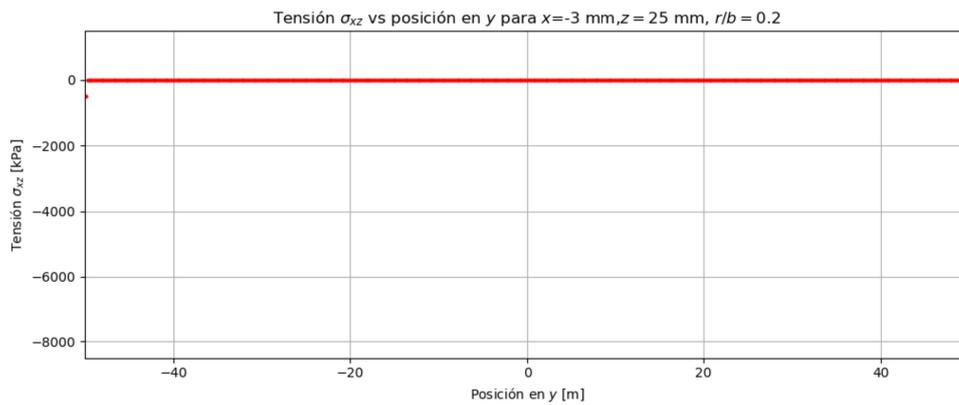
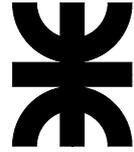


Fig.24 - Tensión  $\sigma_{xz}$  vs posición en Y para  $X= -30$ mm,  $Z,2,5$ mm,  $r/b=0,2$



Tensiones de corte en el plano XZ (planos perpendiculares a la ranura,  $\sigma_{yz}$ )

Se verá en los gráficos, la tensión en ordenada al origen y la variación del ancho de la muestra en abscisas a medida que variamos la posición del plano sobre el eje Y. Recordemos que en el análisis se consideró media probeta.

En la Fig.25 se muestra una imagen de la variación de las tensiones de corte de acuerdo a una escala de colores de la media probeta analizada.

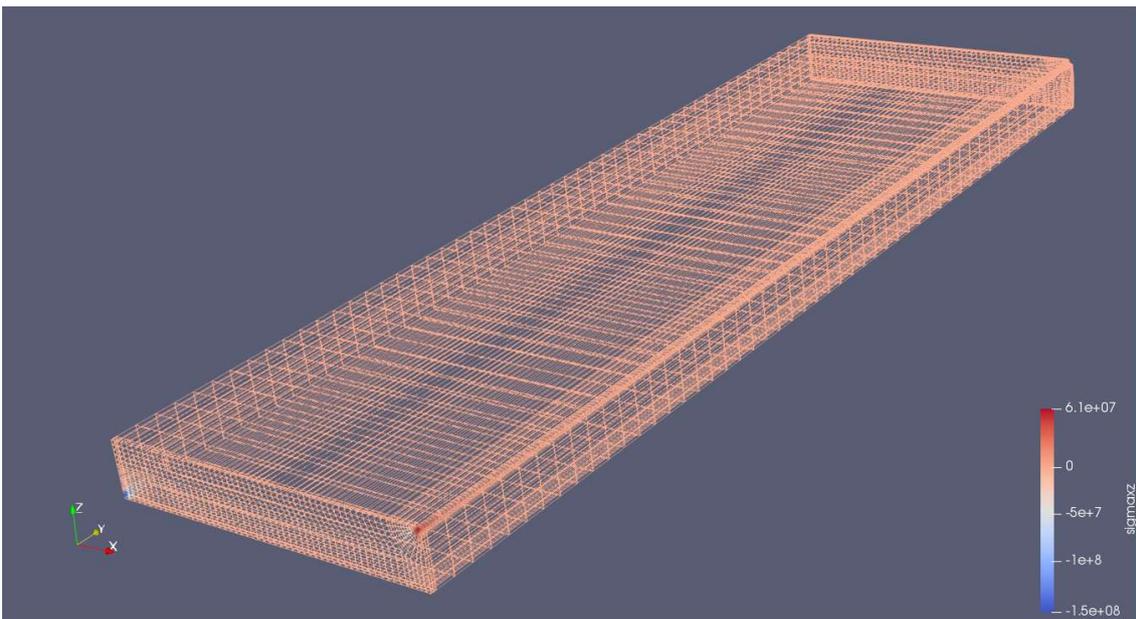
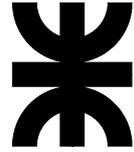


Fig.25 - Modelo 3D de la muestra en el tiempo,  $t=100$ . Tensiones de corte  $\sigma_{yz}$



Comenzamos con una ranura de 0,5mm de radio. Establecemos una relación entre el radio de la ranura y el espesor de la muestra ( $r/b$ ), en este caso la relación es de 0,1.

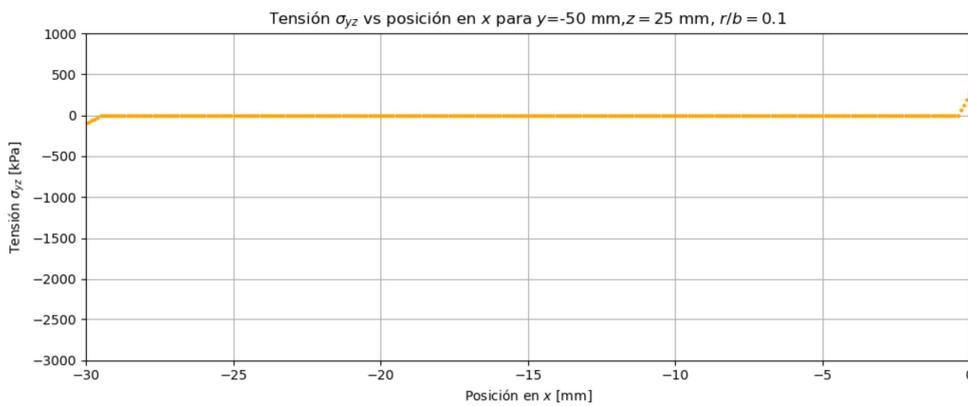


Fig.26 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-50mm, Z2,5mm, r/b=0,1

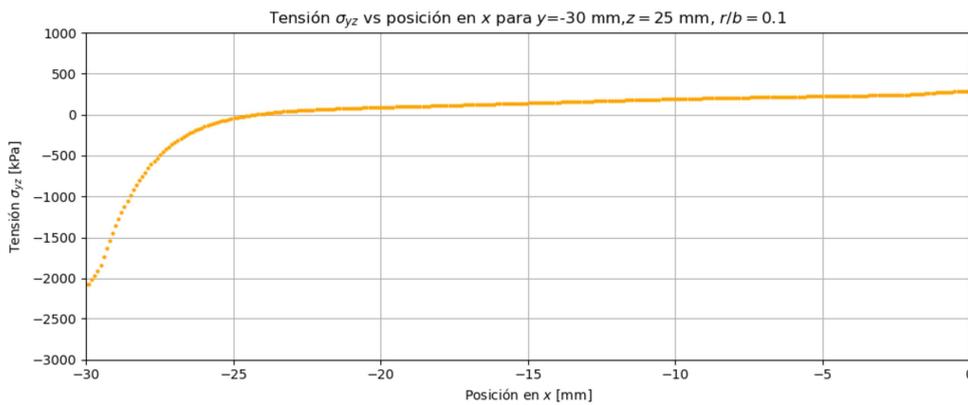


Fig.27 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-30mm, Z2,5mm, r/b=0,1

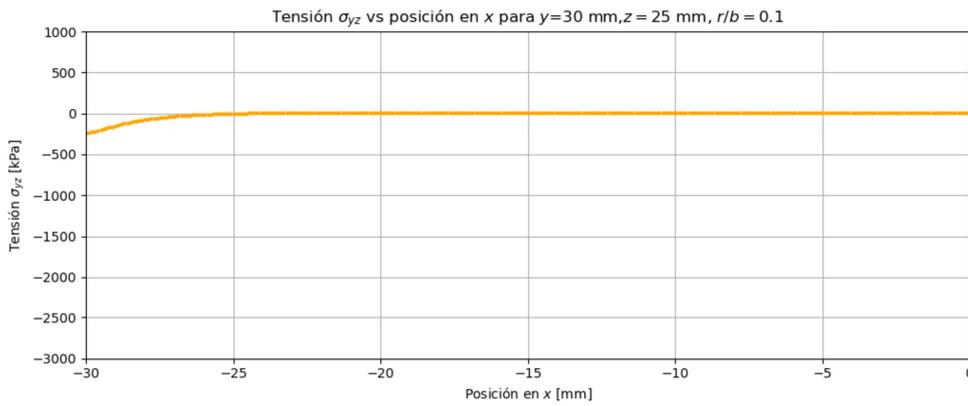
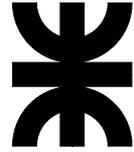


Fig.28 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para  $Y=30$ mm,  $Z=2,5$ mm,  $r/b=0,1$

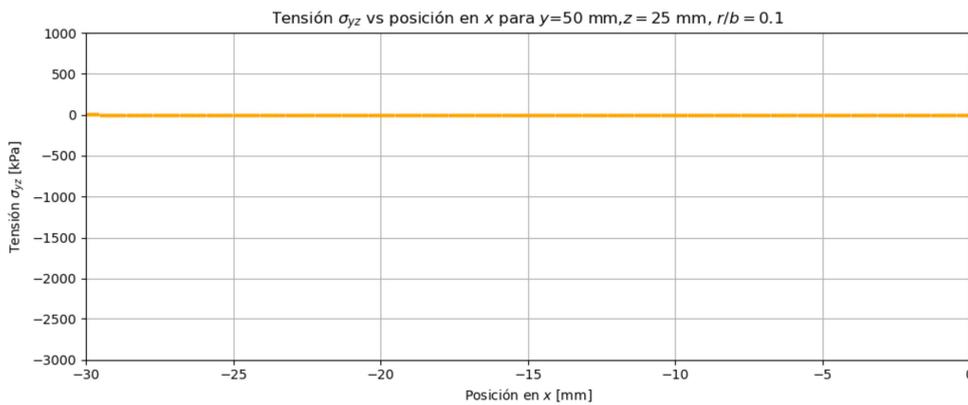
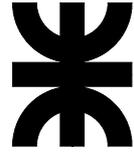
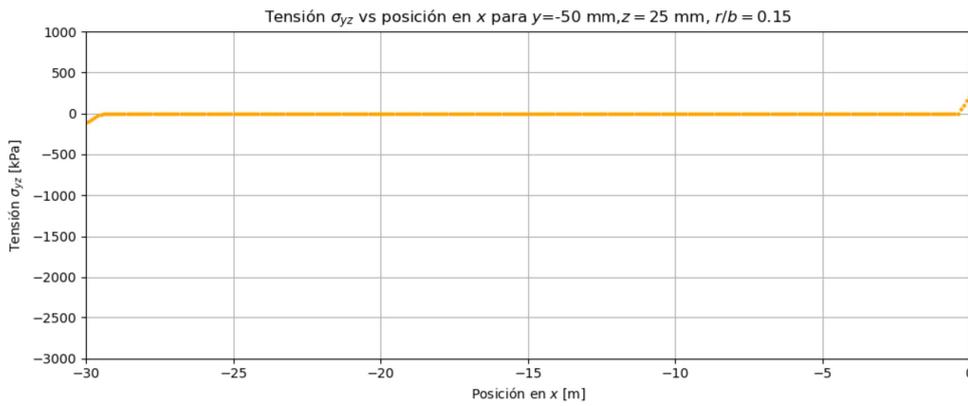


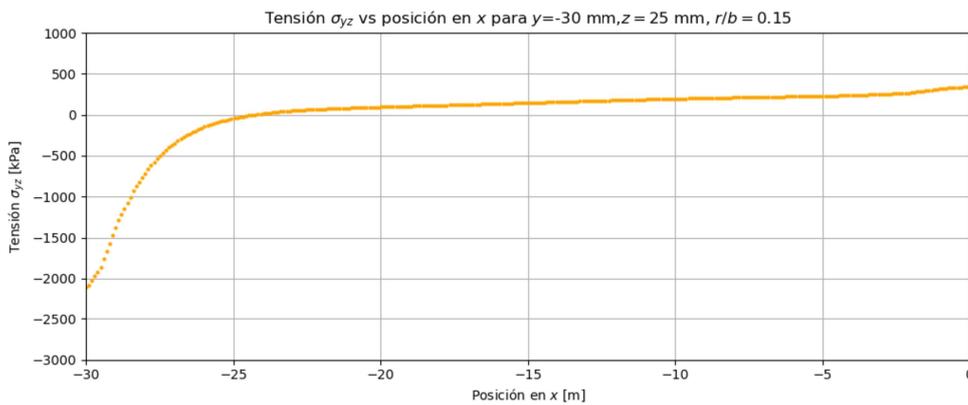
Fig.29 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para  $Y=50$ mm,  $Z=2,5$ mm,  $r/b=0,1$



Para una ranura de radio 0,75mm.  $r/b=0,15$  tenemos :



*Fig30 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-50mm, Z,5mm, r/b=0,15*



*Fig31 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-30mm, Z,5mm, r/b=0,15*

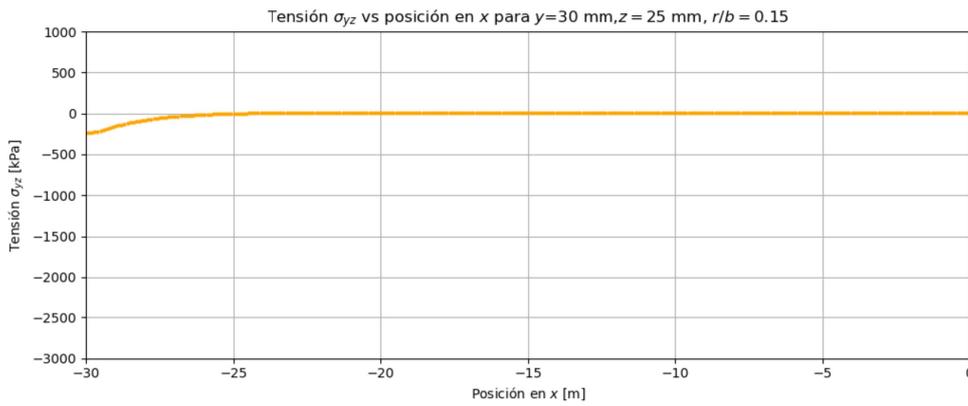
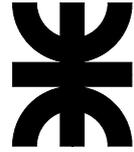


Fig32 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=30mm, Z2,5mm, r/b=0,15

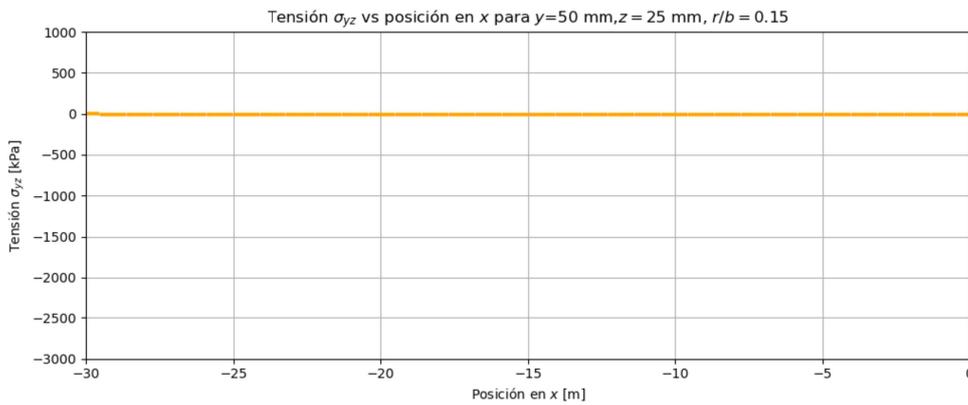
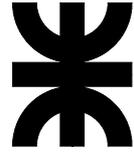


Fig33 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=50mm, Z2,5mm, r/b=0,15



Para una ranura de radio 1mm.  $r/b=0,2$  tenemos :

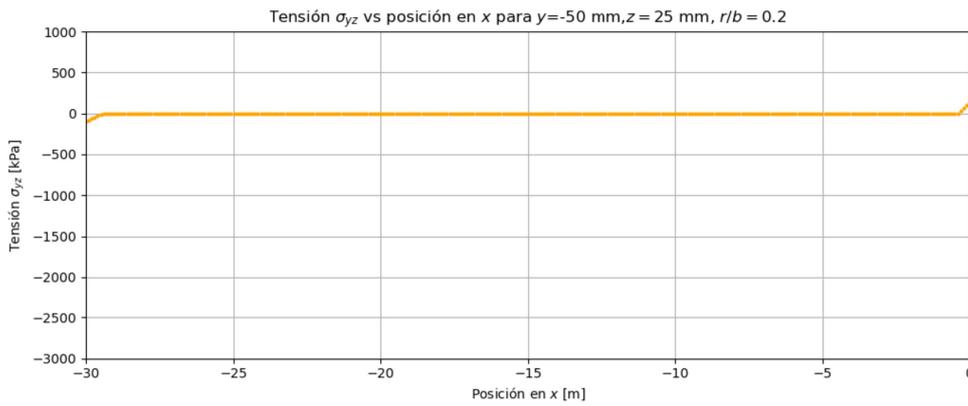


Fig34 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-50mm, Z2,5mm,  $r/b=0,2$

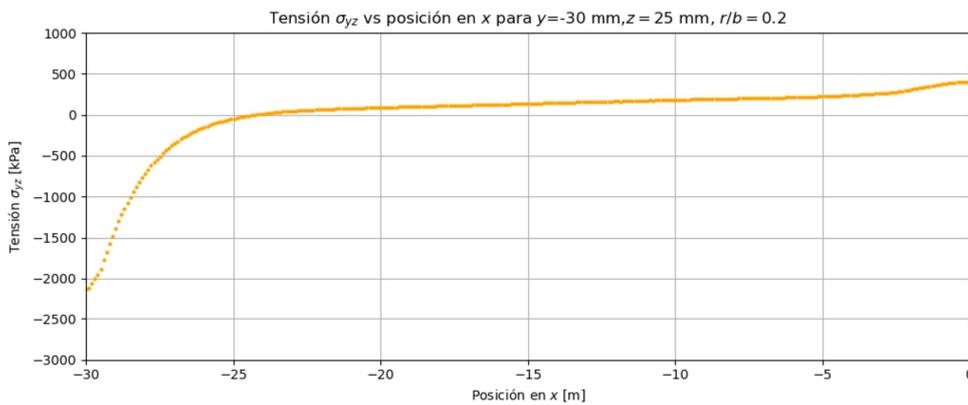
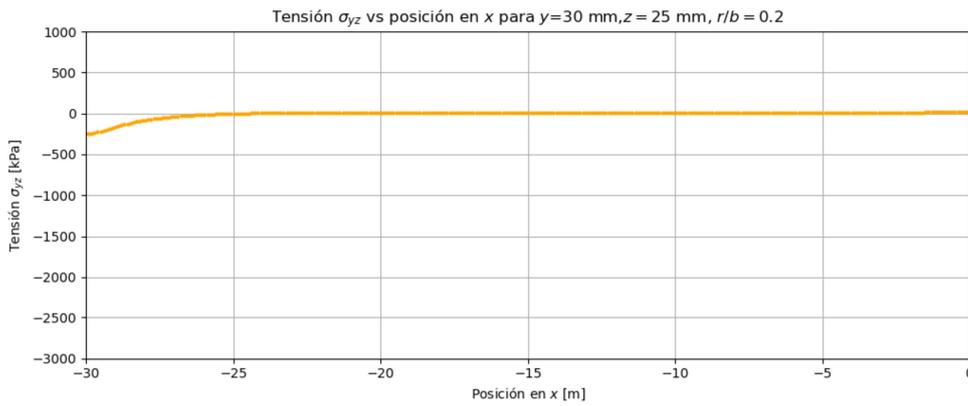
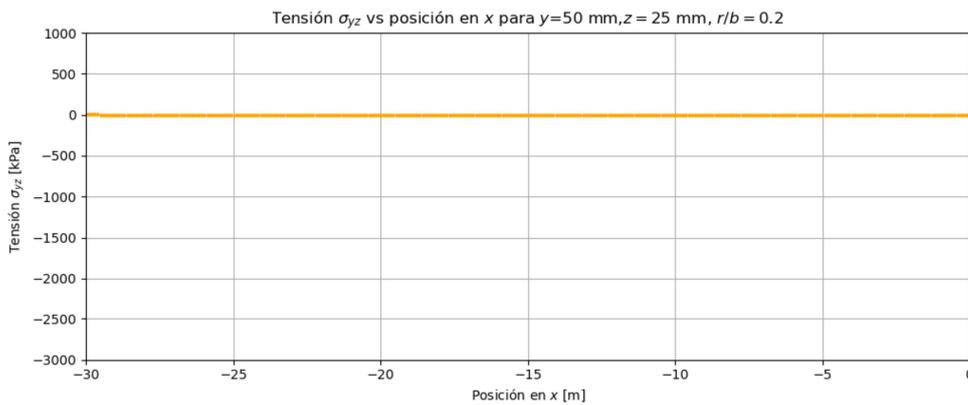


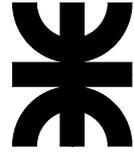
Fig35 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=-30mm, Z2,5mm,  $r/b=0,2$



*Fig36 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=30mm, Z=25mm, r/b=0,2*



*Fig37 – Tensión  $\sigma_{yz}$  vs posición en X para Y=50mm, Z=25mm, r/b=0,2*



## Tensiones de Von Mises

Consideraremos, además, las tensiones de Von Mises, ya que son un criterio utilizado para caracterizar la fluencia en materiales.

En la Fig.38 se muestra una imagen de la variación de las tensiones de Von Mises en magnitud.

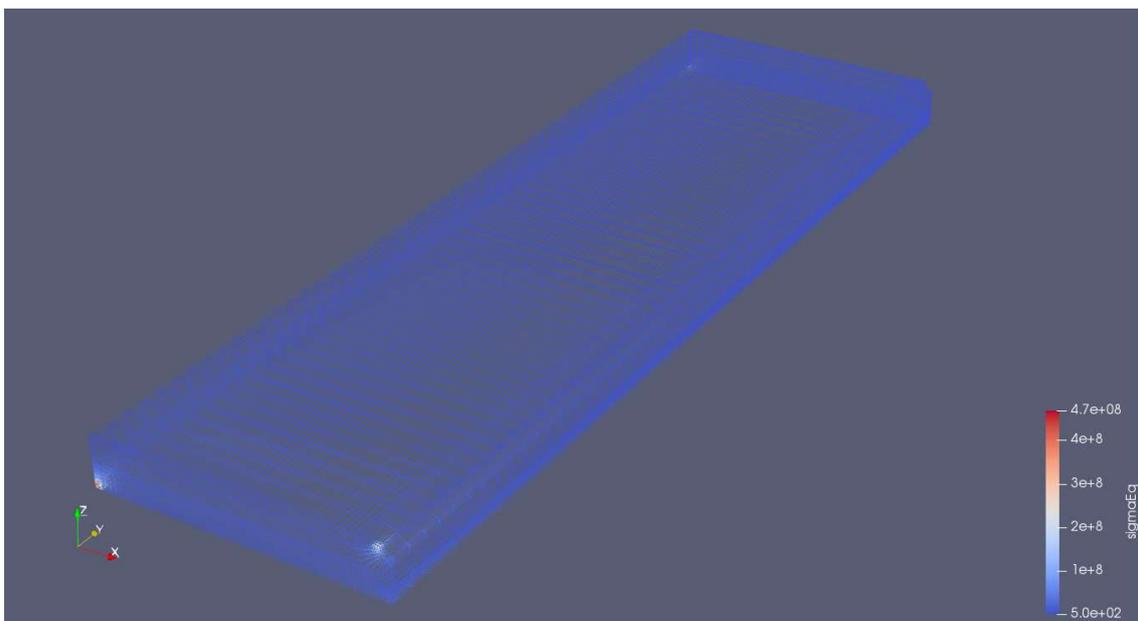
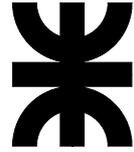


Fig.38- Modelo 3D de la muestra en el tiempo,  $t=100$ . Tensiones de Von Mises  $\sigma_{eq}$

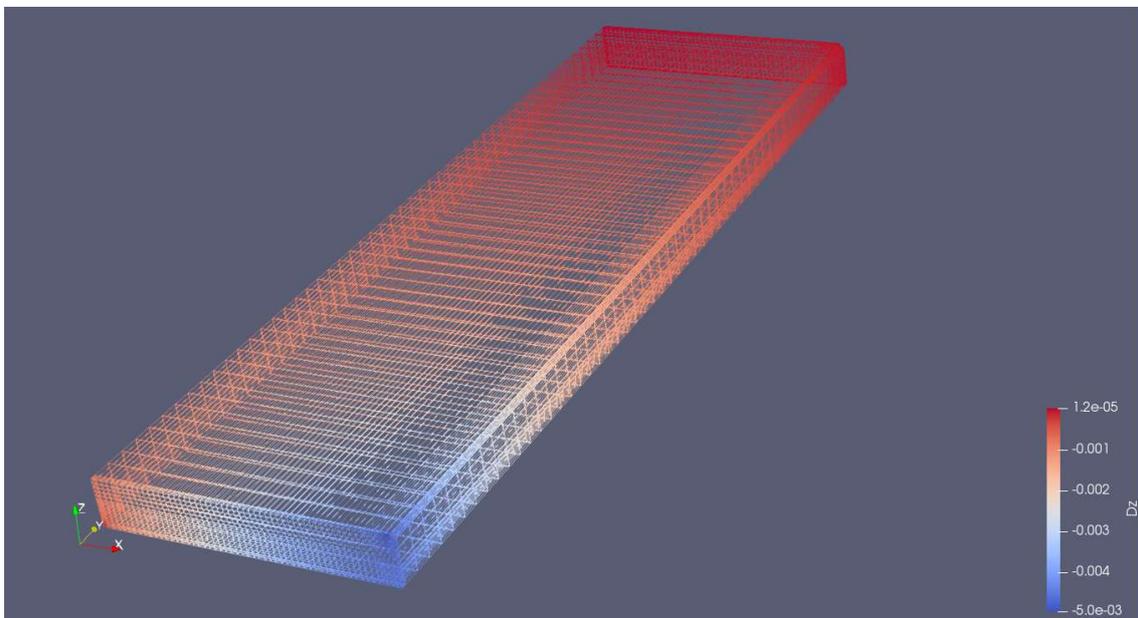


## Desplazamientos

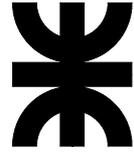
De la misma manera mediante la función >post processing de OpenFOAM , el software realiza los gráficos de desplazamiento correspondientes al plano YZ, desplazamientos sobre planos paralelos a la ranura y al plano XZ, desplazamientos sobre planos paralelos a la cara frontal de la muestra, osea perpendicular a la ranura, ambos en la dirección del eje Z. Variando la posición de dichos planos obtendremos los valores en los distintos puntos.

Los gráficos obtenidos relacionan los desplazamientos respecto a la posición del plano y la cara que se esta analizando.

En la Fig.39 se muestra una imagen de la variación de los desplazamientos en magnitud de acuerdo a una escala de colores de la media probeta analizada.



*Fig.39 - Modelo 3D de la muestra en el tiempo,  $t=100$ . Desplazamiento  $\delta Z$*



### Desplazamientos en el plano YZ (planos paralelos a la ranura)

Se verá en los gráficos, los desplazamientos en ordenada al origen y la variación de la dimensión longitudinal de la muestra en abscisas a medida que variamos la posición del plano sobre el eje X.

Comenzamos con una ranura de 0,5mm de radio. Establecemos una relación entre el radio de la ranura y el espesor de la muestra ( $r/b$ ), en este caso la relación es de 0,1.

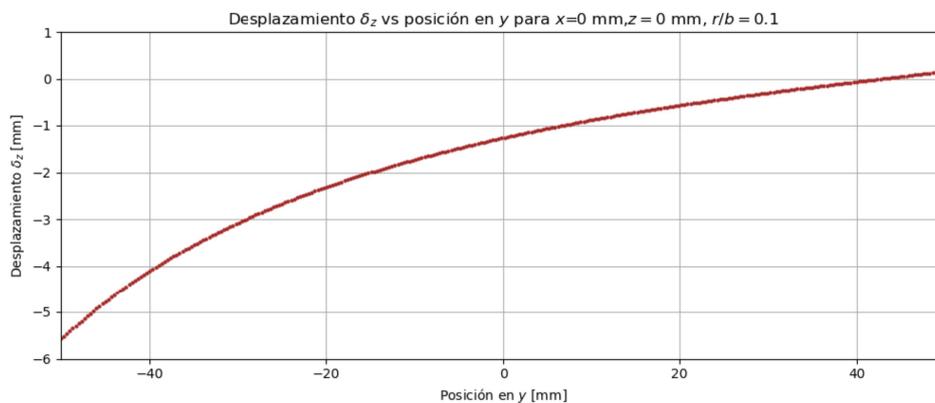


Fig.40 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=0$ mm,  $r/b=0,1$

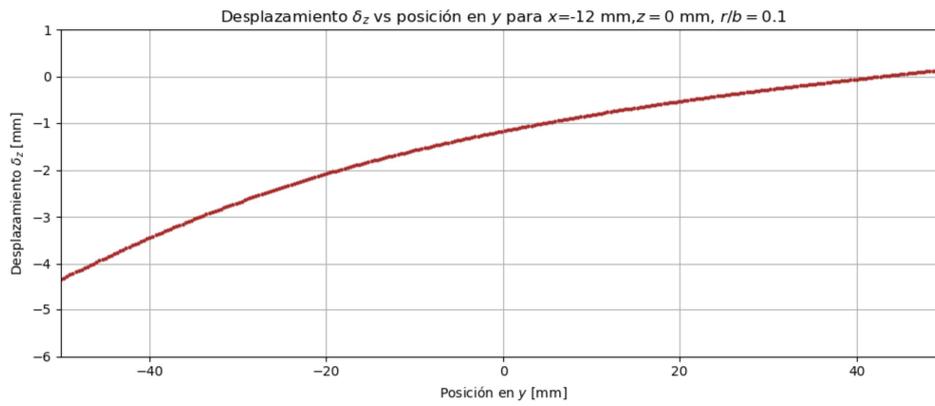
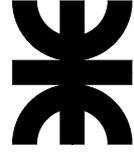


Fig.41 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-12$ mm,  $r/b=0,1$

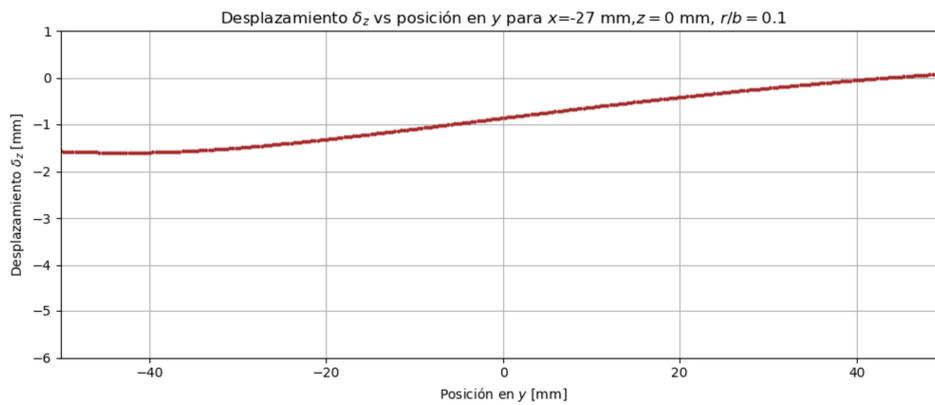


Fig.42 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-27$ mm,  $r/b=0,1$

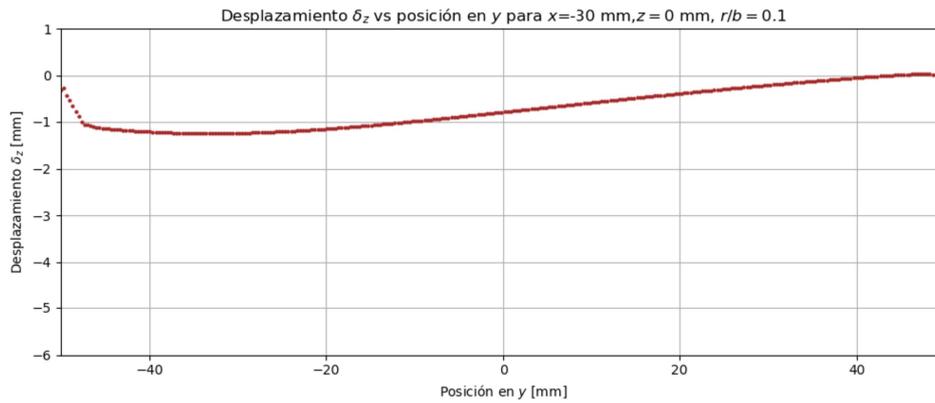
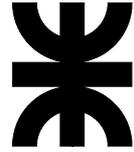


Fig.43 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-30$ mm,  $r/b=0,1$

Para una ranura de radio 0,75mm.  $r/b=0,15$  tenemos :

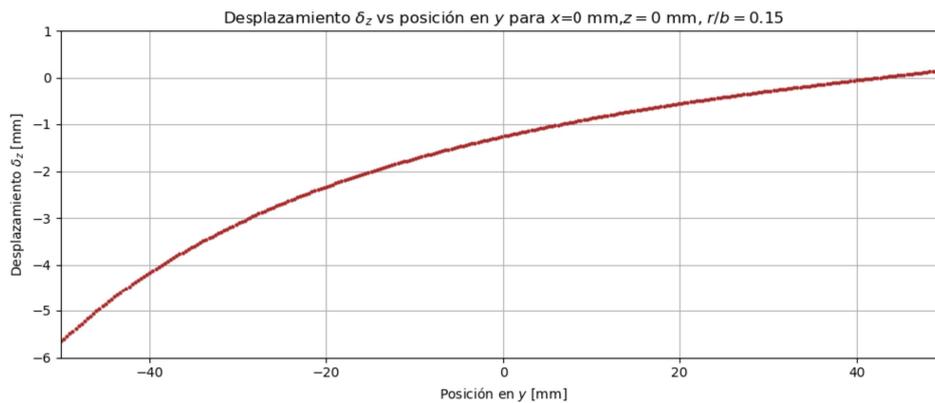
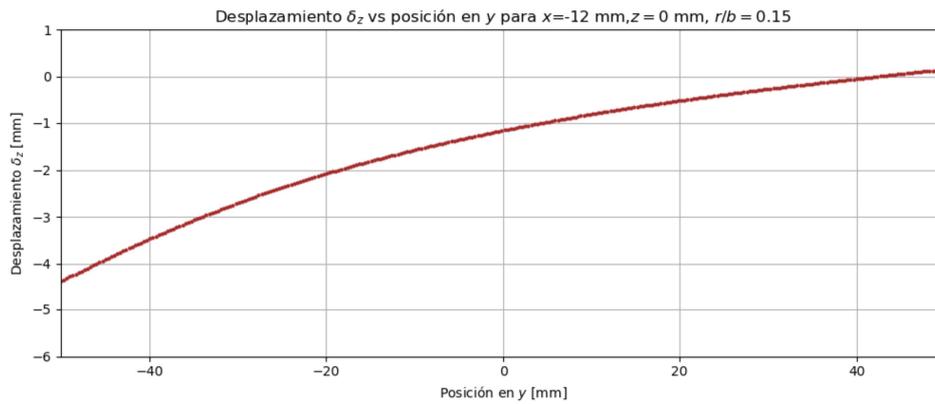
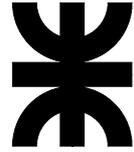
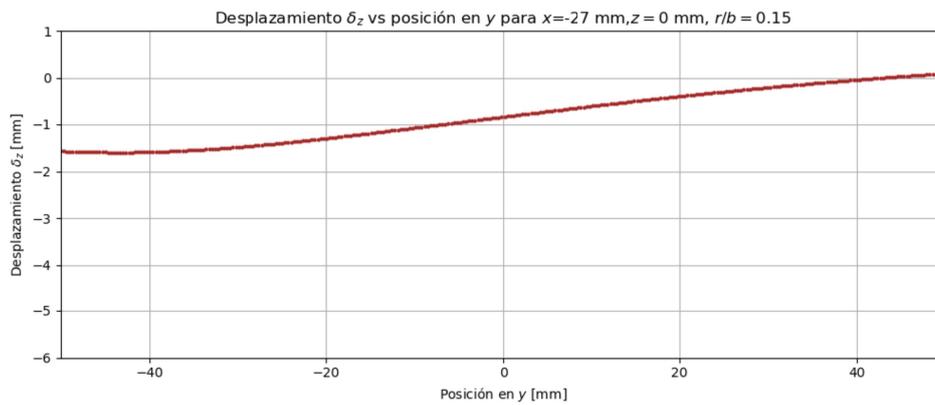


Fig.44 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=0$ mm,  $r/b=0,15$



*Fig.45 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-12$ mm,  $r/b=0,15$*



*Fig.46 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-27$ mm,  $r/b=0,15$*

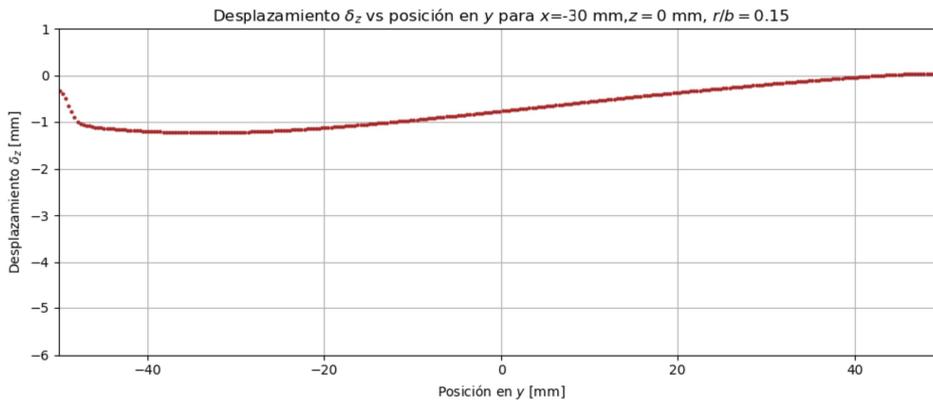
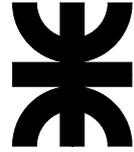


Fig.47 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-30\text{mm}, r/b=0,15$

Para una ranura de radio 1mm.  $r/b=0,2$  tenemos :

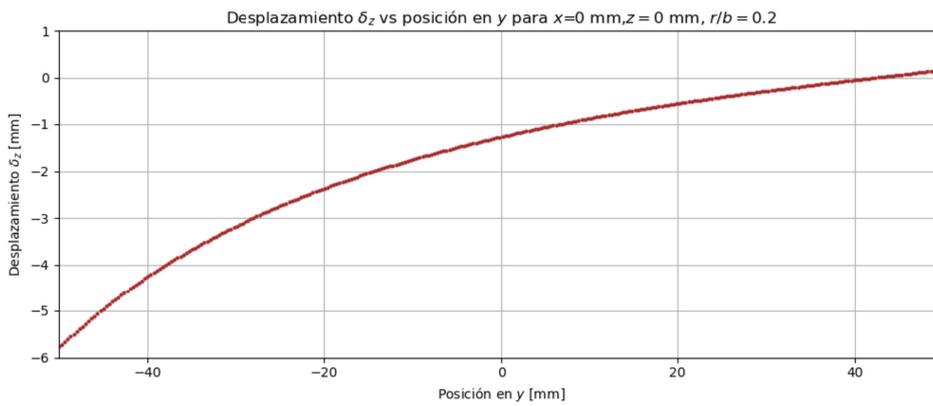
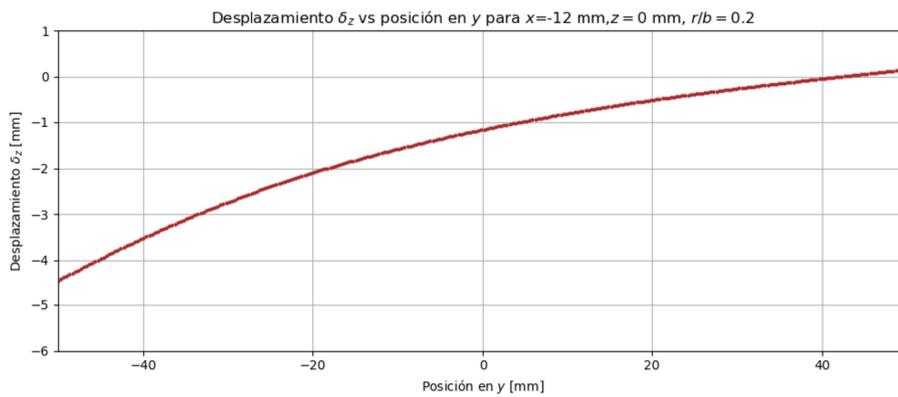
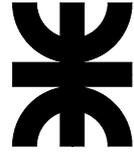
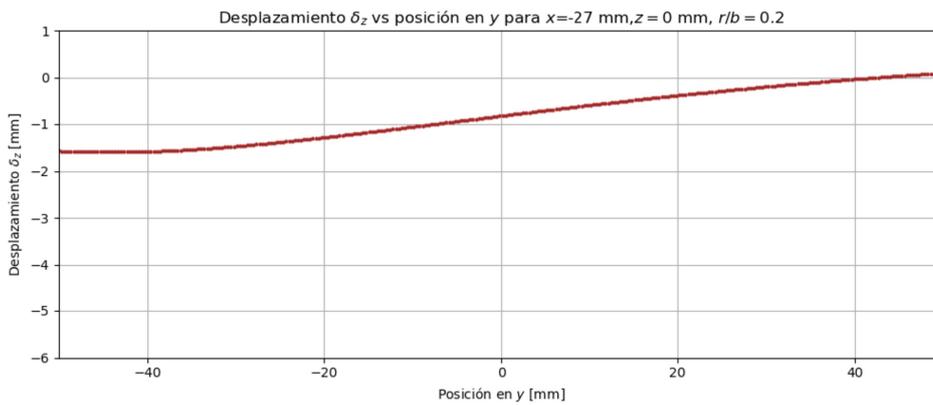


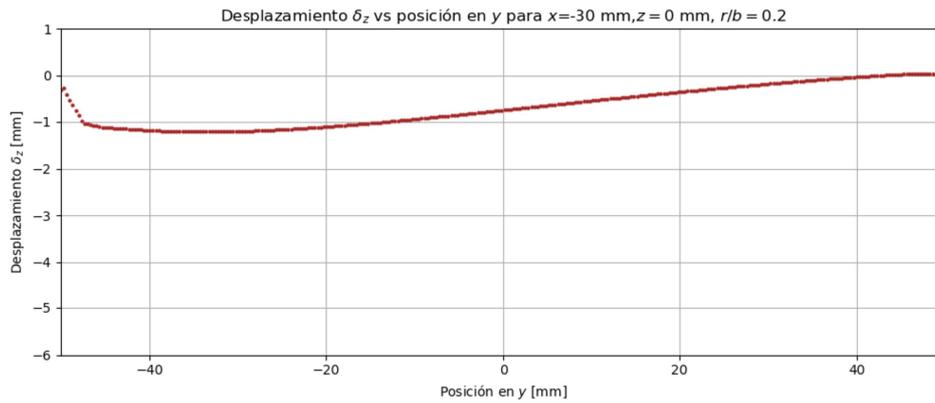
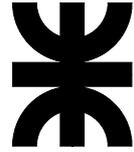
Fig.48 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=0\text{mm}, r/b=0,2$



*Fig.49 - Desplazamiento  $\delta_z$  vs posición en Y para  $X=-12$ mm,  $r/b=0,2$*



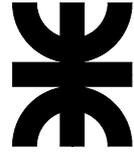
*Fig.50 - Desplazamiento  $\delta_z$  vs posición en Y para  $X=-27$ mm,  $r/b=0,2$*



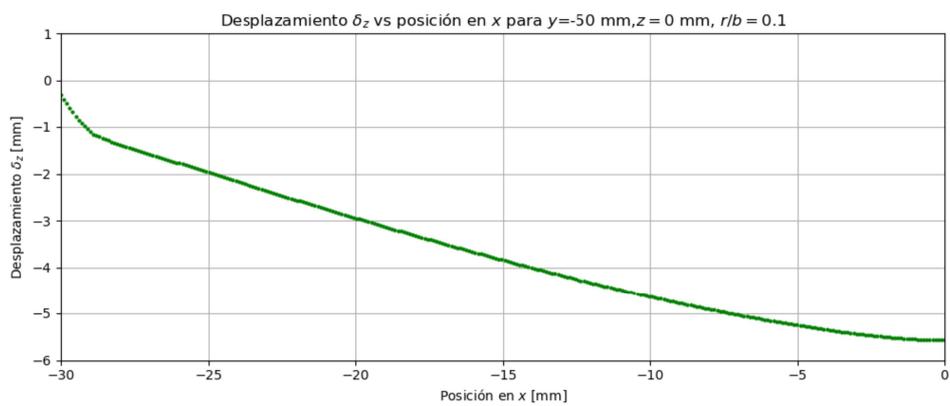
*Fig.51 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en Y para  $X=-30\text{mm}$ ,  $r/b=0,2$*

### Desplazamientos en el plano XZ (planos perpendiculares a la ranura)

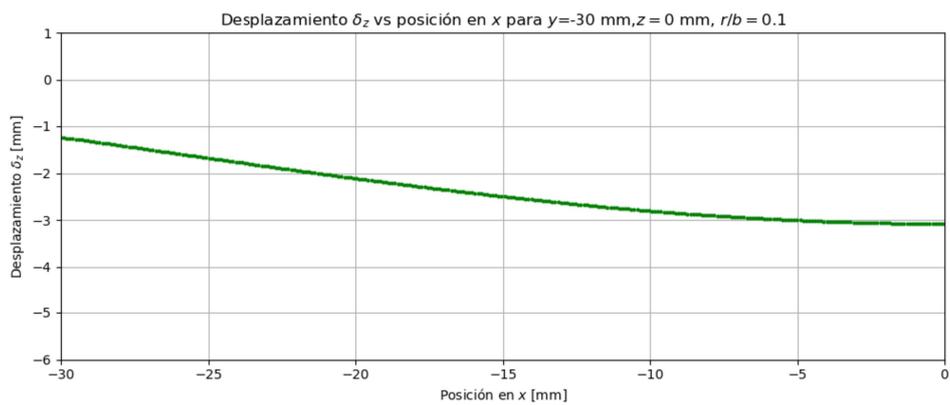
Se verá en los gráficos, los desplazamientos en ordenada al origen y la variación del ancho de la muestra en abscisas a medida que variamos la posición del plano sobre el eje Y. Recordemos que en el análisis se consideró media probeta.



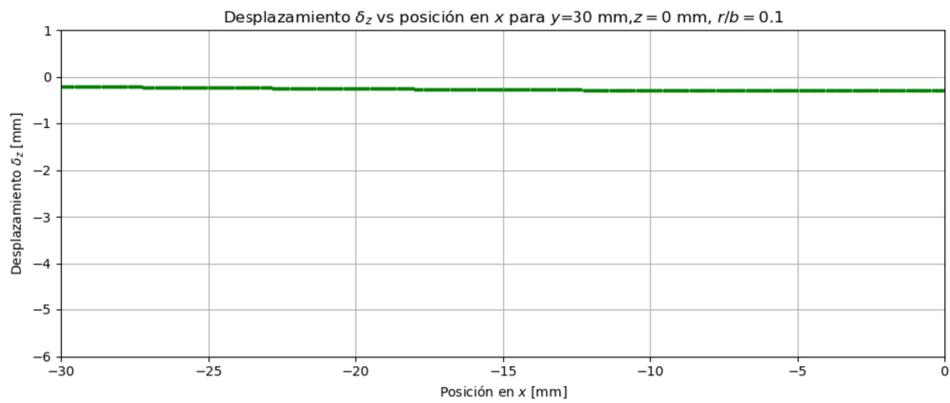
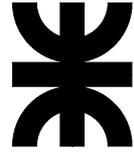
Comenzamos con una ranura de 0,5mm de radio. Establecemos una relación entre el radio de la ranura y el espesor de la muestra ( $r/b$ ), en este caso la relación es de 0,1.



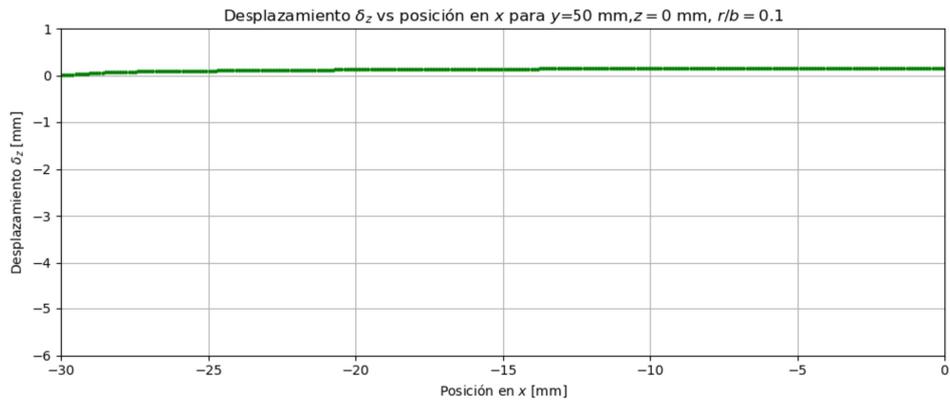
*Fig.52 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en  $X$  para  $Y=-50$ mm, $r/b=0,1$*



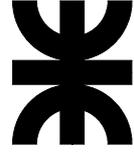
*Fig.53 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en  $X$  para  $Y=-30$ mm, $r/b=0,1$*



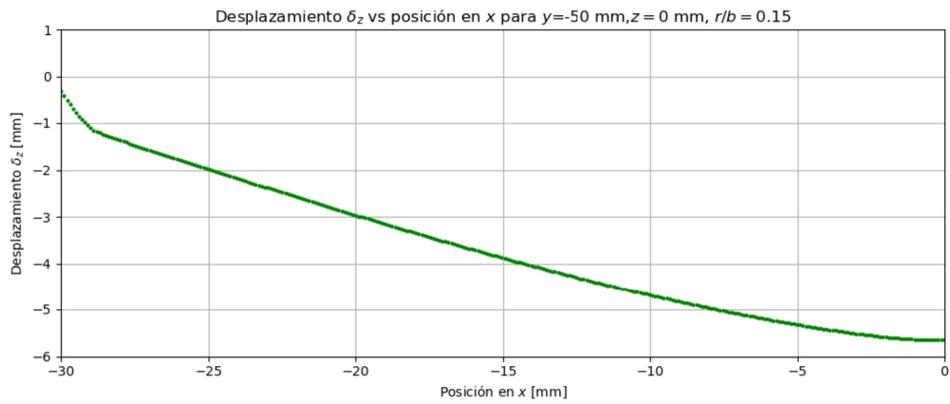
*Fig.54 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=-30$ mm, $r/b=0,1$*



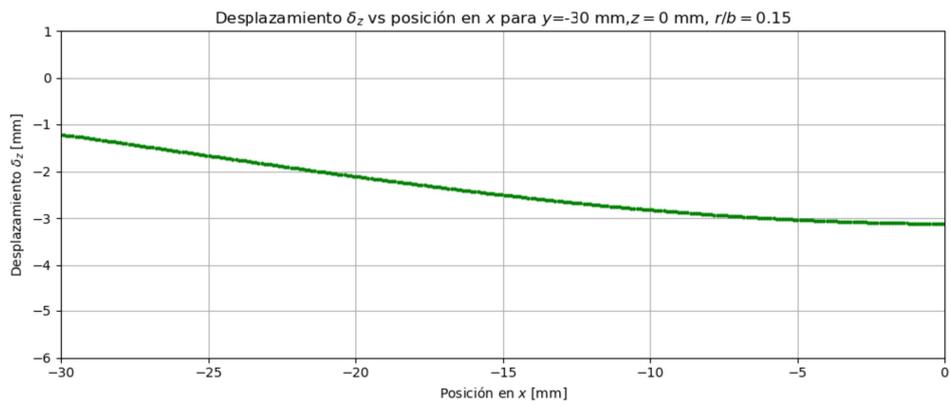
*Fig.55 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=30$ mm, $r/b=0,1$*



Para una ranura de radio 0,75mm.  $r/b=0,15$  tenemos :



*Fig.56 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para Y=-50mm,  $r/b=0,15$*



*Fig.57 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para Y=-30mm,  $r/b=0,15$*

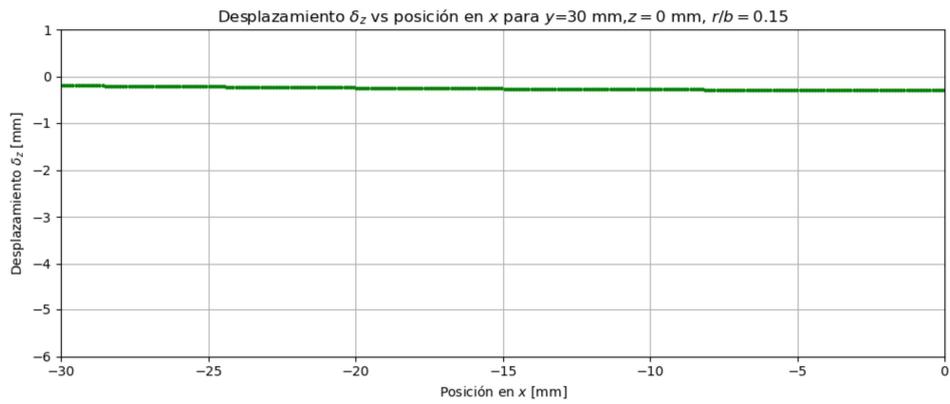
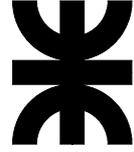


Fig.58 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=30$ mm,  $r/b=0,15$

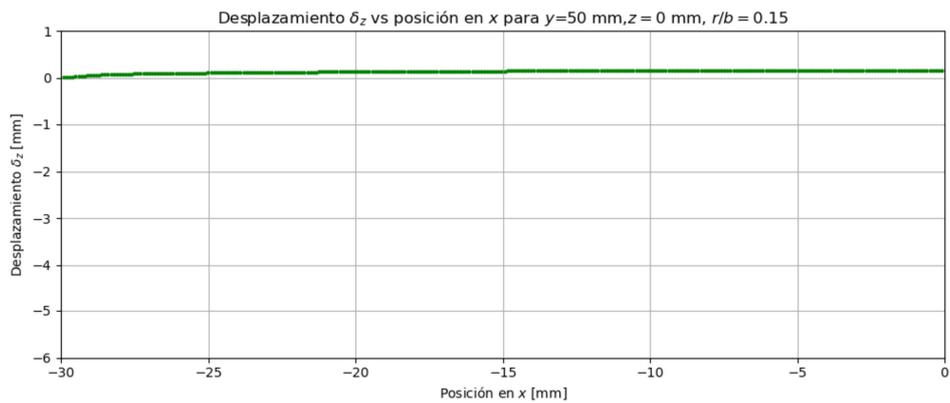
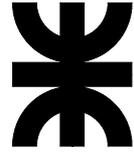


Fig.59 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=50$ mm,  $r/b=0,15$



Para una ranura de radio 1mm.  $r/b=0,2$  tenemos :

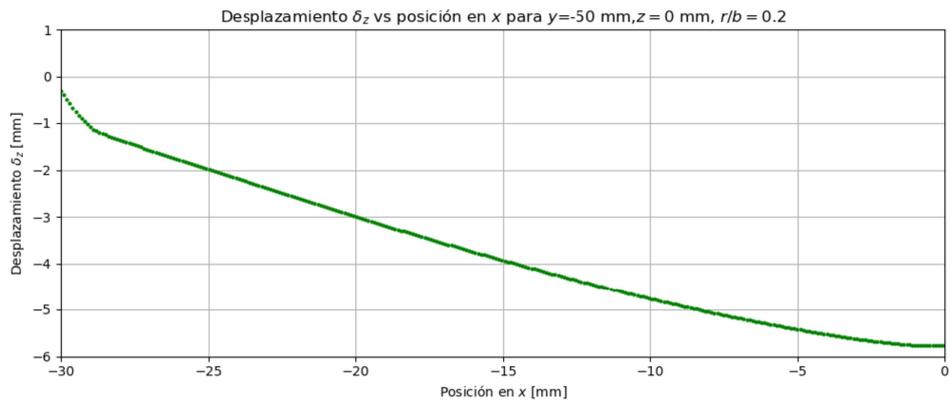


Fig.60 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=-50\text{mm}$ ,  $r/b=0,2$

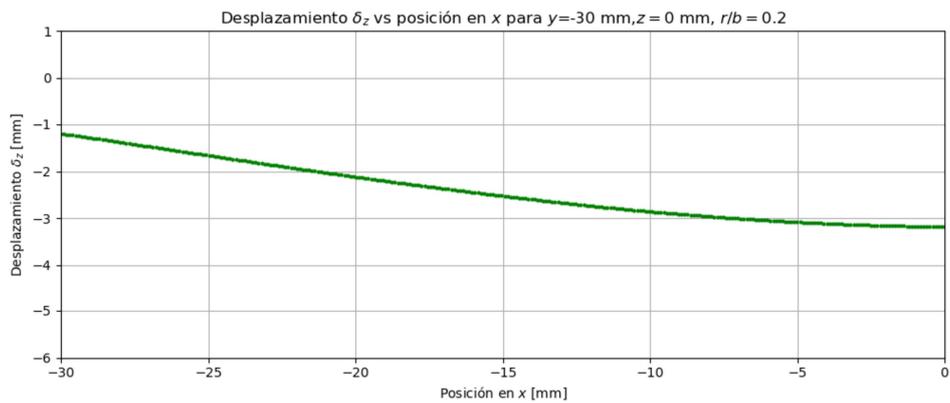


Fig.61 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en X para  $Y=-30\text{mm}$ ,  $r/b=0,2$

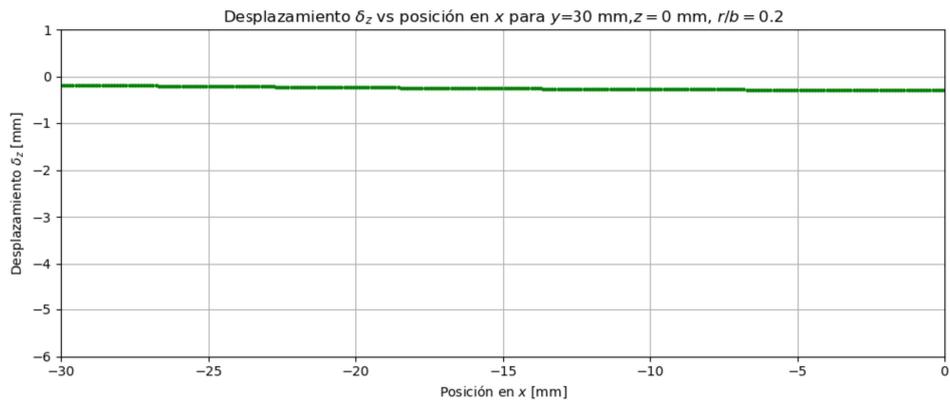
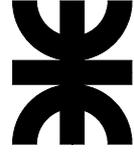


Fig.62 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en  $X$  para  $Y=30\text{mm}$ ,  $r/b=0,2$

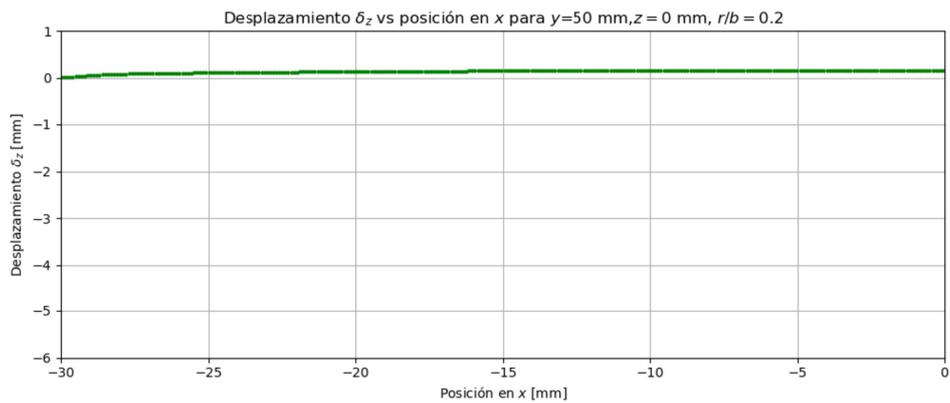
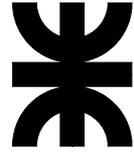


Fig.63 - Desplazamiento  $\delta Z$  vs posición en  $X$  para  $Y=50\text{mm}$ ,  $r/b=0,2$



## Análisis de resultados

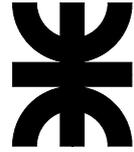
Mediante los diagramas de tensiones de corte, se puede verificar como se produce el efecto de torsión en el periodo elástico del material. Se puede apreciar en los planos perpendiculares a la ranura, como la tensión de corte es mayor en las cercanías a donde se aplica la carga y en la medida que nos alejamos, dicha tensión disminuye. Hay que remarcar que en los planos perpendiculares más cercanos al lugar de aplicación de carga, la zona de los extremos de la muestra es mucho mayor la tensión de corte pero en sentido contrario, respecto al centro de la muestra.

Por otro lado, en los planos paralelos a la ranura, también en las proximidades a donde se aplica la carga la tensión es mayor, pero a diferencia del anterior, a medida que nos alejamos de la ranura, va aumentando la tensión de la parte alejada en mucho menor proporción que la que se encuentra en las cercanías de la aplicación de carga.

De este modo, la media probeta sufre un efecto de torsión hacia el centro de la muestra. Si tenemos en cuenta el mismo efecto producido sobre la media probeta restante, pero en el sentido contrario, el comportamiento queda definido como el de dos barras torsionándose, o sea un efecto de doble torsión.

Respecto los desplazamientos, dejan de manifiesto tal efecto de torsión, denotando en los planos paralelos y perpendiculares mayor deformación en las cercanías a la aplicación de carga. En los planos perpendiculares se puede observar como la deformación en el extremos contrario al de aplicación de carga es mayor, por lo que justifica que la tensión en esa zona sea mayor.

Por último, también se observan los desplazamientos de la muestra en la zona mas alejada de aplicación de carga en sentido longitudinal de la misma, tanto en los planos paralelos como perpendiculares, acusan la torsión de la muestra.



## Conclusión

En la Fig.64 se aprecia la relación entre las tensiones de Von Mises en el comienzo de la ranura, para la relación radio espesor ( $r/b$ ). Se observa que a medida que disminuye la relación  $r/b$ , entre radio de entalla y espesor de muestra, las tensiones de Von Mises en ese punto son mayores. Este dato indica que se podrían realizar ensayos con menor carga en la prensa para lograr la misma concentración de tensiones, logrado así disminuir los requerimientos de resistencia de la máquina de ensayo.

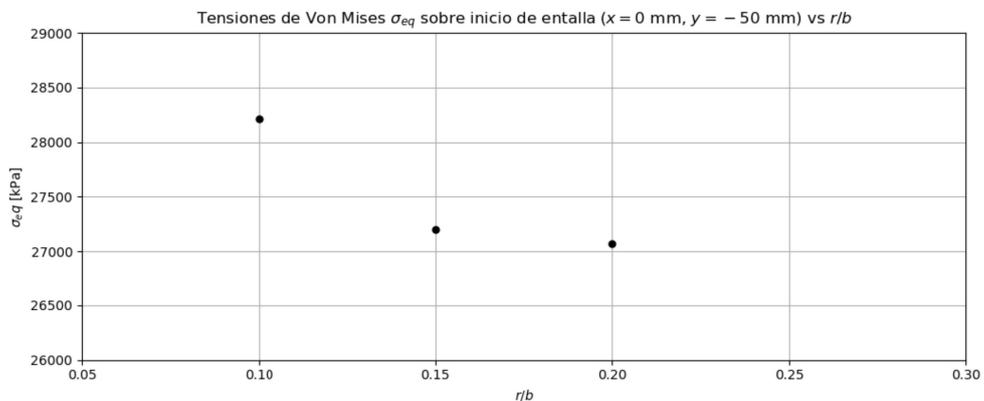
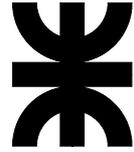


Fig.64 - Tensiones de Von Mises  $\sigma_{eq}$  vs  $r/b$ , sobre el inicio de la ranura ( $X=0mm$ ,  $Y=-50mm$ )

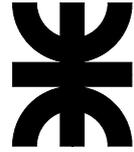


La PS se desarrolló por completo, siendo un buen comienzo respecto al estudio en el área de geomecánica de los reservorios, mecánica de rocas/materiales y diseño mecánico, en este caso, haciendo énfasis en el ensayo de doble torsión y los parámetros que lo rigen. Por problemas de software, se ha optado por cambiar de Abaqus a OpenFOAM para el análisis de muestras, resultando exitoso. Como conclusión, se realizó satisfactoriamente el diseño y montaje del dispositivo para ensayos de doble torsión. Los resultados del estudio de muestras fueron favorables, resta poder realizar ensayos con muestras de geomateriales, es decir, ensayar con muestras de formaciones y yacimientos reales. Esto es de un valor muy grande, ya que con este simple ensayo, se obtiene mucha información. Queda por delante, perfeccionar la técnica del ensayo a fin de aumentar la precisión y confiabilidad.

## Relación de la PS con materias de la carrera

El trabajo llevado adelante puede vincularse con diversas materias cursadas en la carrera de Ingeniería Mecánica.

La inicial y base de la misma es la materia “Geomecánica de los reservorios”, que estudia los esfuerzos en un proceso de simulación de reservorios, evaluando la influencia de compactación, hundimiento, reactivación de fallas, integridad de los pozos, etc.; aquí estudiamos la fractura subcrítica de un geomaterial mediante un dispositivo diseñado, donde se debía tener como base la materia cursada para entender los conceptos que entran en juego, como tensión en geomateriales, comportamiento de diferentes materiales bajo tensión y corrosión a la hora de analizar los ensayos.



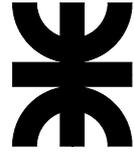
Toda la información brindada por el tutor estaba en inglés por ende la formación obtenida en las materias “Inglés I y II” fueron necesarias para la lectura e interpretación de cada uno de los papers.

Al momento de analizar las características y aptitudes de los tipos de materiales que considerábamos como opción, aplicamos conocimientos obtenidos de la materia “Materiales Metálicos” comparando características como deformabilidad y límite de fluencia respecto al peso y eligiendo el aluminio como el material que más beneficio nos brindaría.

En cuanto al análisis de tensiones y desplazamientos, de gran importancia en el trabajo realizado, se emplearon los conocimientos adquiridos en la materia “Estabilidad I y II”.

Para la etapa de control de las piezas, los conocimientos aplicados fueron adquiridos en la materia “Metrología e Ingeniería de Calidad”.

Finalmente, en lo referido al modelado y análisis de la muestra mediante volúmenes finitos, la carrera cuenta con materias electivas para tener una formación en el tema, y áreas en el departamento que brindan información respecto a ello.



## Referencias

- K. P. Marimuthu , K. Lee , H. Le (2011) Numerical Simulation of Crack Propagation in Double Torsion Test
- Ciccotti M (2000) Realistic finite-element model for the double-torsion loading configuration. J Am Ceram Soc 83:2737–274
- Ciccotti M, Negri N, Gonzato G, Mulargia F (2001) Practical application of an improve methodology for the double torsion load relaxation method. Int J Rock Mech Min Sci 38:569– 576
- A. Shyam & E. Lara Curzio. (2006). “The double- torsion testing technique for determination of fracture toughness and slow crack growth behavior of materials: A review”
- P. J. Diaz, J. M. Carvajal & M. F Palencia Muñoz (2011). “Double torsion testing machine to determine the subcritical fracture index in rocks.

---

**UTN – LA PLATA**

**Dto. Ingeniería mecánica**

**Práctica Supervisada**

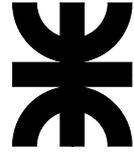
**Ensayo doble torsión – Diseño óptimo, verificación y validación de probetas.**

Calle 60 esq. 124 s/n

La Plata, Buenos Aires, Argentina

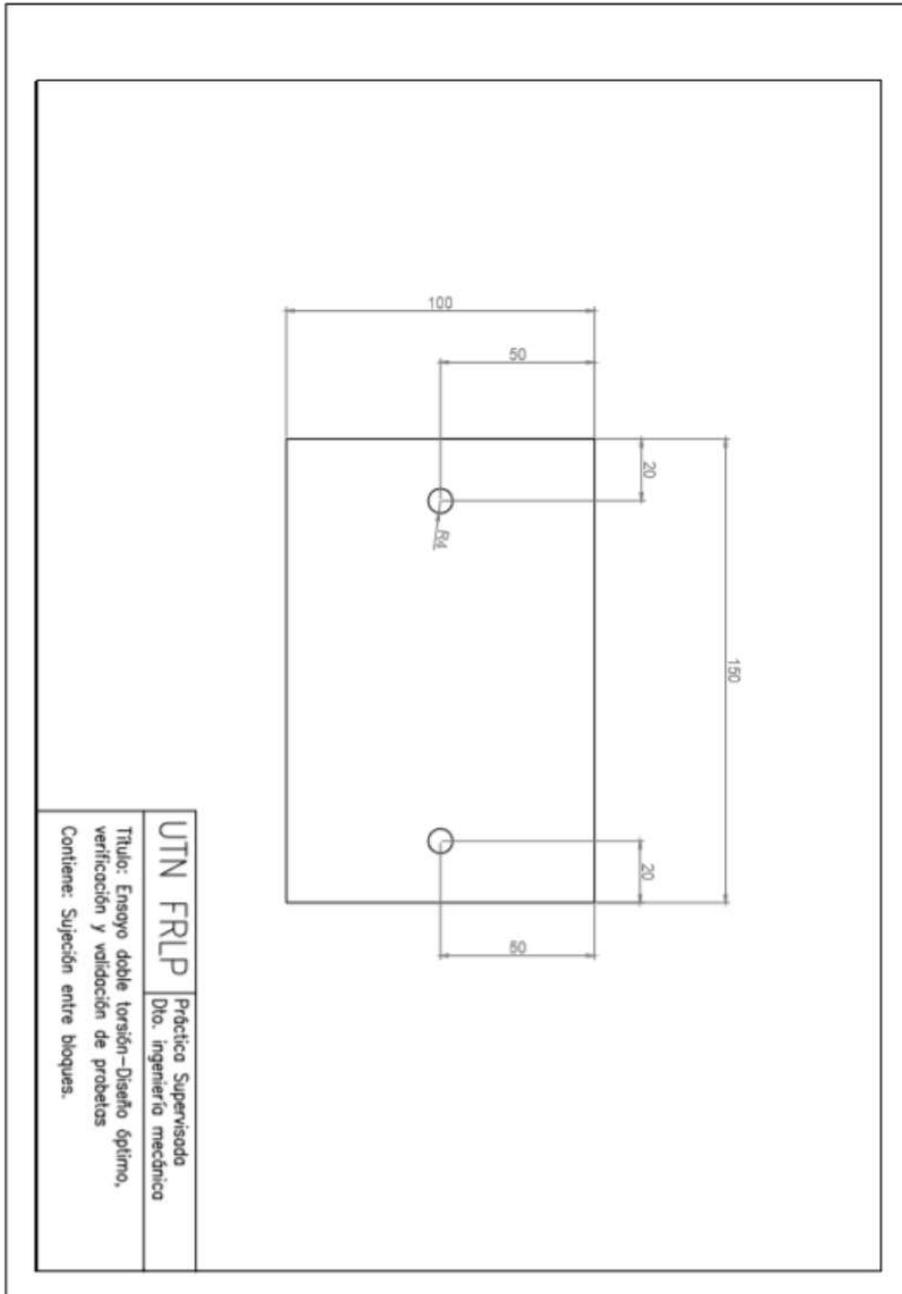
Tel: +54-221-421-7578 / +54-221-489-0421 / 482-4855

---



# Anexo





**UTN – LA PLATA**

**Dto. Ingeniería mecánica**

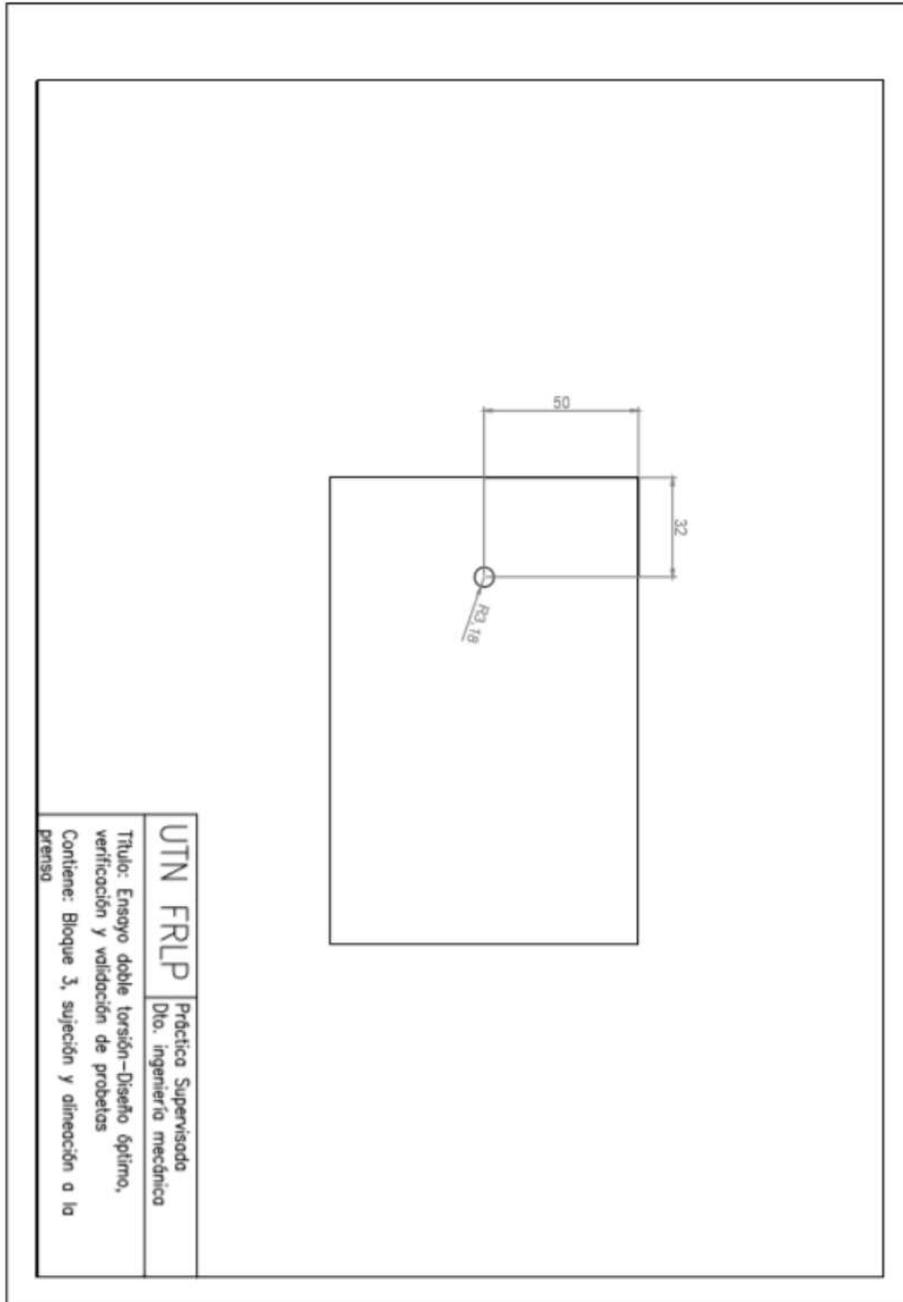
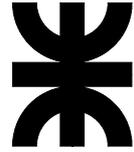
**Práctica Supervisada**

**Ensayo doble torsión – Diseño óptimo, verificación y validación de probetas.**

Calle 60 esq. 124 s/n

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Tel: +54-221-421-7578 / +54-221-489-0421 / 482-4855



**UTN – LA PLATA**

**Dto. Ingeniería mecánica**

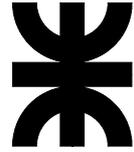
**Práctica Supervisada**

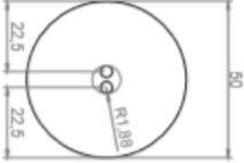
**Ensayo doble torsión – Diseño óptimo, verificación y validación de probetas.**

Calle 60 esq. 124 s/n

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Tel: +54-221-421-7578 / +54-221-489-0421 / 482-4855



	
Práctica Supervisada	
Dto. Ingeniería mecánica	
Título: Ensayo doble torsión – Diseño óptimo, verificación y validación de probetas	
Contiene: Cilindro penetradores	