

# **DISEÑO Y ENSAYO EN ESTRUCTURA DE COMPETICION**

Ruiz, Gonzalo

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional.

## **RESUMEN**

El presente trabajo se establece sobre el diseño para su posterior ensayo de una estructura de competición, que pertenece a una categoría zonal del sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Esta es una estructura de fabricación artesanal, con preparación libre. En este caso el diseño es personal y cuenta con las medidas reglamentarias bajo reglamento técnico 2023 de la categoría Mar y Sierras A.

Se desarrollará una estructura basada en un reticulado espacial, este fundamento radica en el desarrollo de una estructura mediante la composición de figuras triangulares. No solo deberá cumplir la función de vincular adecuadamente las suspensiones y por lo tanto hacer que nuestro vehículo responda a los cambios de puesta a punto (rigidez del chasis); sino también brindar seguridad del piloto en caso de accidentes.

También se prestará atención a otros aspectos que forman parte del diseño global como ser: peso, características de los materiales usados, reglamentos, espacios disponibles, ergonomía, etc.

Hoy en día, gracias a los programas de diseño, eso ha llegado a un gran nivel de desarrollo, ya que generando el mismo en algún software, y luego ensayándolo a la deformación, podemos observar la rigidez, deformación y el peso de este entre otros aspectos.

## **INTRODUCCIÓN**

Un buen rendimiento de nuestro vehículo depende entre otras cosas, de un adecuado comportamiento de la parte estructural. La resistencia que esta oponga a los esfuerzos de torsión y flexión serán fundamentales.

Frecuentemente se usa el término chasis para referirse a la estructura, lo cual es incorrecto, debiendo utilizarse en ese caso el término estructura o bastidor.

En primera instancia se realizó una investigación para su posterior diseño, el cual fue realizado en el software de diseño SolidWorks. Para realizar el mismo se tuvieron en cuenta las medidas reglamentarias que exige la categoría.

En segunda instancia, una vez terminado el diseño de la estructura, se realizaron ensayos a través de elementos finitos, logrando la mayor rigidez estructural (rigidez a la torsión y a la flexión) y el menor peso posible de la estructura.

## **OBJETIVO**

Lograr exitosamente los parámetros óptimos admisibles de la estructura, su confiabilidad y seguridad para el piloto.

## DISEÑO

### ESTRUCTURA

Fue diseñada en el programa SolidWorks, y como se mencionó anteriormente la misma es de diseño personal.

Para el diseño se tuvo en cuenta las principales características reglamentarias:

- Chasis: Fabricación artesanal, preparación libre, no pudiendo utilizar chasis de origen deportivo ni de los denominados compactos. Únicamente está permitido reemplazar o usar largueros de caño y/o chapa estampada en doble L.
- Trochas: Tanto delantera como trasera tendrán un máximo de mil setecientos cincuenta (1750) milímetros, medido desde centro de cubierta a centro de cubierta, a la altura de las puntas de eje.
- La distancia entre ejes será de dos mil ochocientos (2800) milímetros, máximo.
- Jaula protectora de vuelcos (antivuelco) convenientemente reforzada. **Caños como mínimo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de diámetro, pared de dos (2)mm.** Se permite la utilización del caño transversal del parabrisas en cualquier chasis.
- Puertas: Deberán estar construidas de manera que el cuarenta (40) por ciento de la abertura en su parte inferior este construido en chapa.

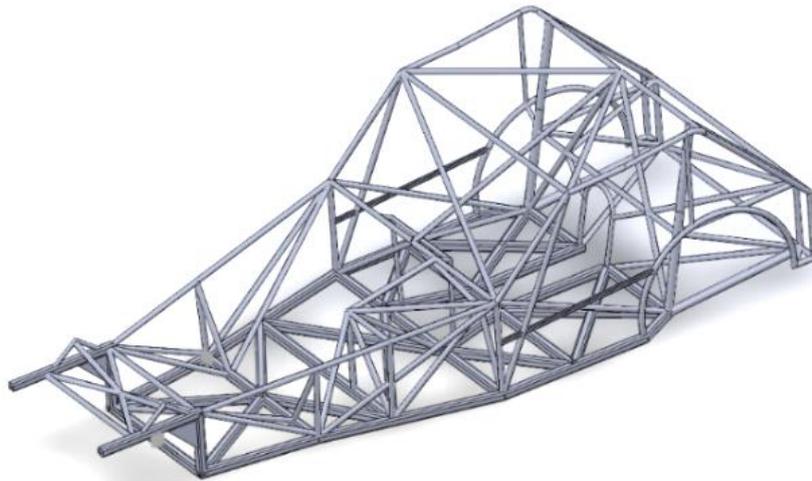


Figura 1: Diseño de estructura.

### MATERIAL

Los aceros son compuestos de hierro, de carbono y otros elementos agregados, que le confieren propiedades características. Respecto de la normalización de estos, se sigue la tipificación AISI (American Iron and Steel Institute), SAE (Society of Automotive Engineering). Existen otras normas como ASTM o DIN. Dichos institutos designan a los tipos de acero por una clave, formada por cuatro o más números a los que puede anteponerse una letra que especifique su método de elaboración.

Los números dan la composición química aproximada; el primero de ellos indica el tipo de acero, los dos últimos dan aproximadamente el tenor de carbono, en centésimas del

uno por ciento, y el, o los números restantes intermedios, señalan la presencia de otros metales en su composición.

Para la realización de la estructura, el material elegido es un acero SAE 1030 estirado en frío, el mismo contiene aproximadamente 0,3% de carbono y cuenta con un límite de fluencia de 440 Mpa (figura 2).

UNS NÚM	SAE Y/O AISI NO	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300	170	30	55	86
		CD	330	280	20	45	95
G10100	1010	HR	320	180	28	50	95
		CD	370	300	20	40	105
G10150	1015	HR	340	190	28	50	101
		CD	390	320	18	40	111
G10180	1018	HR	400	220	25	50	116
		CD	440	370	15	40	126
G10200	1020	HR	380	210	25	50	111
		CD	470	390	15	40	131
G10300	1030	HR	470	260	20	42	137
		CD	520	440	12	35	149
G1035	1035	HR	500	270	18	40	143
		CD	550	460	12	35	163
G10400	1040	HR	520	290	18	40	149
		CD	590	490	12	35	170
G10450	1045	HR	570	310	16	40	163
		CD	630	530	12	35	179
G10500	1050	HR	620	340	15	35	179
		CD	690	580	10	30	197
G10600	1060	HR	680	370	12	30	201
G10800	1080	HR	770	420	10	25	229
G10950	1095	HR	830	460	10	25	248

Figura 2: Propiedades de los aceros.

## DIMENSIONES DE TUBOS

En una estructura de competición no solo nos encontraremos con la jaula antivuelco, sino que además encontraremos bastidores o falsos chasis. El objetivo de esto es reforzar la estructura, mediante el adosado de caños, perfiles, planchuelas de acero o cuadernas de acero, para mejorar la distribución de esfuerzos.

Es por ese motivo, se utilizarán diferentes diámetros de tubos, como se puede observar a continuación.

CAÑOS	DIMENSIONES
Rojo	1"1/2 x 2mm
Gris	1" x 2mm
Azul	3/4" x 2mm
Negro	40x40mm
Naranja	20x20mm

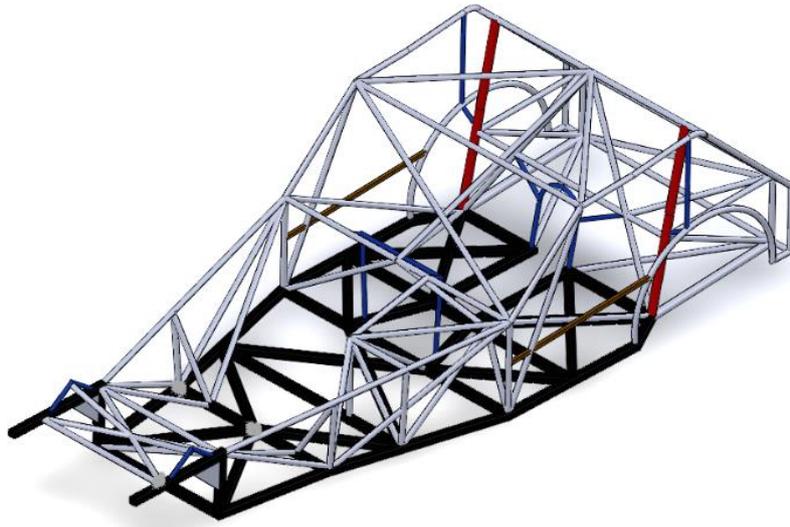


Figura 3: Selección de tubos para cada zona de la estructura.

## ENSAYO

El ensayo es una simulación a través de elementos finitos en el software SolidWorks, que nos indicara el valor de las máximas deformaciones, las cuales utilizaremos posteriormente para realizar el cálculo. En este estudio se desprecia la influencia de las chapas que conforman la estructura (figura 4).

Todo el modelo fue construido utilizando piezas soldadas. Este tipo de elementos soporta bien las tensiones de corte y simula las uniones soldadas, lo que corresponde a la mayoría de los elementos de la estructura.

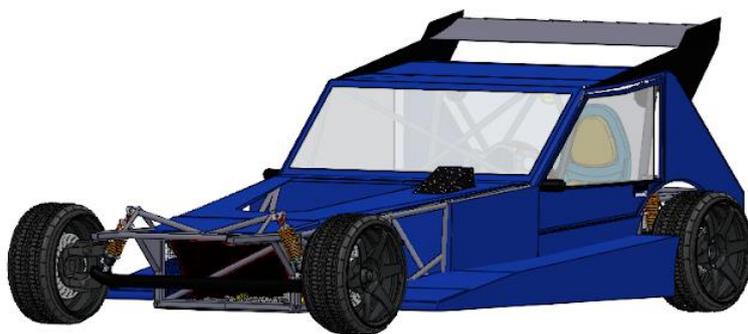


Figura 4.

En los vehículos de competición la rigidez torsional se hace necesaria para asegurar el trabajo correcto de los elementos elásticos, quienes deberían ser los únicos que se “deformen” al trabajar la suspensión. De no ser así el bastidor se transforma en un elemento elástico más, sobre el cual no tenemos ningún control. Se produce entonces

el comportamiento errático del auto, no pudiéndose poner a punto las suspensiones, confundiendo a pilotos y técnicos por igual.

La función del bastidor es servir de estructura rígida para conectar las cuatro ruedas entre sí. Debe ser capaz de soportar los componentes y ocupantes del vehículo sin deformarse. También debe servir de medio de localización y anclaje de todos los elementos que forman parte de aquel. La resistencia a la torsión se obtiene por la disposición y forma de los materiales más que por la resistencia de estos.

Las secciones cerradas tienen siempre mayor rigidez que las abiertas. En una estructura multitubular, como es en este caso, además de la rigidez de cada barra, interesa, la forma como se disponen cada una de ellas, ya que esta influye de sobremanera en la rigidez del conjunto. En una estructura de este tipo, los tubos, solo sufren esfuerzos de compresión y tracción. El secreto o arte de construir un buen bastidor, está en lograr la rigidez necesaria con bajo peso.

En este caso, el ensayo que se realizó sobre la estructura es de tipo estático, y se estudió a la torsión. Al realizar este tipo de ensayo, como venimos comentando, se puede observar tanto la rigidez de la estructura, como las máximas deformaciones.

Lo primero que se logra buscar es la simulación de un banco de torsión real (figura 5), pero a través del software de diseño.

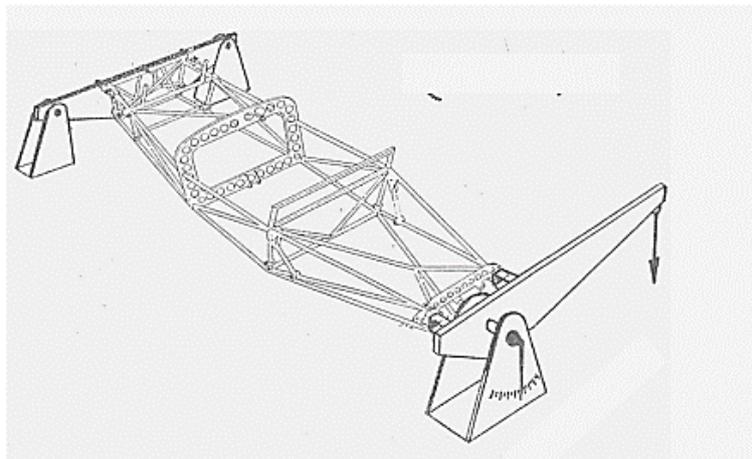


Figura 5: Banco de torsión real.

En cuanto a las relaciones de contorno asumidas para realizar el ensayo fueron de la siguiente manera, se empotraron los anclajes de amortiguador traseros (restringiendo desplazamientos verticales, longitudinales y transversales), se restringió verticalmente el centro de la parte delantera y sobre uno de los anclajes de amortiguador delantero se aplicó una carga vertical, de forma de crear las componentes del momento torsor.

Para este estudio, por tratarse de una estructura no simétrica en el sentido longitudinalmente, se estimó la rigidez torsional en sentido anti-horario (figura 6) y en sentido horario (figura 7).

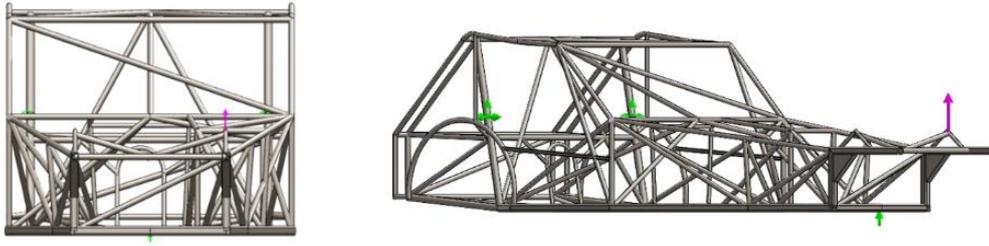


Figura 6: Momento en sentido anti-horario.

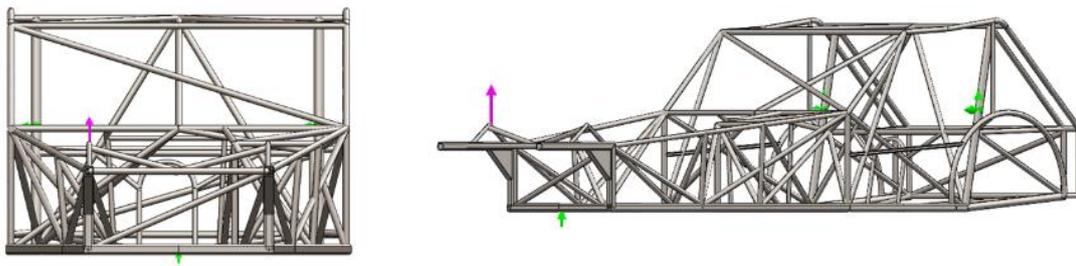


Figura 7: Momento en sentido horario.

### CALCULO DE RIGIDEZ TORSIONAL

Una vez obtenida la máxima deformación procederemos a calcular a través de la formula el valor de la rigidez torsional de la estructura.

Para cuantificar esta propiedad usamos unidades como, kilográmetros por grado de deformación o también en Nm / grado o libra - pie / grado. Por ejemplo, si al aplicar 1500 kgm se consigue un grado de deformación, decimos que nuestra rigidez a la torsión es de 1500 kgm/grado.

La pregunta que suele hacerse es que valor de rigidez a la torsión, debemos considerar como aceptable. Cuando se consultan diferentes autores y / o se toman en cuenta experiencias propias o ajenas, hay que tener presente de qué forma se llegó a tal o cual valor. Por ejemplo, un vehículo puede ser ensayado solo en su chasis o con su sistema de suspensiones incluido, lo que arrojará valores totalmente diferentes.

TIPO DE ESTRUCTURA   CHASIS	RIGIDEZ TORSIONAL [Nm/grado]
Vehículo de serie	Entre 8000 y 10000
Turismo carretera	Aproximadamente 13000
TC 2000	Aproximadamente 13000
Bastidor tubular	Aceptable 8000
Monoplaza	De 6000 a 7000
Cafeteras (bastidor con dos largueros)	Aceptable 1500

Figura 8: Datos de algunos valores de rigidez.

Para calcular el valor de rigidez torsional de nuestra estructura, aplicaremos el siguiente método:

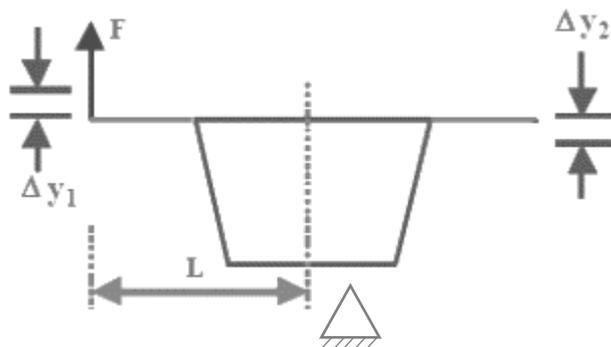


Figura 9: Modelo para realizar el cálculo.

$$K = \frac{T}{\theta}$$

$$K = \frac{FL}{\tan^{-1}\left[\frac{(\Delta y_1 + \Delta y_2)}{2L}\right]}$$

$\Delta y_1 =$  Deformación lado izquierdo [m]

$\Delta y_2 =$  Deformación lado derecho [m]

Las deformaciones sufridas de ambos lados se obtienen mediante la colocación de puntos imaginarios en la base de la estructura (Figura 10). Al aplicar distintos valores de cargas se irán obteniendo distintos valores de deformación, como se observa a continuación (Figura 11).

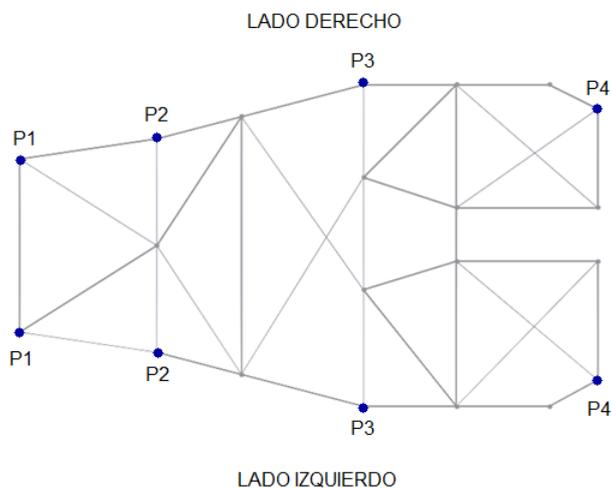


Figura 10: Distribución de los puntos.

<b>SENTIDO HORARIO</b>				
<b>DEFORMACION LADO DERECHO [mm]</b>				
Carga aplicada [Kgf]	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
50	0,1863	0,0986	0,0541	0,0116
100	0,3723	0,1971	0,1070	0,0232
200	0,7447	0,3943	0,2140	0,0473
300	1,1170	0,5914	0,3211	0,0709
400	1,4890	0,7885	0,4281	0,0944
500	1,8620	0,9856	0,5351	0,1161

<b>SENTIDO ANTI-HORARIO</b>				
<b>DEFORMACION LADO DERECHO [mm]</b>				
Carga aplicada [Kgf]	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
50	0,0491	0,0134	0,0176	0,0143
100	0,0982	0,0278	0,0351	0,0287
200	0,1962	0,5553	0,0702	0,0573
300	0,2940	0,8329	0,1053	0,9011
400	0,3930	0,1111	0,1436	0,1147
500	0,4912	0,1393	0,1810	0,1429

<b>DEFORMACION LADO IZQUIERDO [mm]</b>				
Carga aplicada [Kgf]	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
50	0,0598	0,0553	0,0387	0,0142
100	0,1195	0,1121	0,0774	0,0283
200	0,2391	0,2242	0,1548	0,0566
300	0,3586	0,3363	0,2322	0,0849
400	0,4781	0,4483	0,3096	0,1132
500	0,5976	0,5604	0,3870	0,1415

<b>DEFORMACION LADO IZQUIERDO [mm]</b>				
Carga aplicada [Kgf]	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
50	0,1706	0,1344	0,0786	0,0244
100	0,3423	0,2776	0,0351	0,0287
200	0,6825	0,5376	0,3143	0,0976
300	1,0240	0,8065	0,4714	0,1464
400	1,3650	1,0750	0,6285	0,1952
500	1,7060	1,3370	0,7857	0,2440

Figura 11: Valores de deformación obtenidos.

## RESULTADOS FINALES

Una vez obtenido los datos, se procede a aplicar la formula mencionada anteriormente, y así, calcular los valores de rigidez torsional para las diferentes cargas aplicadas.

<b>SENTIDO HORARIO</b>						
F[Kgf]	F[Nm]	$\theta$ [rad]	$\theta$ [°]	y1 [m]	y2 [m]	K
0	0	0	0	0	0	0
50	490	0,00035	0,0201	0,00006	0,00019	8521
100	981	0,00066	0,0378	0,00012	0,00034	9081
200	1961	0,00138	0,0793	0,00022	0,00074	8656
300	2942	0,00211	0,1208	0,00036	0,00112	8526
400	3923	0,00281	0,1610	0,00048	0,00149	8527
500	4904	0,00351	0,2013	0,00060	0,00186	8525
						<b>8639</b>

<b>SENTIDO ANTI-HORARIO</b>						
F[Kgf]	F[Nm]	$\theta$ [rad]	$\theta$ [°]	y1 [m]	y2 [m]	K
0	0	0	0	0	0	0
50	490	0,00031	0,0180	0,00017	0,00005	9546
100	981	0,00063	0,0361	0,00034	0,00010	9519
200	1961	0,00126	0,0719	0,00068	0,00020	9545
300	2942	0,00188	0,1079	0,00102	0,00029	9545
400	3923	0,00251	0,1439	0,00137	0,00039	9542
500	4904	0,00314	0,1798	0,00171	0,00049	9543
						<b>9540</b>

Figura 12: Resultados de rigidez torsional.

En las tablas (figura 12) podemos observar los valores obtenidos en la simulación, se puede apreciar que la correlación entre ambos resultados es cercana al 10%, pero al

encontrarse ambos resultados promedios dentro de los valores aceptables de rigidez torsional para estructuras tubulares es válido.

En las gráficas que se observan a continuación (figura 13), podemos ver las curvas con los valores de ángulos de rotación medidos en cada punto analizado sobre la estructura. Se observa una leve diferencia entre la rotación en el sentido horario y el anti-horario, producto de la asimetría de la estructura analizada. También podemos distinguir dos zonas donde la variación de rigidez es lineal, presentando un punto de cambio de tendencia, lo cual indica una zona de transición entre partes de la estructura con diferente rigidez.

También se ve que entre el punto P2 y P3, en el sentido horario, la estructura tiene menores ángulos de deformación que en el sentido anti-horario.

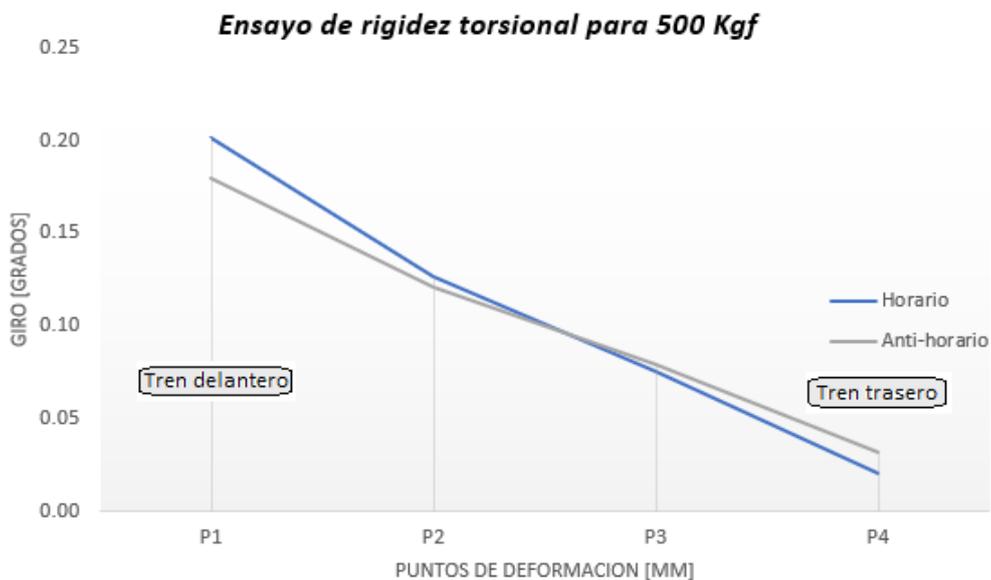


Figura 13: Rigidez torsional obtenida.

## CONCLUSIONES

Una vez finalizado el diseño y realizado el ensayo, se pudo llegar a la conclusión que la deformación registrada es aceptable, encontrándose entre los parámetros deseados. Además, hay que tener en cuenta que a esta estructura le falta el proceso de enchapado, el cual va soldado y ayudara con la rigidez torsional de la misma.

También se observa que, por la asimetría de la estructura, los valores promedio de rigidez torsional varían de un sentido a otro, pero siempre encontrándose dentro de lo aceptable para estructuras tubulares.